LABORATORNÍ POSTUPY PŘI ZJIŠŤOVÁNÍ PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ – ANALÝZY PROVÁDĚNÉ V RÁMCI PEDOLOGICKÉHO PRAKTIKA

V rámci pedologických praktik posluchači provádí analýzy půdních vlastností, jejichž postupy jsou níže popsány dle skript Rejšek (1999): *Lesnická pedologie – cvičení*. Výsledky analýz z laboratorních cvičení budou odevzdávány formou Závěrečného formuláře.

Obsah

I. Fyzikální vlastnosti ***3***

I.1. Konstantní hmotnost půdního vzorku stanovená vysoušením **3**

I.2. Měrná hmotnost stanovená pyknometricky **3**

I.2.1. Problematika stanovení 3
I.2.2. Pracovní postup 4
I.2.3. Výpočet 4
I.2.4. Vyhodnocení 4

I.3. Objemová hmotnost a objemová hmotnost redukovaná stanovená gravimetricky **5**

I.3.1. Problematika stanovení 5
I.3.2. Pracovní postup 5
I.3.3. Výpočet objemové hmotnosti ρ_w 6
I.3.4. Výpočet objemové hmotnosti redukované ρ_d 6
I.3.5. Vyhodnocení 6

I.4. Sušina a obsah vody ve vzorku podle ČSN 72 1110 (1959) a hmotnostní vlhkost podle ISO/DIS 11465 (1993) **6**

I.4.1. Problematika stanovení 6
I.4.2. Pracovní postup 7
I.4.3. Výpočet sušiny a hmotnostní vlhkosti 7
I.4.4. Vyhodnocení 8

I.5. Analýza fyzikálního válečku, půdní hydrolimity **9**

I.5.1. Problematika stanovení 9
I.5.2. Pracovní postup 10
I.5.3. Výpočet 10
I.5.4. Vyhodnocení 12

I.6. Výpočty pórovitosti, objemové vlhkosti, provzdušněnosti, minimální vzdušně kapacity, relativní kapilární vlhkosti a nasycenosti pórů. **13**

I.6.1. Problematika stanovení 13
I.6.2. Výpočet pórovitosti P 14
I.6.3. Výpočet objemové vlhkosti Θ 14
I.6.4. Výpočet provzdušněnosti A 14
I.6.5. Výpočet minimální vzdušné kapacity A_{MKK} 14
I.6.6. Výpočet relativní kapilární vlhkost Rv 14
I.6.7. Výpočet nasycenosti pórů R_{NP} 14
I.6.8. Vyhodnocení 15

II. Fyzikálně-chemické vlastnosti ***15***

II.1. Půdní reakce aktivní a půdní reakce potenciální výměnná podle VÁLKA (1954) a ISO/DIS 10390 (1992) **15**

II.1.1. Problematika stanovení 15
II.1.2. Pracovní postup 16

II.1.3. Vyhodnocení 17

II.2. Půdní výměnná sorpce a výpočet stupně nasycení sorpčního koloidního komplexu bazickými kationy podle KAPPENA (1929) 17

II.2.1. Problematika stanovení a zdroje možných chyb 17
II.2.2. Pracovní postup pro stanovení Ha 20
II.2.3. Výpočet Ha 20
II.2.4. Pracovní postup pro stanovení S 21
II.2.5. Výpočet S 21
II.2.6. Výpočet T (KVK) 21
II.2.7. Výpočet V 22
II.2.8. Vyhodnocení 22

III. Chemické vlastnosti půd 23

III.1. Stanovení obsahu humusových látek ztrátou žíháním dle ČSN 721110 (1959) 23

III.1.1. Problematika stanovení 23
III.1.2. Pracovní postup 24
III.1.3. Výpočet 24
III.1.4. Vyhodnocení 24

III.2. Stanovení obsahu karbonátů volumetricky 25

III.2.1. Problematika stanovení 25
III.2.2. Pracovní postup 26
III.2.3. Výpočet 26
III.2.4. Vyhodnocení 26

III.3. Stanovení elektrické vodivosti 27

III.3.1. Problematika stanovení 27
III.3.2. Pracovní postup 28
III.3.3. Vyhodnocení 29

IV. Biochemické vlastnosti 29

IV.1. Aktivita půdní katalázy podle KÁŠE (1954) 29

IV.1.1. Problematika stanovení 29
IV.1.2. Pracovní postup 30
IV.1.3. Vyhodnocení 31

IV.2. Aktivita půdních celuláz podle CHRISTENSENA (1910) v modifikaci GRUNDY (1967) 31

IV.2.1. Problematika stanovení 31
IV.2.2. Pracovní postup 32
IV.2.3. Výpočet 32
IV.2.4. Vyhodnocení 33

IV.3. Stanovení indexu dekompozice pomocí standardizovaných čajových sáčků 33

IV.3.1. Problematika stanovení 33
IV.3.2. Pracovní postup 34
IV.3.3. Výpočet a vyhodnocení 35

I. FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

I.1. Konstantní hmotnost půdního vzorku stanovená vysoušením

Cílem vysoušení do konstantní hmotnosti je odstranění nekrystalické půdní vody z daného vzorku a to bez změn v organické hmotě, kterou tento vzorek obsahuje.

Půdní vzorek je vysušen do konstantní hmotnosti tehdy, pokud již neztrácí nic ze své hmotnosti.

Vysušení do konstantní hmotnosti je dosaženo při minimálně čtyřhodinovém vystavení půdního vzorku **teplotě 105°C.** Po čtyřech hodinách je úbytek (nekrystalické) půdní vody většinou takový, že ani delším setrváním ve vyhřáté sušárně se na hmotnosti vzorku již nic nemění. Z exaktního hlediska to znamená, že při použití analytických vah s přesností **±0,001 g** i po uplynutí delší doby (tj. šest, osmi, deseti hodin) nejsme u vzorku vyjmutého ze sušárny schopni zjistit žádné další snižování hmotnosti.

Vysušení vzorku do konstantní hmotnosti se provádí v elektrické horkovzdušné sušárně a to většinou pomocí hliníkových vysoušeček (event. smaltovaných misek).

Na vychladnutí se vysušené vzorky zpravidla vloží do exsikátoru naplněného buď vysušeným silikagelem či granulovaným chloridem vápenatým.

Volba teploty 105°C je podmíněna skutečností, že při ní ještě nedochází k degradaci lignino-sacharidových polymerů organických půdních látek. Vzorek vysušený do konstantní hmotnosti je tedy vzorkem, kde nedošlo ke změně ve formě a obsahu jeho organické hmoty.

Stanovení konstantní hmotnosti navazuje na stanovení obsahu sušiny a stanovení hmotnostní vlhkosti (viz kapitolu I.4).

I.2. Měrná hmotnost stanovená pyknometricky

I.2.1. Problematika stanovení

Měrná hmotnost (ρ_s; specifická hmotnost, hustota pevné půdní fáze) je dána hmotností 1 cm^3 půdy zcela zbavené plynné i kapalné fáze. Tato hodnota sama o sobě nemá zásadní lesnický význam. Její stanovení je však stanovením rutinním, neboť na jeho základě lze určit hodnotu lesnicky mimořádně významnou: procento půdní pórovitosti.

Obecně platí, že měrná hmotnost je jednou ze základních fyzikálních charakteristik každého materiálu – tedy i půdy. Vzhledem k tomu, že pevná půdní fáze lesních půd je složena z látek organických i minerálních, bude její hodnota záviset především na podílu organických látek v matrici daného horizontu a na chemickém složení horninotvorných minerálů půdotvorného substrátu daného lesního stanoviště.

Měrná hmotnost lesní půdy je vyšší při vyšším obsahu prvků o vysoké atomové hmotnosti (z hlediska možného výskytu v našich lesních půdách by se mohlo jednat především o antimon, baryum, cín, kadmium, olovo a rtuť) a naopak je nižší v případě podílu vody ve vzorci daného horninotvorného minerálu.

Konkrétní poměry v pevné půdní fázi lze zjistit třemi technikami:

- volumetrickými metodami s využitím Archimedova zákona;
- použitím tzv. těžkých kapalin (imersní metoda);
- pyknometricky.

Navrhovaná metoda je metodou pyknometrickou. Pyknometr je přesně kalibrovaná tenkostěnná skleněná nádobka s úzkým hrdlem a zabroušenou skleněnou zátkou s kapilárním

otvorem. Jeho velikost je úměrná objemu analyzovaného vzorku – při vlastní analýze je pyknometr vzorkem zaplněn maximálně do čtvrtiny své výšky.

V některých metodikách se provádí odvzdušnění půdních vzorků mimo pyknometr. Daný postup je poté sice metodicky jednodušší, ale manuálně nesrovnatelně náročnější: problém není ani tak v rozstřikování půdní suspenze vně jeho zahřívaného objemu, jako spíše v rutinně nesnadno zvládnutelném kvantitativním vpravování zchladlé suspenze do (stále se ucpávajícího) pyknometru pomocí drátku protaženého skrz jeho hrdlo.

I.2.2. Pracovní postup

*Pozn.: všechna vážení jsou **se zátkou**, zahřívání obsahu **bez zátky**. Doplňování destilovanou vodou je nutné provádět tak, aby v pyknometru nezbyly žádné vzduchové bubliny. Vážení provádíme po celou dobu stanovení na stejných laboratorních vahách.*

- *vzorek jemnozemě I vysušíme do konstantní hmotnosti;*
- *vyčištěný, očíslovaný Gay-Lussacův [gélisakův] pyknometr naplníme až po okraj destilovanou vodou a zátku při jejím současném pootočení zasuneme do hrdla tak, aby voda prostříkla kapilárou, pyknometr osušíme a zvážíme;*
- *pyknometr vyprázdníme, umístíme na analytickou váhu a na vynulované váze do něj vsypeme půdní vzorek, přibližně do ¼ výšky pyknometru (cca 10 – 15 g u minerálních půd a cca 3-5 g u organických půd); přesnou hmotnost navážky vzorku zaznamenáme;*
- *pyknometr naplníme asi do třetiny destilovanou vodou a bez vážení jej zahříváme na pískové lázni nebo na plotně až do varu. Při zahřívání je nutno dbát na nevykypění jeho obsahu. Zároveň občasným mícháním krouživým pohybem oplachujeme ze stěn pyknometru nánosy vzorku, které se tvoří během varu;*
- *při vysušení do konstantní hmotnosti byla ze vzorku odstraněna tekutá půdní fáze, při provaření veškerá plynná půdní fáze a nyní pyknometr necháme vychladnout na pokojovou teplotu;*
- *pyknometr opět doplníme destilovanou vodou, zazátkujeme tak, aby kapilára byla plná vody a zvážíme.*

I.2.3. Výpočet

$$\rho_s = \frac{\mathrm{m1}}{(\mathrm{m1}+\mathrm{m2})-\mathrm{m3}} \qquad [\mathrm{g \cdot cm^{-3}}]$$

kde

m_1 – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti (navážka vzatá ke stanovení)

m_2 – hmotnost uzavřeného pyknometru s destilovanou vodou

m_3 – hmotnost uzavřeného pyknometru s rozvařeným vzorkem a s destilovanou vodou

I.2.4. Vyhodnocení

Vyjdeme-li z odhadu absolutních počtů atomů jednotlivých prvků zemské kůry (MASON a MOORE, 1992), je 99,5 % jejich počtu tvořeno pouze 9 z celkových 109 pojmenovaných prvků periodické soustavy. Vyjdeme-li z odhadu *hmotnostního* podílu jednotlivých prvků (STEJSKAL, 1968), na 90 % hmotnosti zemské kůry potřebujeme pouze 8 prvků. Z této asymetrie vyplývá mimořádný význam živců ($\rho_s \approx 2{,}6$ g·cm^{-3}) a křemene ($\rho_s \approx 2{,}65$ g·cm^{-3}).

Měrná hmotnost minerálních horizontů tak nutně kolísá mezi 2,5 – 3,0 g·cm^{-3}.

Vzhledem k tomu, že měrná hmotnost se zvyšujícím se podílem organických látek zákonitě klesá, v případě povrchových organominerálních Ah horizontů tak většinou nepřesahuje 2,0 $g \cdot cm^{-3}$. V případě nadložních horizontů měrná hmotnost zpravidla nepřesahuje 1,5 $g \cdot cm^{-3}$.

Použitá literatura:

MASON B. A MOORE C.B. (1982) *Principles of Geochemistry*. 4. vydání, John Wiley, New York.

STEJSKAL J. (1968) Složení zemské kůry. In *Lesnická geologie* (J. Stejskal, J. Húsenica, B. Hruška a O. Brunclík), s.10-19. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

I.3. Objemová hmotnost a objemová hmotnost redukovaná stanovená gravimetricky

I.3.1. Problematika stanovení

Objemová hmotnost (ρ_w) je hmotnost objemové půdní jednotky v původním (přirozeném) neporušeném stavu, tj. včetně momentálního (okamžitého) obsahu plynné a kapalné fáze v půdních pórech. Z toho důvodu jsou hodnoty objemové hmotnosti vždy nižší než hodnoty měrné hmotnosti.

Projevuje se ve čtyřech směrech:

- ovlivňování diferenciačních půdních procesů;
- ovlivňování obsahu a forem půdní vody;
- ovlivňování půdní aerace;
- ovlivňování půdní konzistence.

Popisuje aktuální stav půdy, který odráží aktuální klimatické podmínky a půdní vlhkost – proto se jedná o hodnotu relativně proměnlivou, která podléhá sezónní dynamice. Hodnoty objemové hmotnosti dále závisí na půdní struktuře, pórovitosti a celkovém složení půdy.

Objemová hmotnost redukovaná (ρ_d) je hmotnost objemové půdní jednotky vysušené do konstantní hmotnosti a je vstupní veličinou pro výpočet procenta půdní pórovitosti.

Vlastní číselné hodnoty objemové hmotnosti a objemové hmotnosti redukované jsou podmíněny především čtyřmi parametry:

- tvarem a způsobem uložení primárních strukturních prvků (částic jednotlivých zrnitostních frakcí) i sekundárních strukturních prvků (půdních agregátů);
- podílem kapilárních pórů na dané půdní pórovitosti;
- obsahem humusu;
- měrnou hmotností jednotlivých horninotvorných minerálů, tvořících minerální podíl daného půdního horizontu.

Stanovení objemové hmotnosti se standardně provádí ve fyzikálním válečku (Kopeckého fyzikální váleček – viz kap. I.5.1).

I.3.2.Pracovní postup

- *používané očíslované fyzikální válečky i s oběma víčky si předem zvážíme;*
- *v rámci terénního šetření do fyzikálního válečku odebereme půdní vzorek daného horizontu;*
- *váleček s neporušeným půdním vzorkem o objemu 100 cm^3 se uzavře víčky z obou stran, v případě použití kovových víček se zafixuje dvěma do kříže orientovanými gumičkami a převeze do laboratoře;*

- *v laboratoři se váleček se vzorkem pečlivě očistí, položí bez víček na filtrační papír (proti sypání vzorku) a zváží;*
- *váleček se i s filtračním papírem dá vysoušet do konstantní hmotnosti;*
- *po vysušení se váleček se vzorkem vloží na vychladnutí do exsikátoru;*
- *po vychladnutí se váleček zváží.*

I.3.3. Výpočet objemové hmotnosti ρ_w

$$\rho_w = \frac{\mathrm{b-a}}{\mathrm{V}} \qquad [\mathrm{g \cdot cm^{-3}}]$$

kde:

b – hmotnost válečku s víčky s neporušeným vzorkem v původním stavu

a – hmotnost válečku s víčky

V – objem vzorku

I.3.4. Výpočet objemové hmotnosti redukované ρ_d

$$\rho_d = \frac{\mathrm{c-a}}{\mathrm{V}} \qquad [\mathrm{g \cdot cm^{-3}}]$$

kde

c – hmotnost válečku s víčky se vzorkem vysušeným do konstantní hmotnosti

a – hmotnost válečku s víčky

V – objem vzorku

I.3.5. Vyhodnocení

Hodnota objemové hmotnosti půdy u minerálních horizontů lesních půd kolísá v rozmezí od 1,1–1,6 $\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$; u vzorků některých písčitých půd dosahuje až 1,8 $\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$. S přibývajícím obsahem humusových látek objemová hmotnost klesá: u vzorků z organominerálních Ah horizontů se pohybuje okolo hodnoty 1 $\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$; u vzorků z čistě organogenních horizontů dosahuje méně než 0,5 $\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$.

Pro účely cvičení z pedologických předmětů na LDF je stanovení objemové hmotnosti a objemové hmotnosti redukované součástí komplexnější analýzy fyzikálních válečků (stanovení maximální vodní kapacity, maximální kapilární kapacity a početně odvozených veličin), viz kapitoly I.5 a I.6.

I.4. Sušina a obsah vody ve vzorku podle ČSN 72 1110 (1959) a hmotnostní vlhkost podle ISO/DIS 11465 (1993)

I.4.1. Problematika stanovení

Hmotnostní vlhkost patří k základním hydrofyzikálním vlastnostem lesní půdy. Hmotnostní vlhkost (*w*) se určí gravimetricky, a to buď z fyzikálního válečku, anebo ze směsného půdního vzorku. Je dána procentuálně vyjádřeným poměrem hmotnosti vody k hmotnosti konstantně vysušeného vzorku, což znamená, že udává kolik gramů vody připadá na konstantně vysušených 100 g půdy. Vyjadřuje se v hmotnostních procentech.

Obsah sušiny (w_{dm}) půdního vzorku se určí jako hmotnostní procentuální podíl suché masy na celkové hmotnosti půdy (v %) od 100 %.

Hodnoty hmotnostní vlhkosti a hmotnosti sušiny se určují po vysušení do konstantní hmotnosti.

Stanovení sušiny jakéhokoliv vzorku je stanovením mimořádně důležitým. Příčinou je skutečnost, že obsah volně vázané vody (tj. součtu obsahů vody adsorpční, vody kapilární a vody gravitační, resp. vody, která není účastna v chemických reakcích) je zcela rozdílný jak v různých vzorkách, tak i ve vzorku jednotlivém, je-li analyzován v různých časových odstupech.

Jednotná srovnávací hladina pro přepočty je nezbytná. Vzhledem k tomu, že volná půdní voda je voda odstranitelná při 105°C, je možno za tuto jednotnou srovnávací hladinu považovat hmotnost vzorku vysušeného do **konstantní hmotnosti**. Z hlediska praktického využití lze považovat obecně za konstantní hmotnost takový stav půdy, kdy se dalším vysoušením vzorku již jeho hmotnost nesnižuje. Z hlediska půdní analytiky konstantní hmotností přitom rozumíme takový stav, kdy se hmotnost vzorku za 1 h sušení změní max. o 0,5 % nebo o 2 mg. Sušina půdního vzorku je obecně procentuálně vyjádřenou hmotností pevné půdní fáze bez volné půdní vody (KROC, 1961; DAVÍDEK *et al.*, 1977; MELCER *et al.*, 1977; SEDLÁČEK, 1978) přičemž tohoto stavu – který je vždy i u téhož vzorku zcela jedinečným právě pro daný okamžik měření – dosáhneme vystavením vzorku teplotě 105°C po dobu alespoň šesti hodin (zpravidla je ale doba dostatečná pro vysušení většiny půdních vzorků 16–24 hod. V případě vyššího obsahu organické hmoty není pro dosažení konstantní hmotnosti zanedbatelný rozklad organických látek (např. v rašelinných půdách), proto je možné vysoušet pouze při teplotě 50°C, nebo využít vakuovou sušárnu.

V případě stanovení sušiny je hmotnost vody ve vzorku vztažena k hmotnosti vzorku s původní vlhkostí. V případě stanovení hmotnostní vlhkosti je hmotnost vody ve vzorku vztažena buď k hmotnosti vzorku s původní vlhkostí, nebo k hmotnosti vysušeného vzorku, v závislosti pro jakou skupinu půdních rozborů se hmotnostní vlhkost stanovuje (viz kap. I.4.3).

Vlastní stanovení lze provádět buď ve fyzikálním válečku, nebo pomocí hliníkové vysoušecí misky.

I.4.2. Pracovní postup

- *do vysoušecí misky se vloží vzorek s původní vlhkostí. V případě organominerálního Ah horizontu se navažuje ±10 g, v případě podpovrchových a substrátových horizontů 10-15 g;*
- *vzorky ve vysoušečce se zváží na analytických vahách s nejvyšší dosažitelnou přesností;*
- *vzorky se suší při teplotě 105°C alespoň čtyři hodiny;*
- *vysoušečka se vzorkem se vyjme ze sušárny a ihned uzavře víčkem;*
- *po zchladnutí v exsikátoru se vzorek v zavíčkované vysoušečce zváží.*

Při práci s fyzikálním válečkem používáme zcela obdobný způsob analýzy.

I.4.3. Výpočet sušiny a hmotnostní vlhkosti

Pro problematiku mechaniky zemin a půdní fyziky platí, že hmotnostní vlhkost (w_{H2O}) je hmotnost vody odpařené z půdního vzorku vysušením do konstantní hmotnosti dělená hmotností vysušeného půdního vzorku a násobená 100.

Pro problematiku chemické analytiky a půdní biochemie platí, že hmotnostní vlhkost (w_{H2OCR}) je hmotnost vody odpařená z půdního vzorku vysušením do konstantní hmotnosti dělená hmotností vzorku před vysušením a násobená 100.

Je to tedy vlhkost přirozeně vlhkého půdního vzorku ve vztahu k hmotnosti buď suché, nebo vlhké půdy v závislosti na konkrétní obor. Jedná se o dynamickou veličinu závislou na aktuálním chodu počasí a vyjadřuje obsah vody v půdě v daném okamžiku.

Vypočítá se dle následujícího vzorce:

$$w_{H2O} = \frac{\mathrm{m1-m2}}{\mathrm{m2}} \cdot 100 \qquad [\%\ \mathrm{hm.}]$$

$$w_{H2OCR} = \frac{\mathrm{m1-m2}}{\mathrm{m1}} \cdot 100 \qquad [\%\ \mathrm{hm.}]$$

kde

m1 – hmotnost vzorku před vysušením, tj. navážka původního vzorku po odečtení hmotnosti vysoušečky

m2 – hmotnost vzorku po vysušení do konstantní hmotnosti po odečtení hmotnosti vysoušečky

Při výpočtech je nutné pamatovat, že do vzorců dosazujeme vždy hodnotu hmotnosti samotného půdního vzorku, ať už vysušeného či čerstvého, avšak vždy po odečtení hmotnosti vysoušečky!

Obsah sušiny pak vypočítáme jako:

$$w_{dm} = \frac{\mathrm{m2}}{\mathrm{m1}} \cdot 100 \qquad [\%\ \mathrm{hm.}]$$

I.4.4. Vyhodnocení

Tab. 1: Hodnocení hmotnostní vlhkosti lesních půd

Lehké půdy*	Střední půdy*	Těžké půdy*	Půdní horizont
Hmotnostní vlhkost w (%)			
2-4	4-8	8-15	Suchý
4-8	8-15	15-25	Mírně vlhký
8-12	15-25	25-35	Čerstvě vlhký
12-18	25-35	35-45	Vlhký
18-30	35-45	45-55	Mokrý
Více než 30	Více než 45	Více než 55	Zbahnělý

*** dle stanovení půdního druhu:**
lehké půdy: písčitá, hlinitopísčitá, písčitohlinitá;
střední půdy: hlinitá, prachovitohlinitá, prachovitá;
těžké půdy: těžké půdy: písčito-jílovitohlinitá, jílovitohlinitá, prachovito-jílovitohlinitá, písčitojílovitá, prachovitojílovitá, jílovitá, jíl

Hmotnostní vlhkost (neboli obsah vody ve vzorku) se určuje nejen z důvodu zjištění půdní vlhkosti – z čerstvého půdního vzorku, ale v některých případech také ze vzorku **jemnozemě I.** (vzorek přirozeně proschlý nebo vysušený při teplotě max. 50°C, prosátý přes 2 mm síto). Toto se provádí z důvodu zjištění zbytkové vody v půdním vzorku při stanovení kationtové výměnné kapacity, (obsah bazických a kyselých kationtů) nebo obsahu konkrétních živin, který je nutné stanovit vzhledem k reálně suché půdě, bez navázané hygroskopické vody, která je z okolního vzduchu do půdy přirozeně poutána a může zaujímat i několik hmotnostních procent obsahu (viz Kapitola II.2).

Použitá literatura:

ČSN 72 1110 (1959) *Základní postup rozboru silikátů*. Ústav pro normalizaci, Praha.

DAVÍDEK J.A KOL. (1977) *Laboratorní příručka analýzy potravin*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

ISO/DIS 11465 (1963) *Soil Quality – Determination of Dry Matter and Water Content on a Mass Basis – Gravimetric Method.* International Organization for Standardization.

KROC J. (1951) *Laboratorní kontrola v zemědělském provozu.* Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

KUTÍLEK M. (1978) *Vodohospodářská pedologie*. 2. vyd. Státní nakladatelství technické literatury/Alfa, Praha/Bratislava.

MELCER I, BLAŽEJ A. A ŠUTÝ L. (1977) *Analytická chémia dreva*. Alfa, Bratislava.

SEDLÁČEK M. a kol. (1978) *Metody rozboru kalů a pevných odpadů*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

I.5. Analýza fyzikálního válečku, půdní hydrolimity

I.5.1. Problematika stanovení

Vybrané půdní hydrolimity stanovujeme zpravidla na základě analýzy Kopeckého fyzikálního válečku. Fyzikální váleček je ocelový kroužek o známém objemu (zpravidla 100 cm^3, ale např. i 500 cm^3 v případě skeletnatých půd), s jehož pomocí se odebírá půda v přirozeném stavu (jako neporušený půdní vzorek). Používá se ke zjišťování charakteristik vodního a vzdušného režimu půdy a půdních hydrolimitů. Princip spočívá ve vážení fyzikálních válečku s půdou za určitého obsahu vody. Tento obsah je dán nasáváním válečku vodou do plného nasycení a jeho zpětným odsáváním a vážením v uzančně stanovených časových intervalech. Hodnoty vybraných půdních hydrolimitů jsou standardně zjišťovány nikoliv vůči parametrům hmotnostním, ale vůči parametrům objemovým.

Maximální vodní kapacita (Θ_{MVK}) (též plná vodní kapacita (Θ_{PVK}) vyjadřuje procentické množství vody plně nasyceného půdního vzorku ve fyzikálním válečku.

Gravitační voda (Θ_{GV}) se stanovuje po 30 minutách odsávání plně vodou nasyceného půdního vzorku ve fyzikálním válečku. V přirozených podmínkách je její přítomnost v půdě ovlivněna zejména srážkami, pohybuje se ve směru působení gravitace. Všeobecně je pohyb vody v půdě podmíněn dvěma procesy: a) *nenasycené proudění* – zaplnění dosud prázdných pórů (infiltrace, vsak); b) *nasycené proudění* – zaplnění veškerých pórů, voda volně protéká nekapilárními póry.

Maximální kapilární kapacita (Θ_{MKK}) představuje procentuální vyjádření množství vody, které je půda schopna pojmout kapilárními silami v procesu vzlínání a toto množství vody udržet během odsávání. Cílem odsáváním je zaručit, že vázaná voda není vodou nekapilární. Hodnota Θ_{MKK} je hodnotou jednak korelující s fyziologickými procesy rostlin a jednak hodnotou umožňující kvantifikovat půdní jímavost. Obsah vody držené půdou pomocí povrchového napětí v kapilárách působením kapilární adheze vykazuje při plném nasycení všech kapilárních pórů vodou konkrétní objem kapilárních pórů. Z hlediska lesního hospodářství to konkrétně znamená, že Θ_{MKK} představuje nejvyšší vlhkost, kterou ještě lesní půda může disponovat bez toho, že by v daném horizontu studovaného půdním profilu došlo k převlhčení. Zjistíme-li tedy vyšší hodnotu objemové vlhkosti Θ než je hodnota maximální kapilární vodní kapacity, je to konkrétní analytický doklad toho, že se jedná o stanoviště primárně zbahnělé či alespoň sekundárně zamokřené a to samozřejmě přesto, že zamokřený půdní profil je charakterizován především trvalým nedostatkem půdního vzduchu.

Retenční vodní kapacita (Θ_{RVK}) představuje schopnost půdy zadržet určité množství vody v systému kapilárních pórů po delší dobu (24 h) a pro potřeby rostlin ji uvolňovat.

Bod snížené dostupnosti (Θ_{BSD}) je takový obsah vody v půdě, kdy již dochází k prvním náznakům stresu vyplývajícího ze snížené pohyblivosti vody vlivem snižování půdní vlhkosti.

Lze tak říci, že část kořenového vlášení již není v kontaktu s fyziologicky dostupnou vodou a rostlina tak pociťuje vláhový deficit, který se však nemusí symptomaticky projevovat.

Lentokapilární bod (Θ_{LB}) je takový obsah vody, při kterém dochází k přerušení vodního sloupce i v kapilárních pórech. Zároveň ustává proudění vody půdou. Obsah vody se soustřeďuje na izolované půdní póry, které již při takto nízké vlhkosti přestávají navzájem komunikovat.

Bod vadnutí (Θ_{BV}) je takový obsah vody v půdě, při kterém rostliny přestávají být schopné překonat sací tlaky, kterými je voda v půdě poutána. Nastává tak stav fyziologického nedostatku vody, který se vizuálně projevuje vadnutím rostliny.

Odvozeným, prakticky použitelným hydrolimitem je využitelná vodní kapacita (*VVK*). Vyjadřuje množství vody v půdě, která je fyziologicky přístupná rostlině. Tento hydrolimit resp. interval mezi dvěma hydrolimity se nachází v rozmezí bodu vadnutí a retenční vodní kapacity – tedy nad spodní hranicí dostupnosti vody, avšak zároveň pod hranicí půdní vlhkosti, která odděluje gravitačně se pohybující vodu obsaženou také v makropórech a vodu poutanou v kapilárních pórech, tedy pohybující se všesměrně, bez ohledu na působení gravitace.

I.5.2.Pracovní postup

- *základní pomůckou pro stanovení Θ_{MVK}, Θ_{GV}, Θ_{MKK} a Θ_{RVK} je plechová vanička. V první fázi se do dané vaničky vloží dřevěná deska obalená filtračním papírem a důkladně se nasytí vodou;*
- *vzorek ve formě otevřeného fyzikálního válečku se umístí na filtrační papír (proti vysypání či vyplavení vzorku – tento papír pod fyzikálním válečkem zůstává po celou dobu analýzy) a s ním se potom opatrně postaví na provlhčenou dřevěnou desku obalenou filtračním papírem a zakryje se hodinovým sklíčkem (k zabránění výparu vody z válečku);*
- *nechá se takto sytit vodou minimálně 24 hodin (nasycení celého fyzikálního válečku poznáme podle lesklého povrchu vzorku půdy ve válečku). V tuto chvíli voda vystoupala válečkem až po jeho horní okraj;*
- *při tomto plném nasycení válečku vodou jej zvážíme (Θ_{MVK}) a poté zahájíme odsávání*
- *k odsávání použijeme 3 archy filtračního papíru, na které váleček postavíme a zakrytý hodinovým sklíčkem jej necháme odsávat po dobu 30 minut, poté zvážíme (Θ_{GV});*
- *váleček po zvážení dáme opět odsávat na další 3 archy filtračního papíru a po uplynutí 2 hodin od ukončení nasávání jej opět zvážíme (Θ_{MKK}). V tuto chvíli obsahuje vzorek teoreticky pouze kapilárně vázanou vodu;*
- *váleček dáme na další 3 archy filtračního papíru odsávat po dobu 24 h od ukončení nasávání (Θ_{RVK}) – poté jej zvážíme;*
- *zeminu z válečku beze ztráty rozrušíme, vyndáme z válečku a umístíme na předem zváženou misku, při laboratorních podmínkách necháme 2 týdny vyschnout*
- *následně vzorek ve fyzikálním válečku necháme vysušit do konstantní hmotnosti a po vysušení jej zvážíme;*

I.5.3. Výpočet

$$\Theta_{MVK} = \frac{m_{MVK} - m_d}{V} \cdot 100 \qquad [\%\ obj.]$$

kde:

m_{MVK} – hmotnost plně vodou nasyceného vzorku

m_d – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti
V – objem vzorku v daném Kopeckého fyzikálním válečku

$$\Theta_{GV} = \frac{m_{GV} - m_d}{V} \cdot 100 \qquad [\%\ obj.]$$

kde:
m_{GV} – hmotnost uměle vodou nasyceného vzorku po 30 minutovém odsávání
m_d – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti
V – objem vzorku v daném Kopeckého fyzikálním válečku

$$\Theta_{MKK} = \frac{m_{MKK} - m_d}{V} \cdot 100 \qquad [\%\ obj.]$$

kde:
m_{MKK} – hmotnost uměle vodou nasyceného vzorku po 2 hodinovém odsávání
m_d – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti
V – objem vzorku v daném Kopeckého fyzikálním válečku

$$\Theta_{RVK} = \frac{m_{RVK} - m_d}{V} \cdot 100 \qquad [\%\ obj.]$$

kde:
m_{RVK} – hmotnost uměle vodou nasyceného vzorku po 24 hodinovém odsávání
m_d – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti
V – objem vzorku v daném Kopeckého fyzikálním válečku

$$\Theta_{BV} = Vh \cdot k \qquad [\%\ obj.]$$

kde:
k – empirická konstanta dle zrnitosti půdy:
- 3 pro lehké až střední půdy (P, hP, pH, H, rH, R)
- 2,5 pro těžké půdy (pjH, jH, rjH)
- 2,0 pro velmi těžké půdy (pJ, rJ, J)

Vh – číslo hygroskopicity, které se vypočítá podle vzorce

$$Vh = Vh_n \cdot 1{,}8 \qquad [\%\ obj.]$$

kde:
1,8 – empirická konstanta vyjadřující
Vh_n – normální hygroskopicita

Normální hygroskopicita se spočítá podle vzorce

$$Vh_n = w_{60} \cdot w_{105} \qquad [\% \text{ obj.}]$$

kde:

w_{60} – hmotnost vzorku z válečku po vysušení na vzduchu po cca 2 týdnech;

w_{105} – hmotnost vzorku z válečku po vysušení do konstantní hmotnosti.

Problematika půdních hydrolimitů na úrovni takto nízkého obsahu vody je značně složitá a zatížena řadou historických empirických konstant různých autorů z období rozvoje oboru hydropedologie v 60. a 70. letech minulého století. Přesahuje tak rámec praktického pojeti lesnické pedologie, a proto se v tomto učebním textu omezíme na prostou informaci o běžném způsobu vyjádření bodu vadnutí s pomocí hygroskopické vlhkosti, které je zcela dostatečné pro potřeby lesnicko-pedologické praxe. Případné teoretické vysvětlení je uvedeno v textech Kutílek (1978[1]) a Vavříček & Kučera (2017[2]). Číslo hygroskopicity (*Vh*) vyjadřuje, kolik vody půda váže při přirozené vlhkosti vzduchu (při cca 60% vlhkosti vzduchu). Normální hygroskopicita (*Vhn*) potom vyjadřuje množství tzv. monomolekulární vody resp. vody obalující půdní částice vrstvou cca 4-5 molekul.

Využitelná vodní kapacita se vypočte pomocí následujícího vzorce. Znamená, kolik mm vody se nachází ve 20 cm souvislého sloupce půdy.

$$VVK = (\theta_{RVK} - \theta_{BV}) \cdot 2 \qquad [\text{mm}]$$

I.5.4. Vyhodnocení

Hodnoty jednotlivých hmotností válečků se vztahují k hodnotám vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti. Při objemu válečku 100 cm^3 platí, že úbytek hmotnosti o 1 g se rovná úbytku objemu vody o 1 ml a tedy snížení vlhkosti o 1 % neboli také snížení okamžité zásoby využitelné vody o 1 mm.

Hodnota maximální kapilární kapacity je v lesních půdách velmi proměnlivá; většinou kolísá v rozmezí 20 – 45 %, resp. 30 – 40 %. To znamená, že většina lesních půd ČR patří k vododržným až silně vododržným půdám (viz Tab. 2). Obecně platí, že u půd zrnitostně těžkých, u půd se slitou půdní strukturou, u slehlých půd s vazkou konzistencí a u půd s vysokým obsahem humusu je maximální kapilární kapacita nepoměrně vyšší než u půd písčitých, půd s prašnou konzistencí nebo půd s hrubě drobtovitou strukturou a následným vysokým podílem nekapilárních pórů. V případě maximální kapilární kapacity *neplatí*, že čím je její procentická hodnota vyšší, tím je vyšší i bonita půdy (jakožto vyjádření stupně úrodnosti z hlediska naplnění produkčních funkcí lesa). Opak je pravdou – extrémní hodnoty (tj. i extrémně vysoké) maximální kapilární kapacity jsou jedním z ukazatelů lesních půd nejnižších bonitních stupňů!

Tab. 2: Hodnocení půdní vododržnosti pomocí hodnoty maximální kapilární vodní kapacity

Θ_{MKK} [% obj.]	Půdní horizont
Méně než 5	Velmi slabě vododržný
5-10	Slabě vododržný
10-30	Vododržný
30-50	Silně vododržný
Více než 50	Velmi silně vododržný

[1] Kutílek, M. (1978): Vodohospodářská pedologie, 2. přepracované vydání. SNTL/ALFA, Praha.

[2] Vavříček, D., Kučera, A. (2017): Základy lesnického půdoznalství a výživy lesních dřevin. Lesncká práce, Kostelec nad Černými lesy.

Je-li možno považovat hodnotu Θ_{MKK} za hodnotu přímo vyjadřující efektivní objem kapilárních pórů, pak se její vypovídací schopnost ještě zvýší v kombinaci s hodnotou pórovitosti daného horizontu.

Tab. 3: Hodnocení využitelné vodní kapacity pro 20 cm půdy

VVK [mm]	Klasifikace
> 40	dobrá
20–40	dostatečná
< 40	nedostatečná

I.6. Výpočty pórovitosti, objemové vlhkosti, provzdušněnosti, minimální vzdušně kapacity, relativní kapilární vlhkosti a nasycenosti pórů.

I.6.1. Problematika stanovení

Vzdušný půdní režim je v přímé spojitosti s půdním režimem vodním, přičemž oba tyto režimy jako celek výrazně ovlivňují jak režim teplotní, tak i režim tepelný.

Půdní pórovitost (*P*) je dána podílem objemu půdních pórů na celkovém objemu vzorku. Půdní póry jsou v půdě jak mezi strukturními agregáty, tak i mezi samotnými půdními částicemi. Lze ji vyjádřit výpočtem z hodnot měrné hmotnosti a objemové hmotnosti redukované.

Objemová vlhkost (Θ)vyjadřuje, jaké procento objemu půdy zaujímá voda (tzn. objem pórů zaplněných vodou). Stanoví se výpočtem z hmotnostní vlhkosti a objemové hmotnosti redukované.

Stupeň provzdušněnosti (*A*) kvantifikuje momentální (okamžitý) podíl těch pórů, které jsou vyplněny vzduchem.

Minimální vzdušná kapacita (A_{MKK}) je hodnotou lesnicky obdobně důležitou jako maximální kapilární kapacita. Tak jako maximální kapilární kapacita informuje o přesném procentickém podílu půdních pórů schopných dlouhodobě držet jímané množství vody, tak minimální vzdušná kapacita naopak informuje o množství vzduchu v půdě v tomtéž okamžiku, tj. za situace, kdy jsou všechny kapilární póry naplněny vodou. Můžeme tedy konstatovat, že minimální vzdušná kapacita udává, jaký je v dané lesní půdě podíl těch pórů, které nejsou schopny dlouhodobě vázat srážkovou vodu (jaký je tedy objem nekapilárních pórů), čili jaká je teoretická provzdušněnost půdy v okamžiku, kdy je půda nasycena vodou až po mez maximální kapilární kapacity.

Lesní půdy s nízkou hodnotou minimální vzdušné kapacity vykazují:

- nízkou fyziologickou hloubku;
- nízkou intenzitu humifikace;
- retardaci (zpomalení) činnosti půdní bioty;
- náchylnost k zamokřování.

Lesní půdy s vysokou hodnotou minimální vzdušné kapacity jsou naopak typické především nízkou vododržností a vysýchavostí.

Relativní kapilární vlhkost (R_V) vyjadřuje, jaké procento *kapilárních* pórů je zaplněno vodou v daný okamžik.

Relativní nasycenost pórů (R_{NP}) vyjadřuje, jaké procento *všech* pórů je zaplněno vodou v daný okamžik.

Jak hodnota okamžité provzdušněnosti, tak hodnota minimální vzdušné kapacity jsou spolu s hodnotou maximální kapilární kapacity a objemové vlhkosti jedněmi z mimořádně

důležitých parametrů produkční schopnosti daného stanoviště; jejich zařazování do komplexních pedologických šetření v lesních porostech je tudíž lesnicky velmi žádoucí.

I.6.2. Výpočet pórovitosti P

$$P = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \qquad [\%\ obj.]$$

kde

ρ_s – měrná hmotnost vzorku z daného analyzovaného horizontu

ρ_d – objemová hmotnost redukovaná tohoto horizontu

I.6.3. Výpočet objemové vlhkosti Θ

$$\Theta = w_{H2OCR} \cdot \rho_d \qquad [\%\ obj.]$$

kde

w_{H2OCR} – hmotnostní vlhkost

ρ_d – objemová hmotnost redukovaná tohoto horizontu

I.6.4. Výpočet provzdušněnosti A

$$A = P - \Theta \qquad [\%\ obj.]$$

Kde

P – pórovitost daného horizontu

Θ - objemová vlhkost daného horizontu

I.6.5. Výpočet minimální vzdušné kapacity A_{MKK}

$$A_{MKK} = P - \Theta_{MKK} \qquad [\%\ obj.]$$

Kde

P – pórovitost daného horizontu

Θ_{MKK} – maximální kapilární kapacita

I.6.6. Výpočet relativní kapilární vlhkost Rv

$$R_V = \Theta \cdot \Theta_{MKK}/100 \qquad [\%\ obj.]$$

Kde

Θ - objemová vlhkost daného horizontu

Θ_{MKK} – maximální kapilární vodní kapacita

I.6.7. Výpočet nasycenosti pórů R_{NP}

$$R_{NP} = \Theta / P \cdot 100 \qquad [\%\ obj.]$$

kde

P – pórovitost daného půdního horizontu

Θ - objemová vlhkost daného horizontu

I.6.8. Vyhodnocení

Pórovitost ve většině minerálních horizontů lesních půd kolísá mezi 40 až 65 %. S narůstajícím podílem jak humusových látek, tak jílnatých částic pórovitost stoupá. U horizontů rašelinových a souboru horizontů nadložního humusu tak může dosahovat až 85 %. V půdách písčitých (s převahou nekapilárních pórů) naopak pórovitost klesá až k 30 % (zvláště v jemných píscích substrátových horizontů). Obecně tedy mohou mít zrnitostně těžší horizonty (s převahou kapilárních pórů) vyšší pórovitost než horizonty výrazně lehké.

Tab. 4: Hodnocení půdní pórovitosti lesních půd

P [% obj.]	Pórovitost
Méně než 35	Velmi nízká
35 – 45	Nízká
45 – 55	Střední
55 – 70	Vysoká
Více než 10	Velmi vysoká

Pro hodnocení minimální vzdušné kapacity A_{MKK} platí obrácené pravidlo než je tomu u maximální kapilární kapacity Θ_{MKK}:

1. Čím je půda zrnitostně těžší, tím je minimální vzdušná kapacita nižší a to často pod hranici 5 % (velmi nízké hodnoty A_{MKK} jsou charakteristické např. pro půdní typ glej).

2. V půdách písčitých a v půdách s hrubě drobtovitou strukturou naopak minimální vzdušná kapacita často přesahuje 45 %.

Minimální vzdušná kapacita klesá se zvyšující se hloubkou půdního profilu. V zrnitostně těžkých substrátových horizontech A_{MKK} většinou kolísá mezi 5 – 20 %, v substrátových horizontech zrnitostně lehčích mezi 15 – 35 %.

V souboru horizontů nadložního humusu A_{MKK} dosahuje až 60 %, v povrchových humusových horizontech většinou kolísá mezi 25 – 40 %.

Tab. 5: Hodnocení minimální vzdušné kapacity lesních půd

A_{MKK} [% obj.]	Minimální vzdušná kapacita	Půdní horizont
Méně než 5	Velmi nízká	Neprovzdušněný
5-10	Nízká	Slabě provzdušněný
10-20	Střední	Středně provzdušněný
20-40	Vysoká	Silně provzdušněný
Více než 40	Velmi vysoká	Velmi silně provzdušněný

II. FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI

II.1. Půdní reakce aktivní a půdní reakce potenciální výměnná podle VÁLKA (1954) a ISO/DIS 10390 (1992)

II.1.1. Problematika stanovení

Půdní reakce je základní fyzikálně-chemická vlastnost lesních půd. Je dána poměrem mezi koncentrací hydroxoniových a hydroxylových iontů v půdní suspenzi. Tento poměr je vyjádřený vodíkových exponentem, hodnotou pH. Přitom, převažují-li hydroniové kationty (převaha

kladného náboje pocházejícího z vodíku H^+), pH nabývá kyselých hodnot (pH < 7) a převažují-li hydroxylové anionty (převaha záporného náboje pocházejícího z hydroxylové skupiny OH^-), pH nabývá zásaditých hodnot (pH > 7) a jsou-li tyto náboje vyrovnané, pH je neutrální (pH = 7).

Její přímý vliv na lesní porosty spočívá především v jejím zásadním ovlivnění biochemických půdních procesů a procesů příjmu živin jednotlivými autotrofními organismy. Význam reakce lesních půd je možno spatřovat především ve skutečnosti, že aktuální odběr přijímaných forem živin je vázán na aktuálně probíhající biochemické reakce, katalyzované v prostředí většinou specifických koncentrací vodíkových iontů. Zde se výrazně projevuje jak fenomén vysoké proměnlivosti hodnot půdní reakce ve vertikálním směru (v rámci jednoho pedonu), tak i skutečnosti, že nadložní humus lesních stanovišť různých dřevinných skladeb vykazuje již ze své primární podstaty zcela různou hodnotu půdní reakce.

V lesních půdách České republiky se v půdním profilu v drtivé většině případů setkáváme s převahou volných radikálů, což ústí do různě vysoké míry půdní acidity. Ta je sama o sobě vlastností s vysokou dynamikou – a to dynamikou nejen sezónní, nýbrž i denní. Důvodem k vysoké časové heterogenitě půdní reakce je v první řadě především intenzivní biochemická aktivita povrchových horizontů lesních půd, probíhající na pozadí komplexního vlivu půdních fyzikálních, fyzikálně-chemických a chemických vlastností, zde výrazně ovlivněných půdotvorným substrátem s konkrétními obsahy bazicky působících kationtů.

Rozeznáváme tři základní formy půdní reakce:

1. Půdní reakce aktivní (pH/H_20)
2. Půdní reakce potenciální výměnná (pH/KCl)
3. Půdní reakce potenciální hydrolytická (*Ha*).

Co se týká půdní reakce aktivní, lze experimentálně prověřit, že dosažení rovnováhy, kdy za dobu 5 sekund nenastane pokles hodnoty pH o více než 0,02, nenastává dříve než po dvou hodinách. Co se týká půdní reakce potenciální výměnné, má-li být její hodnota skutečně hodnotou potenciálně možnou, potom musí být tato hodnota maximálně nízká (tj. hodnotou, charakterizující nejvyšší možnou aciditu), tj. stanovitelnou až po uplynutí 24 hodin. To je doba, po jejímž uplynutí předpokládáme, že došlo k maximální možné výměně kationtů vodíku mezi půdním sorpčním komplexem a půdním roztokem – tedy, že všechny dosud vázané vodíkové kationty H^+ (resp. všechny hydroxoniové ionty) přešly do půdního roztoku a jejich koncentrace je tudíž změřitelná. Problematika půdní reakce potenciální hydrolytické je podrobněji rozebrána v kapitole II.2. konkrétně II.2.1 až II.2.3.

Podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. (Vyhláška Mze o agrochemické zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních půd, 1998) se u lesních půd hodnotí pouze reakce potenciální výměnná.

Předkládané doby inkubace vycházejí z doporučené mezinárodní normy ISO/DIS 10390 (1992). Předkládaný poměr *vzorek: extrakční činidlo* vychází z práce VÁLKA (1954).

II.1.2. Pracovní postup

- *pH metr s kombinovanou skleněnou a kalomelovou (tj. náplní chloridu rtuťného) elektrodou se nastaví na příslušnou venkovní teplotu. Poté se provede přesná kalibrace s použitím alespoň dvou tlumivých roztoků přesného pH. Zakoupené roztoky pufrů je nutné uchovávat v ledničce v uzavřených nádobkách;*
- *do 50 ml kádinky nebo do uzavíratelné PE vzorkovnice se naváží 10 g jemnozemě I;*
- *na vzorky se přilije 25 ml destilované vody a obsah se po dobu 1 hodiny každých 5 minut míchá skleněnou tyčinkou (v případě PE vzorkovnice lze protřepat 60 min na třepačce). Do suspenze se po dvou hodinách vloží kombinovaná elektroda pH-metru a po ustálení hodnoty se zapíše jako hodnota pH/H_20. Norma ISO/DIS 10390 (1992)*

připouští rozsah doby extrakce od 2 hodin do maximálně 24 hodin. Výsledná hodnota se udává s přesností na jedno desetinné místo;

- *na druhou sadu vzorků se přilije 25 ml 0,2M KCl. Obsah se promíchá skleněnou tyčinkou (v případě PE vzorkovnice lze protřepat 60 min na třepačce) a nechá stát do druhého dne. Po přibližně 24 hodinách se do suspenze vloží kombinovaná elektroda pH-metru a po ustálení hodnoty se tato zapíše jako hodnota pH/KCl. Tato doba většinou nikdy nepřekročí 30-45 sekund – s těmito relativně dlouhými časy je nutné počítat zvláště při stanovování hodnot půdní reakce potenciální výměnné u alkalických půd.*

II.1.3. Vyhodnocení

Tab. 6: Hodnocení půdní reakce lesních půd.

pH/KCl	pH/H_2O	Typ reakce
Více než 7,0	Více než 7,2	Mírně alkalická
6,1-7,0	6,6-7,2	Neutrální
5,1-6,0	5,6-6,5	Mírně kyselá
4,1-5,0	4,5-5,5	Středně kyselá
3,0-4,0	3,5-4,4	Silně kyselá
Méně než 3,0	Méně než 3,5	Velmi silně kyselá

Použitá literatura:

ISO/DIS 10390 (1992) *Soil Quality – Determination of pH.* International Organization for Standardization.

VÁLEK B. (1954) Reakce půdy. In *Praktikum fytocenologie, ekologie, klimatologie a půdoznalství* (J. Klika, V. Novák a A. Gregor, Eds.), s. 520-532. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Vyhláška ministerstva zemědělství o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních půd (1998) Sbírka zákonů č. 245/1998, Praha.

II.2. Půdní výměnná sorpce a výpočet stupně nasycení sorpčního koloidního komplexu bazickými kationy podle KAPPENA (1929)

II.2.1. Problematika stanovení a zdroje možných chyb

Půdní výměnná sorpce je schopnost půdy vázat vodu a kationty a anionty minerálních látek na vnitřním a vnějším povrchu organominerální koloidní frakce.

Koloid je pevná půdní částice organického či minerálního původu s průměrem menším než 0,0001 mm ($< 1 \cdot 10^{-7}$ m, $< 0,1$ μm). Z hlediska koloidů samých je obecně důležitá právě jejich velikost a nikoliv chemická podstata či výchozí látka. Organominerální výměnný sorpční komplex jako celek disponuje převažujícím povrchovým nábojem záporným.

Náboj daného koloidu přitom obecně vzniká jako odraz dvou různých příčin:

- existující disharmonie v nábojích jednotlivých iontů, které skládají koloid a které tvoří buď strukturu organického polymeru, anebo krystalickou mřížku daného minerálu;
- konkrétní důsledek adsorpce přebytečného množství iontů.

Základním kvalitativním hlediskem pro hodnocení významnosti koloidů pro lesní půdy je velikost jejich aktivního povrchu. Forma výskytu koloidů v lesních půdách je dvojí a to forma rovnoměrného rozptýlení (sol) a forma vyvločkování, vzájemné koagulace (gel). Z hlediska praktického lesního hospodářství za největší riziko stran udržení půdní výměnné sorpce v

žádoucích mezích je možno považovat nebezpečí vyplavování (eluviace) minerálních a organických koloidů ze svrchních částí půdního profilu do partií spodnějších.

Půdní sorpční komplex lze charakterizovat těmito veličinami:

Hydrolytická acidita (*Ha*) vyjadřuje celkový obsah kyselých kationtů, které jsou poutány na sorpčním komplexu. Tuto hodnotu stanovíme laboratorně.

Okamžitý obsah výměnných bazických kationtů (*S*) vyjadřuje celkový obsah *aktuálně* vázaných bazických kationtů na výměnných místech sorpčního komplexu. Jedná se o hodnotu stanovenou laboratorně.

Kationtová výměnná kapacita (*KVK* nebo *T*; angl. *CEC*) je základní veličinou charakterizující fyzikálně-chemickou, výměnnou půdní sorpci. Vypovídá o maximálním množství všech kationtů, které půda může poutat (tzn. vyjadřuje sumu všech kyselých a bazických kationtů vázaných na sorpčním komplexu). V případě metody stanovení *KVK* dle Kappena se stanovuje jako součet parametrů *S* a *Ha*.

Stupeň nasycenosti sorpčního komplexu bazickými kationty (*V*) neboli bazická saturace (*BS*) je parametr vyjadřující procentuální podíl výměnných bazických kationtů ve vztahu k celkové kationtové výměnné kapacitě. Stanovuje se výpočtem.

Výměnné kationy jsou následující:

- bazicky působící jednomocné kationty draslíku a sodíku;
- bazicky působící dvoumocné kationty vápníku a hořčíku;
- kysele působící kationty trojmocného železa a hliníku a jednomocného vodíku a amonného ionu;
- kationty mikrobiogenních dvoumocných prvků - manganu, zinku a mědi;
- kationty prvků, vyskytujících se v oblastech s vysokou mírou antropogenní zátěže nebo v oblastech polyminerálního zrudnění - olovo, kobalt, nikl, baryum, aj.

Pod termínem *KVK* jakožto nejvyšší hodnoty teoreticky možného součtu všech kationtů, které může sorpční půdní komplex poutat na svém povrchu, je konkrétně možno rozumět hodnotu charakterizující celkovou kationtovou výměnnou kapacitu, tj. kapacitu míst pro vazby jak kationtů bazických (zvl. Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} a Na^{+}), tak i kationů kyselých (zvl. Al^{3+}, H^{+} a Fe^{3+}, NH_4^{+}).

Příklad: V současné době se *KVK* v pedologických laboratořích stanovuje za výrazně alkalických podmínek při maximální disociaci půdního sorpčního komplexu a následném vytěsnění použitého "agresivního" kationtu (zde se setkáváme nejčastěji s používáním barya jako $BaCl_2$) a změřením jeho výsledné koncentrace.

Z hlediska lesního hospodářství nezáleží jen na kvantitě výměnných kationtů, ale též na jejich kvalitě: markantně se to projevuje u nasycení pedonu dvoumocnými bazickými kationty vs. kyselými kationty. V tradiční terminologii se tak jako sorpčně nasycené označují půdy nasycené pouze kationty bazicky působícími.

Z hlediska zdrojů možných chyb je nutné si uvědomit, že půdní fyzikálně-chemické procesy jsou podstatně složitější a komplexnější, než aby byly redukovatelné na pouhou sumu jednoduchých adsorpcí, výměnných procesů a jednotlivých rozpouštění a opětovných srážení. Na lesních stanovištích se pravidelně ukazuje výrazná kvalitativní dominance sorpční kapacity koloidního humusu, projevující se v nápadném převyšování hodnoty *KVK* (*T*) horizontů Oh a Ah ve srovnání s hodnotami *KVK* podpovrchových horizontů. Humusová složka půdy tak vstupuje do problematiky půdní analytiky na dvou úrovních: jednak skrz zmíněnou extrémní sorpční kapacitu, několikanásobně přesahující sorpční schopnost jílových minerálů, jednak také skrz mnohonásobně nižší objemovou, ale i měrnou hmotnost. V důsledku tak dochází při

navažování vzorku k navážení většího objemu půdy v případě organických resp. humusem bohatých vzorků, než v případě vzorků pocházejících z minerálních půdních horizontů.

Tato závislost se však již neprojevuje v případě okamžitého obsahu výměnných bazických kationů (hodnoty *S*), kde se vedle bazí uvolňovaných dekompozicí organických látek stejně výrazně uplatňují i báze půdotvorných substrátů.

Příklad: Množství bazických kationtů, adsorbovaných sorpčními složkami lesní půdy právě v okamžiku odebrání půdních vzorků v terénu, je hodnota s nebývalou sezónní a lokální dynamikou.

Hodnotu *S* primárně ovlivňují tři základní faktory:

- mateční hornina (půdotvorný substrát) lesního stanoviště;
- obsah a formy půdní vody;
- míra intenzity mineralizace půdní organické hmoty.

Je tedy zřejmé, že z lesnického hlediska je význam hodnoty *S* mimořádný: informuje nás o celkovém množství vyměnitelných bazických kationtů. Vlastní výměny jsou rostlinou generovány díky její primární produkci H^+ iontů a CO_2 iontů – vydýchaný oxid uhličitý se přitom v půdě mění na vyměnitelný aniont HCO_3^-.

V této souvislosti je vhodné též vzpomenout problematiku nahrazování iontů vápníku a dále i hořčíku, sodíku a draslíku iontem vodíku. Tyto procesy jsou z hlediska relativně dlouhého časového horizontu charakteristické pro lesní ekotopy v podmínkách humidního, chladného mezoklimatu a jejich konkrétním dopadem je postupné snižování hodnoty půdní reakce, doprovázené projevy vysoké mobility půdních koloidů.

<u>Z hlediska problematiky vlastního stanovení</u> je zde předloženo stanovení tří parametrů sorpčního komplexu metodou dle KAPPENA (1929), která je v případě nekarbonátových lesních půd v české lesnické pedologii metodou standardní: bazicky působící kationty se určí v silně zředěném roztoku kyseliny chlorovodíkové, kysele působící kationty pak roztokem octanu sodného látkové koncentrace 1 $mol \cdot l^{-1}$. Tato metodika užívající pro stanovení okamžitého obsahu bazických kationtů 0,1 $mol \cdot l^{-1}$ HCl a pro stanovení nedosycenosti sorpčního komplexu použitím 1 $mol \cdot l^{-1}$ CH_3COONa <u>neumožňuje</u> analyzovat lesní půdy s vysokým obsahem minerálních forem bazických kationů: půdy s obsahem karbonátů vyšším než 0,3 % a salinické půdy. Pro tyto půdy se v současné době používá extrakce 1 $mol \cdot l^{-1}$ $BaCl_2$ (BASCOMB, 1964) v modifikaci GILLMANA (1979).

Co se týče stanovení hodnoty *KVK* (*T*), spočívá ve vytěsnění výměnných kationtů roztokem určité soli a jejich následným měřením. KAPPENOVA (1929) metoda není z tohoto hlediska metodou přesnou, nicméně pro potřeby cvičení a z hlediska její provázanosti s hydrolytickou aciditou byla zvolena jako metoda optimální. Při vlastní analýze dojde ve vodném roztoku octanu sodného k výměně do té doby na koloidech vázaných kyselých kationtů za dodané kationty sodíku, což je následováno tvorbou kyseliny octové.

Příklad: Využívá se tedy schopnosti půdního vzorku poutat relativně silný hydroxid a uvolňovat *ekvivalentní* množství zcela jistě slabé kyseliny. Tato schopnost, představované uměle zvýšeným stavem do té doby na koloidech vázaných kationtů, se označuje jako hydrolytická acidita (půdní reakce potenciální-hydrolytická).

Vlastní <u>stanovení hodnoty *S*</u> je podmíněno vytěsněním bazických kationtů sorpčního komplexu vzorku analyzovaného půdního horizontu v podmínkách vysokého nadbytku kyseliny chlorovodíkové. Ta její část, která se spotřebuje na obsazení místa sorpčního komplexu jí generovaným vodíkem, se poté opět stanovuje titračně. Souběžně s obsazováním výměnných míst sorpčního komplexu vodíkem dochází v inkubačním roztoku ke vzniku chloridů těch prvků, které byly ze sorpčního komplexu vytěsněny.

Významným zdrojem možných chyb jsou <u>používané jednotky</u>. Půdní výměnná sorpce se udává v m $mol \cdot l^{-1}$. Jednotka mol je vztažena na molekulu dané látky. Z toho vyplývá, že

použijeme-li <u>součtovou metodu</u> iontové výměnné kapacity, nemůžeme vycházet ze zjištěného obsahu jednotlivých prvků standardně udávaných v mg · kg^{-1}(kterýžto údaj je ovšem též nutno přepočíst, neboť většina metodik poskytuje výsledky v mg · l^{-1}), ale tyto hodnoty musíme vztáhnout jednak k mocnosti daných prvků a jednak k jejich atomové hmotnosti. V případě lesních půd je navíc situace komplikována výrazným podílem adsorpce vodíku v sorpčním komplexu. Kvantifikace výměnného vodíku je podmíněná jednak snížením hodnoty pH, které je úměrné výměnné aciditě daného vzorku a jednak konkrétní metodikou, kdy jednotkové změně pH tlumivého roztoku odpovídá jiné molární množství H^+.

II.2.2. Pracovní postup pro stanovení Ha

Pomůcky: PE vzorkovnice se závitem; váženka na odvážení vzorků; laboratorní lžička; třepací zařízení; filtrační souprava (nálevka, filtrační papír, 100ml Erlenmayerova baňka); byreta 50 ml s nálevkou pro nalévání NaOH do byrety; Erlenmayerova baňka; odměrný válec.

Potřebné reagencie:

- 1M roztok octanu sodného (CH_3COONa)
- 1% roztok fenolftaleinu (acidobazický indikátor)
- 0,1M roztok NaOH

- *Do PE vzorkovnice o obsahu 250 ml navážíme 20 g vzorku upraveného ve formě jemnozemě I.*
- *Přilijeme 50 ml CH_3COONa (množství odměříme odměrným válcem), vzorkovnici zazátkujeme a necháme na třepačce třepat 1 h.*
- *Připravíme si filtrační soupravu (Erlenmayerova baňka, nálevka, filtrační papír).*
- *Po hodině třepání suspenzi přefiltrujeme.*
- *Z filtrátu odebereme přes odměrný válec 25 ml do Erlenmayerovy baňky.*
- *Přidáme 2-3 kapky fenolftaleinu a titrujeme 0,1M roztokem NaOH* ***do slabě růžového zbarvení****.*
- *Povedeme výpočet hodnoty Ha*

II.2.3. Výpočet Ha

$$Ha = \frac{a \cdot f \cdot c(NaOH) \cdot 1000 \cdot K}{g} \qquad [mmol \cdot kg^{-1}]$$

kde:

a – spotřebované množství NaOH k titraci [ml]

f – faktor NaOH

c(NaOH) – koncentrace NaOH (0,1M NaOH)

1000 – přepočet na 1000 g zeminy

K – korekce na octan sodný (1,75)

*g – navážka vzatá ke stanovení [g]

* V případě, že filtrátu ke stanovení bereme 25 ml, tj. ½ z původní navážky, g je rovno polovině původní navážky a do jmenovatele tedy dosadíme hodnotu **g/2 (tzn. 10 g)!** (abychom stanovovali hodnotu *Ha* pro celý vzorek, museli bychom z filtrátu odebrat 50 ml, což není možné kvůli ztrátám – část roztoku zůstane ve filtračním papíře, část v zemině).

II.2.4. Pracovní postup pro stanovení S

Pomůcky: PE vzorkovnice se závitem; váženka na odvážení vzorků; laboratorní lžička; třepací zařízení; filtrační souprava (nálevka, filtrační papír, 100ml Erlenmayerova baňka); byreta 50 ml s nálevkou pro nalévání NaOH do byrety; Erlenmayerova baňka; odměrný válec.

Potřebné reagencie:

- 0,1M HCl
- 0,1M roztok NaOH
- 1% roztok fenolftaleinu (acidobazický indikátor)

- *Do PE vzorkovnice o obsahu 250 ml navážíme 5 g vzorku upraveného ve formě jemnozemě I.*
- *Přilijeme 50 ml HCl (množství odměříme odměrným válcem), vzorkovnici zazátkujeme a necháme na třepačce třepat 1 h.*
- *Připravíme si filtrační soupravu (Erlenmayerova baňka, nálevka, filtrační papír).*
- *Po hodině třepání suspenzi přefiltrujeme.*
- *Z filtrátu odebereme přes odměrný válec 25 ml do Erlenmayerovy baňky.*
- *Přidáme 2-3 kapky fenolftaleinu a titrujeme 0,1M roztokem NaOH* ***do slabě růžového zbarvení****.*
- *Provedeme výpočet hodnoty S*

II.2.5. Výpočet S

$$S = \frac{(a \cdot f_1 - b \cdot f_2) \cdot M \cdot 1000}{g} \qquad [\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

kde:

*a – množství HCl potřebného ke stanovení [ml]

f_1 – faktor HCl (1)

b – množství NaOH spotřebovaného k titraci [ml]

f_2 – faktor NaOH

M – molarita roztoků

1000 – přepočet na 1000 g zeminy

**g – navážka půdy ke stanovení.

* V případě, že filtrátu ke stanovení bereme 25 ml, tj. ½ z původně přidaných 50 ml HCl, je nutno na místo množství HCl přidaného k půdnímu vzorku dosadit ½hodnotu, tedy **a/2 (tzn. 25 ml)!**

** V případě, že filtrátu ke stanovení bereme 25 ml, tj. ½ z původní navážky (viz obdobně jako při stanovení Ha), g je rovno polovině původní navážky a do jmenovatele tedy dosadíme hodnotu **g/2 (tzn. 2,5 g)!**

II.2.6. Výpočet T (KVK)

$$T = Ha + S \qquad [\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

kde:

Ha – hydrolytická acidita

S – okamžitý obsah výměnných bází

II.2.7. Výpočet V

$V = (S / T) \cdot 100$ [%]

Kde:

T - maximální sorpční kapacita výměnných kationů vzorku daného půdního horizontu;

S - okamžitý obsah výměnných bazických kationů

Korekce na zbytkovou vodu v půdním vzorku

Protože na vzduchu proschlý půdní vzorek obsahuje stále určité množství hygroskopické vody (zpravidla 0,5-5 % – v závislosti na vzdušné vlhkosti a půdních vlastnostech), pro přesné stanovení obsahu kyselých kationtů (Ha) a bazických kationtů (S) je nutné provést korekci. Důvodem použití korekce je skutečnost, že v půdním vzorku jemnozemě I. je určitý podíl hygroskopické vody. Korekce se provádí podle vzorce:

$$S_{kor} = \frac{S}{w_{dm} / 100}$$ [mmol · kg^{-1}]

kde

S_{kor} – obsah bazických kationtů po korekci na obsah hygroskopické vody

S – obsah bazických kationtů zjištěný postupem z Kapitoly II.2.5

w_{dm} – procentický obsah (%) sušiny ve vzorku jemnozemě I. (! Ve výpočtu se počítá se sušinou stanovenou pro směsný půdní vzorek, ze kterého byla tato analýza prováděna, nikoliv pro neporušený půdní vzorek ve formě fyzikálního válečku!)

Analogicky se korekce provede pro hydrolytickou aciditu (*Ha*). Použitím tohoto vzorce, který je de-facto trojčlenkou, dojde k mírnému navýšení původních hodnot *Ha* a *S* na skutečnou navážku vzorku jemnozemě, ve kterém již není „navažována" zbytková voda. Při nezohlednění zbytkové vody bychom došli ke zkresleným (podhodnoceným) hodnotám obsahu kyselých a bazických kationtů. Stanovení obsahu sušiny je uvedeno v kapitole I.4.3.

Teprve po zohlednění obsahu hygroskopické vody, tedy po této korekci a s nově spočítanými hodnotami *Skor* a *Hakor* je možné dopočítat maximální sorpční kapacitu výměnných kationtů (*KVK*) a stupeň nasycenosti sorpčního komplexu bazickými kationty (*V*) !

II.2.8. Vyhodnocení

Lesní půda se jako nasycená hodnotí tehdy, má-li *V* > 50 %. V případě lesních půd s *V* > 75 % se jedná o půdy vysoce nasycené a s *V* < 30 % o půdy vysoce nenasycené.

Tab. 7: Hodnocení stupně nasycení sorpčního komplexu lesních půd bazickými kationy.

V [%]	Stupeň nasycení bazickými kationty
Více než 90	Plně nasycená
75 – 90	Vysoce nasycená
50 – 75	Nasycená
30 – 50	Mírně nenasycená
30 – 10	Vysoce nenasycená

méně než 10	Extrémně nenasycená

Tab. 8: Hodnocení maximální sorpční kapacity výměnných kationů lesních půd. Hodnoty jsou udávány v jednotkách mmol · 100 g a pro hmotnost 1000 g je nutné tabulkové hodnoty vynásobit 10x!

T [mmol.100 g^{-1}]	Maximální sorpční kapacita výměnných kationtů
Více než 35	Velmi vysoká
25 – 35	Vysoká
12,5 – 25	Střední
8 – 12,5	Nízká
Méně než 8	Velmi nízká

Tab. 9: Hodnocení okamžitého obsahu výměnných bazických kationtů lesních půd. Hodnoty jsou udávány v jednotkách mmol · 100 g a pro hmotnost 1000 g je nutné tabulkové hodnoty vynásobit 10x!

S [mmol.100 g^{-1}]	Obsah výměnných bazických kationtů
Více než 31,5	Velmi vysoký
19 – 31,5	Vysoký
6,5 – 19	Střední
2,5 – 6,5	Nízký
Méně než 2,5	Velmi nízký

Použitá literatura:

Kappen H.D. (1929) *Bodenazidität*. Berlín.

BASCOMB C.L. (1964) Rapid method for the determination of cation-exchange capacity of calcareous and non-calcareous soils. *Journal of Science Food Agriculture* 12: 821-823.

III. CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮD

III.1. Stanovení obsahu humusových látek ztrátou žíháním dle ČSN 721110 (1959)

III.1.1. Problematika stanovení

Ztráta žíháním je orientační metoda stanovení procentického podílu humusových látek minerálních horizontů na hmotnosti jemnozemě daného půdního horizontu. Z hlediska praktického lesníka poskytuje nejrychlejším a nejjednodušším způsobem získaný údaj o obsahu humusových látek v daném minerálním horizontu na daném lesním stanovišti.

Předkládaná analýza vychází z ČSN 72 1110 (1959) s výjimkou použité teploty, v normě navrhované pro žíhání vzorků hornin.

Přibližnost metody spočívá v procesu žíhání. Při vyžíhání dojde ke ztrátě:

- Veškeré humifikované, částečně humifikované i zcela nerozložené organické hmoty a vody adsorpčně vázané do struktury látek koloidního humusu,
- Intramicelární vody jímané do mezivrstevních prostor jílových minerálů,
- Krystalické vody hydroxidů, vodnatých silikátů, sulfátů apod.,
- Určitého podílu karbonátů.

Vyžíháním tedy zjišťujeme větší úbytek půdní hmoty než je procentický podíl pouze humusových látek.

Jak tedy z hlediska lesního hospodářství vymezit půdy, na kterých se tato metoda přibližného stanovení obsahu organických látek neměla používat:

- V horizontech, kde se vyskytuje organická hmota v nehumifikované formě.

- Na těžkých, jílovitých půdách, kde bude vázáno značné procento vody ve formě, ve které není desorbovatelná při 105°C.
- V substrátových horizontech, kde zanedbatelné množství organické hmoty zákonitě vede k relativně vysoké chybě tohoto orientačního stanovení.
- U karbonátových půd.
- U půd z oblastí s vysokým obsahem limonitu, goethitu a sádrovce v matečních horninách (např. uvolnění krystalické vody z opálu představující desetinu jeho hmotnosti není reálné, neboť se z krystalické mřížky uvolňuje až při více než 950°C).

Použitá metoda respektuje počáteční teplotu roztopnosti kalcitu, tj. 550°C. Při této teplotě se nelze sice vyhnout překročení teploty roztopnosti některých dalších minerálů (např. antimonitu a natrolitu), ale žádný z nich nemá v podmínkách lesního půdního fondu ČR horninotvorný význam. Při teplotě do maximálně 550°C se nebude tavit ani dolomit a siderit. Na druhé straně je však nutné vědět, že uhličitan vápenatý se začíná rozkládat na oxid vápenatý a oxid uhličitý již při teplotě pod 500°C; oxid uhličitý uniká v podobě plynu, což vede ke snížení hmotnosti žíhaného vzorku. Úplný rozklad karbonátů vápníku je dokončen až při 950°C a karbonátů hořčíku při 700°C.

Předkládaná metodika je nejpřesnější u povrchových minerálních A-horizontů zrnitostně lehčích nekarbonátových půd, tj . v případě pedonů, které na LPF ČR převládají.

Navržená metodika vychází ze stanovení ztráty žíháním ze vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti. Kdyby byl žíhán vzorek vysušený jen při přibližně 23°C, dojde k odpaření nepoměrně většího množství půdní vody než je tomu u vzorku vysušeného při teplotě 105°C, tj. výsledek by byl značně zkreslený.

III.1.2. Pracovní postup

- *zváží se prázdný porcelánový tyglík;*
- *do tyglíku se nasype vzorek a to do přibližně jedné poloviny až tří čtvrtin jeho výšky;*
- *tyglík se vzorkem (aniž bychom jej zvážili) dáme do horkovzdušné sušárny a vysoušíme do konstantní hmotnosti;*
- *teprve po vysušení do konstantní hmotnosti a po vychladnutí v exsikátoru zvážíme tyglík s půdním vzorkem;*
- *tyglík se vzorkem se nyní vloží do muflovací pece s nastavenou teplotou 550°C;*
- *v případě vzorků z horizontů s vysokým obsahem humifikované hmoty se používají tyglíky malých velikostí a teplota se v muflovací peci zvyšuje postupně;*
- *při teplotě 550°C vzorek ponecháme v peci po dobu minimálně 30 minut;*
- *po vyžíhání se vzorek z vnitřního prostoru muflovací pece vyjme kovovými kleštěmi a po zchladnutí v exsikátoru zváží.*

III.1.3. Výpočet

$$H_{OX} = \frac{m1 - m2}{m1} \cdot 100 \qquad [\%_{hm}]$$

kde

H_{OX} – obsah humusových látek

m_1 – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti,

m_2 – hmotnost vzorku po vyžíhání.

III.1.4. Vyhodnocení

Tab. 10: Hodnocení lesních půd podle obsahu humusových látek

Obsah humusových látek [%]	Půdní horizont
Méně než 1	Velmi slabě humózní
1-2	Slabě humózní
2-5	Humózní
5-20	Silně humózní
Více než 20	Velmi silně humózní

Chceme-li stanovit obsah humusových látek po předchozím stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku (C_{OX}) např. oxidací chromsírovou směsí, je nutné zohlednit skutečnost, že humifikovaná organická hmota je uhlíkem tvořena přibližně z podílu 40–50 %. Proto je nutné pro vyjádření obsahu humusových látek v takových případech vynásobit hodnotu obsahu C_{OX} koeficientem 1,724. Potom lze výsledky hodnotit s využitím tabulky 9.

Chceme-li naopak vyjádřit z obsahu humusových látek stanovených ztrátou žíháním (H_{OX}) obsah oxidovatelného uhlíku (C_{OX}), musíme H_{OX} vynásobit koeficientem 0,52.

Použitá literatura:

ČSN 72 1110 (1959) *Základní postup rozboru silikátů*. Ústav pro normalizaci, Praha.

III.2. Stanovení obsahu karbonátů volumetricky

III.2.1. Problematika stanovení

Karbonáty jsou významnou složkou minerálního půdního profilu. Jejich přítomnost ovlivňuje související půdní vlastnosti, počínaje půdní reakcí (pH), viz také kapitolu II.1, ale také související půdní pufrovitost, neboli schopnost půdy odolávat změnám půdní reakce. V tomto aspektu karbonáty představují první pufrační zónu – jejich rozkladem za účinku okyselujících složek (H^+) si je půda „schopna udržet" hodnotu neutrální až alkalické půdní reakce až do jejich vyluhování. Bazické kationty obsažené v karbonátech (především Ca^{2+} v případě $CaCO_3$, Mg^{2+} v případě $MgCO_3$) navíc ovlivňují v kladném slova smyslu zastoupení kationtů vázaných na půdním sorpčním komplexu ve smyslu zvyšování jeho nasycení právě bázemi; přispívají také k výraznější strukturnosti půdy a v komplexech s humusovými látkami tvoří velmi příznivé organické komplexy.

Karbonáty se v půdě vyskytují buď jako primární (jsou součástí matečné horniny a půdotvorného substrátu), nebo sekundární, kdy se do půdy dostávají např. s vápennými hnojivy. Karbonáty mohou být v půdě také chemického původu jako novotvořené, jak je tomu např. v mnohých případech eolických sedimentů, resp. spraší. V prvním případě obsah karbonátů s hloubkou půdy zpravidla stoupá, ve druhém případě jsou karbonáty zastoupeny zpravidla zejména v hnojené vrstvě (ornice v případě lesních školek, povrch lesní půdy); v případě dlouhodobého vlivu chemické meliorace a v lesních půdách na bývalých zemědělských pozemcích („Z") mohou být karbonáty do různé míry rozptýleny v rámci větší mocnosti profilu a postupně vyluhovávány.

Karbonáty jsou také otázkou urbanizovaného území – tzv. antroposolů se skupinou urbánních půd – nejen v půdách obcí krasových oblastí, kde probíhají humifikační procesy za neutralizace kyselých vstupů (kationtů H^+) účinky karbonátů. Vedle neutralizačních účinků je také karbonáty zvyšované pH významný faktor eliminující účinky dalších produktů exhalací a jiné antropické činnosti – imobilizace těžkých kovů, eliminace koncentrace kationtů sodíku vnášeného do půdy s chemickou zimní údržbou vozovek. V tomto kontextu jsou to nejen geologicky podmíněné zdroje karbonátů – zejména v městské půdě význačné extrémní heterogenitou a alochtonností (nepůvodností) půdotvorných substrátů se lze setkat s nejrůznějšími navážkami stavebních sutí a stavebních odpadových materiálů překrytých různě mocnou (zpravidla min. 20-40 cm) vrstvou ornice.

Při volumetrickém stanovení se uhličitany (karbonáty) v půdě rozkládají kyselinou chlorovodíkovou (HCl) podle rovnice

$CaCO_3 + HCl \rightarrow CO_2 + CaCl_2 + H_2O$,

při čemž objem uvolněného oxidu uhličitého je přímo úměrný obsahu uhličitanů ve vzorku. Stanovení se prování pomocí Jankova vápnoměru, kde unikající CO_2 vytváří v jedné ze spojených trubic tlak na vodní hladinu, která tímto klesá. Stupnice na trubici pak udává procentický obsah karbonátů v půdním vzorku. Rozklad karbonátů probíhá v rozkladné baňce, kde se s naváženým půdním vzorkem smísí zředěná kyselina chlorovodíková. Objem plynu unikajícího do systému zařízení vyznačuje hladina vody dosahující příslušné hodnoty na stupnici.

III.2.2. Pracovní postup

- *Stanovení probíhá pomocí Jankova vápnoměru (viz kapitolu IV.1).*
- *Do vyvíjecí nádobky navážíme 20 g půdního vzorku jemnozemě I. V případě zvýšeného obsahu karbonátů (zjištěného při terénním orientačním stanovení) se navážka snižuje na ½ (10 g), ¼ (5) atd.*
- *Vzorek se ve vyvíjecí nádobě zalije 10 ml destilované vody (vytvoření suspenze).*
- *Do reakční baňky se nalije 20 ml 12,5% HCl.*
- *Vyvíjecí nádoba se dobře utěsní a Jankův vápnoměr se nastaví tak, aby byly tlaky v obou eudiometrických trubicích vyrovnány, aby hodnoty hladin byly na hodnotě stupnice 0 a aby byla zprůchodněna cesta mezi vyvíjecí nádobou a levou trubicí.*
- *Obsah zásobní nádoby se vylije do prostoru vyvíjecí nádoby. Tím dojde k reakci karbonátů a HCl, doprovázené produkcí CO_2. Ten přechází přes trojcestný kohout do eudiometrické trubice, ve které začne klesat hladina vody, zatímco v pravé trubici hladina začne stoupat. Povolováním tlačky na hadici vedoucí ze spojky trubic k zásobní lahvi upouštíme vodu ze spojených trubic tak, aby hladiny byly přibližně vyrovnané – v žádném případě by neměla být hladina v pravé trubici níže. Upouštěním vody eliminujeme vliv atmosférického tlaku, který zkresluje výšku hladin. V případě předpokladu vysokého obsahu karbonátů vylýváme HCl do prostoru vyvíjecí nádoby po drobných dávkách, aby nedošlo k nadměrně bouřlivé reakci.*
- *Za občasného, ale dostatečného promíchání suspenze ve vyvíjecí nádobě reakci necháme probíhat až do jejího úplného skončení (max 10 min).*

III.2.3. Výpočet

V případě navážky vzorku 20 g obsah karbonátů se zjistí odečtem ze stupnice na levé trubici (hodnoty v %). V případě snížené navážky hodnoty na stupnici přepočítáme na navážku 20 g, tzn. např. při navážce 10 g hodnotu na stupnici vynásobíme 2x, při navážce 5 g hodnotu na stupnici vynásobíme 4x atd.

III.2.4. Vyhodnocení

Obsah karbonátů se vyhodnotí podle tabulky:

Tab. 11: Hodnocení obsahu karbonátů v lesních půdách:

Obsah karbonátů [%]	Hodnocení obsahu karbonátů
< 0,3	žádný
0,3-0,5	velmi nízký
0,6-3,0	nižší střední
3,1-5,0	střední
5,1-10,0	vyšší střední
10,1-20,0	vysoký
20,1-40,0	velmi vysoký

> 40,1	extrémně vysoký

III.3. Stanovení elektrické vodivosti

III.3.1. Problematika stanovení

Elektrická vodivost se v půdní analytice stanovuje za účelem zjištění míry zasolenosti půdy. V podmínkách střední Evropy typické převažujícím humidním klimatem je toto téma aktuální především v návaznosti na antropogenní ovlivnění a lesních půd se tak týká spíše okrajově. Významné je toto téma ve vztahu k zimní chemické údržbě vozovek a chodníků a je tedy aktuální především pro urbanizované součásti krajiny. Nadto však jsou ze zimní údržby chemickým posypem vyňaty zvláště chráněná území – NP, CHKO, kde jsou používány inertní pevné směsi.

Zasolení znamená zvýšení koncentrace vodorozpustných solí v půdě (především v podobě chloridů) nad přirozenou mez při současném ovlivnění dotčených organizmů a akvatických systémů. V případě urbánního prostředí střední Evropy hovoříme především o sekundárním zasolení s antropogenní příčinou, kterou je zimní aplikace solí v souvislosti s údržbou zpevněných povrchů, (chodníků, pěších zón, vozovek). Okrajově může dojít k vzestupu koncentrace solí ve vazbě na závlahové systémy, nebo vzestup podzemní vody (např. odstraněním nebo změnou vegetačního pokryvu a tím snížením evapotranspirace – odsáváním vody z půdy vegetací) a kapilární zdvih např. vlivem zvýšené pedokompakce a tím také kapilarity.

Tyto soli se vyznačují vysokou vodorozpustností a mobilitou a lze říci, že převažuje-li vsakovací nebo promyvný režim půd, typický pro mírné klima, a to i v klimaticky specifických intravilánech měst, přítomnost chloridových solí ve svrchních půdních vrstvách je spíše dočasná a zpravidla nepřesahuje rizikové koncentrace.

Při tom však lze říci, že z pedologického hlediska se v případě chloridových solí jedná o přírodní sloučeniny, které teprve v extrémních koncentracích nabývají charakteru negativně účinkujících látek, buď v půdním prostředí, nebo v rámci transferu půda – rostlina. Tím se také odlišují od rizikových prvků, o kterých bude řeč dále. Působení samotných vodorozpustných solí je navíc časově omezeno na dobu jejich přítomnosti ve rhizosféře, kterou lze považovat s ohledem na periodicitu jejich aplikace za dočasnou, resp. závislou na intenzitě promyvnosti vodního režimu, srážkových úhrnech, množství aplikovaných solí, topografii resp. sklonitosti komunikací a svodu solanky z ošetřených ploch apod.

Tímto se výrazně charakter chloridů na půdní chemismus liší od vlivu karbonátů, které na jednu stranu nejsou zdrojem tak výrazné alkalinity, na druhou stranu s ohledem na nerozpustnost ve vodě je jejich přítomnost v alkalickém půdním prostředí relativně dlouhodobější.

Účinek posypových solí na rozmrazování a snížení bodu mrazu vody vychází z poznatků o *eutektickém bodě*, který hovoří o teplotě tuhnutí vody ve vazbě na nasycenost roztoku danou solí a je pro určené využití normovaný ve vztahu k aktuálnímu průběhu počasí. Pro potřeby hodnocení přírodního prostředí pod vlivem posypových solí lze jejich účinek shrnout do třech úrovní negativního účinku, a to ve smyslu:

- charakteru a množství kationtů uvolněných při rozkladu chloridů, především kationtů Na^+, který může působit antagonisticky s ostatními kationty a konkurovat na půdním sorpčním komplexu (površích záporně nabitých koloidů);
- peptizace půdního prostředí, tedy ztráty strukturnosti půdy a tím snížení propustnosti pro vodu, provzdušněnosti a zvýšení erodibility;

- změny osmotických poměrů ve rhizosféře – kořenové vrstvě –, které mohou ústit ve fyziologickou nedostupnost vody rostlinám navzdory její faktické přítomnosti v půdě.

Z hlediska principu stanovení obsahu koncentrace vodorozpustných (především chloridových) solí měříme elektrickou vodivost vodného výluhu, popř. půdní pasty při snížení směsného poměru půdního vzorku a vyluhovacího činidla, kterým je demineralizovaná voda. Elektrolyty rozpustné ve vodě se extrahují v poměru (půda : voda) = (1 : 5), (m : V) při teplotě 20°C a stanoví se na základě zvýšení specifické elektrické vodivosti po filtraci. Tento směsný poměr je stanoven proto, aby bylo možné získat extrakty ze všech typů filtrátů – i při zvýšeném obsahu humusových látek. Přitom není možné jednoduše měnit směsný poměr nebo filtráty následně ředit, neboť vliv ředění na výsledek není lineární. Jiný postup, výsledky i kritéria pro vyhodnocení výsledků lze získat při metodě tzv. půdní pasty, která však nepracuje s půdním výluhem.

III.3.2.Pracovní postup

Pomůcky: PE vzorkovnice se závitem – extrakční nádoba o objemu 250 ml; konduktometr s vodivostní celou, třepačka, hustý filtr nebo centrifuga (při použití centrifugy i centrifugační kyvety).

Potřebné reagencie:

- demineralizovaná voda (specifická vodivost max. 0,2 mS/m)
- 3 kalibrační roztoky, z nichž první se získá rozpuštěním KCl a druhé dva naředěním:
- chlorid draselný – roztok KCl o koncentraci 0,100 mol/l (7,4560 g chloridu draselného vysušeného 24 hod při 200°C nebo 2 h při 400°C rozpuštěného v 1000 ml vody – výsledná specifická vodivost při 25°C je 1290 mS/m.
- chlorid draselný – roztok KCl o koncentraci 0,020 mol/l (20 ml připraveného roztoku chloridu draselného se pipetuje do 100ml baňky a doplní po značku demineralizovanou vodou – výsledná specifická vodivost při 25°C je 277 mS/m)
- chlorid draselný – roztok KCl o koncentraci 0,010 mol/l (10 ml připraveného roztoku chloridu draselného se pipetuje do 100ml baňky a doplní po značku demineralizovanou vodou – výsledná specifická vodivost při 25°C je 141 mS/m)

- *Do extrakční nádobky navážíme 20 g vzorku půdy ve formě jemnozemě I.*
- *Přilijeme 100 ml demineralizované vody.*
- *Nádobku uzavřeme a umístíme na třepačku – třepe se 30 min při 180 kmitech/min.*
- *Po extrakci filtrujeme nebo centrifugujeme při otáčkách 3000 ot/min po dobu 4 min (obsahuje-li vzorek větší množství organické hmoty, která plave na hladině v centrifugační kyvetě, odstraníme tento materiál laboratorní lžičkou).*
- *Stejným způsobem připravujeme slepý pokus – demineralizovanou vodu, umístěnou ve vzorkovnici na třepačce a filtrovanou nebo centrifugovanou.*
- *Změříme elektrickou vodivost filtrátů konduktometrem a zaznamenáme hodnotu včetně jednotek uvedených na displeji přístroje.*
- *Určíme vodivostní konstantu nádobky: změříme vodivost jednotlivých roztoků KCl a pro každý z roztoků vypočteme vodivostní konstantu podle vztahu:*
  $K = \tau S/\tau$, kde
  K je konstanta vodivostní nádobky (1/m)
  τS je specifická tabulková elektrická vodivost roztoku chloridu draselného (mS/m)
  τ je změřená specifická vodivost tohoto roztoku chloridu draselného (mS/m).
  Výsledná hodnota vodivostní konstanty se vypočítá jako průměr z hodnot získaných pro jednotlivé kalibrační roztoky chloridu draselného.

- *Získanou průměrnou hodnotou vodivostní konstanty potom násobíme změřené hodnoty elektrické vodivosti měřené na výluzích půdních vzorků.*

III.3.3. Vyhodnocení

Vyhodnocení výsledků probíhá vyhodnocením hodnot elektrické vodivosti (Tab. 12).

Tab. 12: Hodnocení salinity půdy podle agroekologických kritérií. Upraveno podle Pokorného a Šarapatky.

µS/cm	Salinita	Agroekologická specifikace
<30	nízká; konc. solí < 500 mg/l	Většina zemědělských půd, s minimálním zatížením solemi. Probíhají normální agroekologické zásahy a hnojení.
30-60	mírně zvýšená; konc. solí 500-1000 mg/l	Půdy minerálně bohaté, bez negativního účinku solí. Probíhá středně vysoká intenzita hnojení a vápnění.
60-120	vysoká; konc. solí 1000-2000 mg/l	Půdy na minerálně bohatých substrátech s vysokým zatížením solemi. Hlinité a jílovité půdy jsou bez negativních účinků. Probíhá intenzívní hnojení.
>120	extrémně vysoká; konc. solí > 2000 mg/l	Půdy s vysokou zátěží solemi s negativními účinky na vegetaci. Nutnost aplikace sádrovce nebo vápnění pro eliminaci chloridových solí.

IV. BIOCHEMICKÉ VLASTNOSTI

IV.1. Aktivita půdní katalázy podle KÁŠE (1954)

IV.1.1. Problematika stanovení

Podstatou stanovení aktivity půdní katalázy je kvantifikace míry rozkladu peroxidu vodíku na vodu a molekulární kyslík. Důvod k tomu, abychom na základě měření produkce O_2 (vznikajícího díky přítomnosti H_2O_2 v půdní suspenzi) hodnotili půdní biologickou aktivitu spočívá v přítomnosti mikroflóry, schopně produkovat enzym, katalyzující tuto reakci.

Tento enzym se pak nazývá kataláza. Dané stanovení je tedy stanovení enzymatické.

Půdní enzymy jsou základem půdní biochemie. Enzymatická stanovení patří k základním testům biologické aktivity půdy. Aktivita katalázy je tak jedním z ukazatelů intenzity biochemických procesů v půdě. Vypovídací schopnost této analýzy není absolutní, neboť půda v omezené míře disponuje schopností rozkládat H_2O_2 i abiotickou cestou – prostřednictvím katalyticky aktivních oxidů některých prvků.

Kataláza je produkována živými buňkami půdní bioty. Tento enzym je do půdy vylučován s cílem rozložit účinné, pro život velmi nebezpečné oxidační činidlo – peroxid vodíku H_2O_2. Ten je rozložen na neškodnou vodu a kyslík. Peroxid vodíku vzniká jako nežádoucí vedlejší produkt metabolických reakcí půdní mikroflóry. Tato chemicky slabá kyselina vzniká při dekompozici organické hmoty jako zákonitá součást vedlejších produktů rozkladných reakcí. Vzhledem k tomu, že vůči riziku spálení vlastních buněk produktem – byť nechtěným – vlastní aktivity se organismy brání, je produkce katalázy součástí přirozeného ochranného aparátu mikroflóry. Míra její intenzity se stává mírou biochemické aktivity půdy.

Úplnost komplexu půdních reakcí bude vzrůstat se vzrůstající rozmanitostí v půdě přítomných enzymů. Enzymatická aktivita půdy tak představuje schopnost půdy projevovat se katalyzačním vlivem na procesy přeměn organických a anorganických látek. Je výsledkem přítomnosti jak adaptivně vylučovaných enzymů půdních organismů a rostlin, tak výsledkem přítomnosti enzymů, adsorbovaných organominerálním sorpčním komplexem.

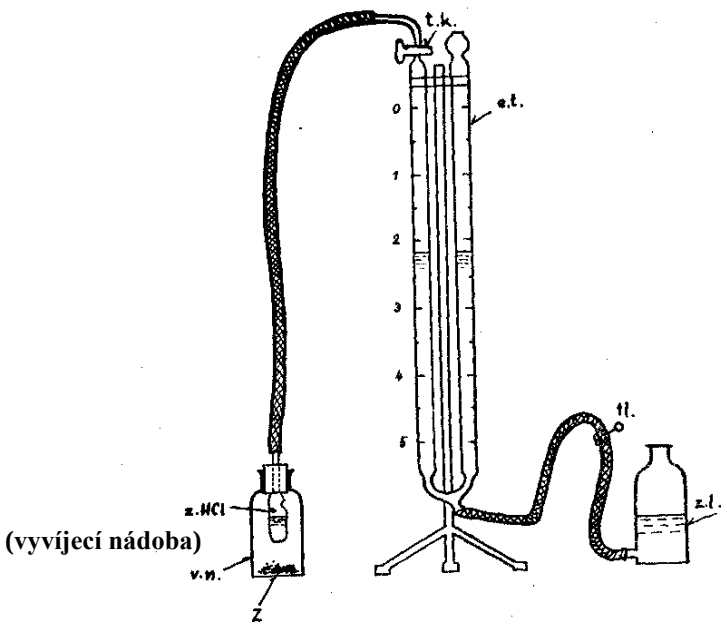
Tvorba enzymatického potenciálu půdy je složitý proces, ovlivňovaný komplexním působením pedogenetických faktorů. V prvé řadě se uplatňují enzymy extracelulární, primárně vylučované živými organismy do půdy. Enzymatický potenciál půdy je doplňován enzymy

intercelulárními a intracelulárními, které po autolýze mikrobiálních buněk a po rozkladu odumřelých organických pletiv a tkání vstupují do interakce s půdními sorbenty.

V případě kataláz hraje klíčovou roli právě sorpční komplex a to konkrétně koloidní humus. Důvodem je zde skutečnost, že tvorba odvetné (adaptivně vylučované) formy katalázy by v okamžiku přítomnosti silného okysličovadla v půdě byla již nemožná, neboť by již stačilo dojít k poškození jejích živých producentů. To znamená, že půdy musí trvale disponovat předem vytvořenými katalyzátory rozkladu peroxidu.

IV.1.2. Pracovní postup

- *principem metody je měření produkce 0_2 rozkladem H_2O_2. Základní pomůckou pro dané stanovení aktivity katalázy je Jankův vápnoměr (viz. Obr.);*
- *pro tento postup je nutné připravit 3% roztok peroxidu vodíku a paralelně s daným měřením stanovit sušinu daného vzorku, platnou pro daný čas měření;*
- *v případě humusových horizontů se navažuje 5 g vzorku s původní vlhkostí, v případě horizontů minerálních 10 g;*
- *vzorek vsypeme do vyvíjecí nádoby a přilijeme 50 ml destilované vody;*
- *na Jankově vápnoměru nastavíme hladinu vody v levém měrném sloupci na nulu;*
- *do reakční baňky Jankova vápnoměru vlijeme 20 ml 3% roztoku H_2O_2, správným způsobem ji spojíme s Erlenmayerovou baňkou s půdní suspenzí a zprůchodníme spojení jejího vnitřního prostoru s prostorem nad hladinou měrného válce správným nastavením třícestného kohoutu;*
- *poznačíme si aktuální čas a nakloníme vyvíjecí nádobu tak, aby veškerý H_2O_2 vytekl do půdní suspenze;*
- *obsah vyvíjecí nádoby opatrně promísíme krouživým pohybem;*
- *po 15 minutách zaznamenáme výšku hladiny vodního sloupce v měrném válci. V případě intenzivní produkce kyslíku zmírníme tlak v celé soustavě upuštěním vody z pravého vyrovnávajícího válce Jankova vápnoměru;*
- *pro udávání výsledků vycházíme z toho, že dílek rovný jedné desetině stupnice („0,1") představuje 5 ml nově produkovaného kyslíku. V případě výchozí navážky 10 g výsledek dělíme dvěma;*
- *výsledek přepočteme na produkci 0_2 za 15 minut na 5 g sušiny půdního vzorku.*



Obr. Jankův vápnoměr. T.k. = trojcestný kohout,
e.t. = eudiometrická trubice,
v.n. = vyvíjející nádoba,
z.HCl= zásobník HCl,
Z = zemina,
z.l. = zásobní láhev
tl. = tlačka

IV.1.3. Vyhodnocení

Tab. 13: Hodnocení lesních půd podle aktivity půdní katalázy (ml 0_2 . 5 g^{-1} . 15 min^{-1})

ml 0_2 . 5 g^{-1} . 15 min^{-1}	aktivity půdní katalázy
Méně než 5	Velmi slabá
5-15	Slabá
15-30	Střední
30-60	Vysoká
Více než 60	Velmi vysoká

IV.2. Aktivita půdních celuláz podle CHRISTENSENA (1910) v modifikaci GRUNDY (1967)

IV.2.1. Problematika stanovení

Základní složkou buněčných stěn rostlinných pletiv a nejběžnější organickou látkou v rámci celé biosféry je polysacharid celulóza. Po odumření rostlin je celulóza rozkládána působením složitého komplexu enzymů, řazených do skupiny celuláz. Tyto enzymy patří mezi hydrolázy, tj. enzymy katalyzujícími hydrolytická štěpení.

Půdní enzymy, biokatalyzátory chemických reakcí, se vyznačují vysokou substrátovou specifitou a selektivitou účinku. Jejich působení spočívá v tom, že již v malých množstvích zvyšují rychlost chemické reakce tím, že buď snižují energetickou bariéru reakce nebo zvětšují podíl molekul majících k dané reakci dostatečnou energii.

Determinací povahy a rychlosti chemických reakcí podmiňují enzymy v pedonu souhru biochemických syntéz a dekompozičních reakcí.

Aktivita enzymu je odrazem následujících parametrů:

- množství enzymu,
- kvantity koloidů a jejich sorpčních vlastností,
- koncentrace substrátu,
- hodnoty půdní reakce,
- teploty půdy,
- přítomnosti aktivátorů či inhibitorů.

Specifita substrátu a selektivita účinku celulolytických enzymů vede k tomu, že rozklad nejrozšířenější organické sloučeniny není katalyzován pouze jediným enzymem, ale celým enzymatickým komplexem. Producenty komplexu celuláz jsou v přírodě běžně rozšířené saprofytické organismy, z nichž největší podíl nacházíme právě v půdách. Mimo půdy nacházíme například endosymbiotické celulolytické bakterie žijící v zažívacích traktech některých rodů roztočů, chvostoskoků, kroužkovců a mravenců.

Půdní celulázy představují tři skupiny enzymů: endoglukanázy, exoglukanázy a celobiázy. Kontrast mezi jednoduchostí struktury vláknitých makromolekul celulózy a složitostí neuniformního procesu jejich dekompozice znemožňuje jednoduché stanovení konkrétního enzymu. Na základě kvantitativně jednoznačně vyjádřeného úbytku celulózy tak nelze postihnout kvalitativní parametry daného rozkladu – ani konkrétní producenty, ani konkrétní jednotlivý enzym.

IV.2.2.Pracovní postup

- *principem metody je inkubace sterilní celulózy. Základní pomůckou je Petriho miska;*
- *nastříháme proužky filtračního papíru do rozměrů 5 cm x 1 cm. Proužky sterilizujeme;*
- *do sterilní Petriho misky vsypeme půdní vzorek s původní vlhkostí a laboratorní lžičkou jej rovnoměrně rozprostřeme v přibližně 5 mm silné vrstvě;*
- *na vzorek položíme 3 proužky filtračního papíru. K jejich dokonalému přilnutí k povrchu testovaného půdního vzorku proužky jemně přitlačíme skleněnou tyčinkou;*
- *označíme víko Petriho misky, uzavřeme ji a uložíme do inkubátoru;*
- *každý týden pomocí stříčky opatrně provlhčíme vzorek destilovanou vodou;*
- *v určitý den stanovíme procento úbytku celulózy. Do výpočtu se zahrne pouze plocha zcela rozložené celulózy. Při kolonizaci půdními houbami celulóza zcela zmizí nebo je zakryta mycelia jednotlivých druhů mikromycet. Při kolonizaci bakteriemi a aktinomycetami zůstává na povrchu vzorku sliznatá, mokvavá vrstvička. Částečně rozložená celulóza indikuje neukončený rozklad a do výpočtu se nezahrnuje;*
- *k zjištění přesného procenta úbytku použijeme rastr 5 cm x 1 cm, rozdělený na 20 stejných políček 5 mm x 5mm. Každé políčko představuje 5 % plochy proužku;*
- *kvantifikaci ukončeného rozkladu celulózy provedeme u všech tří jednotlivých papírků;*
- *z daných tří hodnot spočteme aritmetický průměr. Zjistíme počet týdnů inkubace.*

IV.2.3.Výpočet

A = P/T

Kde:

A – míra aktivity půdních celuláz,

P – aritmetický průměr úbytků celulózy daný procentem plochy a

t – doba inkubace v týdnech

IV.2.4. Vyhodnocení

Tab. 14: Hodnocení lesních půd podle aktivity půdních celuláz

A	aktivity půdních celuláz
0	Žádná
0-1	Velmi slabá
1-2	Slabá
2-5	Střední
5-10	Vysoká
Více než 10	Velmi vysoká

IV.3. Stanovení indexu dekompozice pomocí standardizovaných čajových sáčků

IV.3.1. Problematika stanovení

Organická hmota v půdě tvoří až na výjimky minoritní hmotnostní podíl. O nízkých obsazích hovoříme v případě cca 1% zastoupení, typického např. pro písčité půdy nebo pro minerální horizonty. Při vysokém obsahu potom mohou hodnoty dosahovat i 20% podílu s tím, že nejvyšší jsou v organozemích, až 80–85 %. V lesních půdách je nejvíce organické hmoty koncentrováno na půdním povrchu v opadových vrstvách nadložního humusu, kde je také nejvyšší biologická aktivita. Navzdory většinou takto nízkému podílu je však o to větší její význam. Je významným biotopem pro mikroedafon, má zcela zásadní sorpční schopnosti (pro vodu i živiny) a je také významnou zásobárnou živin poutaných v různých formách.

Odumřelá organická hmota podléhá díky činnosti edafonu přeměnám – dekompozici, mineralizaci a humifikaci. Tyto procesy zprostředkovává z velké části v půdě velmi nízce zastoupená mikrobiota, jako jsou bakterie, aktinobakterie, mikromycety, houby, ale také žížaly a další zástupci mezoedafonu. Konkrétní složení edafonu je typické pro různé humusové formy a odvíjí se od něj také charakter dekompozičních procesů (rychlost dekompozice, výsledný produkt, hloubkový gradient přechodu jednotlivých vrstev apod.).

Organická hmota je díky dekompoziční činnosti edafonu významným zdrojem živin pro rostliny a další organismy. Vedle hojně zastoupeného uhlíku, kyslíku a vodíku je to především dusík a fosfor – dva makrobioelementy, které jsou fixovány při půdním povrchu především na bázi *biologické* a *organické sorpce*. S odumřením organismu se při jeho dekompozici navracejí do koloběhu živin – přestávají být *imobilizovány* a během mineralizace se z nich stávají minerální živiny.

Dekompoziční proces je tak zcela klíčovým pro uchování koloběhů živin a jejich navracení z dočasné imobilizace při biologické sorpci (kdy jsou živiny vázány v tělech živých organismů). Dekompozice zahrnuje rozklad jednotlivých složek utvářejících živou biomasu, především rostlinnou, která v opadu dominuje, jako je celulóza, hemicelulózy, lignin, bílkoviny, chitin, cukry, aminokyseliny apod. Rychlost dekompozice přitom závisí jednak na složení biomasy a jednak na vnějších podmínkách prostředí, které jsou buď více či méně příznivé pro dekompozitory. Vnějšími podmínkami, které biologickou aktivitu a tím tento „půdní metabolismus" ovlivňují nejvíce, je teplota a vlhkost.

Podle vztahu k teplotě je možné mikroorganismy rozdělit na *psychrofilní*, *mezofilní*, *termofilní* a *psychrotrofní*, biologická aktivita je přímou funkcí teploty. Teplota tak může být pro danou skupinu buď *optimální*, *suboptimální* nebo *supraoptimální* a organismy mohou být naopak vůči teplotě různě citliví, nebo *termotolerantní*.

Množství a dostupnost vody je taktéž jedním z nejdůležitějších faktorů určujících biologickou aktivitu půdy. Většina mikroorganismů je v anhydromorfních půdách sice aerobních, nicméně mohou přežívat resp. provádět fyziologické funkce pouze ve vodním prostředí půdního roztoku, ve kterém žijí a současně z něho čerpají rozpuštěné organické a

minerální látky. Podobně jako v případě teploty, i na vlhkost jsou různé skupiny edafonu různě citlivé. Z mikroorganismů jsou tolerantnější více aktinomycety a houby než bakterie, půdní živočichové se před vysušením chrání migrací do hlubších vrstev půdy a před „utopením" naopak migrací blíže půdnímu povrchu.

Při nástupu podmínek mimo teplotní nebo vlhkostní optimum daný organismus sníží biologickou aktivitu a v klidové fázi vyčká na příznivější podmínky. Různou dynamikou vnějších podmínek se terénní dekompoziční studie liší od laboratorního prostředí, kde probíhají inkubace v navozených podmínkách teploty, vlhkosti a někdy i světla. V otevřeném prostředí lesního porostu/polního pokusu tak může dekompozice probíhat zcela odlišným způsobem, jestliže vlhkostní a teplotní podmínky mohou být pro biologickou aktivitu příznivé i v pouhém časovém zlomku z celkové doby inkubace.

Rychlost dekompozice je tedy určena podmínkami prostředí, vegetačním krytem, dekompoziční schopností daného půdního společenstva a vzájemnými interakcemi mezi organismy utvářejícími složité trofické sítě. Rychlejší dekompozice tak probíhá v mírně až čerstvě vlhkých půdách za relativně vyšších teplot (přibližně okolo 20 °C), v mírně kyselém až mírně alkalickém prostředí.

Dekompoziční metody v různých obměnách sahají do relativně dávné minulosti. Jedna z metod využívá standardního substrátu umístěného do půdy po stanovenou inkubační dobu. Standardním substrátem může být celulóza, filtrační papír, vata, šňůry, celofán, nebo také čaj.

Pro účely dekompoziční studie se využijí dva typy substrátů – dva různé čaje o různém složení, s různým podílem lehce a těžce rozložitelné organické hmoty a tedy o různé rychlosti dekompozice. Dekompoziční studie na principu čajových sáčků „*tea bag*" je součástí celosvětového projektu zahájeného v r. 2010 (http://www.teatime4science.org/). Výhodou je, že při dodržení výrobního čísla EAN čaje Lipton lze všude na světě získat tentýž substrát a výsledky jsou tak globálně porovnatelné. Metodika využívá zelený čaj jako substrát s rychlejší dekompozicí a červený čaj rooibos jako substrát s pomalejší dekompozicí.

IV.3.2. Pracovní postup

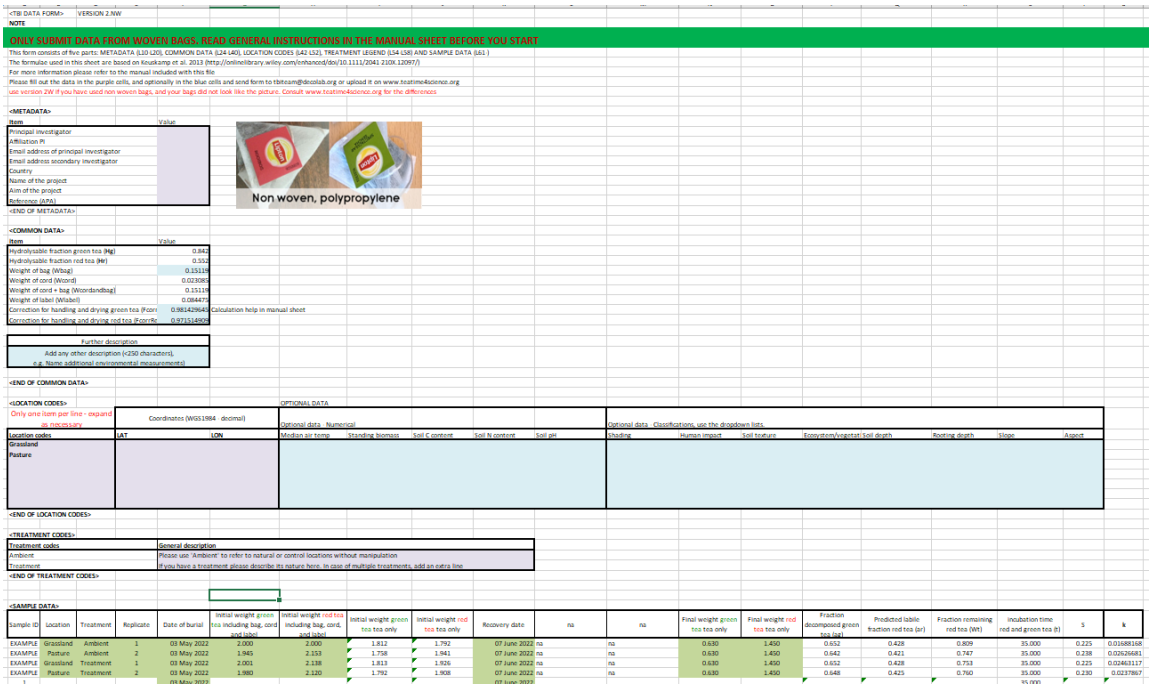
- *Principem metody je inkubace dvou substrátů v půdě v prostředí studijní lokality;*
- *Substráty jsou porcované čaje Lipton zelený čaj (EAN 87 10908 90359 5; starší EAN 87 22700 05552 5) a Lipton Rooibos (EAN 87 22700 18843 8).*
- *Nepoužité sáčky se vysuší při 45°C po dobu 3 hod a zváží včetně provázků a štítků s přesností na 3 desetinná místa.*
- *Pomocí špachtle nebo jiného ostrého rovného nástroje vytvoříme na vertikálním řezu půdy (zákopku) vodorovný prostor pro umístění čajového sáčku. Sáčky umístíme půdy tak, aby provázky vyčnívaly z půdy, a to do dvou hloubek:*
  (1) od každého druhu čaje jeden sáček na rozhraní H a A horizontu (není-li vyvinutý H horizont v případě mullových nebo drnových forem humusu instalujeme do hloubky cca 1 cm od horní hranice A horizontu;
  (2) od každého druhu čaje jeden sáček na rozhraní A a B horizontu (resp. horizontu A a prvního navazujícího minerálního horizontu; v případě větší mocnosti horizontu A, než 20 cm, jako v případě Au je maximální hloubka instalace 20 cm od horní hranice horizontu A).
- *Půdu mírným tlakem stlačíme, aby byl zajištěn kontakt se sáčkem.*
- *Místo instalace označíme kolíkem, ke kterému lze provázky čajových sáčků přivázat.*
- *Po inkubaci 90 dní sáčky opatrně vytáhneme, vysušíme na 45 °C, rozstřihneme a zvážíme zbylý obsah s přesností na 3 desetinná místa. Před zvážením odstraňujeme případné kořínky, zbytky ulpělé či rozsypané zeminy.*

IV.3.3. Výpočet a vyhodnocení

Výpočet probíhá v předem připraveném tabulkovém kalkulátoru MS Excel, kde do zelených polí vepíšeme zjištěné hodnoty – hmotnosti *před* inkubací (včetně sáčku, provázku a štítku) a hmotnosti *po* inkubaci (pouze zbylý obsah, bez sáčku, provázku a štítku). Z tabulky potom odečteme a do protokolu zapíšeme hodnoty koeficientů „s" a „k".

Koeficient „s" přitom značí stabilizační faktor, tedy podíl obtížně dekomponovatelné složky biomasy a koeficient „k" značí rychlost dekompozice, kdy vyšší hodnoty značí rychlejší dekompozici.

Vyhodnocení dekompoziční studie neprobíhá na úrovní porovnání výsledků s tabulkou s kritérii. Probíhá na úrovni vzájemného porovnání výsledků, např. právě z různých hloubek půdy.



<TBI DATA FORM> VERSION 2.NW

NOTE

ONLY SUBMIT DATA FROM WOVEN BAGS. READ GENERAL INSTRUCTIONS IN THE MANUAL SHEET BEFORE YOU START

This form consists of five parts: METADATA (L10 L20), COMMON DATA (L24 L40), LOCATION CODES (L42 L52), TREATMENT LEGEND (L54 L58) AND SAMPLE DATA (L61)
The formulae used in this sheet are based on Keuskamp et al. 2013 (http://onlinelibrary.wiley.com/enhanced/doi/10.1111/2041 210X.12097/)
For more information please refer to the manual included with this file
Please fill out the data in the purple cells, and optionally in the blue cells and send form to tbiteam@dcolab.org or upload it on www.teatime4science.org
use version 2W if you have used non woven bags, and your bags did not look like the picture. Consult www.teatime4science.org for the differences

<METADATA>

Item	Value
Principal investigator	
Affiliation PI	
Email address of principal investigator	
Email address secondary investigator	
Country	
Name of the project	
Aim of the project	
Reference (APA)	

Non woven, polypropylene

<END OF METADATA>

<COMMON DATA>

Item	Value	
Hydrolysable fraction green tea (Hg)	0.842	
Hydrolysable fraction red tea (Hr)	0.552	
Weight of bag (Wbag)	0.15119	
Weight of cord (Wcord)	0.023082	
Weight of cord + bag (Wcordandbag)	0.15119	
Weight of label (Wlabel)	0.084475	
Correction for handling and drying green tea (Fcorr	0.981429645	Calculation help in manual sheet
Correction for handling and drying red tea (Fcorrk	0.971514926	

Further description
Add any other description (<250 characters), e.g. Name additional environmental measurements)

<END OF COMMON DATA>

<LOCATION CODES>

Only one item per line - expand as necessary

Location codes	Coordinates (WGS1984 decimal) LAT	LON	OPTIONAL DATA Optional data Numerical: Median air temp	Standing Biomass	Soil C content	Soil N content	Soil pH	Optional data Classifications, use the dropdown lists: Shading	Human impact	Soil texture	Ecosystem/vegetat	Soil depth	Rooting depth	Slope	Aspect
Grassland															
Pasture															

<END OF LOCATION CODES>

<TREATMENT CODES>

Treatment codes	General description
Ambient	Please use 'Ambient' to refer to natural or control locations without manipulation
Treatment	If you have a treatment please describe its nature here. In case of multiple treatments, add an extra line

<END OF TREATMENT CODES>

<SAMPLE DATA>

Sample ID	Location	Treatment	Replicate	Date of burial	Initial weight green tea including bag, cord and label	Initial weight red tea including bag, cord, and label	Initial weight green tea tea only	Initial weight red tea tea only	Recovery date	na	na	Final weight green tea tea only	Final weight red tea tea only	Fraction decomposed green tea (ag)	Predicted labile fraction red tea (ar)	Fraction remaining red tea (Wf)	Incubation time red and green tea (t)	S	k
EXAMPLE	Grassland	Ambient	1	03 May 2022	2.000	2.000	1.812	1.792	07 June 2022	na	na	0.630	1.400	0.652	0.428	0.809	35.000	0.225	0.01688168
EXAMPLE	Pasture	Ambient	2	03 May 2022	1.945	2.153	1.758	1.941	07 June 2022	na	na	0.630	1.450	0.642	0.421	0.747	35.000	0.238	0.02626681
EXAMPLE	Grassland	Treatment	1	03 May 2022	2.001	2.138	1.813	1.826	07 June 2022	na	na	0.630	1.450	0.652	0.428	0.753	35.000	0.225	0.02463117
EXAMPLE	Pasture	Treatment	2	03 May 2022	1.980	2.120	1.792	1.908	07 June 2022	na	na	0.630	1.450	0.648	0.425	0.760	35.000	0.230	0.02378867
1				08 May 2022					07 June 2022								35.000		