

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 redukováná 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 redukováné 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.	Maximální vodní kapacita, gravitační voda, maximální kapilární kapacita, retenční vodní kapacita	8
I.5.1.	Problematika stanovení:	8
I.5.2.	Pracovní postup	9
I.5.3.	Výpočet	9
I.5.4.	Vyhodnocení	10
I.6.	Výpočty pórovitosti, objemové vlhkosti, provzdušněnosti, minimální vzdušné kapacity, relativní kapilární vlhkosti a nasycenosti pórů.	11
I.6.1.	Problematika stanovení	11
I.6.2.	Výpočet pórovitosti P	12
I.6.3.	Výpočet objemové vlhkosti Θ	12
I.6.4.	Výpočet provzdušněnosti A	12
I.6.5.	Výpočet minimální vzdušné kapacity A_{MKK}	12
I.6.6.	Výpočet relativní kapilární vlhkosti R_v	12
I.6.7.	Výpočet nasycenosti pórů R_{NP}	13
I.6.8.	Vyhodnocení	13
II.	Fyzikálně-chemické vlastnosti	14
II.1.	Půdní reakce aktivní a půdní reakce potenciální výměnná podle VÁLKA (1954) a ISO/DIS 10390 (1992)	14
II.1.1.	Problematika stanovení	14

II.1.2.	Pracovní postup	14
II.1.3.	Vyhodnocení	15
II.2.	Půdní výměnná sorpce a výpočet stupně nasycení sorpčního koloidního komplexu bazickými kationy podle KAPPENA (1929)	15
II.2.1.	Problematika stanovení a zdroje možných chyb	15
II.2.2.	Pracovní postup pro stanovení Ha	18
II.2.3.	Výpočet Ha	18
II.2.4.	Pracovní postup pro stanovení S	18
II.2.5.	Výpočet S	19
II.2.6.	Výpočet T (KVK)	19
II.2.7.	Výpočet V	20
II.2.8.	Vyhodnocení	20
III.	Chemické vlastnosti půd	21
III.1.	Stanovení obsahu humusových látek ztrátou žíháním dle ČSN 721110 (1959)	21
III.1.1.	Problematika stanovení	21
III.1.2.	Pracovní postup	22
III.1.3.	Výpočet	22
III.1.4.	Vyhodnocení	23
III.2.	Stanovení obsahu karbonátů volumetricky	23
III.2.1.	Problematika stanovení	23
III.2.2.	Pracovní postup	24
III.2.3.	Výpočet	24
III.2.4.	Vyhodnocení	24
IV.	Biochemické vlastnosti	25
IV.1.	Aktivita půdní katalázy podle KÁŠE (1954)	25
IV.1.1.	Problematika stanovení	25
IV.1.2.	Pracovní postup	25
IV.1.3.	Vyhodnocení	27
IV.2.	Aktivita půdních celuláz podle CHRISTENSENA (1910) v modifikaci GRUNDY (1967)	27
IV.2.1.	Problematika stanovení	27
IV.2.2.	Pracovní postup	28
IV.2.3.	Výpočet	28
IV.2.4.	Vyhodnocení	28

I. FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

I.1. Konstantní hmotnost půdního vzorku stanovená vysoušením

Cílem vysoušení do konstantní hmotnosti je odstranění nekystalické 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.

Vysoušení do konstantní hmotnosti je dosaženo při minimálně čtyřhodinovém vystavení půdního vzorku **teplotě 105°C**. Po čtyřech hodinách je úbytek (nekystalické) 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 $\pm 0,001$ g i po uplynutí delší doby (tj. šest, osmi, deseti hodin) nejsme u vzorku vyjmutého ze sušárny schopni zjistit žádné další snižování hmotnosti.

Vysoušení 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 kapitola 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 cm³ 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 matici daného horizontu a na chemickém složení horninotvorných minerálů půdotvorného substrátu daného lesního stanoviště.

Měrná hmotnost lesní půdy *stoupá* se vzrůstajícím obsahem 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 *klesá* s podílem 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 rozstříkávání 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.

1.2.2. Pracovní postup

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

-  *vzorek jemnozeme I vysušíme do konstantní hmotnosti;*
-  *vyčištěný, očíslovaný Gay-Lussacův [gélisakův] pyknometr naplníme až po okraj destilovanou vodou, krouživým pohybem zasuneme zátku 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); přesnou hmotnost navážky vzorku zaznameneáme;*
-  *pyknometr naplníme asi do poloviny 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.*

1.2.3. Výpočet

$$\rho_s = \frac{m_1}{(m_1 + m_2) - m_3} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

kde

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

m_2 – hmotnost uzavřeného pyknometru s destilovanou vodou

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

1.2.4. 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 ($\rho_s \approx 2,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) a křemene ($\rho_s \approx 2,65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

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

Vzhledem k tomu, že měrná hmotnost se zvyšujícím se podílem organických látek zákonitě klesá, v případě povrchových organominerálních Ah horizontů tak většinou

nepřesahuje $2,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. V případě nadložních horizontů měrná hmotnost zpravidla nepřesahuje $1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

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 redukováná stanovená gravimetricky

1.3.1. Problematika stanovení

Objemová hmotnost (ρ_w) je hmotnost objemové půdní jednotky v původním (přírozeném) 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 diferenčních 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 redukováná (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 redukové 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).

1.3.2. 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, zafixuje se dvěma do kříže orientovanými gumičkami a převezde do laboratoře.;
-  v laboratoři se váleček se vzorkem pečlivě očistí a s víčky (bez gumiček) zváží;
-  z válečku se sejme horní víčko a dá se vysoušet do konstantní hmotnosti;

- 🧪 po vysušení se váleček se vzorkem přikryje druhým původním víčkem a vloží na vychladnutí do exsikátoru;
- 🧪 po vychladnutí se váleček zváží.

1.3.3. Výpočet objemové hmotnosti ρ_w

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

kde:

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

a – hmotnost válečku s víčky

V – objem vzorku

1.3.4. Výpočet objemové hmotnosti redukované ρ_d

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

kde

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

a – hmotnost válečku s víčky

V – objem vzorku

1.3.5. Vyhodnocení

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

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

1.4.1. 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 procenticky 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 procenticky.

Obsah sušiny (s) půdního vzorku se určí odečtením okamžitého obsahu vody v analyzovaném půdním vzorku (v %) od 100 %. Procento sušiny udává, kolik gramů vody je ve 100 g právě analyzovaného vzorku. Vyjadřuje se procenticky.






Obě hodnoty se určují až 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 vzorcích, 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. Sušina půdního vzorku je obecně procenticky 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 čtyř hodin. V případě stanovení sušiny je hmotnost vody ve vzorku vztažena k hmotnosti vzorku s původní vlhkostí.

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

1.4.2. 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 zchlazení v exsikátoru se vzorek v zavičkované vysoušečce zváží.*

Při práci s fyzikálním válečkem používáme zcela obdobný způsob analýzy.

1.4.3. Výpočet sušiny a hmotnostní vlhkosti

Hmotnostní vlhkost (w) je vlhkost přirozeně vlhkého půdního vzorku ve vztahu k hmotnosti vlhké půdy. Jedná se o dynamickou veličinu závislou na aktuálním chodu počasí a vyjadřuje obsah vody v půdě v daném okamžiku.

Vypočítá se dle následujícího vzorce:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

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:

$$s = 100 - w \quad [\%]$$

1.4.4. 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

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 **jemnozeme I.** (vzorek přirozeně proschlý, 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 (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. Maximální vodní kapacita, gravitační voda, maximální kapilární kapacita, retenční vodní kapacita

1.5.1. Problematika stanovení:

Vybrané půdní hydrolimity stanovujeme zpravidla na základě analýzy Kopeckého fyzikálního válečku. Fyzikální váleček je ocelový kroužek o známém objemu (zpravidla 100 cm³, ale např. i 500 cm³ 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 určitých časových intervalech. Hodnoty vybraných půdních hydrolimitů jsou standardně zjišťovány nikoliv vůči parametrům hmotnostním, ale vůči parametrům objemovým.









Maximální vodní kapacita (Θ_{MVK}) (těž 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 procentické 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 půdního 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.

1.5.2. 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 proleje vodou;*
-  *vzorek ve formě otevřeného fyzikálního válečku se na provlhčený filtrační papír opatrně postaví a zakryje 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;*
-  *následně vzorek ve fyzikálním válečku necháme vysušit do konstantní hmotnosti a po vysušení jej zvážíme;*

1.5.3. Výpočet

$$\Theta_{MVK} = \frac{m_{MVK} - m_d}{v} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde:

m_{MVK} – hmotnost plně vodou nasyceného vzorku

m_d – hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti

V – objem vzorku v daném Kopeckého fyzikálním válečku

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

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

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

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

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

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

1.5.4. Vyhodnocení

Hodnoty jednotlivých hmotností válečků se vztahují k hodnotám vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti. Při objemu válečku 100 cm³ 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} [%]	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

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.

I.6. Výpočty pórovitosti, objemové vlhkosti, provzdušněnosti, minimální vzdušné 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 lesnický 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 totéž 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 provzdušňenosti, 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 lesnický velmi žádoucí.

1.6.2. Výpočet pórovitosti P

$$P = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde

ρ_s – měrná hmotnost vzorku z daného analyzovaného horizontu

ρ_d – objemová hmotnost redukováná tohoto horizontu

1.6.3. Výpočet objemové vlhkosti Θ

$$\Theta = w \cdot \rho_d \quad [\%]$$

kde

w – hmotnostní vlhkost

ρ_d – objemová hmotnost redukováná tohoto horizontu

1.6.4. Výpočet provzdušňenosti A

$$A = P - \Theta \quad [\%]$$

Kde

P – pórovitost daného horizontu

Θ - objemová vlhkost daného horizontu

1.6.5. Výpočet minimální vzdušné kapacity A_{MKK}

$$A_{MKK} = P - \Theta_{MKK} \quad [\%]$$

Kde

P – pórovitost daného horizontu

Θ_{MKK} – maximální kapilární kapacita

1.6.6. Výpočet relativní kapilární vlhkosti R_v

$$R_v = \Theta \cdot \Theta_{MKK} / 100 \quad [\%]$$

Kde

Θ - objemová vlhkost daného horizontu

Θ_{MKK} – maximální kapilární vodní kapacita

1.6.7. Výpočet nasycenosti pórů R_{NP}

$$R_{NP} = \Theta / P \cdot 100 \quad [\%]$$

kde

P – pórovitost daného půdního horizontu

Θ - objemová vlhkost daného horizontu

1.6.8. 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 písčích substrátových horizontů). Obecně tedy mohou mít zrnitostně těžší horizonty (s převahou kapilárních pórů) vyšší pórovitost než horizonty výrazně lehké.

Tab. 3: Hodnocení půdní pórovitosti lesních půd

P [%]	Pórovitost
Méně než 35	Velmi nízká
35 – 45	Nízká
45 – 55	Střední
55 – 70	Vysoká
Více než 70	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. 4: Hodnocení minimální vzdušné kapacity lesních půd

A_{MKK} [%]	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.

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/H₂O)
2. Půdní reakce potenciální výměnná (pH/KCl)
3. Půdní reakce potenciální hydrolytická (H_a).


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.


Podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. (VYHLÁŠKA Mze O AGROCHEMICKÉM 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 lednici v uzavřených nádobkách;*

 *do 50 ml kádinky se naváží 10 g jemnozeme I;*

 *na vzorky se přilije 25 ml destilované vody a obsah se 5 minut míchá skleněnou tyčinkou. Do suspenze se po dvou hodinách vloží kombinovaná elektroda pH-metru a*

po ustálení hodnoty se zapisuje jako hodnota pH/H₂O. 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 1M KCl. Obsah se promíchá skleněnou tyčinkou a nechá stát do druhého dne. Po přibližně 24 hodinách se do suspenze vloží kombinovaná elektroda pH-metru a po ustálení hodnoty se tato zapisuje 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. 5: Hodnocení půdní reakce lesních půd.

pH/KCl	pH/H ₂ O	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, $< 0,1$ μ m). 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 přebytkového množství iontů.

Základním kvalitativním hlediskem pro hodnocení významnosti koloidů pro lesní půdy je velikost jejich aktivního povrchu. Forma výskytu koloidů v lesních půdách je dvojitá 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 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). Stanovuje se jako součet parametrů S a Ha.

Stupeň nasycenosti sorpčního komplexu bazickými kationty (V) neboli bazická saturace (BS) je parametr vyjadřující procentický 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 kationtů 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 následného vytěsnění použitého "agresivního" kationtu (zde se setkáváme nejčastěji s používáním barya) 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.

Tato závislost se však již neprojevuje v případě okamžitého obsahu výměnných bazických kationtů (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 nebyvalou 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.

Z hlediska problematiky vlastního stanovení 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 $1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Tato metodika užívající pro stanovení okamžitého obsahu bazických kationtů $0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ HCl a pro stanovení nedosycenosti sorpčního komplexu použitím $1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ CH_3COONa neumožňuje analyzovat lesní půdy s vysokým obsahem minerálních forem bazických kationtů: půdy s obsahem karbonátů vyšším než 0,3 % a salinické půdy. Pro tyto půdy se v současné době používá extrakce $1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ $BaCl_2$ (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 stanovení hodnoty S 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 používané jednotky. Půdní výměnná sorpce se udává v $\text{m mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Jednotka mol je vztažena na molekulu dané látky. Z toho vyplývá, že použijeme-li součtovou metodu iontové výměnné kapacity, nemůžeme vycházet ze zjištěného obsahu jednotlivých prvků standardně udávaných v $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (kterýžto údaj je ovšem též nutno přepočíst, neboť většina metodik poskytuje výsledky v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$), ale tyto hodnoty musíme vztáhnout jednak k moci 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 podmíněna 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 H_a

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


Potřebné reagenty:


- 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 jemnozeme I.

 Přilijeme 50 ml CH_3COONa (množství odměříme odměrným válcem), vzorkovnici zazátkujeme a necháme na třepáčce 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 H_a

II.2.3. Výpočet H_a

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

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 vzata ke stanovení [g]








* V případě, že filtrátu ke stanovení bereme 25 ml, tj. $\frac{1}{2}$ z původní navážky, g je rovno polovině původní navážky a do jmenovatele tedy dosadíme hodnotu **g/2 (tzn. 10 g)**! (abychom stanovovali hodnotu H_a 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 n. 100 ml s nálevkou pro nalévání NaOH do byrety; Erlenmayerova baňka; odměrný válec.

Potřebné reagenty:

- 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 jemnozeme 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

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

kde:

*a – množství HCl potřebného ke stanovení [ml]

f₁ – faktor HCl (1)

b – množství NaOH spotřebovaného k titraci [ml]

f₂ – 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. 1/2 z původně přidaných 50 ml HCl, je nutno na místo množství HCl přidaného k půdnímu vzorku dosadit 1/2 hodnotu, tedy **a/2 (tzn. 25 ml)!**

** V případě, že filtrátu ke stanovení bereme 25 ml, tj. 1/2 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)

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

kde:

H_a – hydrolytická acidita

S – okamžitý obsah výměnných bází

II.2.7. Výpočet V

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

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 (H_a) a bazických kationtů (S) je nutné provést korekci. Důvodem použití korekce je skutečnost, že v půdním vzorku jemnozeme I. je určitý podíl hygroskopické vody. Korekce se provádí podle vzorce:

$$S_{kor} = \frac{S}{\text{sušina}_{jI.} / 100} \quad [\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

kde

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

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

$\text{sušina}_{jI.}$ – procentický obsah (%) sušiny ve vzorku jemnozeme 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 (H_a). Použitím tohoto vzorce, který je de-facto trojčlenkou, dojde k mírnému navýšení původních hodnot H_a a S na skutečnou navážku vzorku jemnozeme, ve kterém již není „navazována“ 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 S_{kor} a $H_{a, kor}$ 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 nenasyčené.

Tab. 6: Hodnocení stupně nasycení sorpčního komplexu lesních půd bazickými kationty.

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

Tab. 7: Hodnocení maximální sorpční kapacity výměnných kationů lesních půd. Hodnoty jsou udávány v jednotkách $\text{mmol} \cdot 100 \text{ g}$ a pro hmotnost 1000 g je nutné tabulkové hodnoty vynásobit 10x!

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

Tab. 8: Hodnocení okamžitého obsahu výměnných bazických kationů lesních půd. Hodnoty jsou udávány v jednotkách $\text{mmol} \cdot 100 \text{ g}$ a pro hmotnost 1000 g je nutné tabulkové hodnoty vynásobit 10x!

S [$\text{mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$]	Obsah výměnných bazických kationů
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 žiháním dle ČSN 721110 (1959)

III.1.1. Problematika stanovení

Ztráta žiháním je orientační metoda stanovení procentického podílu humusových látek minerálních horizontů na hmotnosti jemnozeme 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 žihání vzorků hornin.

Přibližnost metody spočívá v procesu žihání. Při vyžihání 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.

Vyžiháním 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 uhličitán 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 čtvrtiny jeho výšky;*
-  *tyglík se vzorkem (aniž bychom jej zvážili) dáme do horkovzdušné sušárny a vysušíme do konstantní hmotnosti;*
-  *teprve po vysušení do konstantní hmotnosti 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 zváží.*

III.1.3. Výpočet

$$H_{OX} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad [\%_{hm}]$$

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. 9: 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 žiháním (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 kapitulu II.1, ale také související půdní pufovinnost, neboli schopnost půdy odolávat změnám půdní reakce. V tomto aspektu karbonáty představují první pufrací 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. 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



při čemž objem uvolněného oxidu uhličitého je přímo úměrný obsahu uhličitánů ve vzorku. Stanovení se provádí 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 kapitulu IV.1).
-  Do vyvíjecí nádoby navážíme 20 g půdního vzorku jemnozeme I. V případě zvýšeného obsahu karbonátů (zjištěného při terénním orientačním stanovení) se navážka snižuje na $\frac{1}{2}$ (10 g), $\frac{1}{4}$ (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 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 trubicí 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 trubicí níže. Upouštěním vody eliminujeme vliv atmosférického tlaku, který zkresluje výšku hladin.
-  Za občasného, ale dostatečného promíchání suspenze ve vyvíjecí nádobě reakci necháme probíhat až do jejího úplného skončení.

III.2.3. Výpočet

V případě navážky vzorku 20 g obsah karbonátů se zjistí odečtem ze stupnice na levé trubicí (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. 10: 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

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.

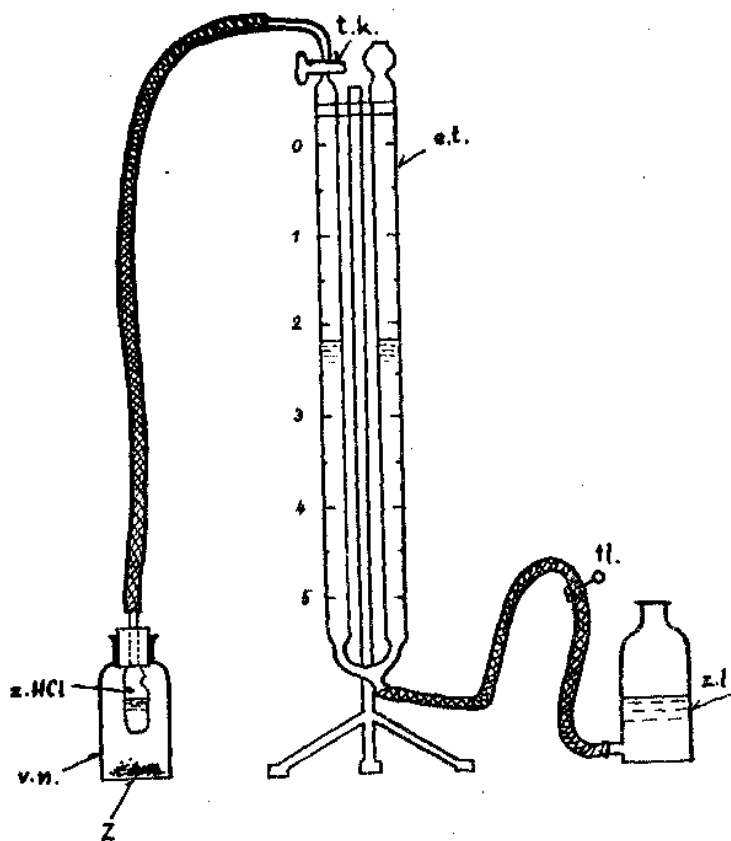
Tvorba enzymatického potenciálu půdy je složitý proces, ovlivňovaný komplexním působením pedogenetických faktorů. V první řadě se uplatňují enzymy extracelulární, primárně vylučované živými organismy do půdy. Enzymatický potenciál půdy je doplňován enzymy intercelulárními a intracelulárními, které po 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 oksylichovadla 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 O_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 250ml Erlen. baňky 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% roztok 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 třicestného kohoutu;
- poznačíme si aktuální čas a nakloníme Erlenmayerovu baňku tak, aby veškerý H_2O_2 vytekl do půdní suspenze;
- obsah Erlenmayerovy baňky opatrně promísíme krouživým pohybem;
- po 15 minutách zaznamenáme výšku hladiny vodního sloupce v měrném válci. V případě intenzivní produkce kyslíku zmírníme tlak vodního sloupce v měrném válci. V případě intenzivní produkce kyslíku zmírníme tlak v celé soustavě upuštěním vody z pravého vyrovnávacího 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 O_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 , (reakční baňka),
 Z = zemina,
 z.l. = zásobní láhev
 tl. = tlačka

IV.1.3. Vyhodnocení

Tab. 11: Hodnocení lesních půd podle aktivity půdní katalázy ($\text{ml O}_2 \cdot 5 \text{ g}^{-1} \cdot 15 \text{ min}^{-1}$)

$\text{ml O}_2 \cdot 5 \text{ g}^{-1} \cdot 15 \text{ min}^{-1}$	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 stejně jako fosfomonoesteráza 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 trakttech 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 5 mm. 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. 12: 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