

# PEDOLÓGIA - PRAKTIKUM

Stručné návody sú určené ako učebná pomôcka pre praktické cvičenia v rámci disciplín Pedológia a Pedológia a základy geológie pre študentov SPU v Nitre a boli vypracované na Katedre pedológie a geológie AF SPU v Nitre.

## 1. ZRNITOSTNÉ ZLOŽENIE PÔDY

Určenie **pôdneho druhu** nám umožňuje stanovenie zrnitostného zloženia pôdy /textúra pôdy/, poskytujúce informácie o distribúcii pôdnych častíc /zrn/ a zastúpení zrnitostných frakcií /kategórií/, do ktorých zaeľujeme častice pôdy v rámci definovaných veľkostných rozpätí.

Pôdna textúra je najstabilnejšou charakteristikou pôdy a rozhodujúcou mierou ovplyvňuje množstvo pôdnych vlastností ako sú: **pôdna štruktúra, pórovitosť, vodná a vzdušná kapacita, priepustnosť vody, infiltračná rýchlosť, erodovateľnosť, penetrácia koreňových systémov, konzistencia, všetky druhy pôdnej sorpcie a úrodnosť pôdy.**

Pri stanovení zrnitostného zloženia v laboratóriu dodržiavame nasledovný postup:

- a) **predbežná príprava vzorky pôdy** - obsahuje prípravu jemnozeme a stanovenie obsahu skeletu
- b) **príprava pôdnej vzorky na analýzu** - príprava pôdnej suspenzie /dispergáciou/
- c) **stanovenie zrnitostného zloženia** - triedenie na frakcie rôznymi metódami
- d) **vyhodnotenie získaných výsledkov zrnitostného zloženia.**

### 1.1. PRÍPRAVA JEMNOZEME

Východiskovým materiálom pre zrnitostné rozbory je **jemnozeme I.** čo je zemina, ktorá prejde cez sito s kruhovými otvormi o priemere 2 mm. Sú to agregáty a častice o priemere menšom než 2 mm. Častice väčšie ako 2 mm nazývame **skelet**.

Ako **jemnozeme II.** nazývame frakciu častíc a agregátov menších ako 0,25 mm, túto používame pri niektorých chemických analýzach.

### 1.2. STANOVENIE SKELETU V PÔDE

**Skelet** sú častice o priemere väčšom než 2 mm. Stanovuje sa celkový obsah skeletu, ktorý sa môže tiež ďalej triediť sadou sít na jednotlivé frakcie. Obsah skeletu sa uvádza väčšinou v hmotnostných percentách, alebo v  $\text{g.kg}^{-1}$  pôdy. Stanovuje sa mokrou cestou /premývaním vodou/, čím sa odstraňuje pracnosť, namáhavosť a prašnosť.

**Potreby:** Sada sít s priemerom ôk 2 mm a viac, hliníkové hrnčeky, ostrý štetec, váhy, sušiareň. Pracuje sa pod vodovodom s výlevkou.

**Pracovný postup:** Z pôvodnej vzorky /priemerná/ na vzduchu vysušenej sa odváži 500 - 1000 g /minimálne 250g/, tak aby navážka zodpovedala charakteru vzorky /veľkosť skeletu/. Odvážené množstvo vzorky sa premýva na site 2 mm s použitím ostrého štetca.

Čistý skelet sa spláchne do hliníkového hrnčeka, vysuší pri 105 °C do konštantnej hmotnosti a po ochladení zvaží.

### Výpočet

$$A (\% \text{ hmotn.}) = \frac{C \cdot 100}{N}, \text{ kde}$$

A - množstvo skeletu v hmotnostných percentách /%/

N - hmotnosť navážky vzorky /500 g/ prepočítaná na sušinu/g/

C - hmotnosť vysušeného skeletu /g/.

Poznámka: Postup pri stanovení frakcií skeletu je rovnaký, keď odvážená vzorka sa premýva na sade sít, s najväčším sitom hore a dole so sitom 2 mm.

Čím hrubšia frakcia skeletu je vo vzorke, tým je potrebnejšia väčšia navážka vzorky na stanovenie obsahu skeletu.

## 1.3. PRÍPRAVA JEMNOZEME K ROZBORU ZRNITOSTI - DISPERGÁCIA ZEMINY

Úlohou prípravy vzorky pre zrnitostné rozboru je podľa možnosti dokonalé rozrušenie zhlukov častíc /agregátov/, tak aby sa z nich uvoľnili jednotlivé častice, ktoré sú v agregátoch viacmenej pevne spojené anorganickými a organickými tmelmi.

Medzinárodná pôdoznalecká spoločnosť /ISSS/ odporúča pre prípravu pôdných vzoriek nasledovné metódy:

**a) chemická metóda /A-metóda/** - na dispergáciu sa používajú chemické dispergačné látky. Využíva sa pri stanovení obsahu ílových častíc /< 0,001 mm/.

**Potreby:** kadička 500 - 1000 ml, hodinové sklíčko 0 0,15 m, vodný kúpeľ, filtračný papier s.s.č.505 Ø 0,1 m, odmerná banka 100 ml, 6 % roztok H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 10 % roztok NH<sub>4</sub>OH, 1 M HCl.

**Pracovný postup:** Navážku jemnozeme pre zrnitostný rozbor vsypeme do kadičky 500 - 1000 ml. Pridáme 50 ml 6 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a zahrievame na horúcom vodnom kúpeli. Po ukončení prudkého penenia pridáme ďalší H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> až pokiaľ penenie neprestane, t.j. kým nie sú zoxidované organické látky (u bezhumóznych vzoriek netreba pridávať H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Po úplnom vychladnutí sa pridá toľko 1 M HCl, aby v kadičke bolo asi 250 ml suspenzie s koncentráciou približne 0,2 M HCl. U zemín s CaCO<sub>3</sub> je potrebné najskôr stanoviť jeho obsah a zneutralizovať ho (1 g CaCO<sub>3</sub> sa neutralizuje 20 ml 1 M HCl). Ďalší postup závisí od použitej metódy zrnitostného rozboru. Na 10 g navážky zeminy sa pridáva 10 ml dispergačného činidla.

**b) mechanická metóda (B-metóda)** - dispergáciu dosahujeme pôsobením vody, rozotieraním zeminy, trepaním vzorky a dlhšie trvajúcim varením.

**Potreby:** 1/ pre varenie a rozotieranie: porcelánová miska o Ø 0,2 m alebo kadička 500 ml, sklenená tyčinka, gumená stierka, hodinové sklíčko na prikrytie misky, strička.

2/ pre trepanie: porcelánová miska o  $\varnothing$  0,2 m, 500 ml špeciálna nádoba na trepanie, 5 pogumovaných olovených guľičiek (olovo  $\varnothing$  14 mm, s gumou celkovo  $\varnothing$  17 mm), horizontálna trepačka, strička.

**Reagencie pre obidva postupy:** destilovaná voda, dispergačné činidlo /35,7 g  $(\text{NaPO}_3)_6$  a 7,94 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  rozpustíme v destilovanej vode, alebo 40 g  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  rozpustíme v destilovanej vode a doplníme na objem 1 l/.

**Pracovný postup:** Navážka jemnozeme (jej veľkosť závisí od metódy rozboru a druhu zeminy) sa v porcelánovej miske zaleje ca 200 ml destilovanej vody, pridá sa dispergačné činidlo (10 ml na 10 g navážky), pomieša sa a zakryté hodinovým sklíčkom sa nechá stáť 24 hodín. Potom sa opatrne povarí 1 hodinu za občasného miešania a doplňuje sa odparená voda. Po varení sa pôdna suspenzia nechá stáť do druhého dňa. Pred rozborom sa suspenzia rozotrie gumenou stierkou a prenesie sa kvantitatívne do sedimentačného valca. Postup pri trepaní je rovnaký, len namiesto varenia sa použije horizontálna trepačka. Trepanie (220 otáčok = 440 nárazov za minútu/ trvá 1 hodinu. Po skončení trepania sa obsah nádoby prenesie cez lievik so sitkom (zachytenie guľičiek) do porcelánovej misky, nádoba, lievik a guľičky sa opláchnu aby nedošlo k strate zeminy. Suspenzia sa nechá stáť do ďalšieho dňa a pred rozborom sa už neroztiera.

**c) dispergácia ultrazvukom** - si vyžaduje špeciálne technické zariadenie, táto metóda sa využíva len minimálne pri príprave suspenzie pre stanovenie zrnitostného zloženia.

## 1.4. METÓDY STANOVENIA ZRNITOSTNÉHO ZLOŽENIA

Triedenie pôdných častíc sa robí pre pedologické účely pomocou vody, v ktorej je vzorka pôdy rozptýlená (pôdna suspenzia). Využíva sa pritom rozdielných rýchlostí pádu rôzne veľkých častíc pri sedimentačných (usadzovacích) metódach, alebo rozdielu vektorov proti sebe pôsobiacich, t.j. vektora sedimentácie častíc a vektora protismerne prúdiacej vody.

Teoretickým základom sedimentačných metód je Stokesov vzorec pre guľové častice, platný pre oblasť laminárneho prúdenia.

$$v = \frac{2}{9} \cdot g \cdot r^2 \cdot \frac{(S - S_k)}{\eta}$$

Pre zistenie sedimentačného času "T", za ktorý jednotlivé častice o polomere "r" prejdú sedimentačnú dráhu "h", sa dosadí do predchádzajúceho vzorca za  $v = h/T$ , potom

$$T = \frac{9 \cdot h \cdot \eta}{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (S - S_k)}$$

a

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot h \cdot \eta}{2 \cdot T \cdot g \cdot (S - S_k)}}$$

V uvedených vzorcach je

v - rýchlosť pádu častíc /sedimentačná rýchlosť/  $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}/$

g - gravitačné zrýchlenie  $/9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/$

r - polomer častíc  $/\text{m}/$

S - merná hmotnosť častíc  $/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}/$

$S_k$  - merná hmotnosť kvapaliny  $/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}/$

$\eta$  - dynamická viskozita kvapaliny  $/\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}/$  pre vodu pri  $20 \text{ }^\circ\text{C}$   $/0,001004 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}/$

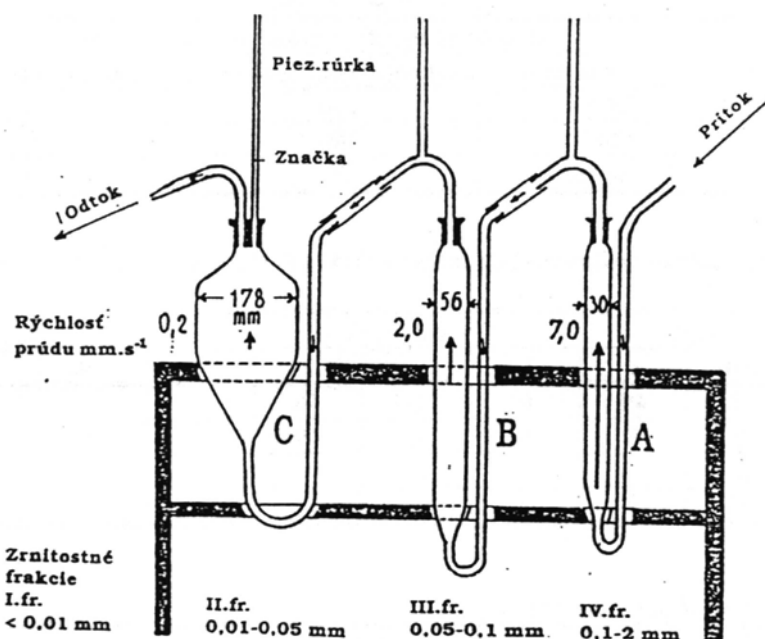
T - čas pádu častíc /sedimentačný čas/  $/\text{s}/$

h - dráha pádu častíc /sedimentačná dráha/  $/\text{m}/$

### 1.4.1. KOPECKÉHO VYPLAVOVACIA METÓDA

**Princíp metódy:** Využíva rôzne rýchlosti vzostupného prúdu vody vo valcoch Kopeckého prístroja. Vzostupný prúd vody pôsobí proti smeru usadzovania častíc, unášané sú častice ktorých sedimentačná rýchlosť je menšia než rýchlosť protiprúdu vody a tak dochádza k ich roztriedeniu.

**Opis prístroja:** Zariadenie sa skladá z troch sklenených valcov uchytených na stojane. Valce majú priemery 30; 56; 178 mm s toleranciou:  $\pm 1$ ;  $\pm 2$ ;  $\pm 4$  mm. Prístrojom preteká 1 liter vody za 202 s. Potom rýchlosť vzostupného prúdu vody (od úzkeho po najširší valec) je 7; 2; 0,2 mm.s<sup>-1</sup> a vyplavované sú častice o priemeroch <0,1; <0,05; <0,01 mm, takže vo valci "A" zostáva IV. zrnitostná frakcia (2 - 0,1 mm), vo valci "B" III. zrnitostná frakcia /0,1-0,05 mm/, vo valci "C" II. zrnitostná frakcia (0,05-0,01 mm) a I. frakcia (0 < 0,01 mm/ vyteká do odpadu.



**Obr. 1. Kopeckého vyplavovací aparát**

**Potreby:** váhy, porcelánové misky, strička, vysúšačky, Kopeckého vyplavovací prístroj, stopky, 1000ml valec, sušiareň

**Pracovný postup:** Zeminu k rozboru pripravujeme mechanickou metódou (B-metóda). Navážka 50 g na prípravu suspenzie. Pred samotným rozborom prekontrolujeme prietok vody v Kopeckého prístroji, stálosť prietoku je zaručená odberom vody z prevýšenej nádrže s plavákovým zariadením a na reguláciu sa používa buď jednocestný víťaný ventil alebo tlačka, normovaný prietok sa vyznačí na piezometrickej rúrke, keď prietok vody dosiahne hodnotu 1 l vody za 202 sekúnd. Potom pripravenú vzorku suspenzie po premiešaní kvantitatívne preniesieme do valca C (najužší). Pre urýchlenie rozboru môžeme najskôr jemnú časť suspenzie opatrne preniesť do valca B a zostávajúci piesok do valca C. Prístroj doplníme vodou, uzavrieme a nastavíme prietok vody podľa piezometrickej rúrky (tlaková) na normovaný prietok. Po ukončení vyplavovania, keď odteká len čistá voda sa prístroj rozoberie, frakcie z valcov sa preniesú do misiek, vysušia vo vysúšačkách a zväžia. Obsah jednotlivých frakcií (II., III., IV) sa vyjadří v percentách z navážky. Obsah I. frakcie sa vypočíta z rozdielu navážky a hmotnosti stanovených troch frakcií a vyjadří taktiež v hmotnostných percentách. Uvedená metóda je jednoduchá, ale nie je dostatočne presná.

Výsledky stanovenia ovplyvňuje tvrdosť vody a jej teplota, predpokladá sa, že zemina má priemernú mernú hmotnosť  $2,65 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ , výsledky sa obvykle neprepočítavajú na sušinu navážky a všetky prípadné straty počas rozboru ovplyvňujú presnosť stanovenia I. zrnitosti kategórie, ktorá je rozhodujúca pre klasifikáciu pôdy. Metóda sa využívala viac v minulosti.

## 1.4.2. PIPETOVACIA METÓDA

**Princíp metódy:** Patrí do skupiny metód využívajúcich neopakovanú sedimentáciu. Jej prednosťou oproti Kopeckého metóde je, že umožňuje presnejšie a detailnejšie rozdeliť najjemnejšiu časť pôdy. Pipetovaním je možné vzorku pôdy podľa metodiky KPP rozdeliť na 5 frakcií:

2 - 0,25	mm	stredný piesok
0,25 - 0,05	mm	jemný piesok
0,05 - 0,01	mm	hrubý prach
0,01 - 0,001	mm	jemný a stredný prach
< 0,001	mm	íl

Pre stanovenie zrnitostných frakcií sa zo suspenzie odoberá vzorka určitého objemu (obvykle 20 - 25 ml) z hĺbky, ktorá zodpovedá dĺžke sedimentačnej dráhy častíc stanovovanej zrnitostnej frakcie určitého rozpätia /a všetkých menších/ po určitom čase.

Časový interval sedimentácie a nasávania pre jednotlivé frakcie častíc pri teplote 20 °C

priem. Zrnitostných frakcií v mm	čas sedimentácie	hĺbka ponorenia pipety v mm	dĺžka nasávania v sekundách
5. 2 - 0,25	stanoví sa na site s priemerom ôk 0,25 mm		
4. 0,25 - 0,05	vypočíta sa z rozdielu frakcií (100 - súčet ostatných frakcií)		
3. 0,05 - 0,01	1'53''	250	20''
2. 0,01 - 0,001	19'56''	100	25''
1. < 0,001	22h 38'00''	70	30''

Časový interval sedimentácie častíc na sedimentačnej dráhe 100 mm, častíc s rôznou mernou hmotnosťou (S v  $\text{kg.m}^{-3}$ ) /ps/ pri teplote 20 °C

priem. častic v mm	S = 2 500 /ps/			S = 2 600 /ps/			S = 2 700 /ps/		
	h	min	s	h	min	s	h	min	s
0,050	0	0	49	0	0	46	0	0	43
0,020	0	5	8	0	4	49	0	4	32
0,005	1	22	15	1	17	07	1	12	35
0,002	8	34	04	8	1	57	7	33	36

Časový interval sedimentácie pri rôznych teplotách

teplota suspenzie (v °C)	frakcie častíc v mm a čas sedimentácie		
	0,05 - 0,01	0,01 - 0,001	<0,001
15,0	130''	21'45''	25h 22'00''
20,0	115''	19'26''	22h 39'00''
25,0	102''	17'09''	19h 39'00''
30,0	89''	14'50''	17h 17'52''

### 1.4.3. HUSTOMERNÁ /AREOMETRICKÁ/ METÓDA ZRNITOSTNÉHO ROZBORU (PODĽA A. CASAGRANDEHO)

**Princíp metódy:** Patrí do skupiny neopakovanej sedimentácie. Špeciálnym hustomerom sa určuje pokles hustoty suspenzie ako funkcie času. Tento je spôsobený postupným usadzovaním pôdnych častíc.

**Potreby:** hustomer, stopky, sedimentačný valec, teplomer, zariadenie na temperovanie teplo-ty suspenzie vo valci.

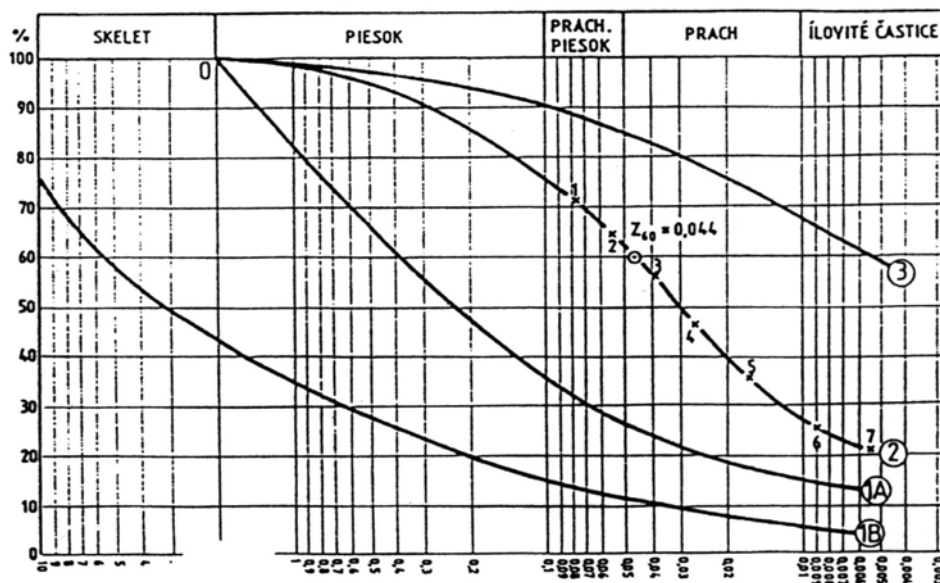
**Pracovný postup:** Podľa pôdneho druhu (stanoveného makroskopicky) navažujeme u **ťažkých pôd 20 - 30 g** (u extrémne ťažkých 10 g), u **stredne ťažkých 30 - 50 g**, u **piesočnatých nad 50 g** (u extrémne ľahkých až 100 g) jemnozeme na prípravu suspenzie, ktorú pripravujeme chemickou metódou (A-metóda). Zároveň stanovíme i sušinu analyzovanej jemnozeme a jej mernú hmotnosť.

Podmienky pre zaručenie presnosti analýzy:

- a) **Vhodná koncentrácia suspenzie**
- b) **Stabilná teplota suspenzie**
- c) **Stanovenie meniskovej korekcie** (hustomer sa ciachuje na hladinu kvapaliny, suspenzie nie sú priehľadné a odčítava sa horný meniskus - rozdiel medzi horným a spodným meniskom je menisková korekcia).
- d) **Problém narušovania sedimentácie** riešime tak, že počet meraní nemá byť veľký, pre zostrojenie zrnitosti krivky stačí asi 8 bodov (meraní), intervaly sa volia tak, aby boli na semilogaritmickej stupnici rozmiestnené rovnomerne, hustomer po odčítaní hodnoty (okrem prvých dvoch minút) zo suspenzie opatrne vytahujeme, potom opláchneme a osušíme, samotnú zmenu objemu suspenzie ponorením hustomera riešime kalibráciou hustomera a sedimentačného valca.
- e) **Kalibrácia hustomera a sedimentačného valca** - ponáraním a vyberaním hustomera dochádza k vertikálnemu pohybu suspenzie a tým i posunu hĺbky merania. Preto volíme stabilné dvojice (hustomer - valec) a tieto kalibrujeme.

**Zrnitostná krivka** - zrnitostná krivka je súčtovou čiarou, t.j. geometrickým miestom bodov, ktoré predstavujú percentuálne zastúpenie častíc určitého priemeru a všetkých menších. Kreslí sa v semilogaritmickom systéme, kde na horizontálnej osi je logaritmická stupnica priemeru častíc (v mm) a na vertikálnej osi dekadická stupnica percentuálneho zastúpenia častíc.

Zrnitostné krivky majú pre hlavné druhy pôd (obr.9) charakteristické tvary – **konkávny** (pre piesočnaté pôdy), **konvexnokonkávny** (pre hlinité pôdy) a **konvexný** (pre ílové pôdy).



Obr.2. Zrnitostné krivky

Zrnitostná klasifikácia slúži na určenie pôdneho druhu.

**Pôdny druh** je charakteristický určitým zastúpením pôdnych častíc podľa veľkosti, t.j. zastúpením zrnitostných frakcií pôdnych častíc.

Označovanie jednotlivých frakcií podľa ČSN ON 736518

Priemer častíc v mm	Názov frakcie		
< 0,0001	koloidný íl		
0,0001- 0,002	fyzikálny íl	/I. frakcia/ ílové minerály	jemnozern
0,002 - 0,01	jemný prach		
0,01 - 0,05	prach		
0,05 - 0,10	prachový piesok		
0,10 - 2,00	piesok	/IV. frakcia/	
2 - 8	drobný štrk	skelet	
8 - 32	stredný štrk		
32 - 128	hrubý štrk		
128 - 256	kamene		
> 256	balvany		



### 1.4.1. KLASIFIKAČNÁ STUPNICA ZEMÍN PODĽA NOVÁKA

Pri obsahu skeletu menej ako 50 % klasifikáciu pôdneho druhu robíme na základe % obsahu I. frakcie (< 0,01 mm) podľa klasifikačnej stupnice Nováka (1949), podľa ktorej sa hodnotili pôdy (zeminy) i pri komplexnom prieskume pôd.

#### NOVÁKOVA KLASIFIKAČNÁ STUPNICA ZEMÍN

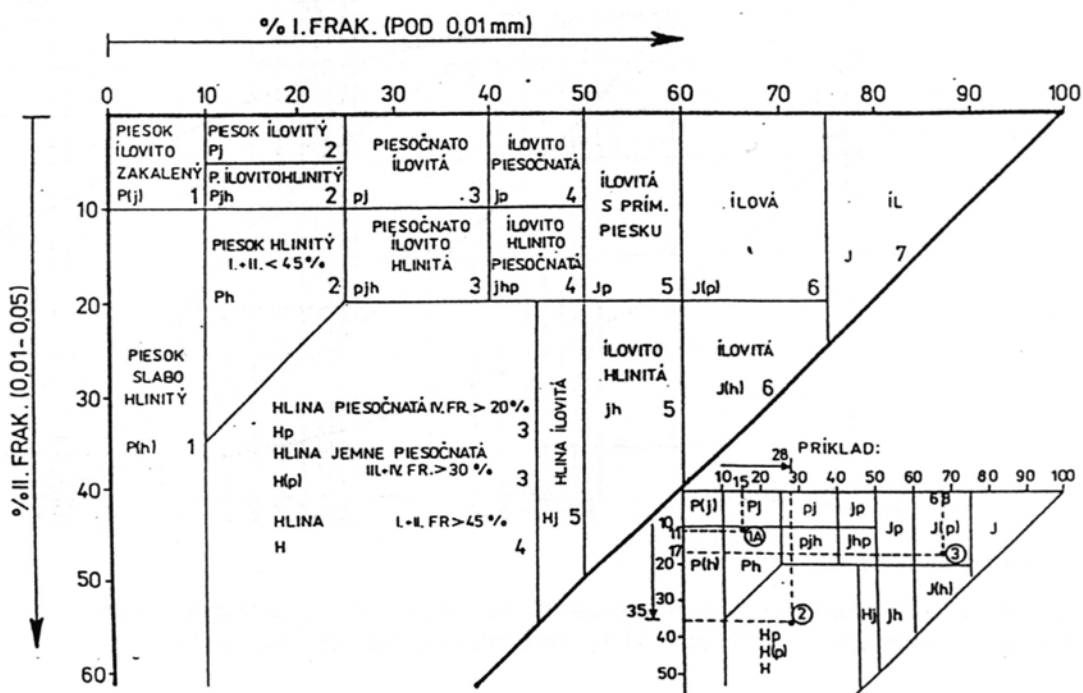
Obsah častíc < 0,01 mm v %	Označenie pôdneho druhu	Skrátená klasifikácia
0 - 10	<b>piesočnatá</b> P	<b>ľahká pôda</b>
10 - 20	<b>hlinito-piesočnatá</b> HP	
20 - 30	<b>piesočnato- hlinitá</b> PH	<b>stredne ťažká pôda</b>
30 - 45	<b>hlinitá</b> H	
45 - 60	<b>ílovito-hlinitá</b> IH	<b>ťažká pôda</b>
60 - 75	<b>ílovitá</b> IV	
> 75	<b>íl</b> I	



## 1.4.2. KLASIFIKÁCIA PODĽA KOPECKÉHO-SPIRHZANZLA

U nás sa dlho používal a pre potreby meliorácií pôd sa používa dodnes Kopeckého klasifikačný systém, ktorému sa hovorí i Spirhanzlov grafikón pre klasifikáciu zrnitosti pôd. Objektívnejšie odzrkadľuje rozdiely v technologických vlastnostiach pôd, ktoré veľmi závisia i od obsahu prachových častíc /0,01 - 0,05 mm/.

1.



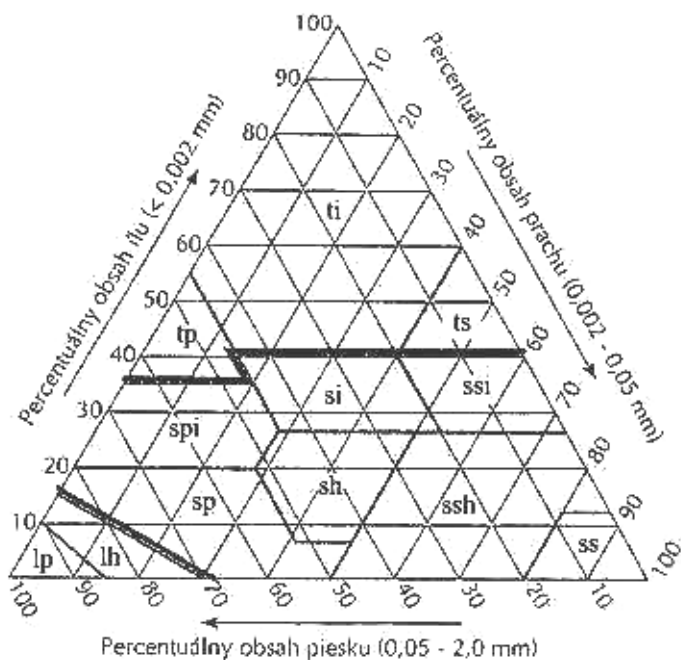
Obr.3. Klasifikačný grafikón zrnitosti podľa Kopeckého a Spirhanzla

### 1.4.3. TROJUHOLNÍKOVÝ KLASIFIKAČNÝ GRAFIKON

Umožňuje najkomplexnejšie určenie pôdneho druhu na základe obsahov troch základných zrnitostných frakcií v jemnozemi a to **piesku** (2 - 0,05 mm), **prachu** (0,05 - 0,002 mm) a **ílu** (< 0,002 mm) podľa MKSP 2000.

Obdobný systém využívajú i v USA a SRN, menšie rozdiely sú však vo vyčleňovaní zrnitostných frakcií.

USA	SRN	IUSS-systém
íl < 0,002 mm	<0,002 mm	< 0,002 mm
prach 0,002 - 0,05 mm	0,002 - 0,063 mm	0,002 - 0,02 mm
piesok 0,05 - 2,00 mm	0,063 - 2,00 mm	0,02 - 2,00 mm



<b>l - ľahká</b>	lp lh	-piesčitá -hlinito-piesčitá
<b>s - stredná</b>	sp sh ssh ss spi si ssi	-piesčito-hlinitá -hlinitá -prachovito-hlinitá -prachovitá -piesčito-ílovito-hlinitá -ílovito-hlinitá -prachovito-ílovito-hlinitá
<b>t - ťažká</b>	tp ts ti	-piesčito-ílovitá -prachovito-ílovitá ílovitá

Obr. 4. Trojuholníkový diagram klasifikácie zrnitosti pôd podľa MKSP 2000

### 1.4.4. HODNOTENIE SKELETovitosti

Pri hodnotení sa berie do úvahy suma frakcií a zemina sa posudzuje nasledovne:

- ak v pôde je drobného (2 - 8 mm) a stredného štrku (8 - 32 mm) nad 25 % a celkovej frakcie štrku (2 - 128 mm) pod 50 %, pôda sa hodnotí ako **stredne štrkovitá**,
- ak pôda obsahuje **frakcie štrku** (2 - 128 mm) **nad 50 %** hodnotí sa ako **štrkovitá**,
- s obsahom **frakcie kameňov** (128 - 256 mm) **nad 50 %** sa hodnotí ako **kamenitá**,
- s obsahom **frakcie balvanov** (> 256 mm) **nad 50 %** sa hodnotí ako **balvanitá**.

Nepriaznivo sa prejavuje pri spracovaní pôdy skelet o veľkosti nad 32 mm, t.j. hrubý štrk, kamene a balvany.

Okrem veľkosti a množstva skeletu možno hodnotiť ešte jeho tvar, hranatovitosť, tvrdosť, stupeň zvetrania, petrografické zloženie a jeho uloženie v pôdnom profile.

### 1.4.5. PRAKTICKÉ VYUŽITIE VÝSLEDKOV ROZBOROV ZRNITOSTNÉHO ZLOŽENIA PÔD

Hodnotenie výsledkov rozborov má význam z viacerých hľadísk:

a/ **genetického**, kedy výsledky zrnitostného rozboru v pôdnom profile sú ukazovateľom: **translokácie koloidov** v profile (hodnotí sa predovšetkým obsah frakcie  $< 0,001$  mm a pomer jej obsahov v **eluviálnom** /ochudobnenom/ a **iluviálnom** /obohatenom/ horizonte), kde hodnoty zodpovedajú:

1,2 - 1,5 slabej textúrnej diferenciacii

1,5 - 2,0 strednej textúrnej diferenciacii

2,0 - 2,6 silnej textúrnej diferenciacii

- **homogenity**, či heterogenity substrátu, na ktorom sa vytvorila pôda (hodnotíme pomery medzi jednotlivými frakciami, jemnejšími a hrubšími),

b/ **agronomického**, kde zrnitostný rozbor spolu so stanovením skeletu nám slúži k riešeniu melioračných opatrení (zrnitostné zloženie celého pôdneho profilu) a to odvodnenia, závlah, meliorácií piesočnatých pôd, utlačaniu ľahkých pôd, vyľahčovaniu ťažkých pôd a pod.

- otázok hnojenia, kde je nutné rešpektovať zrnitostné zloženie z hľadiska hodnotenia prístupných živín,
- otázok obrábania pôdy, najmä z hľadiska určenia skupín obtiažnosti obrábania a nákladov, možnosti podrývania a prehlbovania (pri súčasnom hodnotení ďalších vlastností ornice a podorničia).

## 2. ROZBORY FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ PÔD

Pojem **fyzikálne vlastnosti pôdy** predstavuje súhrn pôdnych vlastností, ktoré sú podmienené zrnitostným zložením pôdnych častíc, priestorovým usporiadaním pôdnej hmoty /zeminy/ a vzájomnými vzťahmi medzi pevnými časticami, pôdnou vodou a vzduchom. Množstvo a veľkosť pôdnych častíc /zrn/ a ich vzájomné usporiadanie má veľký význam pri vzniku pórov, ich rozmerov a spôsobe rozmiestnenia, pri vsakovaní a priepustnosti tekutej fázy (vody) a vzduchu. Tepelné vlastnosti sú podmienené vzťahom pôdy k vonkajším faktorom (teplo, svetlo a vietor).

**Fyzikálne vlastnosti pôdy** významnou mierou vplývajú na priebeh a rýchlosť rôznych fyzikálno-chemických a biologických procesov a taktiež na rozvoj pôdnych mikroorganizmov.

Od stavu fyzikálnych vlastností vo veľkej miere závisí aj úrodnosť pôdy, hlavne pri zabezpečovaní rastlín prístupnými živinami, zrážkovou, alebo závlahovou vodou, teplom a vzduchom.

Podľa funkčnosti, ktorú zohrávajú v pôde rozdeľujeme fyzikálne vlastnosti na dve skupiny:

- a) **základné** (prvotné), ktoré sú úzko spojené s kvalitatívnymi vlastnosťami pôdnej hmoty, t.j. štruktúra, merná hmotnosť, objemová hmotnosť, pórovitosť a farba,
- b) **funkčné** (druhotné), ktoré sú závislé od základných a sú výsledkom funkcie pôdy ako prostredia obývaného rastlinami a živočíchmi, t.j. **vodný, vzdušný a tepelný režim pôd**.

Pre stanovenie uvedených fyzikálnych vlastností pôdy existuje v súčasnosti viacej metód stanovenia. Vzhľadom na určený zámer týchto skrípt uvedieme len tie najpodstatnejšie.

Najprv treba zdôrazniť, že ak vychádzame z priestorového usporiadania pôdnej hmoty a berieme v úvahu len skupenstvo látok, z ktorých sa pôda skladá, môžeme konštatovať, že odobraný **objem pôdnej vzorky v neporušenom stave** predstavuje systém troch fáz, ktorý označujeme ako " $V_s$ ". V tomto systéme treba rozlišovať **objem pevnej fázy** " $V_z$ " o **hmotnosti**  $m_z$  a celkový **objem pórov** " $V_p$ ". V celkovom objeme pórov je zastúpený určitý **objem vody** " $V_w$ " o **hmotnosti**  $m_w$  a **objem vzduchu** " $V_A$ " o **hmotnosti**  $m_A$ .

Z uvedeného konštatovania vyplýva, že každá zo spomínaných fáz zaberá z celkového skúmaného objemu pôdy  $/V_s/$  len určitú časť a tá má určitú hmotnosť, t.j.

$$V_s = V_z + V_w + V_A = V_z + V_p$$

$$m_s = m_z + m_w + m_A$$

Uvedené fázy sú navzájom v určitom objemovom pomere. Za všeobecný model tohoto pomeru sa uvádzajú hodnoty **50 : 30 : 20**, čo znamená, že 50 % z celkového objemu pôdy pripadá na objem základnej pôdnej hmoty /pevnej fázy/, 30 % pripadá na objem pôdneho roztoku (kvapalnej fázy) a 20 % zaberá pôdny vzduch. Jednotlivé fázy pôdneho systému sú vo vzájomnej úzkej interakcii s prísne vyhranenými zákonitostami.

## 2.1. STANOVENIE FYZIKÁLNYCH A HYDROFYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ V NEPORUŠENEJ VZORKE PÔDY

Ak chceme dôkladnejšie poznať fyzikálne vlastnosti obhospodarovaných pôd a realizovať na nich i keď ekonomicky nákladné, ale veľmi potrebné opatrenia na vylepšenie týchto vlastností, musíme najprv poznať zámer plánovaného cieľa. Závisí aj od toho, či budeme vykonávať **pedologický** alebo **hydropedologický prieskum**. I keď oba prieskumy majú veľa spoločného, hydropedologický prieskum ide do podrobných detailov, zvlášť s ohľadom na hydrofyzikálne vlastnosti pôd.

Na rozdiel od komplexného prieskumu pôd (KPP) hydropedologický prieskum (HPP) je zameraný na užšiu melioračnú problematiku. Preto je veľmi dôležité, aby poskytol podklady pre zistenie a realizáciu nasledovných opatrení:

- zistenie potreby melioračných opatrení, určenie pozemkov a plochy,
- voľba druhu a stupňa melioračných opatrení,
- prognóza zmeny vodného režimu po vykonaní a aký sa predpokladá vplyv na celkový stav pôdy,
- návrh zúrodňovacích opatrení, ktoré vyplývajú z melioračných zásahov,
- návrh efektívneho využitia meliorovaných pôd.

Za vymedzenie plôch vyžadujúcich úpravu vodného režimu a určenie príčin nepriaznivého stavu zodpovedá hydropedológ vykonávajúci prieskum. Pre splnenie vytýčeného cieľa treba odobrať z určených profilov a hĺbok neporušené vzorky zeminy do kovových valčekov na stanovenie fyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností skúmaných zemín (pôd).

**Princíp metódy:** *Pomocou odobratej vzorky v neporušenom stave zachytíme jej prirodzené podmienky v čase odberu. Vážením vlhkej a suchej zeminy a pomocou stanovenia mernej hmotnosti zistíme pomery jednotlivých fáz medzi sebou navzájom.*

Rozborom zistíme nielen množstvo zeminy vo valčeku, ale i to, ako tieto častice svojim priestorovým usporiadaním vytvárajú pôdny profil, do akých štruktúrnych celkov sa spájajú, aký je objem, tvar a usporiadanie dutín medzi časticami a agregátmi, ktoré nazývame póry.

**Potreby:** oceľový valček o objeme 0,001 m<sup>3</sup> (100 ml) s násadcom, alebo zabrúsený bez násadca, podierované viečko, alebo mosadzná sieťka s priemerom väčším ako valček, filtračný papier do viečka, plochá misa, korky pod valček, rýchlováhy, termostat, nádoby na vytlačenie zeminy z valčeka a jej vysušenie, exikátor so silikagélom alebo CaCl<sub>2</sub>, sklenený zvon a veľký filtračný papier.

**Pracovný postup:** Očíslovaný valček so spodným dierovaným viečkom a filtračným papierom odvážime a zapíšeme si číslo a hmotnosť do pracovného záznamu. Po úprave odberovej plochy valček samotný alebo s násadcom kolmo zatlačíme do pôdy rukou, kladivom alebo hydraulikou tak, aby nedošlo k porušeniu zeminy v ňom. Po naplnení valčeka zeminu opatrne nožom a lopatkou vyberieme z pôdy, potom vyčnievajúcu časť zeminy nad samotným valčekom obrežeme na úroveň oboch základní valčeka. Na spodnú základňu priložíme dierované viečko s filtračným papierom, na vrchnú celé viečko a dopravíme do laboratória.

V laboratóriu valček so zeminou a spodným viečkom odvážime a zapíšeme hmotnosť, ktorá nám udáva hodnotu zeminy s momentálnou vlhkosťou ( $w$ ,  $\Theta$ ).

Ak v ďalšom spracovaní vzoriek ihneď nepokračujeme, odložíme ich do chladničky, alebo zabalíme do igelitového vrečka, aby nedochádzalo k strate vlhkosti. 24 hodín pred ďalším spracovaním valček so zeminou postavíme na korok obalený dvojito vrstvou filtračného papiera tak, aby prostredníctvom neho sa mohla zemina nasýtiť vodou a pritom aby nedošlo k strate zeminy vyplavením. Proti výparu vody vzorky prekryjeme vhodnou nádobou, alebo každú individuálne hodinovým sklíčkom. Po uplynutí 24 hodín skontrolujeme, či všetky vzorky sú nasýtené /podľa lesku vody na povrchu zeminy/. Každú vzorku odvážime, čím zistíme hodnotu **kapilárnej nasiakavosti** ( $\Theta_{KN}$ ) a zapíšeme čas nula, od ktorého sa budú počítať ďalšie intervaly váženia, a tým i stanovenia pôdnych hydrolimitov.

Ak neplánujeme stanoviť hodnotu **plnej vodnej kapacity** valček so zeminou postavíme na štyrikrát preložený filtračný papier a prikryjeme sklenným zvonom, aby sme zabránili výparu vody. Na filtračnom papieri sa zemina zbavuje gravitačnej a slabo viazanej kapilárnej vody. Po **uplynutí 30 minút** (od nula času) vzorku odvážime a zistíme koľko vody sa zdržalo v kapilárach ( $\Theta_{30}$ ).

Valček so zeminou znova postavíme na suchý filtračný papier a prikryjeme zvonom na ďalších 90 minút. Po uplynutí 2 hodín od počiatočného času vzorku zasa odvážime a zistíme množstvo vody viazané kapilárnymi silami, t.j. hodnotu **maximálnej kapilárnej vodnej kapacity** ( $\Theta_{KMK}$ ) podľa Nováka. Tento postup stanovenia pre praktické cvičenia v laboratóriu je postačujúci.

Ak chceme zistiť ďalšie hodnoty môžeme valček so zeminou znova postaviť na suchý filtračný papier, prikryť zvonom a nechať stáť ďalších 22 hodín.

Po uplynutí horeuvedených časových intervalov (celkom 24 hodín od času nula) zistíme hodnotu približnej **retenčnej vodnej kapacity** ( $\Theta_{RK}$ ).

Po ukončení váženia zeminu z valčeka opatrne bez strát vytlačíme do porcelánovej misky, alebo hlinikového hrnčeka. Prázdny valček sa očistí filtračným papierom, ktorý uzatváral dolnú základňu a ponechá sa v zemine. Vytlačená zemina sa vysušuje do konštantnej vlhkosti (6 - 8 hodín) v sušiarňi pri 105 °C. Humózne vzorky zeminy sa sušia maximálne pri 70 °C za súčasného použitia silikagélu.

Po vysušení sa zemina nechá vychladnúť v exikátore, odváži a určí sa čistá hmotnosť vysušenej zeminy, ktorá sa zároveň použije k výpočtu objemovej hmotnosti redukovanej / $\rho_d$ / a stanoveniu mernej hmotnosti / $\rho_s$ /.

**P o z n á m k a:** Po zistení **kapilárnej nasiakavosti** ( $\Theta_{KN}$ ) vzorku zeminy vo valčeku možno použiť i na stanovenie **plnej vodnej kapacity** ( $\Theta_s$ ) a taktiež **priepustnosti** pre vodu, čiže **hydraulické vodivosti** ( $K_p$ ). Pre tento účel sa oceľový valček upraví tak, že sa na vrchnú základňu nastaví priesvitný krúžok o výške asi 40 mm. Aby nepresakovala voda medzi krúžkom a valčekom miesto na spoji sa utesní gumovou malžetou o šírke 20 mm. Do krúžku nad zeminou sa naleje voda do výšky 10 mm a táto hladina sa dopĺňovaním udržiava dotiaľ, pokiaľ zo spodnej základne nepotečie do lievika voda. Tým sa dosiahne plné nasýtenie všetkých pórov v zemine. Potom prebytočnú vodu odlejeme alebo odsajeme a zvyšok necháme odtiecť na úroveň povrchu zeminy vo valčeku.

Takto nasýtenú vzorku odvážime a zistíme hodnotu **plnej vodnej kapacity** ( $\Theta_s$ ). Od toho momentu sa napíše čas nula a môžu sa zisťovať ďalšie pôdne hydrolimity tak, ako sme ich vyššie popísali.

**Spracovanie výsledkov:** Výsledky získané laboratórnymi rozbormi kvôli prehľadnosti je potrebné uviesť v tabuľkách. Po tomto spracovaní má nasledovať vysvetlenie jednotlivých pojmov.

V praktickom určovaní hydrologických vlastností pôdy nás predovšetkým musí zaujímať **vodný režim pôdy**, ktorý chápeme ako **súhrn všetkých javov vnikania vody do pôdy, jej pohybu, zadržiavania v pôdnom profile a unikania z pôdy**.

Pri sledovaní a určovaní hydrologických vlastností treba rozlišovať nasledovné charakteristiky pôdnej vody:

- **Pôdna vlhkosť** je **momentálny obsah vody v pôde**. Vyjadrujeme ju v percentách k hmotnosti suchej zeminou ( $w$ ), alebo v objemových percentách ( $\Theta$ ). Hodnota pôdnej vlhkosti sa v priebehu času mení. Jej zmeny závisia ako od poveternostných podmienok, tak aj od desukcie koreňového systému rastlín, od agrotechniky, od hĺbky pôdy, jej zrnitosti a štruktúrnosti.

**Pôdnu vlhkosť „w“** stanovujeme najčastejšie v porušenej vzorke zeminou vysušovacou /gravimetrickou/ metódou tak, že odoberieme do vysúšačky minimálne 10 g zeminou a vysušíme pri teplote 105 °C do konštantnej hmotnosti.

**Príklad:**

hmotnosť vysúšačky (tary)  $m_t = 27,93$  g

hmotnosť vysúšačky s vlhkom zeminou po odbere  $m_{z1} = 47,13$  g

hmotnosť vysúšačky s vysušenou zeminou  $m_{z2} = 45,97$  g

hmotnosť vlhkej zeminou =  $m_{z1} - m_t = 19,20$  g

hmotnosť suchej zeminou =  $m_{z2} - m_t = 18,04$

$$\% w = \frac{m_{z1} - m_{z2}}{m_{z2}} \cdot 100 = \frac{19,20 - 18,04}{18,04} \cdot 100 = \frac{1,16}{18,04} \cdot 100 = 6,43\%$$

**Vyjadrenie vlhkosti v objemových percentách** sa používa pri bilancovaní vody v pôdnom profile, hlavne preto, že vlhkosť v objemových percentách sa ľahko prepočítava na **zásobu vody v mm vodného stĺpca**, čo je zrovnateľná hodnota so zrážkami, závlahou a výparom z pôdy hlavne pri bilancii vodného režimu pôdy. Prepočet vlhkosti pôdy z hmotnostných percent na objemové sa robí tak, že sa hodnota v hmotnostných percentách vynásobi objemovou hmotnosťou suchej pôdy.

**Príklad:**

$$\Theta = w \cdot \rho_d, \text{ kde}$$

$\Theta$  = vlhkosť zeminou v objemových percentách

$w$  = vlhkosť zeminou v hmotnostných percentách

$\rho_d$  = objemová hmotnosť redukovaná

Vo výskumnej pôdoznaleckej praxi na **zisťovanie pôdnej vlhkosti** sa používajú viaceré metódy. Môžeme ich rozdeliť na dve skupiny:

- a) **metódy** pre použitie ktorých treba odobrať vzorky z pôdneho prostredia. Patria k nim gravimetrická, liehová, glycerínová, karbidová a pyknometrická.



b) m e t ó d y ktorými môžeme merať v terénnych podmienkach, vegetačných nádobách, lyzometroch atď. Patrí k nim konduktometrická, tenziometrická, gamaskopická a neutrónová metóda.

Pre **stanovenie pôdnych hydrolimitov**, alebo vodných kapacít využívame neporušenú vzorku pôdy, odobranú do oceľových valčekov a môžeme stanoviť nasledovné hodnoty:

- **Kapilárna nasiakavosť**  $/\Theta_{KN}/$  charakterizuje maximálne zaplnenie pôdnych pórov pri kapilárnom nasýtení zeminy vodou za 24 hodín. V rámci laboratórnych cvičení sa stanovuje hlavne pre kontrolu správnosti určenia pórovitosti.
- **Vlhkosť tridsať minútová**  $/\Theta_{30}/$  je hodnota vlhkosti slúžiaca ku klasifikácii pôdnych pórov, ktorá bola zavedená na základe sledovania odtekania vody z valčeka na štvornásobnom filtračnom papieri v závislosti od času. Bolo zistené, že v ľahkých pôdach po 15 minútach a stredných a ťažkých pôdach po 30 minútach dochádza k rýchlemu poklesu vlhkosti pravdepodobne z hrubých nekapilárnych pórov vplyvom gravitačných síl.
- **Maximálna kapilárna vodná kapacita**  $/\Theta_{KMK}/$  je podľa V. Nováka schopnosť pôdy zadržať maximálne množstvo vody zavesnej v kapilárnych póroch pre potreby vegetácie po 2 hodinách odtekania od nula času. Pokusy s ustálením vody v pôde ukázali, že pri tejto charakteristike voda v pôde nie je ešte celkom ustálená a pôsobením gravitačných síl sa ďalej ustaluje. Používa sa doposiaľ ako hodnota vodnej kapacity pôdy všade tam, kde môže dôjsť z časových dôvodov k ustáleniu vlhkosti. Jej hodnota by nemala byť vyššia ako 70 - 80 % celkovej pórovitosti.
- **Retenčná vodná kapacita**  $/\Theta_{RK}/$  predstavuje v porovnaní s  $\Theta_{KMK}$  už dosť ustálený stav vlhkosti pôdy (blízky teoretickému) po 24 hodinách odtekania. Zodpovedá obsahu vody nachádzajúcej sa v pôde pod vplyvom kapilárnych síl, t.j. v kapilárnych póroch. Preto možno túto hodnotu pokladať za totožnú s objemom kapilárnych pórov. Jej hodnota by mala vyjadrovať asi 2/3 celkovej pórovitosti, čo zodpovedá i približnej poľnej vodnej kapacite.

S uvedenými **hydrofyzikálnymi charakteristikami** úzko súvisia **vzdušné charakteristiky**, ktoré sú doplnkom hodnôt vody do objemu celkovej pórovitosti.

Namerané hodnoty hmotnosti valčeka s viečkom a filtračným papierom, hmotnosť valčeka so zeminou v rôznom stupni nasávania a odtekania vody, ako i hmotnosť hrnčeka s vlhkom i vysušenou zeminou zapíšeme do "Záznamu meraní a výpočtu vlhkosťného stavu neporušenej vzorky pôdy".

**Záznam meraní a výpočtu vlhkosťného stavu a vodných kapacít neporušenej vzorky pôdy**

p.č	označ. fázy stavu v rôznych časových intervaloch	označ. pojmov	hmotnosť jednotlivých vážení v gramoch					výpočet vlhkosti v %	
			$m_t+m_{z1}$	$m_t$	$m_{z1}$	$m_{z2}$	$m_w$	$w = (m_w/m_{z2}).100$	$\Theta = (m_w/100).100$
1.	valček + viečko + filtračný papier	$m_t$	-	-	-	-	-	-	-
2.	momentálna vlhkosť	$\Theta$							
3.	kapilárna nasiakavosť	$\Theta_{KN}$							
4.	vlhkosť po 30 minútach odtekania	$\Theta_{30'}$							
5.	max. kapilárna vodná kapacita	$\Theta_{KMK}$							
6.	retenčná vodná kapacita po 24 h	$\Theta_{RK}$							
	Stanovenie sušiny zeminy								
7.	hrnček na vysušovanie zeminy	$m_t$	-	-	-	-	-	-	-
8.	hrnček + vlhká zemina	$t+m_{z1}$							
9.	hrnček + zemina po vysušení	$t+m_{z2}$							
10.	vysušená zemina pri 105 °C	$m_{z2}$							

## 2.2. STANOVENIE MERNEJ HMOTNOSTI PÔDY

**Merná hmotnosť** /  $\rho_s$  / je číselná hodnota, ktorá nám udáva koľkokrát je určitý objem zeminy /pôdy/ bez pórov ťažší, alebo ľahší ako rovnaký objem destilovanej vody pri teplote 4 °C.

Vyjadruje hmotnosť objemovej jednotky (napr. m<sup>3</sup>) pevnej bázy pôdy bez pórov (bez vody a vzduchu). Merná hmotnosť pôdy závisí predovšetkým od **mernej hmotnosti minerálov**, z ktorých zemina pozostáva a taktiež od **obsahu organických látok a humusu**.

**Minerálna časť pôdy** mernú hmotnosť od **2350-2480 kg.m<sup>-3</sup>** alebo **2,35-2,80 t.m<sup>-3</sup>**. **Organický podiel (humus)** má mernú hmotnosť od **1100-1450 kg.m<sup>-3</sup>**.

V pôdnych vzorkách merná hmotnosť sa vyskytuje v rozpätí **2400-2750 kg.m<sup>-3</sup>** alebo 2,40-2,75 t.m<sup>-3</sup>. V starších publikáciách je hodnota vyjadrená i v g.cm<sup>-3</sup>.

V humusovom horizonte, vzhľadom na vyšší obsah humusu, je táto hodnota nižšia ako v ostatných horizontoch.

**Princíp metódy:** Mernú hmotnosť stanovíme pyknometricky tak, že v presne odkalibrovaných nádobkách /pyknometroch/ zistíme objem vody, ktorú vytlačila určitá hmotnosť zeminy.

**Potreby:** pyknometer, teplomer, termostat, /varič/, porcelánová miska, lievik.

**Pracovný postup:** Odvážime 10 g vysušenej zeminy pri 105 °C, vysypeme do malej porcelánovej misky a zalejeme destilovanou vodou tak, aby jej hladina bola aspoň 5 mm nad zeminou. Potom na miernom plameni plynového horáka, alebo na elektrickej platničke za stáleho miešania sklenenou tyčinkou opatrenou na konci gumičkou povaríme 3 - 5 minút, aby sme zo vzorky vypudili vzduch. Povarenú suspenziu zeminy necháme ochladiť.

Medzitým naplníme pyknometer destilovanou vodou o známej teplote alebo temperujeme 15 min. na predpísanú teplotu pre príslušný pyknometer (obyčajne 20 °C). Po vytemperovaní doplníme destilovanou vodou po okraj hrdla, zazátkujeme zabrušenou zátkou s kapilárou a dbáme na to, aby v pyknometri nezostala vzduchová bublina. Potom

pyknometer osušime od povrchových kvapiek vody, hlavne okolo zátky, odvážíme a zapíšeme hmotnosť.

Vodu z pyknometra vylejeme do kadičky a cez lievik preniesime z misky povarenú suspenziu zeminy. Aby pri naplňaní pyknometra mohol zároveň unikat' vzduch vložíme medzi lievik a hrdlo drôtený háčik, prípadne postavíme lievik do držiaka nad pyknometer. Po prenesení pôdnej suspenzie misku, lievik a drôtik dôkladne opláchneme a pyknometer doplníme destilovanou vodou po okraj. Temperujeme pyknometer asi 15 minút v plochej miske s chladnejšou vodou na príslušnú teplotu. Potom pyknometer zazátkujeme, osušime zase od povrchových kvapiek vody, zvážíme a zapíšeme údaje.

Mernú hmotnosť zeminy  $\rho_s$  vypočítame podľa vzorca:

$$\rho_s = \frac{m_z}{m_w}, \text{ kde}$$

$m_z$  = hmotnosť absolútne suchej zeminy /hmotnosť navážky/

$m_{wp}$  = hmotnosť pyknometra s destilovanou vodou,

$m_{zwp}$  = hmotnosť pyknometra so zeminou a vodou,

$m_w$  = hmotnosť vytlačenej vody zeminou, ktorá sa vypočíta zo vzťahu  $(m_{wp} + m_z) - m_{zwp}$ ,

**Príklad výpočtu:**  $m_{wp} = 135,80 \text{ g}$ ;  $m_{zwp} = 141,92 \text{ g}$ ;  $m_z = 10 \text{ g}$ ,

$$m_w = (135,80 + 10,00) - 141,92 = 3,88 \text{ g}$$

$$\rho_s = \frac{10,00}{3,88} = 2,57 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = 2570 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Merná hmotnosť sa používa pre výpočet pórovitosti a pri stanovení zrnitosti pôdy.

## 2.3. VÝPOČET A CHARAKTERISTIKA ZÁKLADNÝCH I NIEKTORÝCH FUNKČNÝCH FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ

Fyzikálne vlastnosti, ktoré sme nestanovili priamo rozborom, môžeme vypočítať zo vzťahov medzi jednotlivými fázami z hľadiska objemu pôdy  $V_s$  a hmotnosti pôdy  $m_z$ .

### 2.3.1. VÝPOČET OBJEMOVEJ HMOTNOSTI PÔDY

**Objemová hmotnosť pôdy** sa charakterizuje hmotnosťou určitého objemu zeminy vyňatého z pôdneho profilu v **prirodzenom zložení** a vyjadruje sa v  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  / $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ /. Číselné hodnoty objemovej hmotnosti sú vždy nižšie ako hodnoty mernej hmotnosti, pretože vyjadrujú hmotnosť určitého objemu zeminy i s pôdnymi pórmi. **Objemová hmotnosť je veľmi závislá od veľkosti a vodoodolnosti pôdných agregátov, od pórovitosti, obsahu vody a vzduchu v pôde.** Preto objemová hmotnosť nie je stálou veličinou, ale podlieha sezónnym zmenám. V rôznych typoch pôd, v rôznych horizontoch i hĺbkach pôd sa táto objemová hodnota mení najčastejšie v rozpätí **1150 - 1750  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$**  (1,15 - 1,75  $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

Z hľadiska prirodzených a konštantných podmienok rozlišujeme dva druhy objemovej hmotnosti:

a)  $\rho_w$  = **objemová hmotnosť neredukovaná**, t.j. hmotnosť neporušeného jednotkového objemu pôdy s momentálnym obsahom vody.

Vypočítame ju nasledovne:

$$\rho_w = \frac{m_{z1}}{V_s} = \frac{165,10 \text{ g}}{100 \text{ ml}} = 1,65 \text{ t.m}^{-3} = 1651 \text{ kg.m}^{-3}$$

b)  $\rho_d = \text{objemová hmotnosť redukovaná}$ , t.j. hmotnosť neporušeného jednotkového objemu vysušenej pôdy pri 105°C.

Vypočítame ju nasledovne:

$$\rho_d = \frac{m_{z2}}{V_s} = \frac{128,60 \text{ g}}{100 \text{ ml}} = 1,28 \text{ t.m}^{-3} = 1280 \text{ kg.m}^{-3}$$

kde:

$m_{z1}$  = hmotnosť objemu pôdy s momentálnou vlhkosťou

$m_{z2}$  = hmotnosť objemu pôdy vysušenej pri 105°C

$V_s$  = objem pôdnej vzorky, alebo ocelového valčeka, ktorý môže byť 100 až 500 ml ( $\text{cm}^3$ ).

Táto hodnota sa používa pre výpočet pórovitosti a objemovej vlhkosti pôdy. Je experimentálne dokázané, že v hlinitých pôdach hodnoty väčšie ako  $1450 \text{ kg.m}^{-3}$  sú kritické, pri  $1630 \text{ kg.m}^{-3}$  nastáva výrazný pokles úrod a pri  $1940 \text{ kg.m}^{-3}$  nerastú žiadne rastliny.

### 2.3.2. VÝPOČET CELKOVEJ PÓROVITOSTI PÔDY

**Pórovitosťou pôdy /P/** nazývame celkový objem pórov medzi pôdnymi časticami, agregátmi i vo vnútri agregátov, vyjadrený v percentách k určitému objemu pevnej fázy v prirodzenom zložení.

Pórovitosť pôdy nezisťujeme priamo, ale výpočtom pomocou **mernej hmotnosti** / $\rho_s$ / a **objemovej hmotnosti redukovanej** / $\rho_d$ / podľa vzorca:

$$P = \frac{(\rho_s - \rho_d)}{\rho_s} \cdot 100 = \frac{2570 - 1280}{2570} \cdot 100 = 50,19 \%$$

Na základe zistenia vlhkosti vo valčeku s neporušenou zeminou po 30 minútach a 24 hodinách odtokania vody môžeme vypočítať objem pórov rôznej veľkosti nasledovne:

a) **Objem nekapilárnych pórov**  $P_n = P - \Theta_{30}$

b) **Objem kapilárnych pórov**  $P_k = \Theta_{RK}$ ,

c) **Objem semikapilárnych pórov**  $P_s = \Theta_{30} - \Theta_{RK}$

### 2.3.3. VÝPOČET OBSAHU VZDUCHU V PÔDE

Na základe známych hodnôt vlhkosti a pórovitosti v objemových percentách môžeme vypočítať:

a/ **Momentálny obsah vzduchu**  $/V_{AM}/$ , ktorý predstavuje objem vzduchu v čase odberu neporušenej vzorky s momentálnou vlhkosťou. Zistíme to nasledovným výpočtom:

$$V_{AM} = P - \Theta = 50,19 - 36,41 = 13,78 \%$$

To znamená, že v čase odberu pôdnej vzorky táto bola z celkovej pórovitosti prevzdušnená nedostatočne.

b/ **Minimálnu vzdušnú kapacitu**  $/V_A/$ , ktorá predstavuje objem pórov vyplnených vzduchom po ustálení nasiaknutej vzorky pôdy na maximálnu kapilárnu vodnú kapacitu. Z praktického hľadiska je to najmenšie množstvo vzduchu v pôde, ktoré je potrebné pre biologické procesy rastlín a mikroorganizmov. Zistíme ju výpočtom:

$$V_A = P - \Theta_{KMK} = 50,19 - 37,31 = 12,88 \%$$

Množstvo vzduchu v pôde závisí od celkového objemu pórov a od stavu momentálnej vlhkosti pôdy. V pôdnej hmote presýtenej vodou, vzduch sa nachádza v malom objeme, alebo vôbec nie je prítomný v pôde. Trvalé presýtenie vodou je príčinou zamokrenia. Zamokrené pôdy s nedostatkom vzduchu sú chladné a nevytvárajú priaznivé podmienky pre rast a vývoj kultúrnych rastlín.

Dostatok vzduchu v pôde je podmienkou dobrého vývoja kultúrnych rastlín. Za vyhovujúcu hodnotu sa pokladá objem 15 - 20 % vzduchu na orných pôdach a 6 - 10 % na trvalých lúkach. Pôdy s vysokou prevzdušnenosťou /piesočnaté/ sú vysychavé a ich ornica rýchlo stráca vlahu.

#### 2.3.4. VÝPOČET RELATÍVNEJ VLHKOSTI A RELATÍVNEJ VODNEJ KAPACITY PÔDY

Ak chceme porovnať do akej miery rôzne pôdy /zeminy/ sú nasýtené vodou vo vzťahu k celkovej pórovitosti, môžeme vypočítať i tzv. **relatívnu vlhkosť**  $/R_{\Theta}/$  a **relatívnu vodnú kapacitu**  $/R_{\Theta_{KMK}}/$ . Je to pomer skutočného obsahu vody v pôde pri momentálnej vlhkosti, pri maximálnej kapilárnej vodnej kapacite, alebo plnej vodnej kapacite, ktorá sa rovná celkovému objemu pórov. Uvedené hodnoty zistíme výpočtom nasledovne:

$$R_{\Theta} = \frac{\Theta}{P} \cdot 100 = \frac{36,41}{50,10} \cdot 100 = 72,54 \%$$

$$R_{\Theta_{KMK}} = \frac{\Theta_{KMK}}{P} \cdot 100 = \frac{37,31}{50,19} \cdot 100 = 74,30 \%$$

### 2.3.5. VÝPOČET ZÁSoby VYUŽITELNEJ VODY A VODNEJ KAPACITY

Vzhľadom k tomu, že rastliny nemôžu využiť všetku vodu, ktorá sa v pôde nachádza, preto sa pre praktické účely stanovuje a bilancuje výpočtom tá časť pôdnej vody, ktorú rastliny môžu využiť pre svoje fyziologické procesy.

Okrem stanovených a vypočítaných vodno-fyzikálnych ukazovateľov možno pomocou hodnoty  **bodu vädnutia / $\Theta_V$ /** (vlhkosť pri ktorej rastliny vädnú),  **momentálnej vlhkosti / $\Theta$ /**,  **retenčnej vodnej kapacity / $\Theta_{RK}$ /** alebo  **maximálnej kapilárnej vodnej kapacity** vypočítať ešte nasledovné hodnoty:

**a) Zásoba využiteľnej vody / $W_V$ /**. Táto hodnota sa vypočítava pre každú 0,10 m vrstvu pôdy z momentálnej vlhkosti / $\Theta$ / a bodu vädnutia / $\Theta_V$ / podľa vzťahu:

$$W_V = \Theta - \Theta_V$$

kde zásoba využiteľnej vody  $W_V$  je vyjadrená v mm a  $\Theta$  a  $\Theta_V$  v objemových percentách.

**b) Bod zníženej dostupnosti / $\Theta_{ZD}$ /**. Táto hodnota sa vypočítava len zo vzťahu:

$$\Theta_{ZD} = \Theta_V + 0,6 / \Theta_{KMK} - \Theta_V /$$

kde  $\Theta_{ZD}$  = bod zníženej dostupnosti,  $\Theta_V$  = bod vädnutia,  $\Theta_{KMK}$  = maximálna kapilárna vodná kapacita. Je to ukazovateľ relatívny, ktorý je závislý od rôznych vplyvov /pohyblivosť pôdnej vody, druh rastliny, rastové štádium .../.

**c/ Využitelná vodná kapacita** sa vypočíta zo vzťahu:

$$\Theta_p = \Theta_{RK} - \Theta_V$$

kde  $\Theta_p$  = využitelná vodná kapacita,  $\Theta_{RK}$  = retenčná vodná kapacita,  $\Theta_V$  = bod vädnutia. Táto hodnota ukazuje na schopnosť pôdy zadržiavať a sprístupňovať zrážkovú i závlahovú vodu pre rastliny.

Vzor zápisu a výpočtu je uvedený v nasledovnej tabuľke

Charakteristika fyzikálnych a vodno-fyzikálnych vlastností hnezdeme (D. Malanta)

hlbka	stav ukazovateľov včase	stav ukazovateľov po nasýtení vzorky vodou, jej
-------	-------------------------	---

odberu v m	odberu pôdnej vzorky						odtekaní a ustálení v pôde								
	t.m <sup>-3</sup>		%			mm	%								
	ρs	ρd	Θ	VAM	P	Wv	Θ KN	Θ 30	Pn	Θ KMK	Θ RK	VA	Θ Z D	Θ V	Θ P
0,0-0,1	2,63	1,32	17,10	32,70	49,80	5,62	47,25	33,40	26,40	31,25	28,60	18,55	23,34	11,48	17,12
0,1-0,2	2,63	1,38	14,00	33,52	47,52	2,88	46,03	33,30	14,22	29,40	25,80	18,12	22,08	11,12	14,68
0,2-0,3	2,64	1,32	12,88	37,12	50,00	0,32	48,52	30,75	19,25	25,30	24,70	24,70	20,03	12,14	12,56
0,3-0,4	2,65	1,40	16,17	30,99	47,16	1,93	45,85	34,22	13,14	31,62	29,02	15,54	24,66	14,24	14,78
0,4-0,5	2,64	1,38	19,32	28,40	47,72	4,44	45,68	33,00	14,72	30,95	28,92	16,77	24,52	14,88	14,04
0,5-0,6	2,66	1,36	26,27	22,60	48,87	12,05	46,57	38,60	10,27	36,75	34,95	12,12	27,73	14,22	20,13

Symbody a výpočty fyzikálnych a vodnofyzikálnych vlastností hneozeme, kde:

ρ s - merná hmotnosť pôdy

ρd - objemová hmotnosť suchej pôdy

Θ - momentálna vlhkosť pôdy v objemových %

V<sub>AM</sub> - momentálny obsah vzduchu

P - pórovitosť

W<sub>v</sub> - zásoba využiteľnej vody = Θ - Θ<sub>V</sub> /mm/

Θ<sub>KM</sub> - kapilárna nasiakavosť

Θ<sub>30'</sub> - objemová vlhkosť po 30 minútach odtekania

Θ<sub>KMK</sub> - maximálna kapilárna vodná kapacita /po 2 h/

Θ<sub>RK</sub> - retenčná vodná kapacita /po 24 h/

V<sub>A</sub> - minimálna vzdušná kapacita

Θ<sub>ZD</sub> - bod zníženej dostupnosti vody = Θ<sub>V</sub> + 0,6 /Θ<sub>KMK</sub> - Θ<sub>V</sub>/

Θ<sub>V</sub> - bod vädnutia zodpovedajúci hodnote pF = 4,2

Θ<sub>p</sub> - využiteľná vodná kapacita = Θ<sub>RK</sub> - Θ<sub>V</sub>

P<sub>n</sub> - nekapilárne póry = P - Θ<sub>30'</sub>

## KRITÉRIÁ HODNOTENIA VÝSLEDKOV ROZBOROV FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ PÔD

Hodnotenie výsledkov analýz uskutočňujeme z dvoch hľadísk:

- genetického**, keď profilový priebeh štruktúry, pórovitosti, mernej a objemovej hmotnosti a konzistencie je ukazovateľom kvality jednotlivých horizontov a vhodne dopĺňa makroskopické stanovenie morfológických znakov v teréne.
- agronomického**, keď stanovenie fyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností slúži k riešeniu melioračných opatrení, predovšetkým odvodnenia a závlah.

Hlavným ukazovateľom potreby odvodnenia, či závlah sú:

- **hlbka hladiny podzemnej vody, jej kvalita a výdatnosť,**
- **charakter vodného režimu pôdy,**
- **vododržnosť, priepustnosť a vzlínavosť,**
- **pomer medzi maximálnou kapilárnou a retenčnou vodnou kapacitou a minimálnou vzdušnou kapacitou, ktorý nám ukáže, či má pôda náklonnosť k vysychaniu, alebo zamokreniu,**



- **priebeh poveternostných podmienok,**
- **nároky plodín.**

Pri každom melioračnom zásahu je nutné na základe terénneho prieskumu a výsledkov rozborov fyzikálnych vlastností pôd presne vyčleniť plochy, určené k odvodneniu, či závlahám a podľa celého súboru ukazovateľov voliť spôsob realizácie.

Melioráciami sa snažíme v prvom rade dosiahnuť vhodný pomer medzi obsahom vody a vzduchu v pôdach. Za **optimálny** sa pokladá taký stav pôdy, kde pri **50 % pórovitosti** pripadá **60 % na obsah vody** a **40 % na obsah vzduchu**.

Za **kritickú hodnotu** v ornej pôde sa pokladá 80 % vody a len 20 % vzduchu, pre lúky 90 % vody a 10 % vzduchu.

Z hľadiska zrnitostného zloženia pôdy treba rozlišovať, ktoré ukazovatele fyzikálnych vlastností pokladáme za optimálne a ktoré po prekročení určitej medze sa stávajú kritickými. Problematiku identifikácie pôdnych horizontov s kritickými fyzikálnymi vlastnosťami rozpracovali na Výskumnom ústave zúrodnenia poľnohospodárskych pôd v Prahe - Suchdole.

Jednotlivé kritické hodnoty /ukazovatele/ objemovej hmotnosti, pórovitosti, minimálnej vzdušnej kapacity, maximálnej kapilárnej vodnej kapacity a obsahu ílu sú uvedené v tabuľke.

Medzné hodnoty kritických vlastností uľahnutých pôd

kritická vlastnosť	pôdny druh					
	I	IV-IH	H	PH	HP	P
pórovitosť	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
objem. hmotnosť (ρd) v t.m <sup>-3</sup>	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
max. vzdušná kapacita v %	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
max. kapilár. vodná kapacita v %	> 35	> 35	> 35	-	-	-
obsah ílu v %	> 30	> 30	-	-	-	-

Vysvetlivky:

I - íl, IV-IH - ílovitá a ílovito-hlinitá, H - hlinitá, PH - piesočnato-hlinitá, HP - hlinito-piesočnatá, P - piesočnatá pôda.

## **3. ROZBORY CHEMICKÝCH A FYZIKÁLNO-CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ PÔD**

### **3.1. PRÍPRAVA PÔDNYCH VZORIEK PRE CHEMICKÉ ROZBORY**

Z hrubej pôdnej vzorky na vzduchu vysušenej odstránime hrubšie kusy skeletu a nerozložené zvyšky rastlinného a živočíšneho pôvodu. Vzorku opatrne rozdrvíme tak, aby

sa rozdrobili len stmelené hrudky a agregáty a nie elementy skeletu. Rozdrvenú zeminu preosejeme cez sito o priemere ôk 2 mm. Takto pripravená vzorka (**jemnozemia I**) sa používa na stanovenie chemických vlastností s výnimkou stanovenia obsahu a kvality humusu a niektorých ďalších ukazovateľov.

V prípade, že pre vykonanie rozboru potrebujeme jemnejšiu zeminu, pripravíme si ju tak, že z jemnozemia I odoberieme priemernú vzorku o váhe asi 5 g (10 g), starostlivo z nej vyberieme všetky nerozložené zvyšky rastlinného a živočíšneho pôvodu a potom ju rozotrieme v achátovej (porcelánovej) trecej miske tak, aby celý obsah prešiel sitom o priemere ôk 0,25 mm (1; 0,5 mm). Takto pripravenú vzorku označujeme ako **jemnozemia II**.

Jemnozemia skladujeme v sklenených prachovniciach so zabrúsenou zátkou. Pri sypaní jemnozemia do prachovnice najhrubšie častice padajú na dno prachovnice a najjemnejšie zostávajú na povrchu. Preto pred navažovaním zeminy na rozборы treba odobrať priemernú vzorku. Robíme to tak, že celý obsah prachovnice vysypeme na pergamenový papier, urovnáme jemnozemia do rovnomernej, asi 5 mm hrúbky a rozdelíme na štvorce. Laboratórnou lyžičkou odoberieme šachovnicovým spôsobom malé množstvo jemnozemia do porcelánovej misky, dobre premiešame a navážime potrebné množstvo zeminy na rozbor. Analogicky postupujeme aj pri navažovaní jemnozemia II. Dodržanie takéhoto postupu je veľmi dôležité pre objektivitu analytických výsledkov.

## 3.2. STANOVENIE UHLIČITANOV (KARBONÁTOV) V PÔDE

Uhličitaný predstavujú dôležitú zložku minerálneho podielu pôdy. Výrazne ovplyvňujú všetky pôdne vlastnosti. Podieľajú sa na vytváraní tlmivej schopnosti pôdy. Kation  $\text{Ca}^{2+}$  značne ovplyvňuje hodnotu elektrokinetického potenciálu koloidov, pôdnu reakciu a nasýtenosť sorpčného komplexu. Dôležitý význam má i pri tvorbe humusu v pôde.

V pôdach sa **uhličitaný** vyskytujú prevažne vo forme  $\text{CaCO}_3$ , menej  $\text{MgCO}_3$ . Ostatné uhličitaný sa vo väčšom množstve nachádzajú v zasolených a alkalických pôdach (najmä  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ). **Vylúhovanie** uhličitanov  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  z pôdneho profilu je prejavom **degradácie pôd**.

Uhličitaný v pôde môžu byť **primárneho** (materská hornina, pôdotvorný substrát) alebo **sekundárneho** (Ca - hnojivá) pôvodu. Ak sú primárneho pôvodu, tak spravidla ich obsah s hĺbkou sa zvyšuje, poprípade vyskytujú sa len v spodnej časti profilu. Kultúrne pôdy môžu obsahovať  $\text{CaCO}_3$  v dôsledku intenzívneho vápnenia. V takom prípade býva uhličitan vápenatý spravidla vo vyššom množstve vo vrchných vrstvách, spodnejšie majú jeho obsah nižší alebo ho vôbec neobsahujú.

### 3.2.1. ORIENTAČNÉ STANOVENIE UHLIČITANOV V PÔDE

**Princíp metódy:** Uhličitaný v zemine sa rozkladajú kyselinou chlorovodíkovou. Pri reakcii sa uvoľňuje  $\text{CO}_2$ , ktorý spôsobuje šumenie. Na základe intenzity šumenia a dĺžky jeho trvania odhadne sa obsah uhličitanov v pôde. Orientačne sa stanovujú uhličitaný v teréne a pred každým kvantitatívnym stanovením kvôli navážke zeminy.

Ak sa v pôde vyskytuje prevažne  $\text{MgCO}_3$  rozklad uhličitanov je pomalý a kvalitatívna skúška nespoľahlivá.

**Potreby:** sklená alebo porcelánová miska (hodinové sklíčko), kadička 100 ml.

**Reagencie a ich príprava:** 10 % HCl: 1 diel 37 % HCl rozpustíme v troch dieloch destilovanej vody.

**Pracovný postup:** Do misky nasypeme asi 2 g zeminy (jemnozeme), ktorú polejeme 10 % HCl. Prítomnosť uhličitanov sa prejaví šumením v dôsledku uvoľňovania CO<sub>2</sub> pri rozklade CaCO<sub>3</sub>. Na základe intenzity a dĺžky šumenia odhadneme percentuálny obsah uhličitanov v zemine.

**Hodnotenie výsledkov:** Ak je šumenie slabé, sotva badateľné, krátko trvajúce zemina obsahuje menej ako 0,3 % CaCO<sub>3</sub>; ak je šumenie slabé, ale viditeľnejšie, krátko trvajúce zemina obsahuje 0,3 - 1 % CaCO<sub>3</sub>; ak je šumenie dosť silné, krátko trvajúce zemina obsahuje 1 - 3 % CaCO<sub>3</sub>; ak je šumenie silné dlhšie trvajúce zemina obsahuje 3 - 5 % CaCO<sub>3</sub>; ak je šumenie silné, kypiace, dlhý rozklad, zemina obsahuje viac než 5 % CaCO<sub>3</sub>.

### 3.2.2. KVANTITATÍVNE STANOVENIE UHLIČITANOV V PÔDE

Na presnejšie stanovenie uhličitanov v pôde sa používajú rôzne prístroje (vápnomery), ktoré možno rozdeliť do dvoch skupín. Do prvej skupiny patria prístroje, založené na **meraní objemu** uvoľneného CO<sub>2</sub> pri rozklade CaCO<sub>3</sub> (volumetrické metódy). V laboratóriách sa používajú častejšie. Do druhej skupiny patria zariadenia založené na meraní **zmeny tlaku** vplyvom **uvoľneného CO<sub>2</sub>** pri rozklade uhličitanov (manometrické metódy). Sú to uzavreté nádoby spojené s presným manometrom. Používajú sa zriedkavejšie.

#### 3.2.2.1. Kvantitatívne stanovenie uhličitanov objemovou metódou

**Princíp metódy:** Uhličitan v zemine sa rozkladajú kyselinou chlorovodíkovou:



Objem uvoľneného CO<sub>2</sub> pri rozklade sa odmeria Jankovým vápnomerom.

**Potreby:** váhy, kadička 100 ml, Jankov vápnomer.

**Reagencie a ich príprava:** 10 % HCl: príprava ako pri orientačnom stanovení uhličitanov v pôde.

**Pracovný postup:** Najskôr pripravíme vápnomer pre stanovenie uhličitanov. Dvojcestný kohútik otočíme do takej polohy, aby sme spojili kalibrovanú trubicu s vonkajšou atmosférou. Zdvihnutím zásobnej fľaše na vodu a povolením (uvoľnením) tlačítka naplníme obidve trubice vodou až na úroveň nulovej polohy. Zásobnú fľašu uzavrieme tlačítkom (tým sa zamedzí pokles vody).

Do rozkladnej banky odvážíme 1 až 20g jemnozeme (na základe výsledkov orientačnej skúšky). Zásobnú banku na kyselinu naplníme zriedenou HCl približne do výšky 5 mm od okraja vývodového otvoru. Gumovú zátku so zásobnou bankou s HCl tesne zasunieme do hrdla rozkladnej banky a kohútik otočíme do takej polohy, aby bola spojená rozkladná banka s kalibrovanou trubicou. Naklonením rozkladnej banky pomaly vylievame kyselinu na zeminu a suspenziu hruhovými pohybmi miešame. Pri miešaní rozkladnú banku držíme za hrdlo (obmedzíme ohrievanie banky rukou) a dbáme na to, aby kyselina nevnikala do spojovacej trubice. Uvoľnený CO<sub>2</sub> vytláča vodu z prvej trubice do druhej (otvorenej). Pri búrlivej reakcii povolením tlačítka vypustíme časť vody do zásobnej fľaše. Po úplnom skončení rozkladu uhličitanov /hladina v trubici neklesá/ povolením tlačítka vyrovnáme hladiny vody v oboch trubicach na rovnakú úroveň a odpočítame % obsah uhličitanov.

Prístroj je kalibrovaný na 20 g navážku zeminy pri obsahu uhličitanov do 5 %. Pri maximálnej navážke zeminy /20 g/ odčítaná hodnota na trubici zodpovedá hmotnostným percentám uhličitanov v skúmanej zemine. V tom prípade, že zemina obsahuje viac ako 5 % uhličitanov na stanovenie použijeme menšiu navážku /10 g, 5 g, 2,5 g, 1 g/, ale odčítanú hodnotu prepočítame na 20 g zeminy.

Ak pôda obsahuje okrem CaCO<sub>3</sub> aj MgCO<sub>3</sub> použijeme koncentrovanejšiu HCl /zriedenú destilovanou vodou v pomere 1 : 1/ alebo 6 M HNO<sub>3</sub>. V takom prípade uhličitaný stanovíme až po 5 - 6 hodinovom pôsobení kyselinou na zeminu.

**Hodnotenie výsledkov:** Podľa obsahu CaCO<sub>3</sub> rozoznávame zeminy:

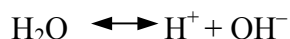
- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1. <b>bezuhličitanové</b> , ktoré obsahujú menej ako | <b>0,3 % CaCO<sub>3</sub>,</b>     |
| 2. <b>slabo vápenaté</b> , ktoré obsahujú            | <b>1 - 5 % CaCO<sub>3</sub>,</b>   |
| 3. <b>vápenaté</b> /slieňovité/, ktoré obsahujú      | <b>5 - 20 % CaCO<sub>3</sub>,</b>  |
| 4. <b>silne vápenaté</b> /sliene/, ktoré obsahujú    | <b>20 - 60 % CaCO<sub>3</sub>,</b> |
| 5. <b>vápencové</b> , ktoré obsahujú nad             | <b>60 % CaCO<sub>3</sub>.</b>      |

### 3.3. STANOVENIE PÔDNEJ REAKCIE A JEJ VYJADROVANIE

Pôdna reakcia je daná prítomnosťou a koncentráciou /presnejšie aktivitou/ vodíkových iónov. Pri vysvetľovaní vzniku pôdnej reakcie sa vychádza zo skutočnosti, že

**najrozšírenejším rozpúšťadlom a disperzným prostredím v prírode a v pôde je voda,**

ktorá vo veľmi malej miere podlieha ionizácii:



Jeden liter vody obsahuje /pri teplote 22 °C/  $10^{-7}$  gramiónov  $\text{H}^+$  a  $10^{-7}$  gramiónov  $\text{OH}^-$ . Súčin aktivity vodíkových iónov a aktivity hydroxidových iónov pri konštantnej teplote je konštantný

$$(\mathbf{a_{H^+} \cdot a_{OH^-} = \text{konštantný}}).$$

Iónový súčin vody ( $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$  gramiónov. $\text{dm}^{-3}$ ) neplatí len pre čistú vodu, ale aj pre všetky vodné roztoky, teda aj pre roztoky kyselín, zásad a solí.

Aktivita vodíkových iónov vodného roztoku je teda vždy daná aj aktivitou hydroxidových iónov. Preto sa používa aktivita vodíkových iónov nielen ako miera pre kyslý charakter roztoku, ale aj ako miera pre zásaditý charakter roztoku.

V pôdnom roztoku rozpustené kyseliny a koloidy acidoidného charakteru uvoľňujú vodíkové ióny (disociácia), ktoré sa zlučujú s rozpustenými zásadami a koloidmi bazoidného charakteru (asociácia). To znamená, že pôdna reakcia je daná rovnovážnym stavom medzi disociáciou a asociáciou vodíkových iónov.

Vodíkové ióny v pôde sú prítomné v pôdnom roztoku /aktuálna forma/ a adsorbované na pôdny koloidný komplex (potenciálna forma). Obidve formy sú vzájomne závislé podľa Donnanovej rovnice membránovej rovnováhy.

**Kyslosť alebo alkalita pôdy** sa vyjadruje buď ako kyslá, alebo alkalická reakcia **hodnotou pH** / $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ /, alebo ako titračná hodnota kyslosti alebo alkality pôdy v mmol  $\text{H}^+$  alebo  $\text{Na}^+$  na kg zeminy. Tento druhý spôsob sa spravidla používa pri stanovení kyslosti a výmennej alkality.

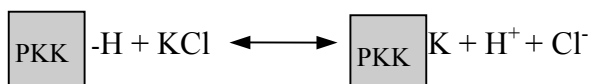
Vodíkové ióny a ich koncentrácia v rozpustnom i adsorbovanom stave silne ovplyvňujú procesy vzniku a vývoja pôdy. Pri zvetrávaní minerálov hornín adsorpcia a difúzia vodíkových iónov vyvoláva hydrolytický rozklad minerálov a deštrukciu koloidov. Alkalická reakcia má za následok zvýšenie náboja acidoidných a prebitie náboja amfolitoidných koloidov. Dochádza k peptizácii a migrácii pôdnych koloidov.

Význam koncentrácie vodíkových iónov pre úrodnosť pôdy spočíva v tom, že **pH ovplyvňuje: adsorpciu a desorpciu kationov rastlinných živín, rozpustnosť zlúčenín biogenných a stopových prvkov, rozpustnosť iónov a zlúčenín pôsobiacich toxicky na rastliny, činnosť a zloženie mikroorganizmov v pôde, štruktúru pôdy a tým i ďalšie fyzikálne vlastnosti.** Preto pH patrí medzi najčastejšie stanovované ukazovatele pôdnej úrodnosti.

### **3.3.1. FORMY PÔDNEJ REAKCIE**

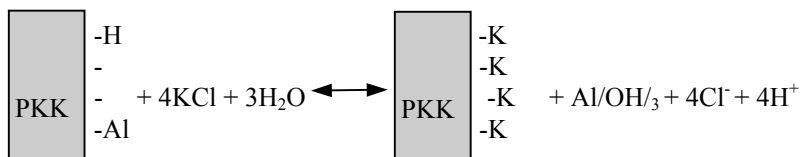
Pôdnu reakciu podľa povahy rozdelíme nasledovne:

- a) **Aktívna reakcia** (aktuálna forma), ktorá je zapríčinená voľnými iónmi vodíka v pôdnom roztoku. Stanovujeme ju vo vodnom výluhu alebo vo vodnej suspenzii potenciometricky a vyjadrujeme ju v jednotkách pH ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ). Jej hodnoty v našich pôdach sa najčastejšie pohybujú v rozmedzí pH 5 - 7. Táto forma reakcie bezprostredne vplýva na biochemické procesy v pôde.
- b) **Výmenná reakcia** (potenciálna forma), ktorá je zapríčinená viazanými iónmi vodíka (hliníka) na pôdny koloidný komplex (PKK, pevnú časť pôdy), ktoré sa môžu za určitých podmienok uvoľňovať z pôdnych koloidov do pôdneho roztoku a tým zvyšovať aktívnu formu reakcie. **Výmennú reakciu definujeme ako schopnosť pôdy meniť pH roztoku neutrálnych solí** /najčastejšie 1 M; 0,2 M; 0,1 M KCl a 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ /. Pri stanovení tejto reakcie dochádza k výmene iónov vodíka /hliníka/ viazaných na pôdny koloidný komplex kationmi neutrálnych solí. Ak použijeme roztok KCl prebieha výmenná reakcia podľa schémy:

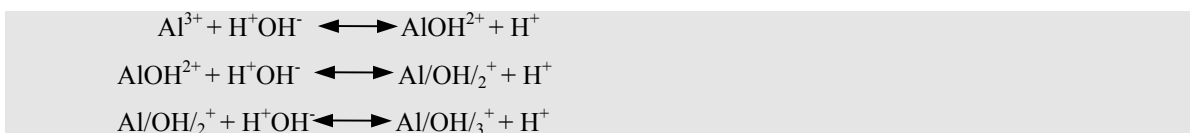


Neutrálne soli vytláčajú len určitú časť viazaných iónov vodíka z pôdneho koloidného komplexu, preto novovytvorená HCl úplne disociuje a veľké množstvo  $\text{H}^+$  po vytvorení rovnováhy zabraňuje ďalšiemu vytláčaniu iónov vodíka z pôdneho koloidného komplexu.

Na výslednej reakcii sa okrem iónov  $\text{H}^+$  podieľajú aj ióny  $\text{Al}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ . V takom prípade prebieha výmenná reakcia podľa schémy:



Hliník (alebo železo) hydrolyzuje vodu nasledovným spôsobom:



V pôdach s vyšším obsahom humusu dochádza k chelatizácii iónov  $\text{Al}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  v dôsledku čoho ich uvoľňovanie je obmedzené.

### 3.3.2. METÓDY STANOVENIA pH

Pôdnu reakciu /pH/ stanovujeme dvoma spôsobmi: kolorimetricky a elektrometricky.

**a) Kolorimetrické stanovenie pH** je založené na tom, že acidobázické indikátory zmenou koncentrácie iónov vodíka (v určitých oblastiach pH) menia svoju farbu. Pri stanovení pH môžeme použiť vizuálnu kolorimetriu, ale tiež objektívne fotometrické metódy. Z indikátorov najčastejšie používame univerzálny indikátor, ktorý navrhli F. Čůta a K. Kámen. Tento indikátor umožňuje stanoviť pH v čírých a bezfarebných roztokoch v rozpätí do pH 1 - 13 s presnosťou 0,2 pH. Spolu s indikátorom sa dodáva porovnávací tabuľka s 30 farebnými pásikmi, z ktorých každý zodpovedá určitej hodnote pH. Kolorimetrická metóda je zastaralá, málo presná a odporúča sa na stanovenie pH v teréne.

**b) Elektrometrické (potenciometrické) stanovenie pH** je založené na meraní elektromotorického napätia galvanického článku, ktorý vzniká spojením indikačnej elektródy (ktorej potenciál závisí od koncentrácie meraného roztoku) ponorenej do skúmaného roztoku s porovnávacou elektródou (ktorej potenciál je stály a nezávisí od pomerov v skúmanom roztoku). Elektromotorické napätie článku sa meria pH-metrom (voltmetrom). Pretože potenciál porovnávej elektródy  $E_{por}$  je stály a nezávisí od pomerov v skúmanom roztoku, udáva rozdiel elektromotorického napätia článku  $E$  a potenciálu porovnávej elektródy potenciál indikačnej elektródy  $E_{ind}$ ,

$$E = E_{por} - E_{ind} \text{ čiže } E_{ind} = E_{por} - E.$$

Z uvedeného je zrejmé, že na meranie pH používame dve elektródy rôzneho typu - meraciu a porovnávaciu. V súčasnom období ako meracie takmer výhradne používame sklené elektródy, ktoré sú schopné merať pH v rozsahu 0 - 9. Na meranie pH alkalickerejšej suspenzie /roztoku/ je potrebné používať špeciálne sklené elektródy, ktoré majú sodné sklo nahradené lithným sklom. Ako porovnávací elektróda sa najčastejšie používa kalomelová elektróda

Potenciálový rozdiel medzi indikačnou a porovnávacou elektródou meriame pH-metrami rôzneho typu a rôznej konštrukcie. Prístroj na meranie pH je potrebné pred meraním nastaviť na hodnotu pH štandardu (tlmivého roztoku). Potenciometrická metóda dáva najspoľahlivejšie a najpresnejšie výsledky.

### **3.3.2.1. Stanovenie aktívnej pôdnej reakcie kolorimetricky**

**Princíp metódy:** Aktívna pôdna reakcia sa stanoví vo vodnom výluhu pomocou univerzálného indikátora Čůta - Kámen.

**Potreby:** váhy, filtračný stojan, sklený lievik, 100 ml erlenmeyerova banka, 100 ml kadička, 10 ml kalibrovaná skúmavka, 0,2 ml kvapátko, 10 ml pipeta, prevarená destilovaná voda, filtračný papier, univerzálny indikátor, farebná stupnica, stojan na skúmavky, čierny papier (puzdro na skúmavky), strička, gumová zátka.

**Pracovný postup:** Odvážíme 10 g jemnozeme, ktorú vysypeme do 100 ml erlenmeyerovej banky a zalejeme 25 ml prevarenej destilovanej vody. Banku uzavrieme gumovou zátkou a trepeme 10 minút. Po skončení trepania suspenziu prefiltrujeme cez prepláchnutý filter prevarenou destilovanou vodou. Prvé kvapky filtrátu vylejeme /filtrát musí byť čírý/. Do skúmavky odpipetujeme 10 ml filtrátu, pridáme 0,2 ml indikátora, dobre premiešame a najneskoršie do 5 minút porovnáme s farebnou stupnicou (filtrovanie môžeme robiť aj priamo do kalibračnej skúmavky, do ktorej vopred pridáme 0,2 ml indikátora). Pri porovnávaní farby výluhu s farbou stupnice skúmavku držíme vo výške 20 - 30 mm nad bielym okrajom stupnice a farbu porovnáme cez stúpec výluhu. Obsah skúmavky obalenej čiernym papierom sa pozoruje zhora. Porovnávanie farieb robíme pri dennom svetle a určíme aj medziody.



Veľmi jednoduché a často používané je kolorimetrické stanovenie pH pomocou indikátorových papierikov, ktoré sú napustené roztokom indikátorového farbiva.

### **Najčastejšie príčiny chýb pri kolorimetrickom stanovení pH**

- a) nedodržanie konštantnej výšky porovnávacieho roztoku v skúmavke,
- b) meranie v extrémnych oblastiach indikátora,
- c) použitie nevhodného indikátora,
- d) malá tlmivá kapacita pôdneho extraktu (v takom prípade je potrebné voliť širší pomer medzi skúmaným roztokom a indikátorom),
- e) rôzna teplota a rôzny obsah soli,
- f) zafarbené a kalné roztoky (výluh).

### **3.3.2.2. Stanovenie aktívnej pôdnej reakcie potenciometricky (elektrometricky)**

**Princíp metódy:** Aktívna pôdna reakcia sa stanoví potenciometricky v suspenzii 1 dielu zeminy v 2,5 dieloch prevarenej destilovanej vody.

**Potreby:** váhy, 100 ml kadička, sklená tyčinka, strička, destilovaná voda /s pH 6,6 - 6,8/, z ktorej sa odstráni varením 30 minút oxid uhličitý /prevarenú vodu uschováme vo fľaši, ktorá má zátku s hydroxydom sodným, pre pútanie CO<sub>2</sub> zo vzduchu/, pH-meter so sklenou a kalomelovou elektródou, štandardné tlmivé roztoky pre nastavenie pH-metra.

**Príprava tlmivých roztokov:**

- 0,05 M hydrogen ftalat draselný: 10,21 g.l<sup>-1</sup>, pH 4,00 /20 °C/,
- 0,01 M Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> .10 H<sub>2</sub>O: 3,81 g.l<sup>-1</sup>, pH 9,22 /20 °C/,
- zmes 28,8 dielov 0,05 M boraxu /19,05 g.l<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> .10 H<sub>2</sub>O/ a 71 dielov 0,01 M dihydrogenfosforečnanu draselného /13,613 g.l<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>/, pH 6,6 /18 °C/.

**Pracovný postup:** Odvážime 20 g na vzduchu vysušenej a cez sito s otvormi 2 mm preosiatej zeminy. Nasypeme ju do 100 ml kadičky a zalejeme 50 ml prevarenej destilovanej vody. Suspenziu dôkladne pomiešame a necháme 1 hodinu stáť. Po 60 minútach pri sústavnom miešaní suspenzie odmeriame pH-metrom hodnoty pH. Namerané výsledky označujeme ako pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>. Pri stanovení pH je možné použiť aj inú navážku zeminy, ale pomer medzi zeminou a vodou /1 : 2,5/ je potrebné dodržať.

**Hodnotenie výsledkov:** Pre hodnotenie výsledkov aktívnej pôdnej reakcie sa používajú nasledovné kritériá:

pH H <sub>2</sub> O	Hodnotenie
do 3,5	veľmi silne kyslá

3,6 - 4,5	silne kyslá
4,6 - 5,5	kyslá
5,6 - 6,5	slabo kyslá
6,6 - 7,2	neutrálna
7,3 - 8,5	slabo alkalická
8,6 - 9,5	alkalická
nad 9,5	silne alkalická

### 3.3.2.3. Stanovenie výmennej pôdnej reakcie vo výluhu 1 M roztoku KCl potenciometricky

**Princíp metódy:** Výmenná pôdna reakcia sa stanoví potenciometricky v suspenzii 1 dielu zeminy v 2,5 dieloch 1 M roztoku KCl.

**Potreby:** materiálne vybavenie je rovnaké ako pri stanovení aktívnej pôdnej reakcie, lenže namiesto destilovanej vody použijeme také isté množstvo 1 M roztoku KCl /C = 1 mol.l<sup>-1</sup>/.

**Reagencie a ich príprava:** 1 M roztok KCl: 74,56 g soli rozpustíme v destilovanej vode a doplníme na objem 1 l. Reakciu roztoku upravíme na hodnotu pH 6,0; 10 % roztokom KOH alebo HCl.

**Pracovný postup:** Postupujeme ako pri stanovení aktívnej pôdnej reakcie, lenže na prípravu suspenzie použijeme roztok KCl, ktorý necháme pôsobiť na zeminu 1 - 2 hodiny. Namerané hodnoty označujeme ako pH<sub>KCl</sub>. Hodnota výmenného pH je takmer vždy nižšia ako aktívneho pH /asi o 0,5 pH/. V kyslej oblasti sa tento rozdiel zväčšuje. Podľa Orlova /1975/ v podmienkach s obsahom silných kyselín alebo naopak s vyšším obsahom CaCO<sub>3</sub> môže byť pH<sub>KCl</sub> vyššie ako pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>. Aj pri stanovení výmennej reakcie je možné použiť aj inú navážku zeminy, ale pomer medzi zeminou a roztokom KCl /1 : 2,5/ je potrebné dodržať.

**Hodnotenie výsledkov:** Pre hodnotenie výsledkov výmennej pôdnej reakcie sa používajú nasledovné kritériá:

pH KCl	Hodnotenie
do 4,5	silne kyslá
4,6 - 5,5	kyslá
5,6 - 6,5	slabo kyslá
6,6 - 7,2	neutrálna
7,3 - 8,5	slabo alkalická
8,6 - 10,0	alkalická
nad 10	silne alkalická

### 3.3.2.4. Stanovenie výmennej pôdnej reakcie vo výluhu 0,01 M CaCl<sub>2</sub> potenciometricky

**Princíp metódy:** Hodnota výmennej pôdnej reakcie sa stanoví potenciometricky v suspenzii zeminy v roztoku 0,01 M CaCl<sub>2</sub>.

**Faktory ovplyvňujúce meranie pH pôdy:**

- Stupeň disociácie H<sup>+</sup>:** Rôzne pôdne koloidy obsahujú rozdielne množstvo hydroxylových skupín schopných ionizovať kationy vodíka. Podiel H<sup>+</sup>iónov, ktoré disociujú v určitom rozmedzí pH silne kolíše v závislosti od množstva OH skupín v pôde.
- Typ acidity:** H<sup>+</sup> ióny adsorbované elektrostatickými silami majú väčšiu schopnosť disociácie ako viazané v OH skupinách. Taktiež Al<sup>3+</sup> hydrolyzuje na /AlOH/<sup>2+</sup> pri vyššom pH ako je hodnota pri ktorej začínajú disociovať elektrostaticky viazané H<sup>+</sup> ióny.
- Pomer zemina : v o d a / r o z t o k /:** Najvhodnejší pomer medzi zeminou a vodou pri stanovení pH je v nasýtenej pôdnej paste /najviac sa približuje skutočnému pomeru v pôde/. Čím je podiel vody vyšší, tým je rozdiel medzi skutočným a nameraným stavom väčší v dôsledku nerovnomerného rozdelenia iónov medzi pevnou a tekutou fázou. So zvyšovaním podielu vody znižuje sa koncentrácia H<sup>+</sup> iónov, čo sa prejavuje vzostupom pH. V niektorých pôdach je však pokles koncentrácie H<sup>+</sup> iónov kompenzovaný ďalšou disociáciou vodíkových iónov. Podľa Schachtschabela /1971/ rozdiel v pH pri pomere zeminy k roztoku 1 : 2,5 a 1 : 1 bol len 0,1 pH.
- Obsah solí alebo elektrolytov:** H<sup>+</sup> ióny sú vytesňované soľami, ktoré sa nachádzajú v pôde. Soli v pôde taktiež zvyšujú hydrolyzu Al<sup>3+</sup> a Fe<sup>3+</sup>, čo vedie k zvyšovaniu koncentrácie H<sup>+</sup> iónu v roztoku. Uvedené podmieňuje pokles pôdnej reakcie. Z tohoto dôvodu Schofield a Taylor /1955/ navrhli pri stanovení pH používať 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, ktorý maskuje malé rozdiely v obsahu solí a súčasne nevytesňuje veľké množstvo H<sup>+</sup> z pôdneho koloidného komplexu.
- Obsah CO<sub>2</sub>:** Vzťah medzi CO<sub>2</sub> rozpusteným v pôdnej vode a pH je zrejмый z nasledovných údajov:

Obsah CO <sub>2</sub> /%/	pH
0,03	5,72
0,30	5,22
1,00	4,95
10,00	4,45

Okrem priameho pôsobenia cez H<sup>+</sup> oddisociovaný z kyseliny uhličitej pôsobí táto i cez soli, ktoré v pôde vytvára. V kyslých pôdach CO<sub>2</sub> nemá prakticky vplyv na hodnoty pH /koncentrácia H<sup>+</sup> je neporovnateľne vyššia ako množstvo vodíka uvoľneného pôsobením CO<sub>2</sub>/ . Naproti tomu v pôdach s pH >7 môže obsah CO<sub>2</sub> ovplyvniť hodnoty pH.

- Vplyv zariadenia a spôsobu stanovenia:** I napriek dodržaniu rovnakých podmienok pri stanovení pH môže vzniknúť chyba 0,1 - 0,2 jednotky pH. Väčšia chyba je spojená predovšetkým s nepresnosťou pri stanovení pH. Doba miešania suspenzie taktiež ovplyvňuje hodnoty pH. Na základe pokusov niektorých autorov po 2 hodinách miešania suspenzie bolo pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> 5,4 a 168 hodinách 6,1. Zistené rozdiely boli 0,03-0,05 jednotiek pH. Dalling, Ritchie /1986/, Urrutia Mera et.al. /1989 taktiež konštatujú, že pri krátkodobej vzájomnej interakcii /15 - 30 minút/ sa dosahujú takmer rovnaké výsledky ako pri dlhodobej interakcii /16 hod./.

g) **Vplyv spojovacieho potenciálu medzi elektródou a suspenziou:** Ak ponoríme obidve elektródy /meráciu i porovnávaciu/ do sedimentu /usadenej časti/ pôdnej suspenzie vo väčšine prípadov nameriame nižšiu hodnotu pH ako pri ponorení do supernatantu /tekutá časť suspenzie/. Pre objasnenie tohto rozdielu existujú dve vysvetlenia. Prvé vychádza z nerovnomerného rozdelenia  $H^+$  iónov medzi pevnou a tekutou fázou suspenzie. Druhé tento jav vysvetľuje nazáklade spojovacieho potenciálu medzi kalomelovou elektródou a suspenziou. Kalomelová elektróda uvoľňuje do suspenzie rovnomerné množstvo  $K^+$  a  $Cl^-$  iónov, čím uzatvára elektrický okruh elektrovodného článku. V suspenzii pôdy však existujú záporné i kladne nabité častice, ktoré ovplyvňujú mobilitu uvoľneného  $K^+$  a  $Cl^-$  z elektródy.

Stupeň a smer tohoto ovplyvnenia je podmienený vlastnosťami skúmanej pôdy. Najviac pôsobí v takej pôde, ktorá má vysokú výmennú kapacitu, slabo pútané výmenné katióny a nízku koncentráciu elektrolytov. Rozdiel medzi pH supernatantu a sedimentu neprevyšuje hodnotu pH 0,3. Tento efekt /rozdiel/ sa dá znížiť buď použitím 0,01 M  $CaCl_2$  k tvorbe suspenzie, alebo vhodným umiestnením /ponorením/ elektród, a to tak, že meráciu /sklenú/ elektródu ponoríme do sedimentu a porovnávaciu /kalomelovú/ do supernatantu .

### 3.3.3. METÓDY STANOVENIA PÔDNEJ KYSLOSTI

**Zdrojom pôdnej acidity** môže byť veľká produkcia  $CO_2$  pôdnymi organizmami, fyziologicky kyslé priemyselné hnojivá a kyseliny a soli vznikajúce v pôde, alumosilikáty /ílové minerály,  $H^+$  ióny uvoľňujú pri disociácii OH skupín a pri hydrolyze adsorbovaných katiónov  $Al^{3+}$  a  $Fe^{3+}$ /, humusové a iné organické kyseliny, kyslé dažde a i.

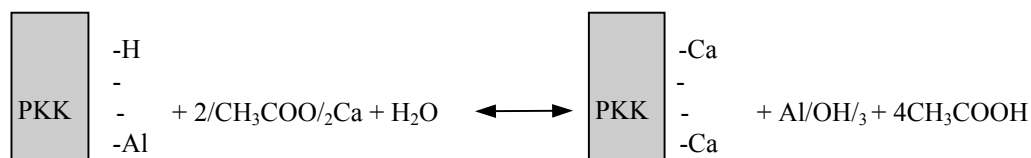


Titračne stanovujeme rôzne formy kyslosti, ktoré sú podmienené viazanými iónmi vodíka /hliníka/ na pôdny koloidný komplex. Vytlačanie uvedených iónov zo sorpčného komplexu robíme neutrálnymi alebo hydrolyticky zásaditými soľami.

### 3.3.4. TITRAČNÉ STANOVENIE HYDROLYTICKEJ KYSLOSTI KAPPENOVOU METÓDOU

**Princíp metódy:** Na zeminu sa pôsobí 1 M roztokom octanu sodného alebo vápenatého. Po vytlačení vodíka /hliníka/ z pôdneho koloidného komplexu vzniká  $CH_3COOH$ , ktorá sa titruje roztokom NaOH. Zo spotreby hydroxidu sodného sa vypočíta hydrolytická kyslosť v  $mmol(P^+).kg^{-1}$  zeminy.

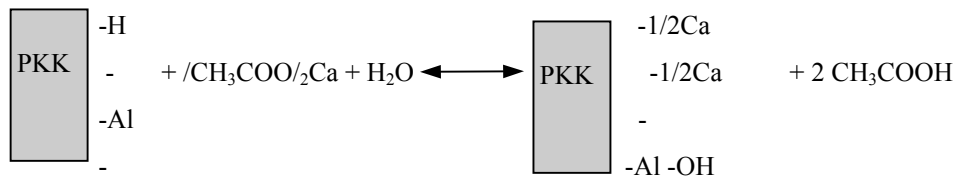
Ak použijeme octan vápenatý, prebehne reakcia podľa schémy:



Octanová soľ umožňuje takmer úplné vytlačenie viazaných vodíkových iónov z pôdneho koloidného komplexu, pretože novovytvorená  $CH_3COOH$  veľmi slabo disociuje a v dôsledku malého množstva  $H^+$  iónov v roztoku výmenná reakcia prebehne až takmer do konca. Preto je hydrolytická kyslosť vo väčšine prípadov vyššia ako výmenná. V prípade, že

je nižšia ako výmenná, vysvetľuje sa to tým, že anióny kyseliny octovej môžu byť viazané pôdou výmenou za OH<sup>-</sup> ióny, čím sa znižuje kyslosť výluhu.

V dôsledku menšej kyslosti extraktu /menej disociovaná CH<sub>3</sub>COOH/ dochádza k malému uvoľňovaniu Al<sup>3+</sup> iónov. Nastáva len hydroxylácia nie však desorpcia hliníkových iónov:



**Potreby:** váhy, 250 ml Stohmanová banka /fľaša z PVC/, trepačka, filtračný stojan, sklený lievik, filtračný papier, 2 ks 150 ml kadičky, byreta.

**Reagencie a ich príprava:**

- 1 M CH<sub>3</sub>COONa: 136,08 g soli CH<sub>3</sub>COONa .3 H<sub>2</sub>O rozpustíme v destilovanej vode a doplníme na objem 1 l; roztok musí mať pH 8,2; ak treba upravíme reakciu roztoku CH<sub>3</sub>COOH alebo NaOH,
- 0,1 M NaOH: 4 g NaOH rozpustíme v destilovanej vode a doplníme na objem 1 l /stanovíme faktor/,
- fenolftalein: 1 % liehový roztok.

**Pracovný postup:** Odvážime 40 g na vzduchu vysušenej a cez sito s otvormi 2 mm preosiatej zeminy. Nasypeme ju do 250 ml Stohmanovej banky /fľaše z PVC/, zalejeme 100 ml 1 M CH<sub>3</sub>COONa a trepeme 1 hodinu. Po skončení trepania suspenziu prefiltrujeme cez suchý skladaný filter. Do kadičky odpipetujeme 50 ml filtrátu, pridáme 3 kvapky fenolftaleinu a titrujeme 0,1 M roztokom NaOH až do vzniku slabého ružového zafarbenia, ktoré nezmizne za 1 minútu.

**Výpočet:** Hydrolytickú kyslosť vypočítame podľa vzorca:

$$\text{HK /mmol.kg}^{-1} = a \cdot f \cdot M \cdot 50 \cdot 1,75 \text{ /alebo } 1,5/$$

kde: a = množstvo spotrebovaného 0,1 M NaOH na titráciu v ml,  
 f = faktor NaOH,  
 M = molarita NaOH,  
 50 = prepočet na kg zeminy,  
 1,75 = konštanta za neúplné vytlačenie iónov /1,75 pre octan sodný a 1,5 pre octan vápenatý/.

**Hodnotenie výsledkov:** Pre hodnotenie výsledkov hydrolytickej kyslosti sa používajú nasledovné kritériá:

HK (mmol.kg <sup>-1</sup> )	hodnotenie
-----------------------------	------------

nad 13,7	veľmi silná
13,7 - 9,2	silná
9,1 - 6,3	stredná
6,2 - 2,9	mierna
2,8 - 1,7	slabá
do 1,7	veľmi slabá

K metóde stanovenia hydrolytickej kyslosti sú určité výhrady, ktoré sa zdôvodňujú menším uvoľňovaním iónov  $Al^{3+}$  z pôdneho koloidného komplexu /málo disociované  $CH_3COOH$  podmieňuje menšiu kyslosť extraktu/, sorpciu aniónu  $CH_3COO^-$  výmenou za ión  $OH^-$  /čo znižuje kyslosť výluhu/ a výskytom tejto časti /formy/ kyslosti aj v sorpčne nasýtených a uhličitanových pôdach. V tejto súvislosti sa zdôrazňuje menšia reprodukovateľnosť stanovenia hydrolytickej kyslosti a sťažená interpretácia dosiahnutých výsledkov.

I napriek tomu, že hydrolytická kyslosť neposkytuje najpresnejšie výsledky, určovanie tejto formy kyslosti má svoje opodstatnenie. Na základe výsledkov hydrolytickej kyslosti možno posudzovať stupeň sorpčnej nasýtenosti a acidifikácie pôd a spôsob neutralizácie pôdnej kyslosti.

### 3.4. STANOVENIE POTREBY VÁPNEŇA KYSLÝCH PÔD

Pôdy s kyslou reakciou sú z agronomického hľadiska menej hodnotné. Preto vápnenie kyslých pôd patrí k naliehavým úlohám poľnohospodárskej praxe.

Okrem kyslosti, ktorá je hlavným ukazovateľom pre stanovenie potreby vápnenia musíme brať do úvahy aj mechanické zloženie pôdy. Pôdy s vyšším obsahom ílu majú i vyššiu sorpčnú schopnosť pre  $H^+$  ióny. V dôsledku menšej priepustnosti a tým aj nižšieho vylúhovania bázických katiónov majú spravidla vyšší stupeň nasýtenosti ako pôdy s malým obsahom ílu.

Dôležitý je aj obsah organickej zložky v pôde. Organická hmota nielen kyslé katióny sorbuje /má vysokú pútaciú schopnosť/, ale zároveň niektoré aj chelatizuje a tým znižuje ich schopnosť vytesňovať sa inými katiónmi.

Pri stanovení potreby vápnenia dôležitá je aj hĺbka výskytu uhličitanov v pôde, špecializácia oševného postupu a požiadavky pestovaných plodín /napr. ich citlivosť k nadbytku  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ , Mn, Fe, ale tiež aj k  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  a k iným prvkom/.

Vápnenie má mnohostranný vplyv na pôdu. V dôsledku neutralizácie prostredia mení sa režim živín v pôde, menia sa biochemické procesy a fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy.

#### 3.4.1. METÓDY STANOVENIA POTREBY VÁPNEŇA

Pod potrebou vápnenia rozumieme množstvo vápenatého hnojiva /väčšinou  $CaCO_3$ / potrebné na neutralizáciu pôdnej kyslosti až do neutrálnej alebo požadovanej hodnoty pH.

Na stanovenie množstva vápenatého hnojiva sa používajú rôzne metódy, z ktorých najznámejšie sú:

- *poľné pokusy* /na základe reakcie plodín na dávky vápenatých hnojív/,
- *inkubačné laboratórne pokusy* /na základe zmeny pH na požadovanú hodnotu v závislosti od dávok vápenatých hnojív/,
- *titrácia lúhmi* /na základe spotreby lúhu na dosiahnutie požadovanej hodnoty pH/,

- **zmena pH tlmivého roztoku** /dávku vypočítame na základe výšky zmeny hodnoty pH tlmivého roztoku vplyvom pôdnej kyslosti/,
- **výmenný Al<sup>3+</sup>** /dávka sa počíta z obsahu výmenného Al<sup>3+</sup> v mmol (Al<sup>3+</sup>/3) kg<sup>-1</sup>. /O,1 kg<sup>-1</sup> a koeficientu 1,5; 2; 3,3; v závislosti od citlivosti plodín/ a i.

### 3.4.1.1. Stanovenie potreby vápnenia výpočtom z hydrolytickej kyslosti

Postupujeme ako pri stanovení potreby vápnenia výpočtom z výmennej kyslosti, lenže do vzorca namiesto hodnoty výmennej kyslosti dosadíme hodnotu hydrolytickej kyslosti v mmol (H<sup>+</sup>).kg<sup>-1</sup> zeminy.

$$DV [t.ha^{-1}] = HK \cdot E \cdot O \cdot P \cdot h \cdot 10^{-9}$$

kde:

HK - hydrolytická kyslosť v mmol (H<sup>+</sup>).kg<sup>-1</sup>,

E - ekvivalent prepočtu (mmol H<sup>+</sup> = 50 mg CaCO<sub>3</sub> alebo 28 mg CaO),

O - objemová hmotnosť (kg.m<sup>-3</sup>),

P - plocha, ktorá má byť vápnená (m<sup>2</sup>),

h - hĺbka ornice (m),

10<sup>-9</sup> - prepočet mg CaCO<sub>3</sub> resp. CaO na t,

napr.

$$DV = 30 \cdot 50 \cdot 1500 \cdot 10000 \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} = 4,5 \text{ t CaCO}_3 \cdot ha^{-1}$$

## 3.5. SORPČNÉ VLASTNOSTI PÔDY

Dôležitou vlastnosťou pôdy je schopnosť **viazať** /zadržiavať /ióny, molekuly, plyny i kvapalné látky. Význam tejto vlastnosti z praktického hľadiska spočíva v tom, že výmenne



sorbované ióny sú prijateľné pre rastliny a nepodliehajú migrácii, čo má nemalý ekonomický, ako aj ekologický význam.

**Koloidná frakcia pôdy**, ktorá limituje veľkosť sorpčnej kapacity pozostáva predovšetkým z minerálnej a organickej časti. Minerálnu časť predstavujú najmä ílové minerály a organický pôdny humus.

Podľa charakteru disociácie a adsorpcie koloidy rozdeľujeme na acidoidy a bazoidy. Negatívne nabité acidoidy pri disociácii uvoľňujú  $H^+$  ióny, obdobne ako kyseliny a adsorbujú katióny. Bazoidy majú kladný náboj a pri disociácii uvoľňujú  $OH^-$  ióny a adsorbujú anióny. Niektoré koloidy majú schopnosť meniť náboj /amfolitoidy/ v závislosti od pH prostredia. Prevažná väčšina koloidov v pôde má záporný náboj, čo podmieňuje púťanie katiónov v pôde. A práve z tohoto dôvodu je sorpcia katiónov preštudovaná podrobnejšie ako sorpcia aniónov.

Veľkosť sorpcie katiónov ílovými minerálmi závisí od miery izomorfnnej substitúcie, narušenia väzieb na okrajoch základných štruktúrnych jednotiek a od disociácie iónov  $H^+$  okrajových hydroxylových skupín. Humusové látky obsahujú rôzne funkčné skupiny /najmä karboxylové a fenolhydroxylové/ v dôsledku čoho prejavujú sorpčnégvlastnosti.

### 3.5.1. HLAVNÉ UKAZOVATELE SORPČNÝCH VLASTNOSTÍ PÔDY

Sorpciu katiónov v pôde vyjadrujeme nasledovnými ukazovateľmi:

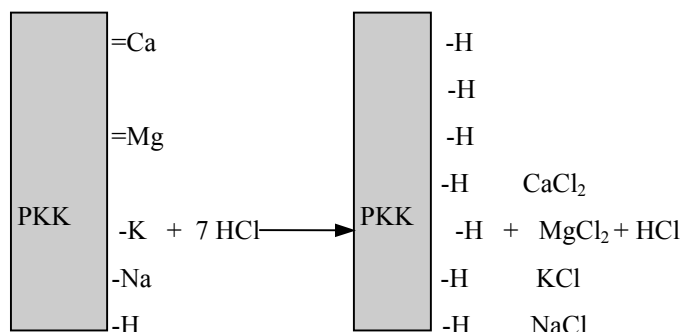
- **celková sorpčná kapacita /T/** predstavuje najväčšie množstvo katiónov v mmol /mmol( $p^+$ )/, ktoré môže pútať 1 kg zeminy,
- **množstvo výmenných bázických katiónov /S/** udáva obsah bázických katiónov -  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  v mmol na kg zeminy,
- **hydrolytická kyslosť /H/** predstavuje  $H^+$  a  $Al^{3+}$  ióny, ktoré sa vytesnia z pôdy pôsobením hydrolyticky zásaditej soli a udáva sa v mmol na kg zeminy /alebo výmenný  $H^+$ , ktorý sa vytesní roztokom  $BaCl_2$ / a
- **stupeň nasýtenia sorpčného komplexu bázickými katiónmi (V)**

$$V (\%) = \frac{S}{T} \cdot 100$$

Sorpciu aniónov v pôde vyjadrujeme aniónovou sorpčnou kapacitou, ktorá predstavuje najväčšie množstvo aniónov v mmol, ktoré môže viazať 1 kg zeminy.

#### 3.5.1.1. Stanovenie sumy výmenných bázických katiónov a sorpčnej kapacity Kappenovou metódou

**Princíp metódy:** Výmenné bázické katióny sa vytlačajú zo sorpčného komplexu vodíkovým iónom z 0,1 M HCl. Suma vytesnených bázických katiónov sa stanoví z rozdielu obsahov vodíka v pôvodnej kyseline a po jej reakcii so zeminou. Výmenná reakcia prebieha podľa schémy:



Obsah výmenného vodíka pre výpočet sorpčnej kapacity sa zistí pri stanovení hydrolytickej kyslosti. Metódu môžeme použiť len na pôdach, ktoré neobsahujú uhličitany.

**Potreby:** váhy, Stohmanova banka 200 ml, pipety /50, 100 ml/, lievik, titračná banka 250 ml, trepačka, filtračný papier, byreta, varič.

**Reagencie a ich príprava:**

- 0,1 M HCl: 8,4 ml 36,5 % HCl o hustote 1,19 rozpustíme v destilovanej vode a doplníme na objem 1 l.
- 0,1 M NaOH: 4 g NaOH rozpustíme v dest. vode a doplníme na objem 1 l. Roztok musí byť faktorovaný.
- fenolftalein: 1 % roztok v 50 % etylalkohole.

**Pracovný postup:** Do Stohmanovej banky 250 ml odvážime 20 g zeminy preosiatej cez sito s 1 mm otvormi, pridáme 100 ml 0,1 M HCl a trepeme na horizontálnej trepačke 1 hodinu. Po trepaní suspenziu necháme stáť do druhého dňa /24 hodín/. Potom obsah pretrepeme a filtrujeme cez suchý skladaný filter /prvé podiely filtrátu vylejeme/. Z filtrátu odpipetujeme 50 ml /musí byť číry/ a preniesieme do titračnej banky /250 ml/, 1 - 2 minúty povaríme /za účelom vypudenia CO<sub>2</sub>/, pridáme 2 kvapky fenolftaleinu a horúci roztok titrujeme 0,1 M roztokom NaOH do slaboružového sfarbenia.

**Výpočet:** Sumu výmenných bázických katiónov (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) /S/ vypočítame podľa vzorca:

$$S \text{ (mmol(p}^+ \text{).kg}^{-1}\text{)} = \frac{(50 \cdot M \cdot f - a \cdot M_1 \cdot f_1) \cdot 2 \cdot 1000}{m}$$

kde  
 50 - množstvo filtrátu použitého na titráciu v ml  
 M - molarita HCl /0,1 M/  
 f - faktor HCl

a - spotreba 0,1 M NaOH na titráciu v ml  
 M<sub>1</sub> - molarita NaOH  
 f<sub>1</sub> - faktor NaOH  
 2 - koeficient prepočtu na celkovú navážku  
 1000 - prepočet na kg zeminy  
 m - navážka zeminy v g

**Katiónovú sorpčnú kapacitu /T/** vypočítame podľa vzorca:

$$T \text{ (mmol(p}^+ \text{).kg}^{-1}) = S + H$$

kde

S - suma výmenných bázických katiónov

H - hydrolytická kyslosť /stanovenie pozri v kapitole 4.3.3.2./

**Sorpčnú nasýtenosť /V/** vypočítame podľa vzorca:

$$V [\%] = \frac{S}{S + H} \cdot 100$$

**Hodnotenie výsledkov:** Hodnotenie výsledkov katiónovej sorpčnej kapacity a sorpčnej nasýtenosti

katiónová sorpčná kapacita	hodnotenie
< 80	veľmi nízka
80 - 120	nízka
120 - 170	nižšia stredná
170 - 240	vyššia stredná
240 - 300	vysoká
> 300	veľmi vysoká

V %	označenie stupňa nasýtenosti
90 - 100	plne nasýtený
70 - 90	nasýtený
50 - 75	slabo nasýtený
30 - 50	nenasýtený
< 30	extrémne nasýtený

**Poznámky:** Uvedená metóda dáva len približné výsledky, pretože vytesnenie výmenných katiónov nebýva úplné a časť kyseliny sa spotrebuje na vedľajšie reakcie. Aj napriek uvedeným nedostatkom sa stále v mnohých laboratóriách používa, pretože je jednoduchá a nenáročná na vybavenie.

### 3.6. METÓDY SKÚMANIA A CHARAKTERISTIKY OBSAHU A KVALITY HUMUSU V PÔDE

Pôdny humus predstavuje zložitý, premenlivý súbor organických látok, líšiacich sa pôvodom, fyzikálno-chemickými vlastnosťami a späťosťou s minerálnym podielom.

V podstate humus **tvoria nešpecifické organické látky** /cukry, bielkoviny, alkoholy, mastné kyseliny a i./s obsahom do 15% a **špecifické humusové látky** /humínové kyseliny, fulvokyseliny, humíny/ tvoriace podstatnú časť pravého humusu /85 - 90 %/.

Pre všestrannú charakteristiku humusového režimu a jeho dynamiky v jednotlivých pôdnych kategóriách je veľmi dôležité poznať celý súbor chemických, fyzikálno-chemických a biologických metód.

### 3.6.1. STANOVENIE ORGANICKÉHO UHLÍKA A VÝPOČET OBSAHU HUMUSU

Metódy na stanovenie organického uhlíka sa zakladajú na oxidácii organických zlúčenín, pri ktorej vzniká CO<sub>2</sub>. Jednotlivé metódy sa odlišujú spôsobom oxidácie a stanovením uvoľňovaného CO<sub>2</sub>.

*Organický uhlík v zemine môžeme stanoviť:*

- **oxidáciou za sucha** v prúde kyslíka,
- **oxidáciou za mokra** /najčastejšie zmesou K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> v prostredí koncentrovanej H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/.

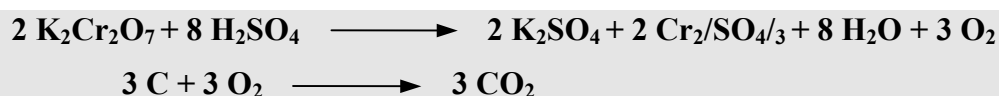
Výsledok stanovenia vyjadríme ako množstvo organického uhlíka, alebo ak výsledok vynásobíme koeficientom 1,724, tak dostaneme percentuálne zastúpenie obsahu humusu v zemi.

Najčastejšie používanou metódou stanovenia uhlíka u nás, hlavne pri sériových pôdnych rozboroch, je oxidimetrická metóda v rozličných modifikáciách /Ťurin, Simakov, Nikitin/.

#### 3.6.1.1. Stanovenie uhlíka oxidimetricky /C<sub>ox</sub>/

*Princíp metódy* :Uhlík organických látok zoxidujeme kyslíkom, uvoľneným z K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> v silne kyslom prostredí /H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/.

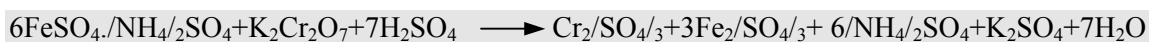
*Reakciu môžeme vyjadriť nasledovne:*



Množstvo kyslíka spotrebovaného na oxidáciu organického uhlíka stanovíme na základe rozdielu medzi nespotrebovaným a spotrebovaným množstvom kyseliny chromsírovej /K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/.

Nespotrebovanú kyselinu chromsírovú zistíme titráciou roztokom soli (/NH<sub>4</sub>/<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> .FeSO<sub>4</sub> .6 H<sub>2</sub>O).

*Reakcia prebieha podľa rovnice:*



*Reagencie a ich príprava:*

- cca 0,07 M roztok kyseliny chromsírovej /K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/, rozpustíme 20,0 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> v 400 ml destilovanej vody a postupne za stáleho chladenia pridávame 500 ml koncentrovanej H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> /o hustote 1,84/, doplníme destilovanou vodou na objem 1000 ml,

- cca 0,1 M roztok Mohrovej soli, rozpustíme 40,0 g  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  v 300 ml destilovanej vody, prefiltrujeme, pridáme 20 ml koncentrovanej  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a doplníme na objem 1000 ml. Zásobný roztok udržiavame v dobre uzavretej tmavej fľaši,
- kyselina fenylantranilová /difenylamín 2-karbonátová -  $\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$ /, rozpustíme 0,2 g kryštalickej kyseliny v 100 ml 0,2 % roztoku  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,
- roztok 1 % difenylamínu, rozpustíme 1 g difenylamínu  $/\text{C}_6\text{H}_5/2\text{NH}$  v 20 ml destilovanej vody a doplníme na objem 100 ml koncentrovanou  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,
- 85 %-ná  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,
- $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ako katalyzátor,
- 0,02 M roztok  $\text{KMnO}_4$  na stanovenie titračného faktora Mohrovej soli.

**Pracovný postup:** Na vzduchu vysušenú zeminu, po dôkladnom odstránení zvyškov rastlinného /drobné koreňky/ i živočíšneho pôvodu, preosejeme cez sito o priemere ôk 0,25 mm.

Navážku zeminy zvolíme podľa predpokladaného obsahu humusu takto:

predpokladaný obsah humusu /v %/	navážka zeminy /v g/
nad 10	0,05
8 - 10	0,1
6 - 8	0,15
4 - 6	0,2
2 - 4	0,25
1 - 2	0,3
pod 1	0,5

Navážku zeminy kvantitatívne presypeme do Erlenmeyerovej banky /objem 100 ml/, pridáme asi 0,1 g  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  a z automatickej pipety 10 ml 0,07 M roztoku kyseliny chromsírovej  $/\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4/$ . Obsah banky opatrne premiešame /zemina sa nesmie nalepiť na steny banky/, prikryjeme hodinovým sklíčkom. Súčasne si pripravíme do Erlenmeyerových baniek /najmenej do 4 baniek/ pre kontrolné stanovenie po 10 ml 0,07 M kyseliny chromsírovej /bez zeminy - slepý pokus/. Banky vložíme do vyhriateho termostatu, kde ich ponecháme 20 min. pri teplote 150 °C, prípadne 45 min. pri teplote 125 °C. Po vybratí z termostatu a ochladení vzoriek obsah banky zriedime destilovanou vodou na objem asi 100 ml. Farba suspenzie je obvykle hnedá až oranžovožltá. Ak počas zahrievania v termostate zozelenie, svedčí to o nedostatku kyseliny chromsírovej potrebnej na úplnú oxidáciu organického uhlíka v navážke zeminy. V takomto prípade znížime navážku, alebo použijeme väčšie množstvo kyseliny chromsírovej /napr. 15 ml/. Na titráciu, pri oxidácii nespotrebovanej 0,07 M kyseliny chromsírovej použijeme roztok 0,1 M Mohrovej soli  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) a to buď na indikátor /kyselina fenylantranilová, resp. difenylamín/, alebo potenciometrickú titráciu do mŕtveho bodu, tzv. "dead stop" metóda /Pavel, 1965/.

**Titrácia na indikátor kyselinyfenylantranilovej /d i f e n y l a m í n u/** Do titračnej banky k suspenzii /po zoxidovaní/ pridáme asi 5 kvapiek kyseliny fenylantranilovej /ak použijeme indikátor difenylamín 5 - 8 kvapiek, spolu s ním musíme pridať tiež asi 2,5 ml 85 %-nej kyseliny fosforečnej/ a za stáleho premiešavania titrujeme zvyšok nespotrebovanej kyseliny chromsírovej 0,1 M roztokom Mohrovej soli. Počas titrácie sa mení farba z hnedej až tmavohnedej cez fialovú do zelenej. Po objavení sa fialového sfarbenia titrujeme veľmi opatrne po kvapkách do konečnej nevýraznej zelenej farby /výrazné zelené sfarbenie

signalizuje, že je vzorka pretitrovaná!/. Obdobne stitrujeme i kontrolné stanovenie /slepý pokus/.

### **Výpočet obsahu uhlíka a humusu:**

$$\% \text{ uhlíka}/C_{\text{ox}}/ = \frac{/a - b/ \cdot k_1 \cdot f \cdot 100}{n}$$

$$\% \text{ humusu } /H_m/ = \frac{/a - b/ \cdot k_2 \cdot f \cdot 100}{n}$$

kde:

a = spotreba 0,1 M roztoku Mohrovej soli v ml pri kontrolnom stanovení /na slepý pokus - bez zeminy/,

b = spotreba 0,1 M roztoku Mohrovej soli v ml pri titracii pôdnej vzorky,

k<sub>1</sub> = prepočítací koeficient na uhlík /1 ml 0,1 M Mohrovej soli zodpovedá 0,0003 g C/,

k<sub>2</sub> = prepočítací koeficient na humus /0,000517/,

f = titračný faktor Mohrovej soli,

n = navážka zeminy v g.

### **Poznámka:**

- V prípade, ak nepoužijeme katalyzátor Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> výsledok obsahu uhlíka a humusu, ktorý vypočítame podľa uvedených vzorcov vynásobíme faktorom 1,17.
- Do každej série stanovení je vhodné zaradiť dve "štandardné vzorky" jemnozeme o známom obsahu C<sub>ox</sub>. Podľa zistených hodnôt v danej sérii môžeme hodnotiť presnosť a spoľahlivosť stanovenia.
- Spotreba kyseliny chromsírovej na oxidáciu, vyjadrená rozdielom /a - b/ musí byť v rozmedzí 1 - 15 ml, inak je potrebné voliť vhodnejšiu navážku.
- Stanovenie C<sub>ox</sub> v pôdach zasolených chloridmi odporúčame ich vymytie pred vlastným stanovením. Pri obsahu chloridov pod 0,5 % je možné stanoviť uhlík aj bez ich odstránenia.

### **Vyjadrovanie výsledkov:**

Dosiahnuté výsledky vyjadrujeme v % C<sub>ox</sub>, v % humusu, alebo v t.ha<sup>-1</sup> ornice.

Presnosť výsledku: 0,03 % do obsahu

1 % C<sub>ox</sub>

	0,05 % do obsahu	1 - 2 % C <sub>ox</sub>
	0,10 % pri obsahu nad	2 % C <sub>ox</sub>
Zhodnosť :	0,06 % do obsahu	1 % C <sub>ox</sub>
	0,10 % do obsahu	1 - 2 % C <sub>ox</sub>
	0,20 % pri obsahu nad	2 % C <sub>ox</sub>

### Hodnotenie výsledkov:

Podľa celkového obsahu C<sub>ox</sub> a humusu môžeme zostaviť túto približnú stupnicu pre slovné vyhodnotenie zemín:

obsah uhlíka (Cox)	obsah humusu (Hm)	označenie
pod 0,60	pod 1,00	veľmi nízky
0,61 - 1,19	1,00 - 1,99	nízky
1,20 - 1,79	2,00 - 2,99	stredný
1,80 - 2,90	3,00 - 5,00	vysoký
nad 2,90	nad 5,00	veľmi vysoký

Pri hodnotení obsahu humusu v jednotlivých pôdnych typoch /subtypoch, varietách a formách/ posudzujeme jeho obsah v príslušnom horizonte /vo vzorke z určitej hĺbky/, ako aj tzv. "**prehumóznenie pôdneho profilu**". Ukazovateľom prehumóznosti profilu je hĺbka, v ktorej obsah humusu klesne pod 50 %, v porovnaní s orniciou.

Obsah humusu závisí od zrnitosti zloženia a pH pôdy. Pôdy ľahšieho zrnitosti zloženia majú obvykle nižší obsah humusu ako pôdy ťažšie.

č. vzorky sondy	pôd. typ	hĺbka odberu vz. v m	navážka v g	množstvo spotrebov. Mohrovej soli v ml		a - b	Cox %	Hm %	slovné vyhodnotenie
				a	b				
1	hnedozem	0,05 - 0,2	0,3	40,00	28,00	12,00	1,20	2,07	stredný obsah
(5)	(HM)	(Al)							

### 3.6.2. STANOVENIE KVALITY HUMUSU

Humusové látky, ktoré sú podstatnou časťou humusu a rozhodujú o jeho kvalite, charakterizujeme ako "vysokomolekulové polyfunkčné dusíkaté organické zlúčeniny s heterocyklickou štruktúrou a vlastnosťami kyselín".

Pre charakteristiku kvalitatívneho zloženia humusu, objasnenie jeho genézy i foriem väzieb s minerálnou časťou pôdy stanovujeme skupinové a frakčné zloženie humusu. Existuje veľké množstvo metód pomocou rôznych extrakčných činidiel, ale analýzy sú zložité, prevažne veľmi zdĺhavé a náročné na vybavenie laboratória.

Najčastejšie sa u nás pri sériových rozboroch používa niektorá zo skrátených metód pre skupinové zloženie humusových látok, pomocou ktorej získame prehľad o zastúpení dvoch podstatných skupín - humínových kyselín /HK/ a fulvokyselín /FK/, určujúcich kvalitu humusu.



### **3.6.2.1. Stanovenie skupinového zloženia humusových látok skrátenou metódou**

**Princíp metódy:** Jemnozeme extrahujeme zmesou roztokov 0,1 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  a 0,1 M NaOH. V eluáte určíme obsah humusových látok /HK a FK/. Pri použití zmesi roztokov  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaOH}$  /pH okolo 13/ extrakcia prebieha pomerne rýchlo a získame humusové látky /HL/, viazané s vápnikom ako aj nesilikátovými formami železa a hliníka.

#### **Reagencie a ich príprava:**

- 0,1 M roztok  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  a 0,1 M NaOH obsahuje 44,6g  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{ g NaOH}$  v 1000 ml,
- koncentrovaná  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 M, 0,05 M a 0,02 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,
- 0,07 M kyselina chromsírová,
- 0,1 M Mohrova soľ,
- $\text{Na}_2\text{SO}_4$ /nasýtený roztok/,
- 0,05 M a 0,1 M NaOH,
- $\text{NH}_4\text{OH}$  /zriedený/,
- NaCl,
- $\text{AgNO}_3$ .

#### **Postup práce pri získavaní základného výluhu:**

Odvážime 5 g jemnozeme /rovnako pripravenej ako pre stanovenie uhlíka/, vpravíme do banky o objeme 250 ml a zalejeme 100 ml čerstvo pripraveným roztokom 0,1 M difosforečnanu a 0,1 M hydroxidu sodného. Banku zazátkujeme /izolujeme od vzdušného  $\text{CO}_2$ /, obsah dobre premiešame viackrát a necháme stáť 18 - 24 hodín. Po určenej dobe pridáme do banky 20 ml nasýteného roztoku  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dôkladne premiešame a necháme stáť 15 minút. Potom obsah banky filtrujeme alebo prelejeme do centrifugačných kyviet a odstredíme 10 minút /cca 5400 g max./. Číry centrifugát zlejeme do 250 ml odmernej banky. Banku so zvyškom opláchneme 30 ml roztoku  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaOH}$  a obsah opäť preniesieme do centrifugačnej kyvety /k zemine po prvom centrifugovaní/ do ktorej pridáme 5 ml nasýteného roztoku  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , premiešame tyčinkou a necháme stáť 15 minút. Opätovne odstredíme 10 minút, číry centrifugát zlejeme do odmernej banky k výluhu z prvého odstredovania. Takýto postup opakujeme tak dlho, až je výluh zo zeminy v kyvete bezfarebný. Obsah odmernej banky doplníme destilovanou vodou po značku, dobre premiešame a získame **z á k l a d n ý v ý l u h**.

#### **Stanovenie obsahu uhlíka humusových látok - $C_{HL}$**

**Pracovný postup:** Do Erlenmeyerovej banky odpipetujeme 5 - 15 ml zo základného výluhu /podľa intenzity zafarbenia, čím svetlejšia farba, tým väčší objem výluhu/ a upravíme pH roztoku na 7 /neutralizujeme 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /. Roztok odparíme do sucha vo vodnom kúpeli. K odparku pridáme 10 ml 0,07 M kyseliny chromsírovej a oxidujeme v termostate 20 minút pri teplote 150 °C. Súčasne oxidujeme aj vzorky kontrolného stanovenia - slepý pokus /bez odparku/. Po vychladnutí vzorky stitujeme roztokom 0,1 M Mohrovej soli /obdobne ako pri stanovení  $C_{ox}$  oxidimetricky/ a vypočítame obsah  $C_{HL}$  v %.

## Stanovenie obsahu uhlíka humínových kyselín - $C_{HK}$

### a/ *Vyzrážanie humínových kyselín*

**Pracovný postup:** Podľa intenzity sfarbenia odpipetujeme zo základného výluhu 50-200 ml do 250 ml banky, pridávame postupne po kvapkách koncentrovanú  $H_2SO_4$  /asi 0,2 - 0,5 ml/ za súčasného miešania, až do objavenia sa zákalu /pH - 2,5-3/. Pozor, nepridávať prebytočné množstvo  $H_2SO_4$ ! Roztok zahrievame 1 hodinu v termostate pri teplote do 60 °C. Humínové kyseliny sa vyzrážajú /vytvoria sa klky/. Po vychladnutí vzorky filtrujeme cez hustý filter, ktorý predtým ovlhčíme 0,05 M  $H_2SO_4$ . Banku dôkladne vypláchneme destilovanou vodou a HK na filtri premyjeme roztokom 0,05 M  $H_2SO_4$ , aby pretekajúci filtrát bol bezfarebný. Do filtrátu prejdú FK. Humínové kyseliny na filtri rozpustíme horúcim 0,05 M NaOH a zachytávame ich do 100 ml odmernej banky. Roztok NaOH pridávame na filter po malých dávkach, aby sa rozpustila zrazenina HK aj na horných okrajoch, filter premývame tak dlho, až je opäť biely. Odmernú banku s HK doplníme po značku destilovanou vodou a v určitom podiele stanovíme obsah  $C_{HK}$ .

### b/ *Vlastné stanovenie uhlíka humínových kyselín - $C_{HK}$*

Pracovný postup: Z dobre premiešaného roztoku HK odpipetujeme 10-20 ml /podľa intenzity sfarbenia/ do banky a upravíme pH na hodnotu 7 pomocou 1 M  $H_2SO_4$  /v prípade potreby prebytok kyseliny otupíme späť zriedeným  $NH_4OH$ /. Po úprave reakcie roztok s HK odparíme do sucha vo vodnom kúpeli. Suchý odparok zoxidujeme 0,07 M kyselinou chromsírovou ako pri stanovení  $C_{HL}$ , potom stitrujeme roztokom 0,1 M Mohrovej soli a zo spotreby vypočítame obsah  $C_{HK}$  v %.

### c/ *Stanovenie uhlíka hnedých / $C_{HKH}$ / a sivých / $C_{HKS}$ / humínových kyselín*

**Pracovný postup:** Z výluhu humínových kyselín odpipetujeme 10 - 20 ml do 100 ml banky a upravíme pH na hodnotu 8. Pridáme 6 g NaCl, dôkladne premiešame a vzorky necháme stáť 24 hodín /občas premiešame/. Po určenej dobe vzorky filtrujeme cez hustý filter, premývame 0,02 M  $H_2SO_4$  až do vytiesnenia  $Cl^-$  /skúška s  $AgNO_3$ /. Na filtri zachytené sivé humínové kyseliny /HKS/ rozpustíme horúcim 0,05 M NaOH a zachytávame do 50 ml odmernej banky. Doplníme destilovanou vodou po značku, odpipetujeme 10 ml do 250 ml banky a ďalej postupujeme ako pri stanovení obsahu uhlíka humínových kyselín / $C_{HK}$ /. Množstvo uhlíka hnedých humínových kyselín / $C_{HKH}$ / zistíme výpočtom z rozdielu medzi celkovým obsahom uhlíka humínových kyselín a obsahom uhlíka sivých humínových kyselín / $C_{HKH} = C_{HK} - C_{HKS}$ /.

## Stanovenie obsahu uhlíka fulvokyselín - $C_{FK}$

**Pracovný postup:** Roztok fulvokyselín, ktorý sme zachytili pri filtrácii /po vyzrážaní humínových kyselín/ do 250 ml odmernej banky, doplníme po značku destilovanou vodou a dobre premiešame. Odpipetujeme 40 ml, upravíme pH roztoku na hodnotu 7 a roztok

odparíme do sucha pri teplote do 50 °C. Získaný odparok oxidujeme 0,07 M kyselinou chromsírovou, stitrujeme roztokom Mohrovej soli ako pri stanovení  $C_{ox}$  a zo spotreby Mohrovej soli vypočítame obsah  $C_{FK}$  v %. Veľmi často sa obsah uhlíka fulvokyselín zisťuje výpočtom z rozdielu medzi obsahom uhlíka humusových látok a obsahom uhlíka humínových kyselín /

$$C_{FK} = C_{HL} - C_{HK}.$$

### Vyjadrovanie výsledkov:

Stanovené obsahy uhlíka humusových látok / $C_{HL}$ /, humínových kyselín / $C_{HK}$ /, hnedých humínových kyselín / $C_{HKH}$ /, sivých humínových kyselín / $C_{HKS}$ / a fulvokyselín / $C_{FK}$ / vyjadrujeme v % k navážke zeminy ako aj k množstvu uhlíka v zemine /% z  $C_{ox}$ , resp. % z  $C_t$ /.

### 3.6.2.2. Stanovenie frakčného zloženia humusových látok

Frakcionácia humusových látok je analytický postup, pri ktorom získavame rôznymi extrakčnými činidlami a nasledujúcim stanovením obsahu uhlíka v jednotlivých frakciách prehľad o ich zastúpení v pôde.

Humusové látky sú v pôde zastúpené týmito frakciami:

- **1 HK /humínové kyseliny/** je rozpustná priamo v 0,1 M NaOH. Predstavuje voľné, alebo viazané HK s jednomocnými kationmi / $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ /.
- **2 HK** je rozpustná v 0,1 M NaOH až po predchádzajúcej dekalcinácii zeminy. Vplyvom  $Ca^{2+}$  a  $Mg^{2+}$  koaguluje a prechádza na príslušné humáty. Humáty vápnika sú vo vode málorozpustné, tvoria gély, ktoré vytvárajú tenkú vrstvu na pôdnych elementoch a spevňujú ich.
- **3 HK** je rozpustná v 0,02 M NaOH po šesťhodinovom zahrievaní na vodnom kúpeli. Je pevne viazaná s ílovými minerálmi a oxidmi  $Fe^{3+}$  a  $Al^{3+}$ .
- **1a FK /fulvokyseliny/** je rozpustná v 0,05 M  $H_2SO_4$ . Predstavuje voľnú "agresívnu" frakciu fulvokyselín.
- **1 FK** je priamo rozpustná v 0,1 M NaOH a extrahujeme ju spolu s frakciou 1 HK. Viaže sa s jednomocnými kationmi.
- **2 FK** je rozpustná v 0,1 M NaOH až po predchádzajúcej dekalcinácii zeminy a extrahujeme ju spolu s frakciou 2 HK.
- **3 FK** je rozpustná v 0,02 M NaOH po 6 hodinách zahrievania vo vodnom kúpeli.

Metód používaných na stanovenie frakčného zloženia humusových látok vo svete je veľké množstvo a každá z nich má svoje analytické či organizačné prednosti i nedostatky. Najčastejšie používanou metódou u nás je frakcionácia humusových látok podľa Ťurina v modifikácii Ponomarevovej-Plotnikovej.