

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny

Stanovení retence vody v substrátech pro lesnické rekultivace

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Štěpán Florian

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Stanovení retence vody v substrátech pro lesnické rekultivace zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:..... podpis studenta:.....

Poděkování

Rád bych touto cestou srdečně poděkoval vedoucímu práce, panu Dr. Ing. et Ing. Miroslavu Kravkovi, za jeho trpělivost, pečlivé vedení a pomoc při řešení problémů. Dále bych rád vyjádřil svůj velký dík mamince, která mě během tvorby této práce a studia podporovala.

ABSTRAKT

Autor: Štěpán Florian

Název práce: Stanovení retence vody v substrátech pro lesnické rekultivace

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením retence vody v substrátech, které jsou využívány pro lesnické rekultivace. Obsah vody v substrátu je rozhodující pro jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Schopnost substrátu vodu zadržovat a distribuovat je nezbytná pro využití substrátu v lesnictví (například při pěstební činnosti). V práci byl navržen a inovován měřicí aparát pro stanovení zadržené vody v substrátu, pracující na principu navození tlakových potenciálů, které působí běžně v půdě. Po vytvoření aparátu bylo přistoupeno k jeho testování a hodnocení dat. Vyhodnocená data i zkušenosti z testování měřicího aparátu potvrzují, že navržený přístroj je vhodný pro použití v lesnické praxi. Následně bude přistoupeno k testování přesnosti měření u různých rekultivačních substrátů, které se používají pro lesnické rekultivace.

Klíčová slova: retence, substrát, organická hmota, tlakový potenciál

ABSTRACT

Author: Štěpán Florian

Title of thesis: Assessment of water retention in forestry recultivation substrates

This thesis examines about assessment of water retention in substrates, which are used for forestry recultivations. The water contain in substrate is important for the chemical and mechanical properties. The substrate ability retain water and distribute it is necessary for substrates utilization in forestry (for example the silvicultural operations). In thesis was designed apparatus for water retention measurement. The main principle of function based on soil hydraulic properties (pressure potential). The theses mention the measurement and data analysis. Assessed data confirm that apparatus can be used in forestry practice. Next step in our practice will be testing substrates with high content of organic matter and substrates for forestry recultivation.

Keywords: water retention, substrates, organic matter, soil pressure potential

OBSAH

1.	ÚVOD A CÍL PRÁCE	7
1.1.	ÚVOD.....	7
1.2.	CÍL PRÁCE	7
2.	LITERÁRNÍ PŘEHLED	8
2.1.	VYMEZENÍ TERMÍNŮ	8
2.1.1.	<i>Retence vody v krajině a půdě</i>	8
2.1.2.	<i>Definice substrátu</i>	10
2.1.3.	<i>Rozdílnost půdy a substrátu</i>	12
2.1.4.	<i>Definice rekultivace</i>	12
2.2.	OPTIMÁLNÍ VOLBA ZPŮSOBU REKULTIVACE.....	15
2.3.	K ČEMU JE PROBLEMATIKA RETENCE A SUBSTRÁTU V PRAXI DŮLEŽITÁ.....	15
2.4.	PŘEHLED ZPŮSOBŮ STANOVENÍ RETENCE.....	17
2.4.1.	<i>Metody stanovení retenční čáry půdní vlhkosti</i>	19
2.4.2.	<i>Postupy měření</i>	20
2.4.3.	<i>V substrátech</i>	20
2.5.	APARÁTY KE STANOVENÍ – PŘEHLED DOSTUPNÝCH NA TRHU	21
2.6.	STANOVENÍ OBJEMOVÉ VLHKOSTI SUBSTRÁTŮ	22
3.	METODIKA	23
3.1.	POSTUPY PŘI INOVACI APARÁTU	23
3.2.	METODIKA OVĚŘOVÁNÍ FUNKČNOSTI	24
3.3.	POSTUPY POUŽITÉ PŘI SBĚRU A VYHODNOCOVÁNÍ DAT	25
3.4.	VLASTNÍ NÁVRH APARÁTU.....	26
4.	VÝSLEDKY	29
4.1.	STATISTICKÉ ZHODNOCENÍ SOUBORU NAMĚŘENÝCH DAT	32
4.2.	VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ APARÁTU.....	34
5.	DISKUSE	35
5.1.	TEORETICKÉ POROVNÁNÍ S JINÝMI ZPŮSOBY STANOVENÍ RETENCE	35
5.2.	ZJIŠTĚNÉ KLADY A ZÁPORY.....	35
6.	ZÁVĚR	37
7.	SUMMARY	38
8.	POUŽITÁ LITERATURA	39

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1. Úvod

Lesy jsou součástí kulturní krajiny. Jejich trvale udržitelný rozvoj je základním předpokladem zdravého životního prostředí. S nástupem industrializace (zhruba v 19. století) se zvýšila i potřeba člověka po nerostných surovinách. S jejich těžbou je spojen problém znehodnocené krajiny. Úkolem rekultivací je, aby toto znehodnocení bylo časově omezené na nejkratší možnou dobu. Proto je tedy nutné tyto rozsáhlé plochy navracet do jejich původní podoby a funkcí v krajině. V posledních dvaceti letech výrazně vzrostl podíl lesnických rekultivací. Důvodem může být také to, že tento způsob rekultivace vyžaduje minimální množství kvalitních zemín, jako je tomu v porovnání zejména se zemědělskou rekultivací. Na druhé straně rekultivované zeminy jsou vždy extrémní stanoviště i pro pionýrské dřeviny a další typy vegetace. Jedná se zejména o nedostatek organické hmoty a špatný vodní režim rekultivovaných zemín. V současné rekultivační praxi se stále více používají substráty vyráběné se zvláštním zřetelem pro potřeby těchto specifických zemín.

1.2. Cíl práce

Cílem práce je ověřit jak jednoduchými způsoby stanovit retenci vody v melioračních substrátech určených pro lesnické rekultivace. Na základě odborných konzultací s výzkumnými pracovišti byl modifikován měřicí aparát tak, aby mohl být použit pro práci v polní laboratoři (práce se vzorky v terénních podmínkách). Z výsledků získaných modifikací a inovací přístroje a vyhodnocení byly doporučeny postupy vhodné pro lesnickou praxi.

Bakalářská práce byla vypracována samostatně, nicméně byly zohledněny i některé laboratorní postupy využívané při souběžně řešených závěrečných pracích vedených na Ústavu inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Vymezení termínů

2.1.1. Retence vody v krajině a půdě

Retence vody je přirozené nebo umělé zadržení vody v krajině (Janský, 2004). Tato voda může být dočasně zadržena na povrchu lesního stromoví, travního porostu, křovin, na povrchu půdy, v půdním krytu (tvořeném nadložním humusem a přízemní vegetací), v půdním profilu, v korytě toku, ve vodní nádrži. Zásoba půdní vody (Miháliková, 2011) neboli retence vody půdou je výsledkem přitažlivých sil mezi pevnou a kapalnou fází, které umožňují půdě zadržet vodu navzdory gravitaci, výparu a čerpání kořeny rostlin. Podle Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VUMOP, 2015) je vodní retence charakterizována jako množství vody, které je půda schopna zadržet v systému kapilárních pórů a postupně ji uvolňovat. Objem vody zadržené v půdě je definován retenční vodní kapacitou. Retenční vodní kapacita charakterizuje skutečné množství vody, které je půda schopna zadržet.

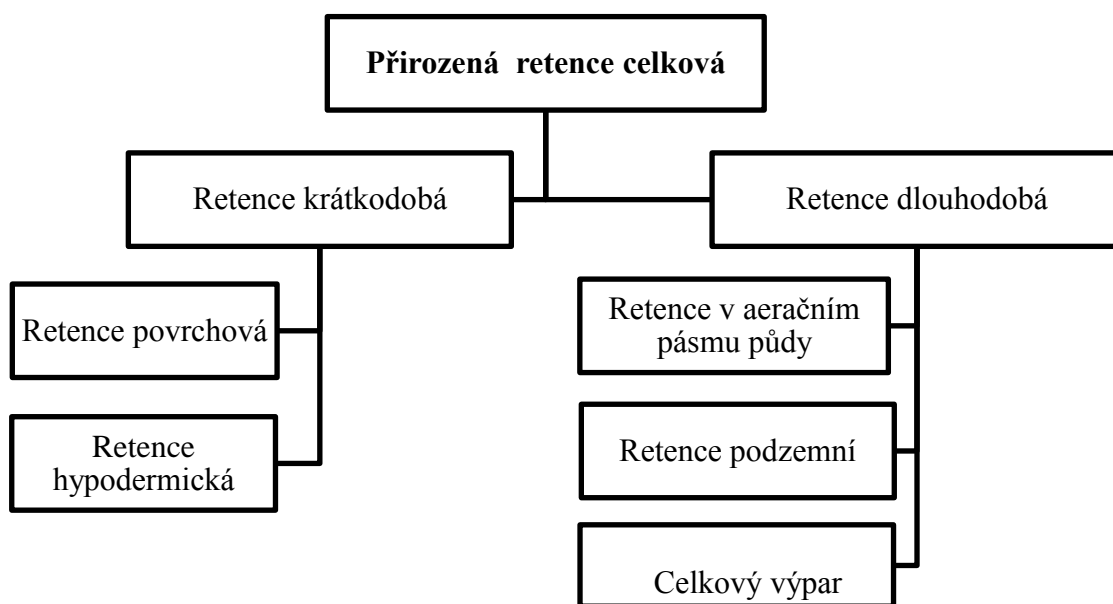
Retence vody u strukturních půd je zpravidla více ovlivněna i obsahem organické hmoty a objemovou hmotností suché půdy. (Nemes et al., 2003). Další vlastností významně ovlivňující retenci vody a používanou jako prediktor je např. obsah uhličitanu vápenatého CaCO_3 (Bruand, 1900; Štekauerová et al., 2002).

V průběhu vegetační sezóny se retenční režim půd skládá ze střídajících se fází: akumulární a perkolační (Tesař et al. 2001). V průběhu akumulární fáze se voda infiltrující ze srážek v půdním profilu akumuluje a je čerpána rostlinami pro potřeby transpirace. Převyšuje-li však srážkové vody její odběr na transpiraci, zaplňuje infiltrující voda půdu až do okamžiku, kdy objem akumulované vody překročí určitou horní hranici. Pak dojde k náhlému odtoku velkého množství vody do podloží. Fáze perkolační je stav, kdy většina srážkové vody protéká půdou do podloží, aniž by byla v půdě zdržena. Perkolační fáze ustane v okamžiku poklesu objemu vody v půdě pod horní hranici. Rozdíl mezi horní a dolní hodnotou objemu vody v půdě je retenční kapacita půdy.

Celková přirozená vodní retence (Palát et al. 2010) je voda dočasně zdržená na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku aj. přirozeným způsobem, bez retence v umělých vodních nádržích. Lze ji rozdělit do dalších pěti dílčích složek:

- Retence povrchová zadržuje vodu na povrchu terénu a ve vodotečích
- Retence hypodermická sdružuje vodu těsně pod povrchem, nedosahuje hladiny spodní vody
- Retence v aeračním pásmu půdy se sestávají z vody zachycené v kapilárách nenasycené zóny půdy a vody infiltrující do podzemní vody
- Retence podzemní zahrnují infiltrovanou vodu zvětšující zásobu podzemní vody
- Retence výparu zahrnuje transpiraci (výpar vydaný rostlinami) a intercepci (výpar z části srážky, která ulpí na povrchu rostlin)

Schopnost lesní půdy zadržovat vodu je základem pro řešení dalších důležitých otázek, např. volba dřeviny pro zalesnění nebo meliorační úprava stanoviště.



Obr. 1. Schéma rozdělení retence na jednotlivé složky dle Paláta (2010)

2.1.2. Definice substrátu

Na rozdíl od půd, které vznikají přirozeným vývojem (pedogenezí), jsou substráty produktem lidské činnosti. Substráty sloužící jako náhrada nebo doplněk k půdám při pěstování rostlin nebo při různých melioračních opatřeních.

Substrát (stejně jako půda či zemina) poskytuje rostlině pomocné funkce jako například ukotvení pro kořenový systém, který zároveň kryje, zadržuje pro rostlinu vodu, živiny a poskytuje provzdušnění. Různé substráty (Types of substrates, 2013) fungují odlišně podle podmínek a druhu použití a uživatel musí správně rozhodnout, jaký substrát vyhovuje danému prostředí a podmínkám. Obecně se používají dva typy substrátů: substráty na bázi zeminy a substráty bez zeminy (např. z rašeliny).

Substráty na bázi zeminy (Dubský a Šrámek, 2008) obsahují hlinitou zeminu, písek a rašelinu. Dle použití mohou být přimíšena i hnojiva. Pokud zemina obsahuje velké zastoupení písčité frakce, začleňujeme méně písku. U jílovitých zemin je tomu přesně naopak, protože písek poskytuje dobré provzdušnění. Místo písku se používá perlit a polystyren. Optimální hodnota pH substrátu se pro pěstební použití pohybuje mezi 6,2 a 6,8. U speciálních substrátových směsí na bázi recyklovaného stavebního materiálu je nutno pH přísně sledovat. Tyto směsi mají pH zásaditější díky většímu obsahu zdiva a omítek. Tento nedostatek lze částečně eliminovat zvýšeným zastoupením rašeliny.

Substráty bez zeminy jsou charakteristické především svojí nízkou objemovou hmotností. Tyto substráty jsou založeny na obsahu vysokého podílu organické hmoty, především rašeliny či mulče. Jako druhá složka je zde zastoupena minerální část, především perlit a vermikulit. Pro lepší retenční vlastnosti (Kubát et al, 2008) se do substrátů přimíchává organická hmota, popřípadě jíl. Pro zvýšení retenčních a sorpčních vlastností se též přidávají umělé vlhkostní stimulanty.

Mezi další dostupné substrátové směsi patří: substráty podporující klíčivost semen; substráty s vysokou vlhkostí; substráty na bázi rašeliny nebo kůry; substráty s velkým provzdušněním a také substráty na bázi kompostu. Tyto jsou vhodné na půdy s nízkým obsahem humusu, zlepšují vodní režim a sorpční vlastnosti. Je dobré je kombinovat s průmyslovými hnojivy. Dávky se pohybují od 40 do 100 t/ha (Pokorný et al. 2001). Mezi další využitelné substrátové směsi řadíme kaly z čistíren odpadních vod a rybníční

sedimenty. Méně dostupné jsou např. kapucín, ornice, popeloviny, bentonit, či kejda - zdroj organického materiálu, vhodný též k vylepšování těžkých půd. (Váňa 1998)

Především ve školkařské produkci se vedle organických pěstebních substrátů používají i směsi s vyšším podílem minerálních komponentů (zeminy, sprašové hlíny apod.). Hlavní uplatnění těchto substrátů s minerálními komponenty je při předpěstování dřevin v kontejnerech určených pro zakládání a obnovu porostů v krajině. Tyto substráty se dále používají pro pěstování ve větších nádobách, např. mobilní zeleň. Substráty s minerálními komponenty mají vysokou objemovou hmotnost a jejich přeprava je tedy nákladnější než u lehkých organických substrátů, jejichž hlavní složkou je rašelina (Dubský a Šrámek, 2008).

Jak uvádí Honzík (2003) problematika substrátů a půd se střetává především v oboru rekultivací, které se kladou za cíl obnovit kvalitativní parametry území narušených činností člověka. Nadložní zeminu na těchto lokalitách většinou hodnotíme, jako značně chudou na živiny, proto je nutné do ní dodat organickou hmotu a živiny, což urychlí půdotvorný proces.

Samostatnou skupinu tvoří použití rekultivačních zemin, které jsou určeny pro lesnické rekultivace na těžbou postizených lokalitách. Příkladem může být použití tří rekultivačních variant (Čermák, Kohel, 2003) při vytváření antropozemě: (a) návoz zemin a slinitých hornin na povrch výsypky, jejich převrstvení a jejich zaorání. (b) návoz slinitých hornin na povrch výsypky, jejich další převrstvení sprašovými hlínami a jejich zaorání. (c) převrstvení povrchu výsypky humusovým horizontem.

Výroba a správné užití rekultivačních materiálů (MŽP, 2013) je jednou ze základních podmínek úspěšné rekultivace, ale jen za předpokladu, že použijeme pro daný účel kvalitní a nezávadné suroviny. Obsah přijatelných stopových živin v komponentech a substrátech je účelné hodnotit při použití nových kompostů či jiných alternativních organických komponentů nebo při změně receptury přípravy substrátu (Dubský a Šrámek, 2008).

2.1.3. Rozdílnost půdy a substrátu

Již u definice substrátu bylo zmíněno, že hlavním diferenciacním znakem půdy je její samotný vývoj, tedy pedogeneze. Půda prochází dlouhodobým a přirozeným vývojem, který byl ovlivněn biotickými i abiotickými podmínkami stanoviště. Půdy se vyvíjí od období pleistocénu a některé zkamenělé půdy jsou uchovány až období archaika (Buol et al. 1973; Retallack, 2001). Z podmínek, které na vývoj půdy působí, můžeme uvést například druh matečné horniny, povětrnostní situace stanoviště, půdní pokryv a vegetace.

Oproti půdě, je substrát uměle připravený a zcela postrádá proces vývoje. Pokud prochází substrát časovým vývojem, jedná se oproti půdě o zcela zanedbatelný časový úsek. Oproti půdě se substrát vyznačuje výraznou homogenitou, která je důsledkem umělého promísení materiálu.

Rozdílnost půd a substrátů určuje i jejich využití. Pro substrát i půdu je společné jejich předurčení, coby mechanická opora rostlin, zásobárna organické hmoty nebo živné médium. Kvalita půd po 40 leté pedogenezi velmi podobá na rekultivovaných i nerektivovaných lokalitách, částečně jako výsledek mikrobiologické aktivity (Frouz a Nováková, 2005; Frouz a kol., 2006).

2.1.4. Definice rekultivace

Rekultivací se rozumí uvedení určité postižené oblasti do takového stavu, aby v ní mohl fungovat soběstačný zdravý ekosystém. Základem je vytvoření nového povrchu, obnova přírodního prostředí, odstranění následků nevhodných lidských činností a provedení takových kroků, které by zabránily novému narušení vzniklého systému (Sádlo et al. 2002). Smolík a Dirner (2009) definují rekultivaci jako obnovu či vytváření zemědělských pozemků a kultur, lesních kultur, vodních ploch a toků v souladu s koncepcí ekologicky vyvážené krajiny a životního prostředí.

Rekultivace je soubor různých opatření a úprav, kterými zúrodňujeme a zhodnocujeme krajinu zdevastovanou lidskou nebo přírodní činností. Jedná se především o úpravy terénu a obnovení kvalitativních vlastností půdního krytu. Produktem rekultivačních prací (Kubík, 2006) je tedy kromě půdy i nová kvalita litosféry, hydrosféry, reliéfu, pedosféry, atmosféry apod.

Rekultivace jsou souborem postupů, na jejichž konci stojí krajina, která je ekologicky vyváženým s ekonomicky hodnotným životním prostředím, odpovídajícím zájmům společnosti (Gerlich, 1970). Rekultivace je neodmyslitelně spjata s těžbou, především nerostných surovin. V České republice (Smolík a Dirner, 2009) je cílem uplatňovat vzhledem ke specifickým klimatickým, geologickým, půdním a hospodářsko-spoločenským podmínkám v oblasti těžby takové rekultivační technologické postupy, které umožňují urychlené zapojení devastovaných ploch do produkčního procesu.

Rekultivační postupy (Štýs, 1997) jsou děleny podle různých stanovisek. Mezi základní patří dělení podle samotných rekultivačních postupů a podle vztahu k využití rekultivovaného území. Dalším dělením rozumíme zúrodňovací práce a rekultivační zásahy. Zúrodňovací práce definuje Štýs (1997) jako postup, při kterém se upravují fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Můžeme sem zařadit úpravu pozemků s těžkými půdami (vylehčování pískem) nebo s extrémně lehkými půdami (jílování) či úprava zasolených půd apod. Cílem je zvýšení obsahu humusu v půdě.

Zcela základním rozdělením je dělení rekultivací na technickou a biologickou (Volný, 1985). Do technické rekultivace spadají především zemní práce, jako například skrývka ornice, výstavba komunikací, protierozní opatření atd. Biologická rekultivace (Kubíček, 2008) se provádí v konečné fázi rekultivačních prací. Provádí se výsadbou zeleně na předem upravené plochy svahů a rovin. Biologickou rekultivaci dělíme podle způsobu budoucího využití krajiny na zemědělskou, lesnickou a vodohospodářskou.

Smolík a Dirner (2009) uvádějí, že při biologické rekultivace je nutné především dosažení dostatečné úrodnosti půd, vyrovnaného vodního režimu, estetické působivosti a ekonomické efektivnosti.

Biologické rekultivace dělíme na rekultivace zemědělské, lesnické, agrotechnické, asanační, rekreační, půdoochranné, hydrologické atd.

V rekultivační praxi se lze setkat též s pojmem tak zvané dočasné nebo krátkodobé rekultivace. Jde v zásadě o opatření, kterým se určený objekt upraví jen na kratší dobu, a to buď vhodným tvarováním, nebo ozeleněním pomocí travní nebo bylinné vegetace.

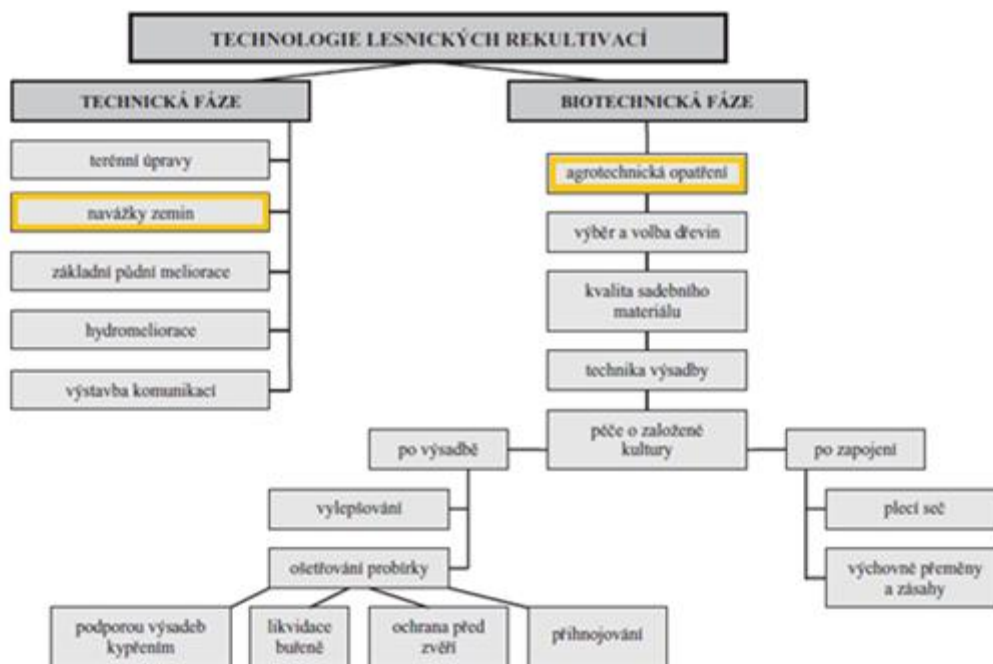
Tím se zabrání erozním pochodům a též sekundární prašnosti z povrchu objektu. (Smolík a Dirner, 2009)

Lesnické rekultivace jsou důležitou a nedílnou součástí rekultivací prováděných od počátku 20. století a staly se jedním ze základních kamenů české rekultivační školy (Dimitrovský a Vesecký 1979, Dimitrovský, 1999). Lesnické rekultivace řadíme mezi rekultivace biologické. Hlavní myšlenkou realizace je založení lesního porostu na rekultivované ploše. Les (Kubíček, 2008) výborně plní funkci ochrany hydrologické, protierozní, stabilizační, hygienické, asanační, klimatické, rekreační a jiné složky krajiny.

Z hlediska využití rekultivačních substrátů upřednostňujeme substráty s vyšším obsahem organických látek. Tyto substráty se vyznačují dobrými retenčními vlastnostmi. Z hlediska retence je důležitá taktéž struktura a textura a vrstvení materiálu. Například Kovář (2011) tvrdí, že je při lesnické rekultivaci vhodné překrýt, či promísit materiál původních výsypek se zúrodnitelnými zeminami lepších zrnitostí nebo jiných vlastností za účelem zvýšení retenční kapacity půd. Jako vhodné uvádí střídání uměle vrstvených profilů zemin, humusových horizontů a sprašových hlín.

Dimitrovský et al (2008) ukazuje, že lesnická rekultivace používá celou škálu dřevin, především dřevin pionýrských, jejichž využití se opírá o znalost historických i současných výsledků při realizaci rekultivačních prací v oblasti těžby nerostných surovin. Kubíček (2008) přímo uvádí přínos rychle rostoucích a odolných dřevin, jako například olše lepkavá, olše šedá, jeřáb ptačí, lípa, bríza, osika. Kupka a Dimitrovský (2011) definují tři hlavní kritéria vhodné dřeviny pro úspěšné lesnické rekultivace: (1) nenáročnost dřeviny na úpravu substrátu, (2) tolerance ke klimatickým extrémům a (3) velmi dobrá až výborná růstovou kapacitu.

Úspěšnost zakládání nových lesních porostů závisí na fyzikálních vlastnostech zemin, především na schopnosti půdy poutat vodu, výběru kvalitě sadebního materiálu, výběru druhové skladby dřevin, technice a způsobu výsadby, ošetřování a ochraně lesních kultur proti biotickým činitelům (Kryl et al, 2002).



Obr. 2. Schéma technologie lesnické rekultivace. Barevně znázorněny fáze, které využívají substráty, dle Kryl et al, 2002.

2.2. Optimální volba způsobu rekultivace

Základní vlastnosti, které by měla rekultivovaná krajina splňovat, jsou ekologická vyváženost, zdravotně hygienická nezávadnost, ekonomická efektivnost, estetická působivost a rekreační účinnost. Splnění těchto požadavků lze dosáhnout optimalizací všech rekultivačních způsobů. Tato optimalizace je tedy dána vhodným poměrem zemědělských, lesnických, vodohospodářských a ostatních způsobů rekultivace při respektování všech přírodních a socioekonomických faktorů v daném území (Štýs et al., 1997). Kryl et al, (2002) obecně rozdělují faktory ovlivňující výběr způsobu rekultivace na ekologickou a sociálně ekonomickou složku.

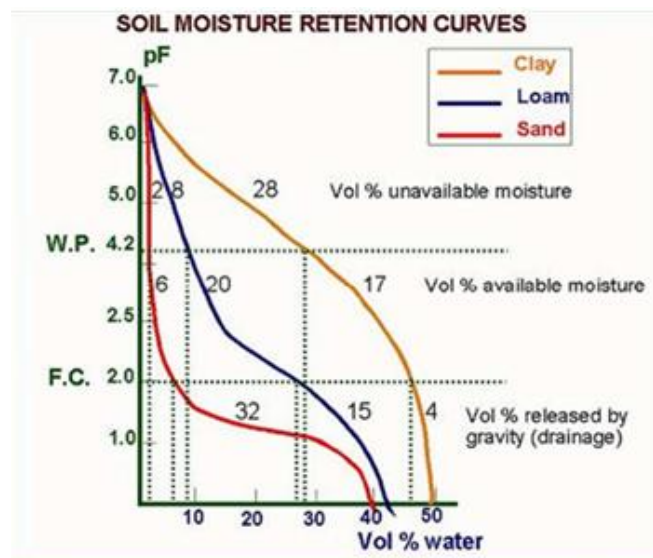
2.3. K čemu je problematika retence a substrátu v praxi důležitá

Takřka všechna voda na naše území dopadá na zemský povrch ve formě srážek, které jsou pro vodní bilanci rozhodujícím. Množství vody v půdě je dáno množstvím dopadajících srážek, hloubkou hladiny podzemní vody, fyzikálními vlastnostmi půdy a rostlinstvem, pokrývajícím půdu. Půdní voda je hlavním zdrojem vody pro rostliny. Její

obsah a dynamika podmiňuje život rostlin přímo, jako zdroj vody pro transpiraci a s ní spojené transportní procesy v systému půda-rostlina, i nepřímo, prostřednictvím půdních mechanických, fyzikálních, chemických i pedobiologických vlastností (Chroust, 1997).

Dostupnost vody pro rostlinu je dána jejím obsahem v půdních kapilárách a schopností jimi vzlínat. Při nižších vlhkostech je voda v kapilárách těžce pohyblivá a její dostupnost pro rostlinu se snižuje. Rozmezí mezi těžce a lehce pohyblivou kapilární vodou udává tzv. lentokapilární bod; při poklesu pod jeho hodnotu je voda pro rostlinu nepřístupná. Významným ukazatelem zásobení půdy vodou je tzv. bod vadnutí, ten je stanoven na hodnotu sacího tlaku pF 4,19 a udává vlhkost půdy, kdy jsou rostliny vystaveny trvalému nedostatku vody rostliny vadnou. Bod trvalého vadnutí je dán množstvím vody v půdě, při němž rostlina vadne a již neobnoví turgor po zpřístupnění vody. Kromě půdních podmínek je dán i druhem rostliny.

Problematika schopnosti půdy jímat vodu se týká především systému voda – půda – rostlina. Pro přesné zjištění tlakových poměrů v půdě, slouží měření dat např. pomocí tenzometrů. Ty nám charakterizují tlak vody v půdě a na základě výsledků definujeme stádium, ve kterém se jednotlivé prvky (voda, půda rostlina) nacházejí. Tedy jako sérii rovnovážných stavů mezi objemem vody ve vzorku a odpovídajícím kapilárním tlakem. Graficky vyjádřeno v obrázku 3.



Obr. 3. Retenční křivky v závislosti na daném půdním prostředí

(www.aardappelpagina.nl/xplorer/pagina/soilwater.htm)

Při stavu 0 kPa je půda plně nasycena vodou. Tato situace nastává po vydatných deštích nebo závlaze. V situaci, že půdní profil vykazuje tento stav dlouhodobě, začínají kořeny trpět nedostatkem kyslíku a zahnívají. Při hodnotách tlaku 0 – 10 kPa půda obsahuje přebytek vody. Rostliny při delším vystavení této situaci odumírají. Při tlaku 10 – 20 kPa je zaznamenávána polní vodní kapacita. Tedy maximum vody, která je dostupná pro zdárný růst rostlin. Těžké a středně těžké půdy nevyžadují v tuto chvíli závlahu. Lehké půdy také netrpí nedostatkem vody, nicméně mají omezenou retenční schopnost a proto sací tlak rychle vzrůstá. 20 – 40 kPa je tlak, který zajišťuje optimální poměr vody a kyslíku v půdním prostředí. Těžké a jílovité půdy si zachovávají optimální vlhkost, půdy písčité začínají vysychat. Při 40 – 60 kPa je obsah vody v půdě snížen i u půd jílovitých, nicméně se v půdním profilu nachází stále dostatek vody pro potřeby rostlin. Při tlaku 60 – 80 kPa dochází ke snížení vody zadržené v půdě pod únosnou mez a rostliny usychají.

2.4. Přehled způsobů stanovení retence

Zásoba půdní vody neboli retence vody půdou je výsledkem přitažlivých sil mezi pevnou a kapalnou fází, které umožňují půdě zadržet vodu navzdory gravitaci, výparu a čerpání kořeny rostlin. Vodní retenci stejně jako jiné veličiny můžeme měřit. Vodní retence je komplikovaný děj, který ovlivňuje vodní režim půd a tvorbu odtoku povodí. Měřenou veličinu v této situaci nazýváme retenční kapacitou půdy (Tesař et al. 2001).

Graficky vyjádřené stavy mezi objemovou vlhkostí půdy a vlhkostním potenciálem půdy se nazývá retenční čára půdní vlhkosti. Je unikátní pro každou půdu, její průběh závisí na půdních vlastnostech, jako je zrnitostní a mineralogické složení, objemová hmotnost a struktura, obsah organické hmoty.

Pro stanovení retenční čáry půdní vlhkosti se využívají především metody laboratorní, jejichž zjednodušený přehled je uveden níže. Pokud je vyžadováno změření retenční čáry v celém rozsahu vlhkosti, kterou dokážou rostliny zužítkovat, tzn. pro tlakové výšky od 0 do -1500 cm (někdy i více), je obvyklá kombinace zpravidla dvou metod, např. pískového tanku a přetlakového aparátu (Miháliková, 2011).

Retenční křivky určují, jak pevně je voda v substrátu poutaná. Pokud se zvětšuje rozdíl hladin na pískovém tanku, obsah vody v substrátu klesá, voda je v substrátu poutána většími silami a z hlediska rostlin se stává obtížněji dostupnou. Z průběhu

retenčních křivek lze stanovit kategorie vody podle dostupnosti rostlinám (Verdonck et al. 1983, Prasad, O'Shea 1999). Voda, která se uvolní do potenciálu -1 kPa, představuje vodu gravitační, která po zálivce volně odeče. Obsah vody při potenciálu -1 kPa se označuje jako kontejnerová (vodní) kapacita, která charakterizuje schopnost substrátu zadržet vodu. Objem pórů vyplněných vzduchem při potenciálu -1 kPa se označuje jako vzdušná kapacita.

Retenční kapacitu půdy lze určit několika metodami. Jsou to: Laboratorní měření retenčních křivek (Šútor a Štekauerová 2003), Terénní infiltrační pokusy (Lichner 1986, Šír et al. 2000), Tenzometrický nebo vlhkoměrný monitoring vodního režimu půd (Tesař et al. 2001).

Měření srážek a odtoků v povodňových situacích (Czelis a Spitz 2003), Simulace infiltrace vody do půdy (Tesař et al. 1990).

Pro ověření funkčnosti aparátu je primární kontejnerová kapacita (KK) vyjadřující objem pórů vyplněných vodou při potenciálu -1 kPa při poklesu hladiny o 10 cm.

Tab. 1. Kategorie vody podle dostupnosti rostlinám charakterizované vodním potenciálem (Dubský a Šrámek, 2008)

vlastnost/jednotka % obj.	charakteristika
pórovitost (P)	část objemu substrátu vyplněná vodou a vzduchem
vzdušná kapacita (VzK)	objem pórů vyplněných vzduchem při potenciálu -1 kPa (podtlak vodního sloupce 10 cm)
kontejnerová kapacita (KK)	objem pórů vyplněných vodou při potenciálu -1 kPa (10 cm)
snadno dostupná voda (SDV)	obsah vody mezi potenciály -1 a -10 kPa (10 a 100 cm)
lehce dostupná voda (LDV)	obsah vody mezi potenciály -1 a -5 kPa (10 a 50 cm)
hůře dostupná voda (HDV)	obsah vody mezi potenciály -5 a -10 kPa (50 a 100 cm)
obtížně dostupná voda (ODV)	obsah vody mezi potenciály -10 kPa (100 cm) a -1500 kPa
nedostupná voda (NV)	obsah vody při potenciálu -1500 kPa

2.4.1. Metody stanovení retenční čáry půdní vlhkosti

K laboratorním metodám určení retenční čáry půdní vlhkosti používáme přetlakové a podtlakové přístroje. Mezi přetlakové přístroje řadíme přetlakový aparát, který se skládá z tlakové nádoby, polopropustné keramické membrány, kompresoru, regulátoru tlaku, manometru a byrety. Kompresor vytváří přetlak vzduchu působící shora na vzorek. Požadovaný přetlak nastavíme regulátorem vzduchu. Spodní část přístroje spojeného s byretou je až po plně nasycenou keramickou membránu celá zaplněná vodou. Několika změnami tlaku vzduchu jsou neporušené půdní vzorky drénovány. Při každé změně tlaku zjistíme gravimetricky hodnotu objemové vlhkosti. Pomocí příslušných hodnot tlaku a objemové vlhkosti vyneseme body retenční čáry.

Mezi podtlakové přístroje řadíme pískový tank, který se skládá z tanku vyplněného dvěma vrstvami písku, hadičky a nádoby na vodu. V tanku jsou umístěny nasycené neporušené půdní vzorky na vrstvě jemného písku, pod kterou je vrstva hrubého písku. Pomocí nádoby s vodou spojené s tankem hadičkou nasytíme vrstvy písku. Změnou výšky nádoby vzorek v několika postupných krocích drénujeme do ustálené hladiny vody v nádobě. Při každé změně výšky zjistíme gravimetricky hodnotu objemové vlhkosti. Pomocí příslušných hodnot tlaku a objemové vlhkosti vyneseme body retenční čáry.

Tempskou celu řadíme mezi přístroje pracující v obou režimech (podtlakový i přetlakový). Přístroj je výhodné použít v případech, kdy hrozí vyplavení nestabilních částic ze vzorku. Přístroj pracuje v podtlakovém režimu. Hlavní součástí je keramická destička. Po nasycení destičky a vzorku vodou se tlaková výška vody řídí polohou byrety připojené ke spodní části přístroje nebo přetlakem vzduchu. Pomocí několika tlakových změn, při kterých vzorek zvlhčujeme nebo drénujeme (přetlak, podtlak) určíme body retenční čáry z poměru přitéklého a odteklého objemu vody v byretě a příslušné tlakové výšky.

K terénním metodám patří přímé měření půdní vlhkosti pomocí čidel. Do jednotlivých hloubek půdního profilu umístíme čidla na měření vlhkosti (TDR senzory) a tenzometry k měření tlakové výšky. Pomocí naměřených hodnot tlaku a příslušné objemové vlhkosti vyneseme body retenční čáry. Pro měření je nutné znát základní parametry (pórovitost, objemovou hmotnost) a měřit vlhkost v celém profilu (např. zadešťování).

2.4.2. Postupy měření

K měření retence slouží celá řada přístrojů. Z velké části se jedná o laboratorní přístroje, eventuálně terénní sondy. Převážně se používají především metody laboratorní. A to metody podtlakové, metody přetlakové, metody výparové. Navzdory zlepšování měřících metod hydraulických vlastností půdy zůstává většina těchto technik dosti časově a finančně náročná. Zároveň lze říci, že dobré odhady namísto přímých měření mohou být dostatečně přesné a použitelné pro mnoho aplikací, důležité je vždy posoudit míru nejistoty odhadů (Minasny, 2000; Wösten et al., 2001) vázaný na snadněji zjištělé parametry, zejména zrnitost (podíl určitých frakcí nebo půdní druh), tzv. pedotransferové funkce.

Naměřené hodnoty jsou dále statisticky a elektronicky vyhodnocovány. Počítačové modely (Miháliková, 2011) se staly nepostradatelnou součástí výzkumu orientovaného směrem ke kvantifikaci a integraci nejdůležitějších fyzikálních, chemických a biologických procesů.

Nejčastěji využívanou aparaturou pro měření je pískový tank. Pískový tank řadíme mezi podtlakové přístroje, používáme jej pro lehké a středně těžké půdy. Z vrstvy umělého písku je tvořena polopropustná membrána, přičemž vodivost tohoto umělého písku musí být co největší. Přístroj se skládá z kontejneru, který má ve dně odvodňovací systém s vrstvou jemnozrnného písku, který se pomocí zásobní láhve s destilovanou vodou, nasatí asi 3 cm nad povrch. Před začátkem měření se hladina vody v tanku sníží pomocí přepouštěcího ventilu. Neporušené nasycené vzorky se položí do připraveného pískového tanku na vrstvu umělého písku, vzorky musí být upevněny tak, aby měly co nejlepší kontakt s náplní tanku. Měření probíhá při tlaku vodního sloupce od 10 do 100 cm na stupnici. Jezdec se na stupnici nastaví na 1. požadovanou hladinu, např. 10 cm, přebytečná voda se odsává do rovnovážného stavu. Vzorky se vyjmou a zvaží. Poté se pokračuje v měření při vyšším tlaku. Čím je podtlak větší, tím déle trvá dosažení rovnovážného stavu.

2.4.3. V substrátech

Měření retence vody v substrátech je po technické stránce obdobné, jako měření retence vody u jiných zemin a půd. Specifika jsou ale v tom, že substráty, zejména

s vysokým podílem organické hmoty (např. rašeliny, komposty), mají specifické vlastnosti (např. nestálá objemová hmotnost). Obecně můžeme měření rozdělit na měření prováděná v laboratorních podmínkách a měření prováděná přímo v terénu, většinou na rekultivovaných plochách, kam je substrát uměle dodáván za účelem zlepšení pěstebních podmínek.

2.5. Aparáty ke stanovení – přehled dostupných na trhu

Na trhu je celá řada moderních laboratorních přístrojů. Na ukázkou uvádím měřicí aparatury firmy Ekotechnika s.r.o. Dodavatele přístrojů a zařízení pro monitoring životního prostředí, zemědělství, geologii, hydrologii, pedologii, fyziologii rostlin, meteorologii a příbuzné obory. V prvním případě se jedná o tenziometry. Z dalších přístrojů můžeme uvést sofistikované měřiče vlhkosti. V hojném zastoupení jsou na trhu přístroje na stanovení retenčních křivek. Jako výčet z nich můžeme uvést

- Minimální standardní sada pro stanovení retenčních křivek v rozsahu 0-1 - 15 bar
- Kompletní standardní sada pro stanovení retenčních křivek v rozsahu 0-1 – 15 bar
- Tlakový extractor
- Membránový extractor
- Pískový tank pro stanovení retenčních křivek
- Tempská cela
- Průtoková cela
- Objemový extraktor

Všechny výše uvedené přístroje jsou konstruovány pro použití v laboratoři. Pro terénní použití nelze použít ani modifikované tlakové extraktory a pískové tanky. Jejich nevýhodou je vysoká hmotnost a vysoká pořizovací cena. Tenziometry patří mezi cenově dostupné přístroje, nicméně pro naše potřeby jsou nevhodné. Proto byl zkonstruován měřicí aparát vhodný pro terénní použití.

2.6. Stanovení objemové vlhkosti substrátů

Pro stanovení retence vody v substrátu je důležité určit jeho objemovou hmotnost. Schopnost poutat vodu je závislá na pórovitosti a nasycení substrátu vodou. Substráty se vyznačují svojí nestálou objemovou hmotností. To je způsobeno rozdílným zastoupením organické hmoty, která se vyznačuje zvýšenou schopností vázat vodu. Limitujícím faktorem pro růst rostlin v substrátech s vyšší objemovou hmotností (Dubský, Šrámek, 2008) je obsah snadno dostupné vody, kterou rostliny dříve spotřebují a jejich růst není tak intenzivní jako v organických substrátech, které mají nejen vysoký obsah snadno dostupné vody, ale i vysokou vzdušnou kapacitu.

Rozlišujeme dva typy objemové hmotnosti. Objemová hmotnost suché a vlhké půdy.

Objemová hmotnost suché půdy je hmotností objemu neporušeného vzorku půdy po vysušení při 105 °C do konstantní hmotnosti.

Vypočítá se jako podíl hmotnosti neporušeného vzorku po vysušení a objemu neporušeného vzorku $\rho = C/V_s$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Objemová hmotnost vlhké půdy je hmotnost objemu půdy o momentální vlhkosti. Vypočítá se jako podíl hmotnosti neporušeného vzorku za okamžité vlhkosti ku objemu neporušeného vzorku $\rho = A/V_s$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Objemová hmotnost není důležitá pouze pro růstové schopnosti rostlin. Podle objemové hmotnosti hodnotíme například náklady na transport a manipulaci. Například substráty s vyšším obsahem zeminy (Dubský a Šrámek, 2008) mají vysokou objemovou hmotnost, lépe přijímají a zadržují vodu, nicméně komplikují manipulaci s výpěstky a podobně.

3. METODIKA

V praxi, například při výrobě, nebo dodávkách substrátu pro pěstební nebo rekultivační účely, lze ověřit jeho hydrofyzikální vlastnosti pouze složitými laboratorními analýzami, zpravidla ne provozními metodami, které jsou málo náročné na laboratorní vybavení i vyškolení personálu. Retence vody v substrátu je zjišťována především měřeními v pískových tancích. Tyto laboratorní metody umožňují měření ve spektru sacích tlaků, nicméně pro terénní a provozní použití jsou zcela nevhodné.

Pro vyhodnocení hydrofyzikálních vlastností (Dubský a Šrámek, 2008) organických substrátů i substrátů s minerálními komponenty postačuje rozsah vodního potenciálu - 0,25 až -10 kPa, což představuje pokles vody nutný pro sací tlak 5 – 10 cm.

Stanovení takto nízkých hodnot proto nevyžaduje drahé a specializované vybavení. Cílem bylo tedy vyvinout měřicí aparaturu vhodnou pro terénní použití s dostatečnou přesností měření pro provoz.

3.1. Postupy při inovaci aparátu

Funkcí aparátu je dostatečně simulovat podmínky, které působí na půdu, nebo substrát, v reálných podmínkách stanoviště. Předpokladem hlavní funkce je přesná simulace sacího tlaku, který působí na půdní vzorek a simuluje sací potenciál v půdě.

Aparát musí být sestaven ze základních komponentů, které jsou třeba k navození odpovídajících podmínek. Mezi základní části patří sací médium, v tomto případě lehký materiál s dobrými sorpčními vlastnostmi. Pro terénní použití je z hlediska použití zcela nevhodný písek. Další částí je prostor pro zeminu či půdní vzorek a uzavřená, vodotěsná soustava umožňující snižovat hladinu vody v aparátu a navozovat sací podtlak. Vzhledem k procesu měření, který trvá více než 48 hodin, je nutné uzavření aparátu poklopem, aby se zamezilo výpadu vody z aparátu.

Způsob funkce je založen na principu aktivního podtlaku, který vytváří sací médium. Princip navození podtlaku spočívá v plném zaplavení vzorku vodou za účelem nasycení a následném snížení hladiny na úroveň sacího média. Platí pravidlo, že čím níže je hladina snížena, tím větší je navozena sací síla, přičemž výsledná sací síla je součet složek síly sací a síly gravitační. Následkem je úbytek vody ve vzorku spočívajícím na sacím médiu. Voda zbytková je definovaná jako kontejnerová kapacita.

3.2. Metodika ověřování funkčnosti

Ověřování funkčnosti spočívá v sérii zkušebních měření reprezentativního vzorku substrátu. Pro vzorové měření byl vybrán optimálně namíchaný substrát s vysokým zastoupením organické hmoty. Tento byl následně vystaven prostředí na savém podkladu vlhké minerální vaty. Po zvážení vzorku v nasyceném stavu byl navozen sací tlak.

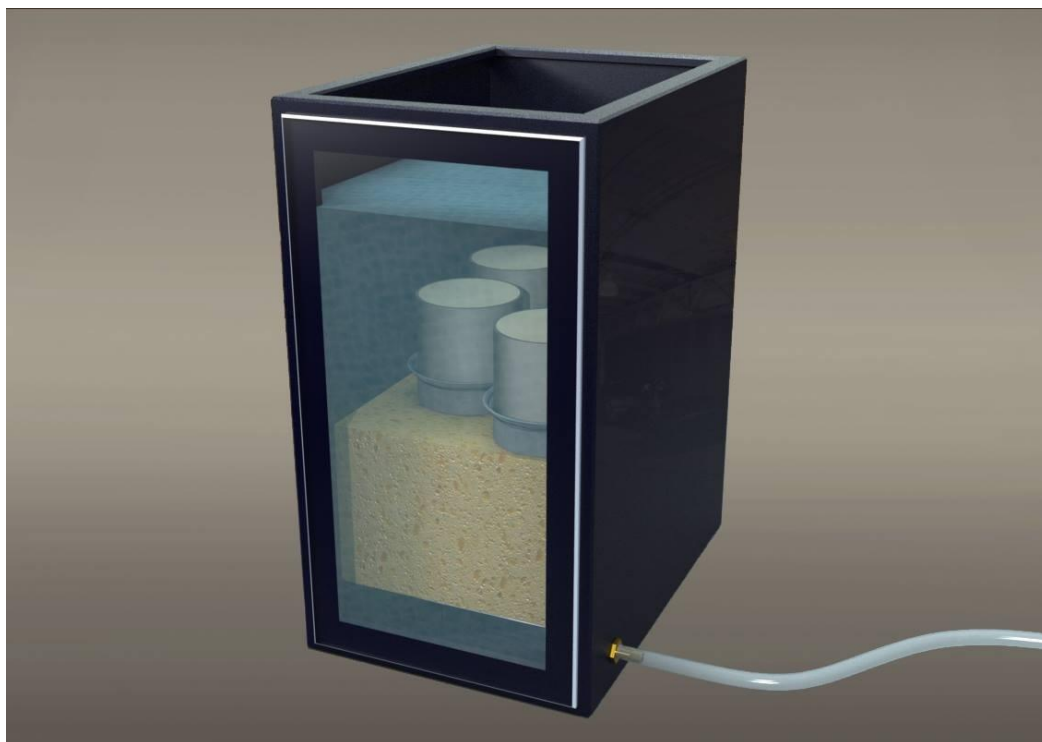
Pro ověření funkčnosti byl zvolen jeden rekultivační substrát. Substrát je typický pro lesnické rekultivace, výrobcem substrátu je kompostárna Ekodendra (Bílina). Substrát byl odebrán jako reprezentativní vzorek z více míst jedné hromady, následně byl v nádobě promíchán a oddělen vzorek o hmotnosti 10 kg pro laboratorní testy. Nádoba se substrátem byla utěsněna proti vysychání.

V laboratoři byl substrát plněn do ocelových válečků o objemu 0,5 l za pomoci lopatky a špachtle. Ocelové válečky byly ze spodu kryty porézní geotextílií, která byla fixována ke stěně válečku gumovými proužky. Substrát byl do válečků volně sypán a vrstven tak, aby nedošlo k mechanickému slehnutí. Válečky byly zcela naplněny substrátem tak, že substrát převyšoval vrchní okraj válečku a tvořil meniskus do výšky 1 cm. Substrát nebyl do válečku mechanicky městnán a vrchní okraje byly lehce zahlazeny špachtlí.

Ověřování funkčnosti bylo prováděno v několika etapách. První etapa zahrnovala sycení půdního vzorku vodou. Připravené vzorky byly posléze kladeny do vedle sebe do měřicího aparátu na sací médium (blok minerální vaty). Po umístění všech válečků do aparátu bylo přistoupeno k plnění aparátu vodou. Vodní hladina byla stabilizována přesně na úrovni vrchního okraje nasypaného substrátu. Plnicí otvor aparátu byl zakryt deskou zamezující výpar vody. Takto naplněný aparát byl ponechán 24 hodin v klidovém stavu. Vzorky jsou po čtyřadvaceti hodinách plně nasyceny vodou. Po uplynutí doby nutné k nasycení vzorků bylo přistoupeno k vážení jednotlivých vzorků v plně nasyceném stavu. Každý jednotlivý vzorek byl vyjmut z aparátu, zvážen a vrácen opět do lázně na původní místo. Po ukončení vážení bylo přistoupeno k fázi sací. Za pomoci výpustného ventilu byla snížena hladina vody tak, aby vzdálenost hladiny a středu válečku byla 10 cm. Tímto procesem je vyvolán v minerální vatě sací podtlak, simulující tlakové potenciály působící na substrát v praxi. V tomto stavu setrvávají půdní vzorky dalších 24 hodin, během kterých dochází k poklesu obsahu vody ve vzorku. Po

uplynutí časového intervalu jsou vzorky vyjmuty z aparátu a jednotlivě zaznamenány jsou hmotnosti. Následuje stanovení hmotnosti měřeného vzorku bez obsahu vody. Váleček naplněný substrátem po předchozích měřeních umístíme do vysoušecí pece a necháme vysychat při 105 °C 24 hodin. Po uplynutí časového intervalu zcela vysušený vzorek půdy vyjmem z vysoušecí pece a zvážíme.

Posledním krokem je zvážení kalibrovaných ocelových válečků o objemu 500 ml.



Obr. 4. Sycení vzorků substrátu vodou v aparátu na měření retence (Ortiz, 2014)

3.3. Postupy použité při sběru a vyhodnocování dat

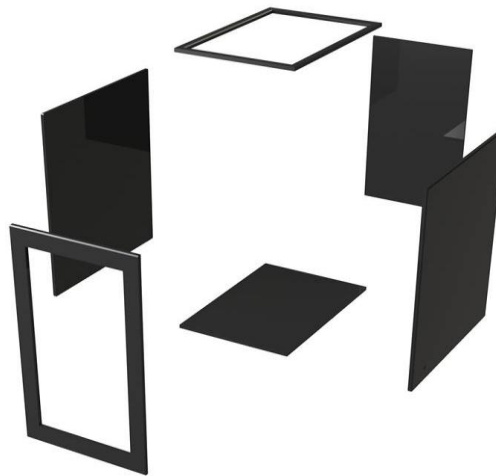
Naměřené hodnoty byly zaznamenány v papírové i elektronické podobě. Primární naměřená data v laboratoři byla zaznamenávána do tabulek v papírové podobě. Takto evidovaná data slouží jako podklady pro přepis do elektronické podoby. Papírové tabulky jsou archivovány pro případnou kontrolu. Data byla dále zaznamenána v elektronické podobě do programu Microsoft Excel. Naměřené hodnoty zaneseny do naformátovaných tabulek, které automaticky počítaly výsledné hodnoty. Pro snadnější odhalení případných nesrovnalostí a možných chyb byl program naformátován tak, že automaticky zobrazoval data graficky, což umožňovalo vidět možní chyby, které by

byly ověřeny na archivovaných primárních datech. Teprve po zaevidování dat do elektronické podoby byl měřený substrát odstraněn z válečků a nahrazen novým.

3.4. Vlastní návrh aparátu

Hlavním kritériem návrhu a následné konstrukce aparátu bylo jeho budoucí využití v terénních podmínkách. Podle toho byly odvozovány inovační postupy, materiál na výrobu i výrobní praktiky. Důraz byl kladen na odolnost, spolehlivost aparátu a přesnost jeho měření.

Prvním krokem bylo vytvoření elektronického modelu aparátu. Modelace přístroje byla provedena v počítačovém programu SolidWorks. Jako optimální tvar byl zvolen tvar kvádrový, s obdélníkovým půdorysem, bokorysem a nárysem (viz Obr.). Velikost aparátu byla zvolena tak, aby pohodlně obsáhl šest ocelových válečků na půdní vzorky o objemu 0,5 l a zachoval si při těchto parametrech transportní komfort.



Obr. 5. Model boxu (Ortiz, 2014)

Čelní strana aparátu byla navržena jako rám, který bude vyplněn čirým materiálem. Cílem této modifikace bylo umožnit pohled do samotného aparátu. Taktéž vrchní deska je rámového provedení. Slouží jako plnicí otvor. Sestavený model je tedy složen z celkového počtu sedmi dílů. Podstavy o rozměrech 250 × 400 mm, čelní strany 450 × 250 mm, vnitřní výřez 350 × 200 mm, dvou bočních desek o rozměrech 450 × 400 mm, zadní desky o rozměru 450 × 250 mm a vrchního rámu 250 × 400 mm.

Po vyprojektování modelu bylo přistoupeno k realizaci. Materiálem, který byl použit na výrobu boxu pro své dobré vlastnosti (jako je především nízká hmotnost, chemická stálost a odolnost proti mechanickému poškození) byl zvolen černý, technický polypropylén. (materiál odpovídající příslušné ČSN EN 15 013, ČSN EN 14 632). Zvoleny byly prefabrikované vytlačované desky o mocnosti 8 mm, které byly do finálních rozměrů vyřezány přímočarou pilou. Materiál přední stěny byl zvolen čirý polykarbonát mocnosti 6 mm. Jako nejlepší varianta spojení prefabrikovaných polypropylenových desek bylo z důvodu použití aparátu zvoleno svařování. Čelní polykarbonátová deska byla vzhledem k odlišnosti podkladového materiálu (nemožnost sváření) přilepena tmelem. Do spodního levého rohu byl vyvrtán otvor průměru 9 mm na vypouštěcí dvoucestný prefabrikovaný, mosazný ventil. Na tento ventil byla instalována hadička z PVC o délce 800 mm, která slouží jako výpust'.

Celkovou výrobní realizaci provedla firma Ekoplast Telč s.r.o.



Obr. 6. Box po sváření (Ortiz, 2014)

Posledním krokem bylo zvolení vhodného materiálu, který by dostatečně simuloval sací schopnosti kořenového systému rostlin, který svým transpiračním proudem čerpá zadržanou vodu z půdního prostředí. Aparát vychází z vlastností pískového tanku, proto by bylo vhodné použít jako sací médium jemnozrnný písek. Nicméně jeho použitím bychom navýšili hmotnost celého zařízení na tolik, že by bylo znemožněno jeho praktické a pohodlné využití v terénních podmínkách. Jako optimálním materiálem, který je schopen dostatečně simulovat dané podmínky, byla zvolena

minerální vata. Díky svým vlastnostem, jako je nízká váha, pórovitá konzistence a vysoká sorpční schopnost, je ideálním prostředkem pro simulaci sacího tlaku v aparátu, určením pro terénní použití.

Mezi další varianty sacích médií můžeme akceptovat molitan větší objemové hmotnosti (např. $230 \pm 10\%$ kg/m³ ČSN EN ISO 845), minerální vaty, skelná vata, lisovanou vlněnou nebo textilovou plst'. Z materiálů vhodných pro laboratorní podmínky můžeme vyjmenovat například jemnozrnný křemelinový písek.



Obr. 7. Schéma měřícího aparátu (sestupně): válečky se vzorky substrátu, minerální vata, box. Přední polykarbonátová deska (vlevo), výpustný ventil (vpravo).

4. VÝSLEDKY

Na základě výše uvedené metodiky byla získána série výsledků. Provedena byla tři série měření. Každá série měření zahrnuje pět vzorků stejného substrátu. Měřená hodnoty byly zaznamenány do tabulek. Celý soubor měření zobrazuje tabulka číslo 2.

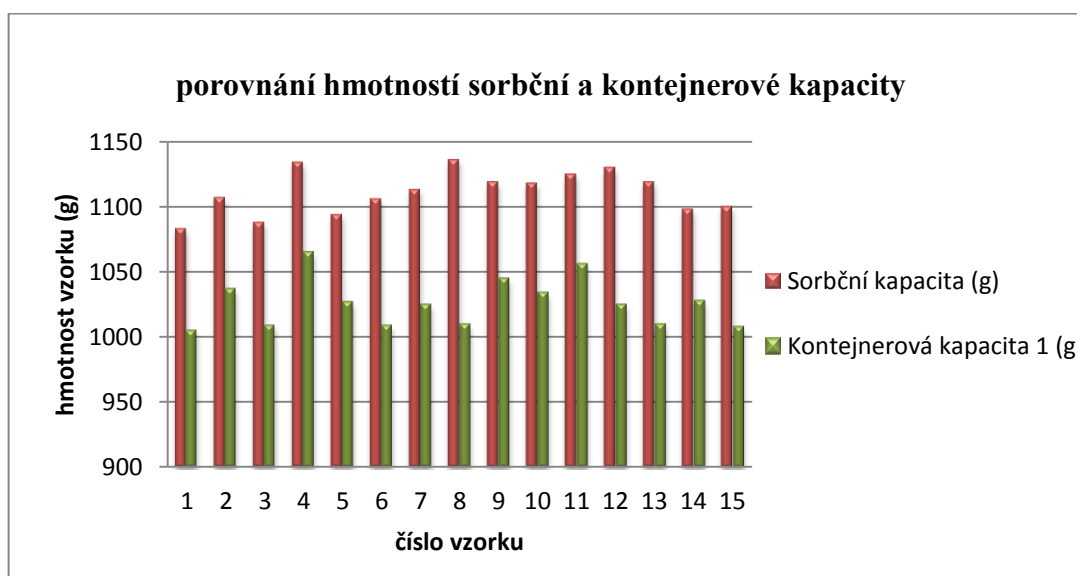
Tab. 2. Tabulka měření retence vody v kompostu v měřicím aparátu.

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Slehnutí půdy po nasycení (mm)*	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sorbční kapacita (g)	1083	1107	1088	1134	1094	1106	1113	1136	1119	1118	1125	1130	1119	1098	1100
Kontejnerová kapacita měření 1 (g)	1005	1037	1009	1065	1027	1009	1025	1010	1045	1034	1056	1025	1010	1028	1008
Kontejnerová kapacita měření 2 (g)	1000	1029	1000	1058	1020	1000	1015	1001	1039	1028	1050	1015	1003	1016	1000
Hmotnost suchého vzorku (g)	212	218	213	219	214	215	219	215	220	218	217	213	215	221	215
Slehnutí půdy po vysušení (mm)	25	25	25	25	25	25	20	25	18	20	25	25	25	25	25
Výsledná hmotnost zadržené vody (g)**	793	819	796	846	813	794	806	795	825	816	839	812	795	807	793

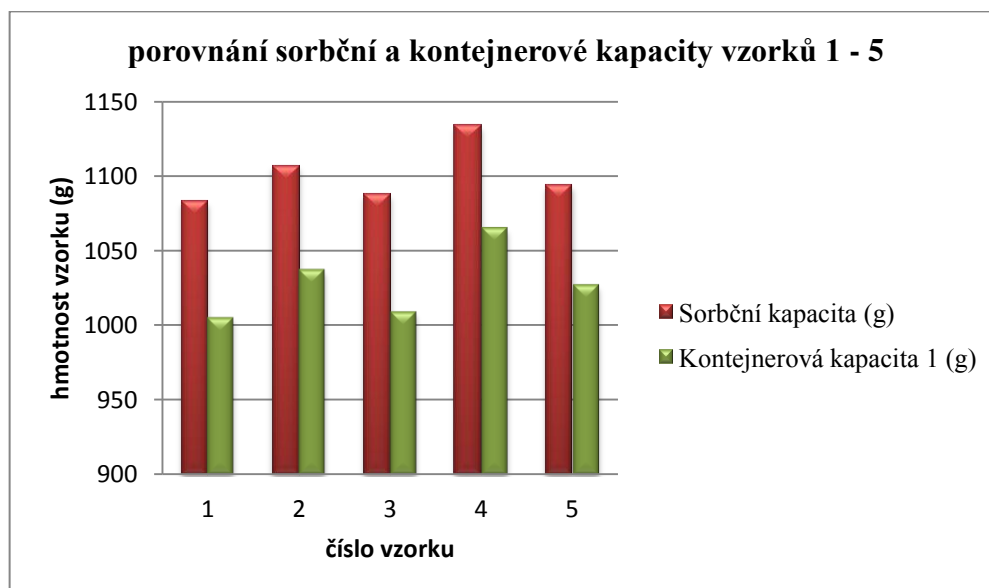
Pozn.: *) změna výšky substrátu ve válečku **) výsledná hmotnost – rozdíl hmotností kontejnerové kapacity (KK) a hmotnosti půdy po vysušení.

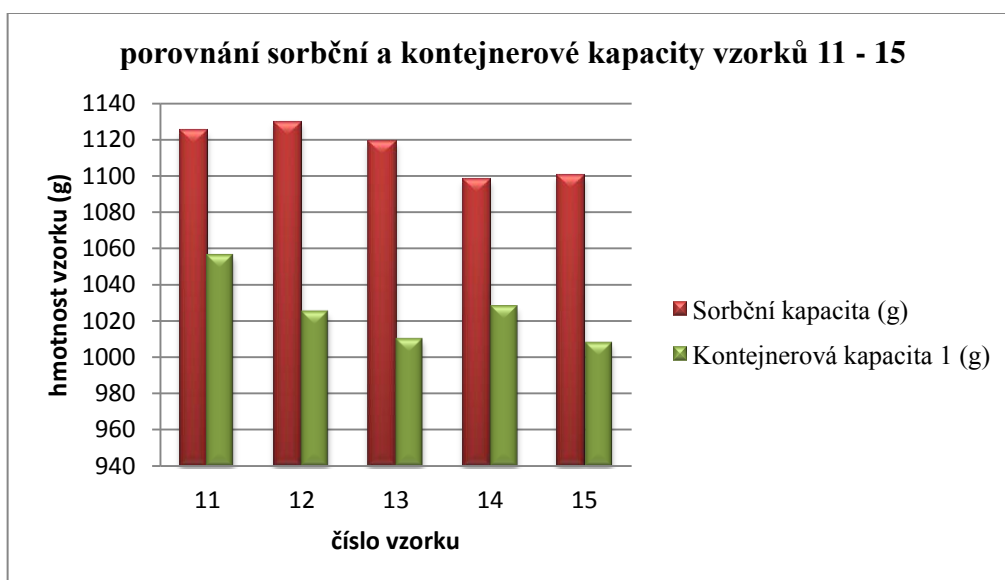
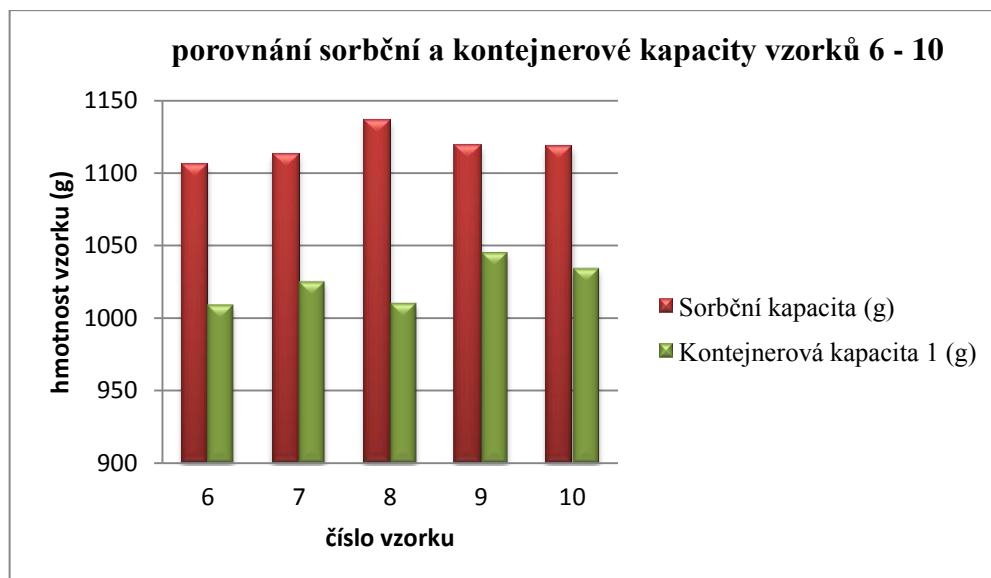
Z uvedených tabulek měření jasně vyplývá trend všech testovaných vzorků. Po nasycení substrátu vodou dojde k vytěsnění vzduchu ze substrátu. Přirozenou reakcí substrát poklesne. Ve všech případech naprosto shodně o 5 mm. Po plném nasycení vodou a následném zvážení vykazují všechny vzorky velice podobnou schopnost sycení. Hodnoty se pohybují v rozmezí 1083 g až 1136 g. Průměrná hmotnost plně nasyceného vzorku je 1111 g.

Po navození sacího tlaku byly po čtyřiaadvaceti hodinách vzorky zváženy. Průměrná hmotnost vzorků činila 1026,2 g. Porovnáme-li hmotnosti plně nasyceného vzorku se vzorkem vystaveným sacímu tlaku po dobu 24 hodin, zjistíme, že obsah vody ve vzorku je oproti plně nasycenému vzorku zhruba poloviční ve všech případech.



Obr. 8. Porovnání hmotností sorpční a kontejnerové kapacity





Obr. 9. 10. 11. Porovnání vodních kapacit u jednotlivých měřených vzorků

Uvedené grafy zobrazují závislost sorbční a kontejnerové kapacity. První graf vyobrazuje závislosti všech měřených hodnot. Můžeme interpretovat hodnoty maximálního nasycení vzorku substrátu vodou. Tyto se pohybují v rozmezí 1083 – 1136 g vzorku. Graf 1 až 3 zobrazuje sorpční poměr ve srovnání s kontejnerovou kapacitou vzorku a to pro každé měření zvlášť (jedno měření po šesti válečcích substrátu). Poměr obsahu vody kontejnerové kapacity ku kapacitě sorpční je u všech vzorků po čtyřadvaceti hodinách přibližně 60%. Z uvedených výsledných hodnot je hodnota průměru 809 g vody ve vzorku substrátu. Průměrná odchylka činí 13,5 g vody

4.1. Statistické zhodnocení souboru naměřených dat

Funkčnost inovovaného aparátu byla posouzena podle homogenity naměřených dat. Byl měřen stejný materiál (kompost) v celkem 15 vzorcích ve třech sériích měření po pěti vzorcích. Statisticky vyhodnocován byl celý soubor vzorků. Statisticky byla hodnocena data sorpční kapacity, kontejnerových kapacit 1 a 2, hmotnosti vysušeného vzorku a jako poslední byla hodnocena data výsledné hmotnosti zadržené vody.

Tab. 3. Statistické hodnocení dat: Sorbční kapacita

charakteristika	označení	hodnota	jednotka
průměr	\bar{x}	1111,33	g
medián	Med(x)	1113	g
průměrná odchylka	σ	13,77	g
variační rozpětí	R	53	g
Q_{\min}	Q	0,094	
Q_{\max}	Q	0,037	

Z tabulky číslo 3. můžeme interpretovat, že průměrná hodnota sorpční kapacity dosahuje hodnoty 1111,33 g. Průměrná odchylka přitom činí 13,77 g vody. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí 1083 – 1136 g, tedy ve variačním rozpětí 53 g vody.

Tab. 4. Statistické hodnocení dat: Kontejnerová kapacita 1

charakteristika	označení	hodnota	jednotka
průměr	\bar{x}	1026,2	g
medián	Med(x)	1025	g
průměrná odchylka	σ	14,48	g
variační rozpětí	R	60	g
Q_{\min}	Q	0,050	
Q_{\max}	Q	0,150	

Z tabulky číslo 3. interpretujeme, že průměrná hodnota kontejnerové kapacity (obsahu vody po působení sacího potenciálu) je 1026,2 g. Nejnižší hodnota měření byla 1005 g a nejvyšší hodnota byla 1065 g. Průměrná odchylka v datech je 60 g.

Tab. 5. Statistické hodnocení dat: Kontejnerová kapacity 2

charakteristika	označení	hodnota	jednotka
průměr	\bar{x}	1018,26	g
medián	Med(x)	1015	g
průměrná odchylka	σ	15,25	g
variační rozpětí	R	58	g
Q_{\min}	Q	0,017	
Q_{\max}	Q	0,137	

Z tabulky můžeme interpretovat rozdíly oproti tabulce předchozí (Tab. 4.). Průměr souboru je nižší, tedy 1018,26 g. Na druhou stranu průměrná odchylka činí oproti Tab. 4. 15,25 g. Důsledek tohoto jevu zapříčiněn delším časovým intervalem, po který byly vzorky substrátu vystaveny sacímu tlaku (oproti první kontejnerové kapacitě).

Tab. 6. Statistické hodnocení dat: Hmotnost suchého vzorku

charakteristika	označení	hodnota	jednotka
průměr	\bar{x}	216,26	g
medián	Med(x)	215	g
průměrná odchylka	σ	2,41	g
variační rozpětí	R	9	g
Q_{\min}	Q	0,11	
Q_{\max}	Q	0,11	

Tabulka číslo 6. potvrzuje homogenitu zvoleného substrátu. Průměrná váha vysušených vzorků je 216,26 g a medián je velmi blízký průměru (215 g). Průměrná odchylka činí pouhých 2,41 g, což může být zapříčiněno například nestejným navrstvením substrátu do válečku.

Tab. 7. Statistické hodnocení dat: Výsledná hmotnost zadržené vody

charakteristika	označení	hodnota	jednotka
průměr	\bar{x}	809,93	g
medián	Med(x)	807	g
průměrná odchylka	σ	13,39	g
variační rozpětí	R	53	g
Q_{\min}	Q	0,01	
Q_{\max}	Q	0,13	

Tabulka číslo 7. statisticky hodnotí data výsledných hmotností zadržené vody. Průměrná hodnota je 809,93 g vody ve vzorku substrátu, medián činí 807 g. Průměrná odchylka výsledných dat je 13,39 g vody, z čehož lze vyvodit závěr, že přístroj měří s poměrně malou odchylkou. Variační rozpětí je 53 g vody. Tato hodnota může být zapříčiněna například nestejným vrstvením hlíny do válečku, nebo například nepatrným zhutněním hlíny při jejím vrstvení do válečku.

4.2. Výsledky testování aparátu

Z naměřených dat vyplývá, že použití aparátu v terénních podmínkách je reálné. Objem aparátu splňuje požadavky na jeho kapacitu, možnost měření šesti vzorků současně je plně dostačující. Sací médium (minerální vata) dostatečně simuluje tlakové potenciály působící v praxi na substrát. Grafy 9, 10 a 11 reprezentující jednotlivá měření a jasně značí trend měření ukazující na získané výsledné hmotnosti retenční vody při navozeném sacím tlaku cca -1 kPa (snížení hladiny vody od středu válečku na minerální vatu o 10 cm). Výsledky jasně ukazují, že funkčnost aparátu měřícího retenci vody v substrátu je adekvátní k jeho konstrukci.

5. DISKUSE

5.1. Teoretické porovnání s jinými způsoby stanovení retence

Vyvinutý měřicí aparát je svojí jednoduchou konstrukcí ojedinělý. Vzhledem k nutnosti použití měřicího přístroje v terénu v lesnické praxi, je použití sacího média (minerální vaty) o nízké hmotnosti ideální. Přístroj spolehlivě simuluje podmínky působící na substrát v praxi, vyniká nízkou hmotností a možností snadné manipulace. V porovnání s ostatními přístroji (především laboratorními) u sacího média (minerální vaty) nedochází v průběhu měření k výrazným změnám, jako jsou například u pískových nebo kaolínových médií vyplavování v průběhu měření. Největší funkční podobnosti dosahuje měřicí aparát u pískového tanku. Pískový tank je však pro praktické využití v terénu zcela nevhodný (vysoká hmotnost, finanční nákladnost, složitá obsluha). U pískového tanku je nutné před testováním substrátů znát jejich vlastnosti (např. objemová hmotnost), což u měřicího aparátu na bázi minerální vaty odpadá.

Z provozních důvodů bylo přistoupeno k sérii patnácti měření. Pro ověření funkčnosti aparátu je tento počet plně dostačující, neboť výstupní data jsou homogenní a vykazují stejný trend. Série měření byla prováděna dle normy EN 13 041 (metoda pro hodnocení hydrofyzikálních vlastností substrátů). Při ověřování funkčnosti bylo zjištěno, že lze zkrátit intervaly mezi jednotlivými fázemi měření (především u sycení vzorku vodou a měření kontejnerové kapacity). Toto umožňuje zkrátit dobu nutnou pro měření v terénních podmínkách. Minimum určené normou EN 13 041 stanovuje dobu nutnou pro sorpci substrátu 48 hodin, nicméně stejných výsledků bylo dosaženo i zkrácení doby sycení vzorku na polovinu, tedy 24 hodin.

Pro praxi je důležitá hmotnost měřicího přístroje. Tato se dá například redukovat použitím plastových měrných válečků.

5.2. Zjištěné klady a zápory

Konkrétní řešení měřicího aparátu vyniká především jednoduchostí zpracování. Výhodou je absence odnímatelných dílů a celková jednoduchost měření. Použitý materiál je odolný k mechanickému poškození. Kapacita měřicího aparátu pro šest vzorků je dostačující, nicméně přichází v úvahu její zvětšení (umožnění větších sérií

měření). Zvětšení kapacity by bylo ovšem realizováno na úkor hmotnosti a pohodlné manipulace s přístrojem. Po ukončení měření je dobrý měřicí aparát vyčistit. Provozní čištění spočívá ve vyjmutí vlhké minerální vaty, která se ponechá mimo aparát do doby, než zcela proschne (zamezí se tak usazování nečistot na povrchu vaty). Dále se vyčistí vnitřní prostor od případných nečistot ze substrátu. Čištění je realizováno manuálním odstraněním nečistot a vypláchnutím aparátu vodou.

Během testování se vyskytl problém s těsností čelní polykarbonátové desky. Netěsnost byla způsobena rozdílností ve vlastnostech užitých materiálů. Přední deska byla lepena plastickým tmelem na umělohmotné materiály (polykarbonát a technický polypropylen není možno vakuově svářet dohromady). Po delší době používání však ztrácí tmel své hydroizolační vlastnosti a netěsní. Situace byla řešena provizorně spojením styčných ploch za pomoci vteřinového lepidla Loctite 4011 (ISO 10993). Další inovace aparátu bude spočívat v ukotvení přední polykarbonátové desky za pomoci samořezných vrtů. Tento způsob bude kombinován s aplikací libovolného izolačního tmelu.

Nespornou výhodou oproti laboratorním aparaturám je i cena inovované měřicí aparatury. Celkové náklady na výrobu činily 1600 Kč včetně práce.

6. ZÁVĚR

Na základě odborných konzultací s výzkumnými středisky byl vytvořen návrh měřicího aparátu, který byl dále inovován. Navržená konstrukce vyhovuje kritériím vzniklým analýzou potřeb, která byla v práci provedena. Na sérii patnácti měření byla ověřena schopnost aparátu měřit přesná data. Ta byla na základě jednoduchých statistických analýz vyhodnocena. Na základě praktického použití byly navrženy úpravy, které výrazně nemění návrh, pouze ho doplňují a umožňují použití měřicího aparátu v lesnické praxi. Aparát bude dále používán a inovován na Ústavu inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny při testování melioračních a rekultivačních substrátů. Další spolupráce v oblasti inovace se koná s Výzkumným ústavem pro krajinu a okrasné zahradnictví v Průhonicích, s jehož odbornou spoluprací budou testovány substráty s vyšším podílem organické hmoty, kde lze předpokládat větší variabilitu získaných dat. U dalších měření se bude testovat preciznost získávaných dat.

7. SUMMARY

The theses examine assessment of water retention in forestry recultivation substrates used for forestry recultivation. There were created the model of measuring instrument for testing soil and substrate retention. After design was the measuring instrument manufactured and prepared for measurement. For measurement was used special substrate based on high content of organic matter. All data was recorded into the charts.

The resulting data show that the absorbent material (mineral wool) is able to simulate soil pressure potentials (same potentials which cause the root system in soils or substrates). There is direct relation between water retention and content of organic matter in substrate. More content of organic in substrate cause greater water retention. This is very important in forestry practice.

The designed apparatus will be testing and use in practice and use in the Department of Landscape Management. There will be upgraded in mensuration accuracy and will be tested on more specific substrates.

8. POUŽITÁ LITERATURA

BRAUD, A. 1990. Improved prediction of water-retention properties of Clary soil by pedological stratification. *Journal of Soil Science* 41, 491-497.

BUOL, S. W., HOLE, F. D., MCCRACKEN, R. J. 1973. *Soil Genesis and Classification*. Ames, Iowa State University Press, 360 s. ISBN 0-8138-1460-X.

CZELIS, R., SPITZ P. 2003. Retence vody v povodí při povodních (Retention of water in the catchments during floods). *Acta Hydrologica Slovaca*, 4(2), 233–241 (in Czech).

ČERMÁK, P. 2012. Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. Bakalářská práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně

DIMITROVSKÝ, K. 2011. Test results of selected tree species for forestry reclamations in the sokolov region, Praha, 56, 52-56

DUBSKÝ, M., ŠRÁMEK, F. 2008. Pěstební substráty s přidavkem kompostů, jejich příprava a hodnocení zpracovaná v rámci řešení výzkumného záměru. Certifikovaná metodika č. 2/2008-053, výstup výzkumného záměru č. MZP0002707301. VÚKOZ, Průhonice, 24 s.

FROUZ, J., NOVÁKOVÁ, A. 2005. Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development. *Geoderma* 129. 54–64.

GERLICH, V. 1972. Výzkum lesnické rekultivace převýšených výsypek a hald v oblasti OKD. Zbraslav, Výzkumný ústav meliorací.

HONZÍK, R. 2003. Využití odpadů při rekultivacích. *Biom.cz* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-pri-rekultivacich>>. ISSN: 1801-2655.

CHROUST, L. 1997. Ekologie výchovy lesních porostů: smrk obecný-borovice lesní-dub letní, porostní prostředí-růst stromů-produkce porostu. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 277 s. ISBN 80-238-0889-3

JANSKÝ, B. 2004. Water Retention in River Basins. Acta Universitatis Carolinae – Geographica, roč. 39, č. 1, in print.

KOVÁŘ, P. 2011. Metodika optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod a ekologickou stabilitu. Praha. Česká zemědělská univerzita. 48., (8–20).

KRYL, V., SIXTA, J., FRÖHLICH, E. 2002. Zahlazení hornické činnosti a rekultivace. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta hornicko-geologická. 79 s. ISBN 80-248-0111-6

KUBÁT, J., CERHANOVÁ, D., MIKANOVA, O., ŠIMON, T. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 34 s. ISBN 978-80-87011-65-2

KUBÍČEK, J. 2008. Rekultivace lokality po povrchové těžbě písku. Recultivations Locality/Places after Surfaces Mining Coal / Sand / Ore. Brno. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství

KUBÍK, V. 2006. Efekty organicky bohatých substrátů na půdní biotu. Diplomová práce. Brno, Masarykova univerzita.

LICHNER E. 1986. Solute movement observation in the field soils by means of radioactive tracers. Radioisotopy, 27(1). 7–19.

MIHÁLIKOVÁ. M. 2011. Pedotransferové funkce pro odhad hydrofyzikálních vlastností půd. Disertační práce, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze.

MINASNY, B. 2000. Efficient methods for predicting soil hydraulic. Doctoral thesis. University of Sydney. Dept. of Agricultural Chemistry and Soil Science, Faculty of Agriculture. Sydney. p. 352.

NEMES, A., RAWLS, W.J., PACHEPSKY, Y.A., VAN GENUCHTEN, M.T. 2006. Sensitivity Analysis of the Nonparametric Nearest Neighbor Technique to Estimate Soil Water Retention. *Vadose Zone Journal*. 5. 1222-1235.

ORTIZ, E., A. 2014. Grafické zpracování modelu měřicího aparátu v programu SolidWorks

PACHEPSKY, Y., RAWLS, W.J. 2004. Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology, *Developments in Soil Science* Vol. 30. Elsevier. p. 153-158. ISBN 978-0-444-51705-0.

PALÁT, M., PRUDKÝ, J. Modeling of natural water retention in the catchment basin of the Opava river during flood. *Beskydy*. 2013. sv. 2, č. 6, s. 109--116. ISSN 1803-2451.

POKORNÝ, E., FILIP, J., LÁZNIČKA, V., 2001: Rekultivace. Mendelova univerzita v Brně, ISBN 80-7157-489-9, 128 s.

PRASAD, M., O'SHEA, J. 1999. Relative breakdown of peat and non-peat growing media. *Acta Horticulturae* 481: 121–128.

SÁDLO, J., TICHÝ, L. 2002. Sanace a rekultivace po lomové a důlní těžbě: tržné rány v krajině a jak je léčit. Vyd. 1. Brno: ZO ČSOP, 35 s. ISBN 80-903121-1-x.

SMOLÍK, D., DIRNER, V. 2009. Význam rekultivace jako proces obnovy narušené biosféry, Výukový program Enviromentální vzdělávání, Evropský sociální fond ČR, 37-38, 60 s.

SPITZ, P., PRUDKÝ J. 2001. Metodika výpočtu retence vody v povodí při povodních. 1. vyd., Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 41 s. (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy), 27/2001.

ŠÍR M., TESAŘ M., LICHNER Ľ., SYROVÁTKA O. 2000. In-situ measurement of oscillation phenomena in gravity-driven drainage. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 37: 250–255.

ŠTÝS, S. 1997. Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. 2. vyd. Praha: SNTL, 678 s.

ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V. 2003. Prahový jav odtoku vody zo zóny aerácie pôdy (Water outflow from the soil vadose zone as a threshold phenomena). In: Hydrologie pôdy v malém povodí, ŠÍR M. (ed.) Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, pp. 97–102 (in Slovak)

ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V., KULHAVÝ, Z., ŠACH, F. 2006. Retence srážkové vody lesní půdou v horském povodí

TESAŘ M., ŠÍR M., KUBÍK F. 1990. Estimation of surface runoff using simulation of the soil water movement (Stanovení povrchového odtoku z přívalového deště obecného průběhu aplikací numerické simulace pohybu vody v zemině. Vodní hospodářství, 4., 149–153.

TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER Ľ., KUBÍK F. 2001. Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 49(6), 355–375

VERDONCK O., PENNINCK R., DE BOODT M. (1983). The Physical properties of different Horticultural Growing substrates. Acta Hort., 150, 155–160.

VOLNÝ, S. 1985. Deteriorizace a rekultivace krajiny. Brno, Vysoká škola zemědělská v Brně, 187 s

WÖSTEN, J.H.M., PACHEPSKY, Y.A., RAWLS, W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*. 251(3-4). 123-150.

MŽP ČR. 2014. Dostupné z WWW:

<[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vlivy_a_cinnosti/\\$FILE/popis_rekultivace-20080820.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vlivy_a_cinnosti/$FILE/popis_rekultivace-20080820.pdf)> [1.1. 2014]

Retention curves. 2014. Dostupné z WWW:

www.aardappelpagina.nl/xplorer/pagina/soilwater.htm [5.2.2014]

Types of substrates. 2014. University of Maryland. Dostupné z WWW:

<http://extension.umd.edu/publications/pdfs/fs871.pdf> [3.2.2014]