

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

1130294

**ANALÝZA VYBRANÝCH FYZIKÁLNO-MECHANICKÝCH  
VLASTNOSTÍ PÔDY VO VYBRANEJ LOKALITE  
POĽNOHOSPODÁRSKEHO PODNIKU**

2011

**Miroslava PALOTÁŠOVÁ**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V  
NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

**ANALÝZA VYBRANÝCH FYZIKÁLNO-MECHANICKÝCH  
VLASTNOSTÍ PÔDY VO VYBRANEJ LOKALITE  
POĽNOHOSPODÁRSKEHO PODNIKU**

**Bakalárska práca**

Študijný program:	Poľnohospodárska technika
Študijný odbor:	4112700 Poľnohospodárska a lesnícka technika
Školiace pracovisko:	Katedra strojov a výrobných systémov
Školiteľ:	Ing. Ján Jobbágy, PhD
Konzultant: (nepovinný)	-

**Nitra 2011**

**Miroslava PALOTÁŠOVÁ**

## ABSTRAKT

V danej bakalárskej práci sa zameralo na charakteristiku pôdy, vznik a vývoj a pôdotvorné procesy. Popri týchto vlastnostiach sa zameralo na fyzikálne a mechanické vlastnosti pôdy. Medzi tieto spomínané vlastnosti možno zaradiť vlhkosť pôdy, zrnitosť, šmyková pevnosť a penetrometrický odpor pôdy. Následne sa zameria na vodu v pôde. Popis v práci popri týchto vlastnostiach sa bude týkať aj ďalších vlastností ako sú úrodnosť a produkčná funkcia pôdy. Na záver sa uskutočnia praktické merania na vybranom pozemku v danom poľnohospodárskom podniku.

**Kľúčové slová:** vlastnosti pôdy, fyzikálno-mechanické vlastnosti pôdy, šmyková pevnosť, vlhkosť pôdy.

## ABSTRAKT

This my work is focused on characteristics of soil, its formation and evolution and forming and evolution processes. Along with these characteristics the work is focused on physical and mechanical properties of soil. Among the properties which are mentioned here, soil moisture, particle size, shear strength and penetrometrical resistance of soil can be included, too. Subsequently, it is focused on water in the soil. The description in the work, in addition to these properties, will also cover other properties such as soil fertility and soil production function. Finally, practical measurements will be carried out on selected land at the chosen farm.

**Kľúčové slová:** soil properties, physical and mechanical properties of soil, shear strength, soil moisture.

## **Čestné vyhlásenie**

Podpísaná Miroslava Palotášová vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Analýza vybraných fyzikálno-mechanických vlastností pôdy vo vybranej lokalite poľnohospodárskeho podniku“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

## **Pod'akovanie**

Týmto sa chcem pod'akovať svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Jánovi Jobbágyovi, PhD. za metodické vedenie a cenné rady pri písaní bakalárskej práce a tiež zamestnancom Katedry strojov a výrobných systémov. Moje osobitné pod'akovanie patrí všetkým, ktorý ma podporovali a vytvorili mi podmienky počas celého štúdia.

## POUŽITÉ SKTRATKY A OZNAČENIA

$V_p$	objem pórov v pôde	$m^3$
$V_s$	objem pevnej fázy pôdy	$m^3$
$V_t$	celkový objem pôdy	$m^3$
$V_w$	objem vody	$m^3$
$V_a$	objem vzduchu	$m^3$
$\varphi$	uhol vnútorného trenia	°
$\rho_d$	objemová hmotnosť pôdy redukovaná	$kg.m^{-3}$
$\rho_s$	merná hmotnosť pôdy	$kg.m^{-3}$
$\rho_v$	objemová hmotnosť pôdy neredukovaná	$kg.m^{-3}$
$\sigma$	normálové napätie, ktoré pôsobí kolmo na plochu porušenia	Pa
$\tau$	šmyková pevnosť zemín	Pa
$c$	súdržnosť zeminy	
$e$	číslo pórovitosti	$m^3.m^{-3}$
$m_1$	hmotnosť vysušacej nádoby	kg
$m_2$	hmotnosť vysušacej nádoby s vlhkou zeminou	kg
$m_3$	hmotnosť vysušacej nádoby s vysušenou zeminou	kg
$m_d$	hmotnosť vzduchu v póroch	kg
$m_s$	hmotnosť pevnej fázy pôdy	kg
$m_t$	celková hmotnosť pôdy	kg
$m_a$	hmotnosť vzduchu	kg
$m_w$	hmotnosť vody v póroch	kg
$tg\varphi$	súčiniteľ trenia	
$w$	vlhkosť pôdy	%-obj.
D	priemer vrtuľky	m
H	výška vrtuľky	m
K	konštanta závislá na rozmeroch a tvare vrtuľky	
M	krútiaci moment	N.m

*P* pórovitosť pôdy

%

## ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obr. 1	pH meter SENSO 2 .....	11
Obr. 2	WET senzor s HH2 čítačou jednotkou .....	12
Obr. 3	Ručný vrtuľkový prístroj typu PILCON – EDECO na zisťovanie šmykového odporu pôdy .....	13
Obr. 4	Pôdotvorný proces (Pôda 1, 2011) .....	16
Obr. 5	Klasifikácia pôd podľa zrnitostného zloženia (Enviroportál, 2011).....	28
Obr. 6	Podiel jednotlivých kategórií poľnohospodárskych pôd podľa obsahu skeletu v % .....	29
Obr. 7	Šmyková pevnosť sypkých a súdržných zemín (Myslivec, 1970) .....	32
Obr. 8	Rozmery (detail) vrtuľky .....	34
Obr. 9	Typický pracovný diagram šmykového odporu .....	35
Obr. 10	Penetrometer .....	37
Obr. 11	Pozemok s bodmi.....	48
Obr. 13	Šmyková pevnosť pôdy, hĺbka 20 cm, kPa .....	49
Obr. 14	Vlhkosť pôdy, %-obj. ....	50
Tabuľka 1	Označovanie jednotlivých frakcií pôdy - Zaujec (2003) .....	27
Tabuľka 2	Pôdne druhy (Rehák, 2000).....	30
Tabuľka 3	Rozdelenie penetrometrov – Bajla (1998) .....	36
Tabuľka 4	Namerané hodnoty vlhkosti a šmykovej pevnosti pôdy .....	48
Tabuľka 5	Popisná štatistika .....	48



# OBSAH

ABSTRAKT .....	1
ABSTRAKT .....	1
POUŽITÉ SKTRATKY A OZNAČENIA .....	4
ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK .....	6
OBSAH .....	7
ÚVOD .....	10
1 CIEĽ PRÁCE .....	11
2 METODIKA PRÁCE .....	12
3 VÝSLEDKY PRÁCE - ŠTÚDIA O SÚČASNOM STAVE PROBLEMATIKY .....	14
3.1 Charakteristika pôdy .....	14
3.1.1 Vznik a vývoj pôdy .....	14
3.1.2 Pôdotvorné faktory .....	14
3.2 Pôdotvorné procesy .....	16
3.3 Pôda a jej vlastnosti .....	18
3.3.1 Definícia pôdy .....	18
3.3.2 Fyzikálne vlastnosti pôdy .....	21
3.3.2.1 Objemová hmotnosť pôdy .....	22
3.3.2.2 Pórovitosť pôdy .....	23
3.3.2.3 Merná hmotnosť pôdy .....	24
3.3.2.4 Zrornosť .....	24
3.3.3 Mechanické vlastnosti pôdy .....	30
3.3.3.1 Šmyková pevnosť zemín .....	31
3.3.3.2 Prístroje na meranie šmykovej pevnosti zemín .....	32
3.3.3.3 Penetrometrický odpor, penetrometre .....	35
3.3.3.4 Penetrometer P-BDH 3 .....	37
3.4 Voda v pôde .....	39
3.5 Druhy a spôsoby zavlažovania .....	40
3.6 Vlhkosť pôdy .....	41
3.7 Teplota pôdy .....	42
3.8 Úrodnosť a produkčná schopnosť pôdy .....	42
3.8.1 Úrodnosť – základná vlastnosť pôdy .....	42
3.8.2 Kvantifikácia vlastností najúrodnejšej pôdy .....	43
3.8.3 Produkčná schopnosť pôdy .....	44
3.8.4 Chemická degradácia pôdy .....	44
3.9.1 Charakteristika podniku .....	45
3.9.2 Hodnotenie šmykovej pevnosti a vlhkosti pôdy .....	47
4 NÁVRH NA VYUŽITIE VÝSLEDKOV .....	51
5 ZÁVER .....	52
6 POUŽITÁ LITERATÚRA .....	53

## ÚVOD

Rovnako u nás, ako aj vo svete, sa zavlažovanie stáva stále významnejšou a nezastupiteľnou zložkou výrobnno-pestovateľských technológií jednotlivých plodín a príspevkom k výrobe potravín. Analýzy využívania závlahového potenciálu, ktoré je vyjadrené stupňom krytia vlhového deficitu alebo produkčným či ekonomickým efektom závlahovej vody, vykazujú veľké rezervy vo zvyšovaní úrodnosti pôdy i úrod biologického materiálu. Je to spôsobené najmä zložitou jej sústavou hospodárenia v závlahových podmienkach i vlastného procesu regulovania vlhového režimu pôdy.

Prechody poľnohospodárskej techniky po poli spôsobujú utlačanie (zhutňovanie) pôdy čo má za následok zvyšovanie objemovej hmotnosti, zníženie zastúpenia dutín a pórov v pôde. Takto sa potom vytvárajú prekážky v pohybe pôdnej vody, vzduchu a v prenikaní koreňov rastlín v pôde. Pravdepodobne najrýchlejší spôsob zisťovania týchto zmien pôdy sú poľné skúšky. Pomocou týchto skúšok možno zistiť v teréne (in situ) penetrometrický odpor ako hlavný ukazovateľ utuženia pôdy, ale aj šmykovú pevnosť pôdy ako ukazovateľ pripravenosti povrchovej vrstvy pôdy (osivového lôžka) na založenie porastu.

# 1 CIEĽ PRÁCE

Cieľom predkladanej bakalárskej práce bude popísať charakteristiku pôdy, vznik a vývoj a pôdotvorné procesy. V ďalšej podkapitole sa zameriame na vlastnosti pôdy, kde si bližšie charakterizujeme a popíšeme fyzikálne a mechanické vlastnosti pôdy. Medzi tie najdôležitejšie sa môže zaradiť vlhkosť pôdy, zrnitosť, šmyková pevnosť a penetrometrický odpor pôdy. Následne sa zameria na vodu v pôde. Popri týchto vlastnostiach pôdy je treba mať na zreteli aj ďalšie vlastnosti pôdy, ako sú úrodnosť a produkčná funkcia pôdy. Na záver sa uskutočnia praktické merania na vybranom pozemku v danom poľnohospodárskom podniku.

## 2 METODIKA PRÁCE

Prvotné informácie sa získali zo študijnej literatúry, kde sa zameralo na ciele predkladanej bakalárskej práce. Aby sa tieto ciele dosiahli bolo treba postupovať podľa nasledovnej metodiky:

- a) popísať charakteristiku pôdy, vznik a vývoj a pôdotvorné procesy,
- b) popísať vlastnosti pôdy, fyzikálne a mechanické vlastnosti pôdy,
- c) Zamerať sa na vlhkosť pôdy, zrnitosť, šmyková pevnosť a penetrometrický odpor pôdy,
- d) zamerať sa na vodu v pôde,
- e) popísať úrodnosť a produkčnú funkciu pôdy,
- f) praktické merania - vybraný pozemok v danom poľnohospodárskom podniku
  - 1) Charakteristika poľnohospodárskeho podniku a pozemku,
  - 2) Stanovia sa nasledovné vlastnosti pôdy:
    - šmyková pevnosť pôdy,
    - vlhkosť pôdy.

Na meranie pH sa použije pH meter SENSO 2 (obr.1). Uvedeným pH metrom sa meria kyslosť pôdy, kompostu, črepníkového kompostu a podobne. Spomínaný pH meter si nevyžaduje žiadne batérie. Hodnota pH sa zisťuje zasunutím sondy tri štvrtiny do stlačenej a vlhkej pôdy. O šesť sekúnd začne ihla registrovať hodnotu pH. Výsledok  $\text{pH} = 5,5$  je pôda kyslá . Pridaním vápna sa kyslosť zníži. Ak je výsledok  $\text{pH}=7$  je pH optimálne pre rast rastliny.



Obr. 1 pH meter SENSO 2



Obr. 2 WET senzor s HH2 čítacou jednotkou

a) vlhkosť pôdy

Pri **určovaní vlhkosti** sa bude používať WET-senzor s čítacou jednotkou HH2 (obr.2). Názov WET senzora pochádza od slov obsah vody (Water content), elektrická vodivosť (Electrical conductivity) a teplota (Temperature). WET senzor priamo meria permitivitu pôdy, objemovú elektrickú vodivosť a teplotu. Z týchto veličín potom použitím špeciálnych kalibračných tabuliek a rovníc prístroj HH2 vypočítava objemovú vlhkosť pôdy a pórovú vodnú konduktivitu. WET senzor sa používa v precíznom záhradníctve a výskume pôdy. Tento WET senzor je možné použiť pre organické, minerálne, ílové a piesočnaté pôdy.

b) Šmyková pevnosť

**Šmyková pevnosť pôdy** bude meraná pomocou ručného vrtuľkového prístroja typu PILCON – EDECO s priamym odčítavaním nameraných hodnôt (obr.3). Prístroj umožňuje merať šmykovú pevnosť pôdy jednou z dvoch typov vrtuliek s priemerom 19 a 33 mm. Meranie bude realizované podľa normy STN 72 1026 Laboratórne stanovenie šmykovej pevnosti zemín vrtuľkovou skúškou. Šmyková pevnosť bude monitorovaná v hĺbke pôdneho profilu 100, 150 a 200 mm.



**Obr. 3** Ručný vrtuľkový prístroj typu PILCON – EDECO na zisťovanie šmykového odporu pôdy

**Vytvorenie máp variability – napr. vlhkosti pôdy zameraného pozemku**

Mapy variability vstupných vlastností pôdy sa budú vytvárať pomocou programu ArcView 3.2. Po odobratí vzoriek z pozemku a určení hodnoty zisťovanej vlastnosti pôdy odobranej vzorky sa tieto parametre zapíšu do tabuľky. Každému odbernému bodu zodpovedajú určité súradnice x,y a to v JTSK súradnicovom systéme. Tabuľka je uložená vo formáte .dbf III, alebo .dbf IV. Potom sa vloží do programu ArcView 3.2 a nastavbou programu Spatial analyst 1.1 sa dokážu vytvoriť tieto mapy. Na základe zmeraných údajov sa vytvoria jednotlivé zóny, ktoré budú rozlíšené farebne.

## 3 VÝSLEDKY PRÁCE - ŠTÚDIA O SÚČASNOM STAVE PROBLEMATIKY

### 3.1 Charakteristika pôdy

#### 3.1.1 Vznik a vývoj pôdy

Pôda je prírodný útvar, ktorý vznikol na rozhraní litosféry s atmosférou alebo hydrosférou spolupôsobením pôdotvorných faktorov v pôdotvornom procese. Pôda je biologicky oživená a členená na horizonty. Od iných pórovitých prostredí sa líši schopnosťou vytvárať podmienky pre vývoj rastlín úrodnosťou. Pôda vzniká z materskej horniny pôdotvorným procesom. Pôdotvorný proces, ako prírodný jav, je súhrn dejov spätých s pôdou, ktoré sa v nej uskutočňujú vo všetkých štádiách jej existencie. Je to premena a pohyb látok a energie v povrchovej vrstve Zeme (Fojtík a Hruzíková, 1991).

Na vývoj pôdy pôsobí celý rad činiteľov, ktoré nazývame pôdotvorné faktory. Základnými pôdotvornými faktormi sú:

- materský substrát,
- podnebie,
- pôdne organizmy,
- reliéf terénu,
- činnosť človeka,
- čas.

Ani jeden z uvedených pôdotvorných faktorov nie je dominantný. Vznik pôd je dlhodobý proces a jeho priebeh v ktorejkoľvek etape vývoja závisí od spolupôsobenia všetkých pôdotvorných faktorov (Fojtík a Hruzíková, 1991).

#### 3.1.2 Pôdotvorné faktory

**Materský (pôdotvorný) substrát** je východiskovým materiálom, z ktorého pôdy vznikajú. Môžu ním byť nezvetralé aj zvetralé horniny a organické alebo organominerálne látky. Môžeme ho rozdeliť na anorganický a organický substrát. Pôdy na nich sa nazývajú anorganogenné a organogenné.

Substrát anorganogénnych pôd môže byť ľahko, alebo ťažko zvetratelný. Najľahšie zvetrávajú sypké sedimenty (spraše, sprašové hliny, hlinité holocéne

náplavy). Zo spevnených sedimentov ľahko zvetrávajú ílové bridlice, pieskovce, zlepenca. Ťažko sa zvetrávajú staré íly a kyslé vyvreliny (Fojtík a Hruzíková, 1991).

**Podnebie** pôdotvorné procesy sú výrazne ovplyvňované najmä vlhkosťou a teplotou pôdneho prostredia, ktoré závisia od podnebia.

**Vlhkostné pomery pôdy** môžeme nepriamo charakterizovať pomerom priemerných ročných úhrnov zrážok a priemerného ročného výparu, prípadne ich hodnôt v kratších intervaloch. Pretože výpar nemeria v takom rozsahu ako zrážky a teplota, zvykli sme ako charakteristiku vlhkosti pomerov používať Langov dažďový faktor, Meyerov kvocient, Končekov index zavlažovania. Teplota pôdy ovplyvňuje pedogenetické procesy priamo i nepriamo. Priamo ovplyvňuje teplota chemické a biologické procesy prebiehajúce v pôde, ich rýchlosť sa s rastom teploty zvyšuje. Nepriame pôdovbenie sa prejavuje aj tak, že so zvýšením teploty sa zvyšuje výpar a evapotranspirácia. Experimentálne boli zistené napr. aj vzťahy medzi teplotou pôdy a obsahom humusu, jeho kvalitou, obsahom ílovej frakcie a pod. Klimatické faktory ovplyvňujú aj vegetáciu. Okrem zrážok a teploty pôsobí na vývoj pôdy aj ďalšie meteorologické prvky, ako je napr. vietor, intenzita žiarenia a pod. (Fojtík a Hruzíková, 1991).

Pôdne organizmy oživenie pôdy organizmami je jednou z podmienok vzniku a existencie pôdy. Pojmom organizmy – rozumieme mikroorganizmy aj makroorganizmy. Hlodavce zlepšujú prevzdušnenie pôdy, tvorbu chodbičiek však deštruujú korene rastlín a konzumujú úrodu. Činnosťou a vplyvom pôdných organizmov na vlastnosti pôdy sa zaoberá pôdna biológia. mineralizáciou organických látok v pôde sa uzatvára kolobeh uhlíka, uvoľňujú sa živiny z odumretých tel, zamedzuje sa nadmerné hromadenie organických látok v pôde. Veľká rýchlosť mineralizácie v ľahkých pôdach spôsobuje nižší obsah humusu, a tým aj nižšiu úrodnosť týchto pôd.

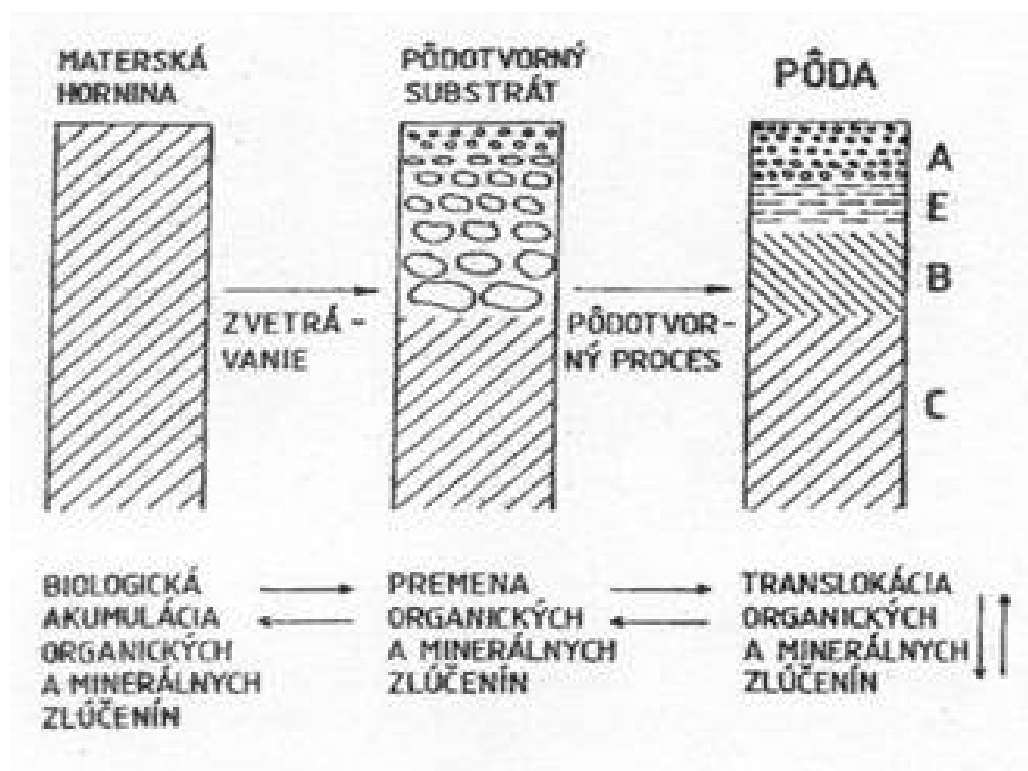
**Konfigurácia terénu** ovplyvňuje vývoj pôdy sklonom a tvarom svahov, expozíciou, nadmorskou výškou. Spolu s geologickou stavbou krajiny ovplyvňuje tiež režim podzemnej vody. Konfigurácia terénu ovplyvňuje aj vlhkosť, teplotný režim a mocnosť pôdy a vplýva aj na translokáciu látok v pôde a na vodnú eróziu pôdy.

**Činnosť človeka** prejavuje sa dvojakým spôsobom. Pôsobením na pôdotvorné faktory (nepriamy vplyv) a pôsobením na zmenu pôdných vlastností (priamy vplyv). S nepriamym vplyvom sa stretávame už pri prvotnom poľnohospodárskom využívaní pôdy, najmä pri rozširovaní výmery pôdy na úkor lesných pôd. Zmenou kultúr sa mení mikroklima a pôdna klíma (Fojtík a Hruzíková, 1991).

*Vplyv času* dĺžka pôsobenia jednotlivých pôdotvorných činiteľov má nesporný vplyv na vývoj pôdy. V pôdnom profile niektorých aluviálnych pôd nie sú zreteľné genetické horizonty, pretože pôdotvorný proces bol prerušovaný, a preto sa nestačili vytvoriť. Naopak, v pôdach, v ktorých nedošlo k významným zmenám v pôsobení pôdotvorných činiteľov počas dlhého obdobia, je stavba pôdneho profilu výrazne členená na charakteristické genetické horizonty (Fojtík a Hružiková, 1991).

### 3.2 Pôdotvorné procesy

Pri tvorbe pôdneho hmoty prebieha súčasne viacero procesov. Len ťažko ich možno pozorovať jednotlivo. Každé štádium vývoja pôdy je charakterizované určitou kombináciou elementárnych a čiastkových procesov v rámci hlavného pôdotvorného procesu. V minulosti sa pôdotvorný proces stotožňoval s procesom zvetrávania hornín a premiešavania zvetralín s organickými látkami. Samotné zvetrávanie hornín môže zabezpečiť vznik a vývoj pôdy, pretože pri zvetrávaní sa pôda neobohacuje o organické látky, ktoré sú jednou zo základných zložiek pôdy. Každý pôdotvorný proces, ktorý v pôde prebieha, sa skladá z viacerých elementárnych pôdotvorných procesov (Fojtík a Hružiková, 1991).



Obr. 4 Pôdotvorný proces (Pôda 1, 2011)



Fyzikálne procesy a chemické reakcie sú základom každého elementárneho pôdotvorného procesu (napríklad rozklad prvotných minerálov, rozklad a syntéza ílových minerálov). Elementárne procesy môžeme spájať do súborov procesov, ktoré v pôdach prebiehajú za istých podmienok. Nazývame ich čiastkovými pôdotvornými procesmi. Za takéto môžeme pokladať humifikáciu, tvorbu novotvarov, vodný, vzdušný a tepelný režim pôdy. Čiastkové pôdotvorné procesy môžeme rozdeliť na tzv. pôdne režimy, ktoré sa vyznačujú rytmickosťou (vzrast a klesanie intenzity a zmena smeru ich priebehu v čase).

Čiastkové procesy, pri ktorých rytmickosť a cyklickosť chýbajú, alebo sa prejavujú veľmi slabo, nazývame pôdne premeny a preskupenia (napr. Vnútropôdne zvetrávanie, tvorba novotvarov, humifikácia).

Hlavný (kompletný) pôdotvorný proces je celkový pôdotvorný proces, tvorby a premeny pôdy, ktorý prebieha v konkrétnej pôde, pozostávajúci z čiastkových procesov (Fojtík a Hruziková, 1991).

Zvetrávanie je proces, ktorý prebieha na styku hornej časti litosféry s atmosférou. Ovplyvňujú ho najmä klimatické pomery a činnosť organizmov. Hĺbka zvetrávania závisí od intenzity ich pôsobenia, od zvetrávanej horniny a môže sa pohybovať od niekoľkých mm až do desiatok metrov. U nás je priemerná hĺbka zvetrávania 1,5 až 3 m.

Zvetrávanie rozoznávame:

- Fyzikálne
- Chemické (Fojtík a Hruziková, 1991).

Fyzikálne zvetrávanie vyvoláva pôsobenie účinkov tepla, vody (prípadne ľadu), vetra a vegetácie na horniny. Vplyvom slnečného žiarenia a ohrievania hornín vo dne, ochladzovaním v noci dochádza k zmenám ich objemu. Voda pôdobí na fyzikálne zvetrávanie najmä zmenou svojho objemu pri premene z kvapalného na tuhé skupenstvo eróznymi účinkami. Vietor prispieva k tejto forme zvetrávania prenosom jemných uvoľnených častíc, súčasne sa obrusujú mäkké horniny, k čomu prispieva aj tečúca voda a ľadovce. Vegetácia pôsobí na rozrušovanie hornín tlakom koreňového systému. Produktom mechanického zvetrávania v konečnej fáze môže byť piesok alebo prach.

Chemické zvetrávanie ovplyvňuje predovšetkým voda, atmosferický kyslík a oxid uhličitý. Mení sa pri ňom aj chemické zloženie horniny.

Elementárnymi procesmi chemického zvetrávania sú hydratácia, hydrolyza, oxidácia, karbonizácia a rozpúšťanie (Fojtík a Hruziková, 1991).

### 3.3 Pôda a jej vlastnosti

#### 3.3.1 Definícia pôdy

Pôdu podľa Páltika (2003) definujeme ako miesto pre pestovanie rastlín, ako jazdnú dráhu pre poľnohospodárske stroje a ako spracovávaný materiál strojmi pre obrábanie pôdy.

Pôda je prírodný útvar, ktorý sa vyvíja zložitým pôsobením vonkajších (exogénnych) činiteľov na materskú horninu (endogénny činiteľ) a vyznačuje sa úrodnosťou. Z pôdy sa stal spojovací článok medzi minerálnou (mŕtvou) a organickou (živou) prírodou (Zaujec, 2003).

Pôda je zmes zŕn pevnej horniny, ktoré sa vyznačujú zvetrávaním vody, plynu, organických a iných prímiesí. Z pevných zŕn je tvorená kostra, ktorú obklopujú póry vyplnené plynom, alebo vodou (Priecel, 2000).

Môžeme povedať, že pôda je zložená z 3 fáz:

1. pevnej (zrná),
2. kvapalnej (voda),
3. plynnej (vzduch, plyny, vodná para).

Z hľadiska priestorového usporiadania týchto fáz môžeme konštatovať, že neporušený objem pôdy ( $V_t$ ) predstavuje systém troch fáz, v ktorom existuje objem pevnej fázy ( $V_s$ ) o hmotnosti  $m_s$  a objeme pórov ( $V_p$ ). Objem pórov obsahuje objem vody ( $V_w$ ) o hmotnosti  $m_w$  a objem vzduchu ( $V_a$ ) o hmotnosti  $m_a$ . Z uvedeného vyplýva, že jednotlivé fázy zaberajú z celkového objemu pôdy ( $V_t$ ), len určitú časť a tá má určitú hmotnosť:

$$V_t = V_s + V_w + V_a \quad , \quad m^3 \quad (1)$$

Kde:

$V_t$ - neporušený objem pôdy,	$m^3$
$V_s$ - objem pevnej fázy,	$m^3$
$V_w$ - objeme vody,	$m^3$
$V_a$ - objeme vzduchu,	$m^3$ .

$$m_t = m_s + m_w + m_a \quad , \quad \text{kg} \quad (2)$$

$m_t$ - hmotnosť pôdy,	kg
$m_s$ – hmotnosť pevnej fázy,	kg
$m_w$ – hmotnosť vody,	kg
$m_a$ – hmotnosť vzduchu,	kg.

Môžeme definovať objemovo-hmotnostné vzťahy v pôde, ktoré všeobecne vyjadrujú kvantitatívne vzťahy troch primárnych zložiek (fáz) pôdy.

Sú to:

- merná hmotnosť pôdy
- objemová hmotnosť suchej pôdy
- objemová hmotnosť vlhkej pôdy
- merný objem suchej pôdy
- pórovitosť

**Jednotlivé fázy** sú v pôde zastúpené v určitom objemovom pomere. Za všeobecný model tohto pomeru sa udávajú hodnoty 50:30:20, čo znamená, že 50% z celkového objemu pôdy pripadá na základnú - tuhú fázu, 30% pripadá na objem kvapalnej fázy – pôdnej vody a 20% zaberá plynná fáza – pôdny vzduch. Keďže voda a vzduch do pôvodného systému nepretržite vstupujú a vystupujú, neustále sa mení nie len objemový pomer medzi vodou a vzduchom, ale aj vzťah k objemu základnej - tuhej fázy pôdy (Fulajtár, 2006).

**Tuhá fáza** pôdy tvorí vlastnú stavbu pôdy. Pozostáva z látkovo rôznych mechanických častíc, rôzneho tvaru a veľkosti, ktoré môžu byť rôzne stmelené. Pomer medzi fázami je v rôznych pôdnych rôzny. V terestrických a aluviálnych pôdach sa tuhá fáza uplatňuje na prvom mieste, väčšinou zaberá mierne väčšiu polovicu celkového objemu pôdy. Na druhom mieste a je fáza kvapalná a potom fáza plynná. V subhydričných pôdach sú prítomné len dve fázy, kvapalná na prvom mieste a tuhá na druhom mieste, plynná fáza tu chýba.

V našich pôdach je 50% objem tuhej fázy skôr optimálny ako všeobecný. Vyskytuje sa prevažne len na pôdach s trvalým trávnatým porastom, najmä na lúkach.

Na orných pôdach takýto objem tuhej fázy sa dosahuje kyprením a prípravou pôdy pred sejbou a sadbou (Fulajtár, 2006).

V priebehu vegetácie pôda postupne prirodzene ulíha až do tzv. rovnovážneho stavu, potom sa mení len málo. Týmto procesom sa objem tuhej fázy zvyšuje na 55 – 60% v závislosti od zrnitosti pôdy, obsahu humusu a štruktúry. V podpovrchových horizontoch je objem tuhej fázy spravidla vyšší ako 50%. Spôsobujú to hlavne pesogenetické procesy, ako napr. vnútropôdne zvetrávanie, translokácia a akumulácia látok v profile, glejovatenie, oglejovanie a pod., ktoré objem tuhej fázy zvyšujú až na 60 % a viac. Najvýznamnejšie zmeny zastúpenia tuhej fázy pôdy sú spôsobované vonkajšími vplyvmi. Je už spomenuté kyprenie, ktoré objem tuhej fázy znižuje a používanie ťažkej techniky predovšetkým pri mechanizovanom zbere úrody, ktorá objem tuhej fázy zväčšuje až na 65 %, pričom objem pórov klesá na 35 – 40%.

**Kvapalná fáza – pôdna voda** má pre život organizmov a dynamiku pôdných vlastností zásadný význam, zabezpečuje priebeh fyzikálnych, fyzikálno-chemických, chemických a biologických procesov. Aktívne sa podieľa na dispergácii, hydrolýze, syntéze a translokácií materiálnych a organických zlúčenín. Rozpúšťa a privádza živiny a kyslík ku koreňom rastlín a rozvádza ich v rastlinnom organizme (Fulajtár, 2006).

Zdrojom kvapalnej fázy sú atmosferické zrážky, ktoré infiltrujú do pôdy, kde sa pomocou pórov rozvádzajú a udržiujú. Ďalším zdrojom vody v pôde je kondenzovaná vodná para, povrchový a vnútorný prítok a vzlínajúca podzemná voda, ktorá významne dopĺňa zásoby pôdnej vody v profile a udržiuje priaznivú vlhkosť aj v čase sucha.

**Plynná fáza – pôdny vzduch** v pôde zaplňuje všetok voľný priestor (póry a pukliny), ktorý nie je zaplnený vodou. Jeho obsah v pôde závisí od vlhkosti pôdy. Pôdny vzduch obsahuje tie isté látky ako atmosféra, rozdiel je v ich percentuálnom zastúpení, ktoré je závislé od intenzity biologických procesov v pôde a od spojitosti pôdneho vzduchu s atmosférou. Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), ktorý vzniká vydychovaním koreňov rastlín, žijúcich pôdných organizmov a okysličovaním mŕtvych organických látok je ťažší ako vzduch, preto sa v pôde hromadí a jeho obsah v pôdnom vzduchu je spravidla až 10 i viac krát väčší ako v atmosfére. Do hĺbky pôdneho profilu obsah  $\text{CO}_2$  narastá a v podložných horizontoch môže prevýšiť 5% (Fulajtár, 2006).

Okrem vyššieho obsahu  $\text{CO}_2$  sa pôdny vzduch vyznačuje aj vysokou relatívnou vlhkosťou a menším obsahom kyslíka. Jeho relatívna vlhkosť je spravidla takmer 100% (nad 98%), pokiaľ vlhkosť pôdy neklesne pod číslo hygroskopickosti. Tento jav sa môže stať len výnimočne v niektorých najvrchnejších centimetroch povrchu pôdy.

Mimoriadny význam plynnej fázy spočíva v prítomnosti a obsahu kyslíka (O<sub>2</sub>), ktorý je nevyhnutný pre dýchanie koreňov rastlín a mikroorganizmov a pôdnej fauny. Pri jeho nedostatku zastavujú normálne funkcie väčšiny rastlín a aerobných mikroorganizmov. Normálny rast väčšiny rastlín je možný len ak obsah kyslíka prevyšuje 10 %. Súčasťou plynnej fázy pôdy sa môžu vyskytnúť aj rôzne prchavé látky dusíka, síry a metán.

Fyzikálnymi vlastnosťami pôdy sú charakteristiky, ktorými môžeme pôdu ohodnotiť hmatom alebo vizuálne a pomocou škál a stupníc určiť tvar, silu, intenzitu a veľkosť.

Pôda je charakterizovaná súhrnom technologických a fyzikálnych vlastností. K nim patria také vlastnosti pôdy, ktoré vyplývajú z fyzikálnych vzťahov. K základným fyzikálnym vlastnostiam pôdy, ktoré sú spojené s usporiadaním pôdnej hmoty a s jej kvalitatívnymi a kvantitatívnymi vlastnosťami.

K nim patria:

- zrnitosť (textúra),
- merná hmotnosť,
- objemová hmotnosť,
- pórovitosť, číslo pórovitosti,
- vlhkosť, stupeň nasýtenia.

### 3.3.2 *Fyzikálne vlastnosti pôdy*

Základné fyzikálne vlastnosti pôdy závisia od kvantitatívnych, kvalitatívnych a priestorových vlastností pôdnej hmoty a od interakcií pôdy s ostatnými komponentmi krajinného systému vrátane vplyvov týkajúcich sa jej využívania.

Pevná fáza pôdy (niekedy tiež nazývaná pôdny matrix) obsahuje častice nielen rôzneho chemického a mineralogického zloženia, ale aj častice rôzneho tvaru a veľkosti. Okrem minerálnych častíc obsahuje pevná fáza pôdy často i amorfné látky, najmä organické, ktoré majú schopnosť viazať minerálne častice do tzv. pôdných agregátov (Rehák, 2000).

### 3.3.2.1 Objemová hmotnosť pôdy

Objemová hmotnosť pôdy je hmotnosťou určitého objemu zeminy v jej uložení aj s pórami, v ktorých sa nachádza voda alebo vzduch. V porovnaní s mernou hmotnosťou je objemová hmotnosť vždy nižšia. Je premenlivá, závisí od:

- pórovitosti,
- štruktúry,
- zrnitosti,
- vlhkosti,
- obsahu vzduchu v pôde,
- spôsobu vzájomného uloženia mechanických elementov a agregátov (Rehák, 2000).

Objemová hmotnosť sa mení podobne ako pórovitosť v priebehu vegetačného obdobia a aj počas roka. Tieto zmeny sú spôsobené prirodzenými vplyvmi ako je prirodzené ulíhanie, napučíavanie a zmrašťovanie, zamrzanie a rozmrzanie, rozvoj koreňového systému, ale aj vplyvmi ako je kyprenie a technologické zhutňovanie pri kultivácii pôdy.

**Objemová hmotnosť redukovaná** - hmotnosť jednotkového objemu zeminy po vysušení (pri 105°C). Závisí od petrografického zloženia, obsahu pórov, obsahu organických látok v pôde. Počíta sa zo vzťahu (Rehák, 2000):

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_t} \quad , \quad \text{kg.m}^{-3} \quad (3)$$

kde:  $\rho_d$  - objemová hmotnosť (redukovaná) pôdy,  $\text{kg.m}^{-3}$

$V_t$  - celkový objem pôdy,  $\text{m}^3$

$m_s$  - hmotnosť pevnej fázy pôdy,  $\text{kg}$

Okrem objemovej hmotnosti suchej pôdy, ktorá má prívlastok **redukovaná** sa v ojedinelých špecifických prípadoch používa aj objemová hmotnosť vlhkej pôdy (s momentálnou vlhkosťou), označovaná prívlastkom **neredukovaná**. Neredukovaná objemová hmotnosť sa označuje aj celková (totálna) objemová hmotnosť a zodpovedá momentálnemu obsahu vzduchu a vody v pôde (Rehák, 2000).

Počíta sa zo vzťahu:

$$\rho_v = \frac{m_t}{V_t} = \frac{(m_s + m_w + m_d)}{V_t}, \quad \text{kg.m}^{-3} \quad (4)$$

kde:  $\rho_v$  - objemová hmotnosť (neredukovaná) pôdy,  $\text{kg.m}^{-3}$

$V_t$  - celkový objem pôdy,  $\text{m}^3$

$m_t$  - celková hmotnosť pôdy,  $\text{kg}$

$m_w$  - hmotnosť vody v póroch,  $\text{kg}$

$m_d$  - hmotnosť vzduchu v póroch,  $\text{kg}$

$m_s$  - hmotnosť pevnej fázy pôdy,  $\text{kg}$

### 3.3.2.2 Pórovitosť pôdy

Pórovitosť pôdy je prvoradá pôdno-fyzikálna vlastnosť. V póroch sa rozvádza a uchováva pôdna voda, vzduch a pôdne organizmy, v póroch prebieha mobilizácia živín a transport látok ako je translokácia, vylúhovanie, akumulácia solí, v póroch na fázovom rozhraní s tuhou fázou prebiehajú chemické procesy ako je zvetrávanie, oxidácia, redukcia, rozpúšťanie a ďalšie, v póroch sa rozvíja koreňový systém rastlín a od obsahu a kvality pórov závisí ich rast, rozvoj a úrody (Fulajtár, 2006).

Z hľadiska veľkosti pórov je pórovitosť veľmi heterogénna vlastnosť. Zahrňuje póry rôznych veľkostí a tvarov, ktoré vplyvajú na vedné, vzdušné, biologické a na tepelné vlastnosti pôdy. Triedenie pórovitosti podľa veľkosti – pomeru pórov je pre poznanie funkcie jednotlivých skupín pórov veľmi dôležité a na tento účel sú vypracované viaceré klasifikácie.

Základná, všeobecne používaná klasifikácia triedi pórovitosť na:

- celkovú
- kapilárnu
- nekapilárnu

U nás rozlišujeme ešte pórovitosť semikapilárnu a v štruktúrnych pôdach pórovitosť agregátovú a medziagregátovú.

**Celková pórovitosť** vyjadruje celkový objem pórov v % z objemu pôdy v prirodzenom – neporušenom uložení.

Počíta sa zo vzťahu:

$$P = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \quad , \quad \% \quad (5)$$

kde:  $P$  - pórovitosť pôdy, %

$\rho_d$  - objemová hmotnosť (redukovaná) pôdy,  $kg.m^{-3}$

$\rho_s$  - merná hmotnosť pôdy,  $kg.m^{-3}$

### 3.3.2.3 Merná hmotnosť pôdy

Merná hmotnosť pôdy je hmotnosť jednotkového objemu tuhej fázy suchej pôdy, resp. hmotnosť  $cm^3$  suchej zeminy (bez pórov) vyjadrenej v  $g.cm^{-3}$ . Pod pojmom tuhá fáza pôdy sa vždy rozumie pôda bez pórov a pod pojmom suchá pôda sa vždy jedná o pôdu vysušenú pri  $105^\circ C$ . Mernú hmotnosť pôdy môžeme definovať ako pomer hmotnosti tuhej fázy pôdy k hmotnosti toho istého objemu vody. Počíta sa zo vzťahu (Fulajtár, 2006):

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad , \quad kg.m^{-3} \quad (6)$$

kde:  $\rho_s$  - merná hmotnosť pôdy,  $kg.m^{-3}$

$V_s$  - objem pevnej fázy pôdy,  $m^3$

$m_s$  - hmotnosť pevnej fázy pôdy,  $kg$

### 3.3.2.4 Zrinitosť

Pôda - jej tuhá fáza pozostáva z mechanických častíc minerálneho, organického a organominerálneho pôvodu. Mechanické častice organického pôvodu nie sú stabilne, podliehajú pomerne rýchlemu rozpadu mineralizácii, preto nie sú súčasťou zrnitostného zloženia pôdy a pri zrnitostných analýzach sa z pôdy chemicky odstraňujú.

Zrnitostné zloženie pôdy preto vždy vyjadruje len obsah mechanických častíc minerálneho pôvodu, ktoré majú rozmanitý tvar a veľkosť ale aj rôzne mineralogické a chemické zloženie. V pôde – v jej minerálnej časti sú vždy zastúpené častice piesku,



prachu a ílu. Niektoré pôdy obsahujú aj štrk a kamene, prípadne pevné novotvary (Fulajtár, 2006).

Minerálne pôdne častice definovanej veľkosti sa zoskupujú do skupín, ktoré dostali názov zrnitosťné frakcie a ktoré okrem blízkych rozmerov majú viac-menej zhodné aj niektoré základné fyzikálne a fyzikálno-chemické vlastnosti. Kvantitatívne zastúpenie týchto frakcií v pôde, vyjadrené v percentách, nazývame zrnitosť alebo textúra pôdy (Rehák, 2000).

### ***Zrnitosťné frakcie pôdy***

Pôda respektíve jej vzorka – zemina sa označuje názvom hrubozem a člení sa na dve základné frakcie:

- jemnozem (častice menšie ako 2 mm),
- skelet (častice väčšie ako 2 mm).

**Jemnozeme** – je podstatnou zložkou pôdy, zahrňuje a ovplyvňuje všetky základné pôdne vlastnosti. Preto sa mechanické, zrnitosťné, štruktúrne, chemické i biologické analýzy pôdy stanovujú na vzorkách jemnozeme a ich výsledky charakterizujú pôdu ako celok. Zrnitosť jemnozeme ovplyvňuje mnohé fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy ako je pórovitosť, vzdušná, a vodná kapacita, priepustnosť pre vodu a vzduch, príľnavosť, plasticosť, pôdna sorpcia, teplota pôdy a podobne. Zrnitosť jemnozeme respektíve pôdy slúži tiež ako základná pomôcka pri smerovaní využívania pôdy, pri pestovaní kultúrnych, najmä špeciálnych rastlín ako aj pri určovaní spôsobov obrábania a zúrodňovania pôdy. zrnitosť pôdy je základnou charakteristikou každej pôdy a nemožno ju pri charakterizovaní pôdy vynechať (Fulajtár, 2006).

**Skelet** – je to štrk a kamene sú súčasťou zrnitosťného zloženia pôd vyvinutých na zvetralinách pevných hornín a na štrkových alúviách. Skelet vzhľadom na veľkosť jeho častíc neviaže na svoj povrch žiadne látky, nevytvára kapilárne póry, neumožňuje kapilárny pohyb vody, nemá priamy podiel na prebiehajúcich pedochemických procesoch a na ich dynamike.

Tvar skeletu indikuje pôvod pôdotvorného substrátu. Ostrohranný skelet indikuje primárne prípadne deluviálne uloženiny. Obrúsený – zaokrúhlený skelet svedčí o sekundárnych uloženinách, premiestnených vodou. Výskyt skeletu v pôde sa hodnotí len pri obsahu nad 5%. Jeho malý obsah (približne do 20 %) nepôsobí v pôde nepriaznivo, ani na vývoj rastlín, ani na obrábanie. V stredných a ťažších pôdach skelet

môže pôsobiť aj pozitívne, danú pôdu vyľahčuje a zvyšuje jej priepustnosť pre vodu a vzduch. K skeletu sa zaraďujú aj pevné železité, železito-manganičité a vápenaté novotvary, ktoré vznikajú ako dôsledok pedochemických procesov a akumulujú sa v podpovrchových horizontoch, kde často vytvárajú súvislé tvary (Zaujec, 2003).

Hlavnými zrnitostnými frakciami skeletu sú:

- štrk - častice veľkosti 2 – 50 mm
- kamene - častice veľkosti 50 – 250 mm
- balvany - kamene nad 250 mm

**Piesok** - (2 - 0,1mm) pre svoj malý aktívny povrch má nízku schopnosť pútať živiny a vodu. Svojou zrnitosťou vytvára nekapilárne póry a spôsobuje vysokú priepustnosť vody a vzduchu v pôde a tým aj jej silné vysušovanie. Zrná piesku pri navlhčení kvapalinou nenapučiavajú. Mikrobiálna činnosť je vysoká, humus sa rýchlo oxiduje a živiny sa ľahko vyplavujú (Zaujec, 2003).

**Práškový piesok (0,1 - 0,05 mm)** - v pôdach sa nachádza v menšom množstve, zriedka nad 10 %. Keď je pôde vo väčšom množstve pôsobí na pôdne vlastnosti ako piesok a zvyšuje náchylnosť k erózii.

**Prach (0,05 - 0,002 mm)** umožňuje lepšie prijímanie vody a vzduchu do pôdy a ich premiestňovanie. Voda dobre vsakuje a udržuje sa dlhší čas, ale aj pomerne rýchlo vzlína a do značnej výšky. Zadržanú vodu pomerne ľahko odovzdáva rastlinám. Pôdy s vyšším obsahom prachových častíc (hlinité) majú dobrý vodný, vzdušný a tepelný režim.

**Íl (<0,002 mm)** sa vyznačuje najväčším merným povrchom a obmedzuje prevzdušnenie pôdy a príjem i pohyb vody. Za sucha je súdržný, za vlhka lepkavý, pri zmene vlhkosti mení aj svoj objem - napučiava a usádza sa a taktiež prejavuje plastičnosť a väzkosť. Pôdy, v ktorých prevládajú ílové častice, majú veľký merný odpor a ťažko sa obrábajú. Po navlhčení sa zlievajú a pri vysychaní tvoria hrudy a hlboké pukliny, čím sa zhoršuje štruktúrny stav pôdy.

**Koloidno-disperzné častice (< 0,0001 mm - disperzoidy)** sa vyskytujú vo frakcii koloidného ílu. Vďaka vysokému aktívnemu povrchu sú rozhodujúcimi činiteľmi vysokej sorpčnej schopnosti pôdy (Zaujec, 2003).

**Tabuľka 1** Označovanie jednotlivých frakcií pôdy - Zaujec (2003)

Priemer častíc, mm	Názov frakcie	
< 0,0001	koloidný íl	jemnozem
0,0001- 0,002	fyzikálny íl	
0,002 – 0,01	jemný prach	
0,01-0,05	prach	
0,05 - 0,10	prachový piesok	
0,10-2,00	piesok	
2-8	drobný štrk	skelet
8-32	stredný štrk	
32 - 128	hrubý štrk	
128-256	kamene	
>256	balvany	

Podľa percentuálneho obsahu týchto frakcií v pôde sa pôdy triedia na:

- pôdne druhy,
- základné klasifikačné jednotky.

### Veľkostné kategórie častíc v jemnozemi

*Íl (I)* – častice < 0,002 mm (medzi prstami zanechávajú mastný a lepkavý pocit, hornina sa medzi prstami výborne plasticky formuje, pri drobení horniny treba spravidla prekonať výrazný odpor kohéznych síl),

*prach (R)* – častice 0,002 až 0,05 mm (jednotlivé čiastočky nie je cítiť, vyplňajú však póry prstov a zanechávajú pocit prašnosti, medzi prstami sa nevýrazne formujú len za vlhka, odpor kohéznych síl pri drobení je málo výrazný až nevýrazný),

*jemný piesok (jP)* – častice viac ako 0,05 až 0,25 mm (jednotlivé zrnká cítiť medzi prstami a sú zreteľne viditeľné pod lupou, ale nie voľným okom, hornina je sypká bez citel'ného vplyvu kohéznych síl),

*stredný piesok (sP)* – častice viac ako 0,25 až 1 mm (jednotlivé zrná výrazne cítiť medzi prstami, sú už nad hranicou viditeľnosti voľným okom),

*hrubý piesok (hP)* – častice viac ako 1 až 2 mm (zrná sú zreteľne viditeľné voľným okom a bezprostredne merateľné (Zaujec, 2003).

## Nováková sedemstupňová klasifikácia prstovou hmatovou skúškou s využitím informácií o konzistencii – plasticite pôd vo vlhkom stave

*Piesočnaté pôdy* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje do 10 %) – je cítiť iba zrníčka piesku, jemnozern frakcie prachu a ílu nevnímame, sú neplastické,

*Hlinito-piesočnaté pôdy* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje 10–20 %) – vnímame ich ako piesok zmiešaný s jemnejšími frakciami prachu a ílu, sú neplastické až slabo plastické,

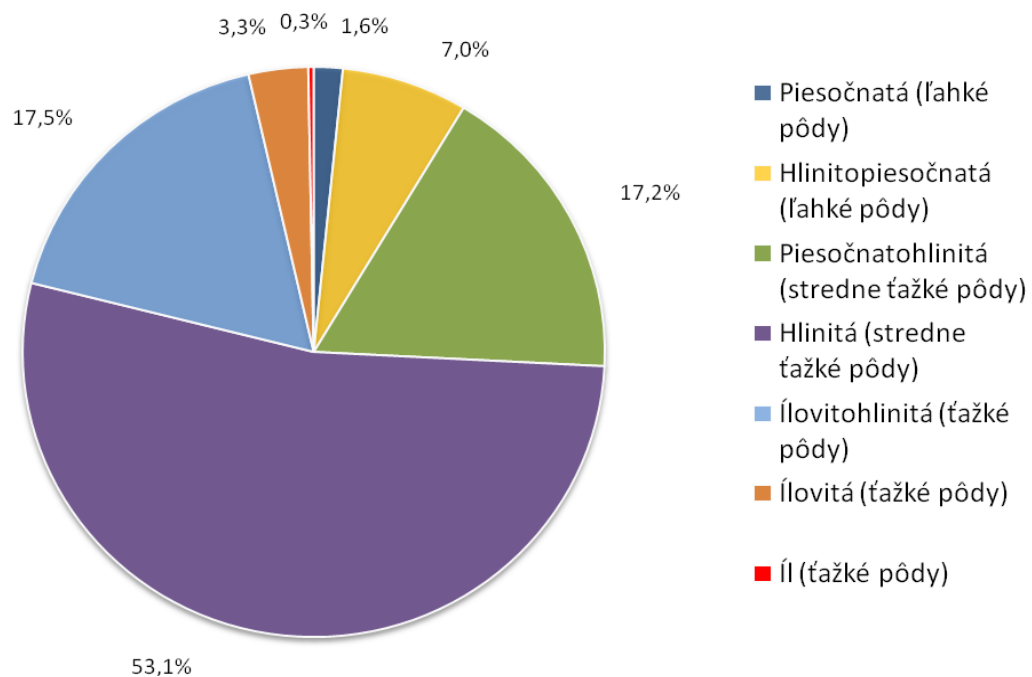
*Piesočnato-hlinité pôdy* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje 20–30 %) – vnímame ich podobne ako hlinité pôdy – pozri nižšie, avšak so zreteľným i keď nie dominantným obsahom piesku, sú slabo plastické,

*Hlinité pôdy* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje 30–45 %) – prevahu prachu pociťujeme ako upchávanie pórov v koži, bez prílišného mazania prstov za vlhka a prakticky bez vnímania piesku, sú slabo až stredne plastické,

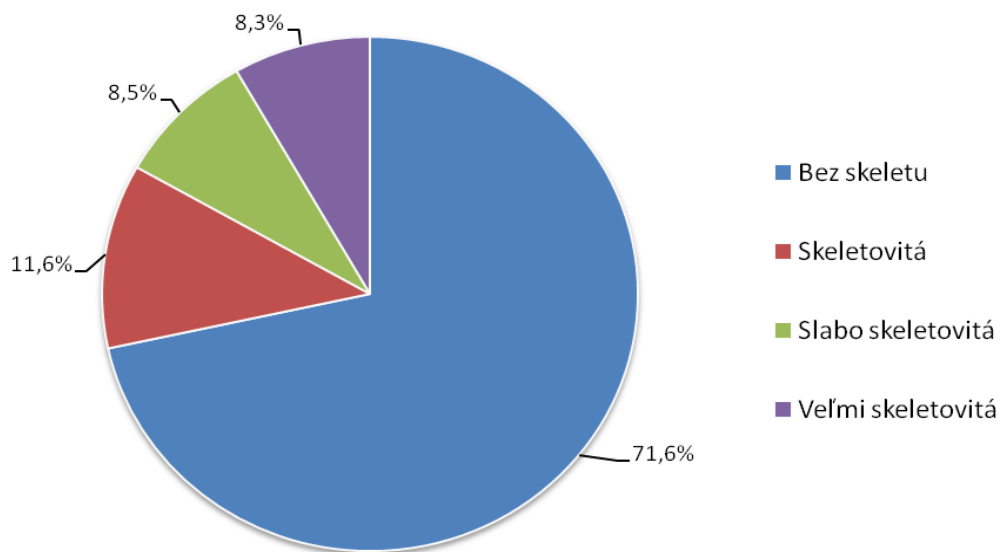
*Ílovito-hlinité pôdy* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje 45–60 %) – za vlhka mierne mažú prsty, sú stredne plastické,

*Ílovité pôdy* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje 60–75 %) – výraznejšie mažú prsty, za vlhka sú stredne až silne plastické,

*Íl* (obsah častíc < 0,01 mm dosahuje viac ako 75 %) – najvýraznejšie mažú prsty, materiál je za vlhka silne plastický (Geografia, 2011).



Obr. 5 Klasifikácia pôd podľa zrnitostného zloženia (Enviroportál, 2011)



**Obr. 6** Podiel jednotlivých kategórií poľnohospodárskych pôd podľa obsahu skeletu v % (Enviroportál, 2011)

V SR je relatívne priaznivé zastúpenie najlepších stredne ťažkých pôd. Ťažké prevlhčené pôdy sú prakticky kompletne odvodnené. Zastúpenie skeletovitých a veľmi skeletovitých pôd je relatívne vysoké a robí problémy pri poľnohospodárskom využívaní na relatívne veľkých plochách (najmenej 480 000 ha) najmä v podhorských a horských oblastiach, ale aj na rovinách najúrodnejších nížin (štrk na povrchu pôdy). Lesné pôdy sú typické vyššou skeletovitosťou. Neskeletovité lesné pôdy sa vytvorili zo sypkých sedimentov.

Triedenie zemín a pôd podľa zrnitosti patrí medzi najstaršie klasifikačné systémy pôdy. Je založené na stanovení podielu frakcií rôznej veľkosti a posúdení množstva (%) jednej, alebo viacerých kategórií elementárnych častíc (Rehák, 2000).

V poľnohospodárskej praxi sa zaužívalo zjednodušené triedenie pôdy podľa zrnitosti (textúry) na:

- ťažké,
- stredné,
- ľahké

**Pôdny druh** je charakteristický určitým zastúpením pôdných častíc podľa veľkosti (Rehák, 2000).

**Tabuľka 2** Pôdne druhy (Rehák, 2000)

Krátená klasifikácia		Percentuálny obsah častíc < 0,01 mm	Základná klasifikácia		
Symbol	Kategória		Symbol	Kategória	Č.
L	ľahká pôda	0-10	P	piesočnatá	1
		10-20	hp	hlinítopiesočnatá	2
S	stredne ťažká pôda	20-30	ph	piesočnatohlinitá	3
		30-45	h	hlinitá	4
T	ťažká pôda	45-60	ih	ílovitohlinitá	5
		60-75	ív	Ílovitá	6
		>75	í	íl	7

### 3.3.3 Mechanické vlastnosti pôdy

Ako uvádza Bajla (1998) pôda, alebo tiež zemina, má partikulárny charakter, je zložená z individuálnych zŕn, ktoré sa priamo alebo nepriamo ovplyvňujú. Pôsobí tu interakcia medzi jednotlivými časticami pevnej fázy, predstavujúca sa pri prenose sily na kontaktoch častíc, interakcia fyzikálna, kedy pôdou prúdi voda a ovplyvňuje pevné častice a vzájomný podiel na prenášaní zaťaženia, keď náhla zmena zaťaženia sa prenáša spoločne všetkými fázami a zmeny tlaku v póroch vyvolajú pohyb vody zeminou - vlastnosti sa teda menia v čase.

Pri skúmaní vlastností pôdy je potrebné rešpektovať skutočnosť, že vlastnosti pôdy môžeme posudzovať z rôznych hľadísk, pričom exaktnosť a forma vyjadrenia vlastností je podmienená použitím metód a pomocného aparátu, využívaného v príslušnom vednom odbore.

Metódy merania vlastností pôd zatláčaním špecifického telesa do pôdy, tzv. penetračné metódy, patria medzi široko používané empirické metódy, využívané vo všetkých uvedených vedných odboroch.

Penetrometrická metóda zisťovania okamžitej charakteristiky pôdy, penetračného odporu pôdy spolu s vlhkosťou a objemovou hmotnosťou pôdy umožňuje veľmi konkrétne a jednoznačne charakterizovať okamžitý stav pôdy. Je to jednoduchá, rýchla a tým i cenovo výhodná metóda, využívaná vo výskume, vývoji, skúšobníctve a predovšetkým v poľnohospodárskej praxi (Bajla, 1998).

Penetračný odpor alebo tiež odpor kužeľa je empirickou mierou pôdnej pevnosti, resp. únosnosti. Výhody tejto metódy spočívajú v tom, že je rýchlejšia, pohodlnejšia a lacnejšia ako napr. metódy šmykovej pevnosti a uplatňuje sa predovšetkým pri hodnotení utlačovacích a kypriacich efektov pôdohospodárskej techniky.

Dôležité faktory ovplyvňujúce penetračný odpor sú predovšetkým vlhkosť, hustota pôdy, pevnosť pôdy, pórovitosť pôdy, pevnosť pôdy, priemer základne, vrcholový uhol a povrchová drsnosť kužeľa.

Penetrometre našli široké uplatnenie v rôznych konštrukčných úpravách predovšetkým pre tieto výhody:

- sú rýchlou, ľahkou a lacnou metódou;
- poskytujú experimentálne údaje, ktoré sa dajú ľahko analyzovať;
- sú dobrým prostriedkom na vyšetrenie neporušených pôd (Bajla, 1998).

### 3.3.3.1 Šmyková pevnosť zemín

Príčiny porušenia materiálu vysvetľujú rôzne teórie. Najstaršia, odvodená zvlášť pre zeminy, je Coulombova teória porušenia. Zistil, že šmyková pevnosť zemín  $\tau$  nie je konštanta, závisí na veľkosti normálového napätia  $\sigma$  v rovine a má dve zložky:

- **vnútorné trenie** – charakterizované uhlom vnútorného trenia  $\varphi$
- **súdržnosť** – ktorú možno definovať ako šmykovú pevnosť pri nulovom normálovom napätí  $c$

Porušenie zeminy nastane podľa Coulomba vtedy, keď dosiahne šmykové napätie hodnotu šmykovej pevnosti. U skúšok so sypkými a súdržnými zeminami stanovil, že šmyková pevnosť sypkých zemín je (Myslivec, 1970):

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad , \quad Pa \quad (7)$$

kde:  $\operatorname{tg} \varphi = f$  - súčiniteľ trenia,

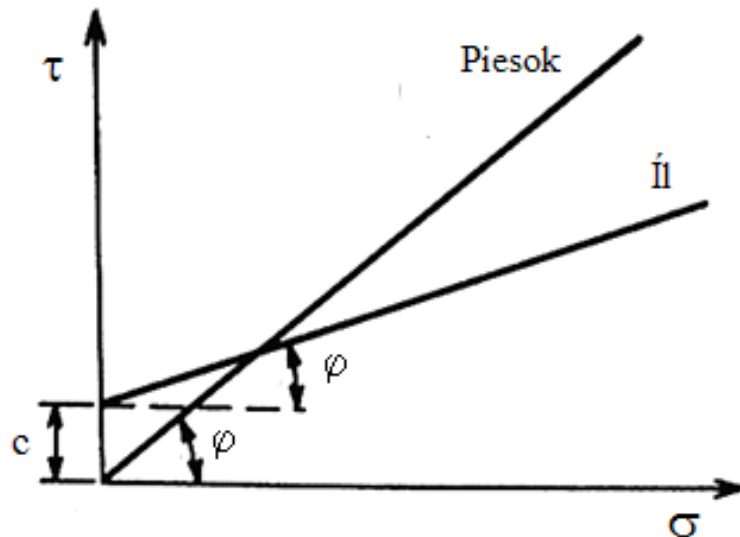
$\sigma$  - normálové napätie, ktoré pôsobí kolmo na plochu porušenia,

$\varphi$  - uhol priamky, ktorý udáva závislosť medzi napätím  $\sigma$  a príslušnou šmykovou pevnosťou  $\tau$  od vodorovnej osi ( uhol vnútorného trenia ).

U ílov je podľa Coulomba Šmyková pevnosť:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad , \quad Pa \quad (8)$$

kde:  $c$  - je súdržnosť zeminy



Obr. 7 Šmyková pevnosť sypkých a súdržných zemín (Myslivec, 1970)

### Vplyv vody na šmykovú pevnosť zemín

Rozhodujúcou je stupeň nasýtenia piesku vodou. Pri úplnom nasýtení vodou, keď sa neprejavujú kapilárne sily, býva uhol vnútorného trenia piesku o 1 až 2° menší. Pri čiastočnom nasýtení piesku vodou, ak je voda v kútoch medzi zrnami a drží zrná k sebe kapilárnymi silami, pôsobí vnútri piesku napätie a piesok má malú súdržnosť, ktorej veľkosť závisí na stupni nasýtenia vodou. Už pri veľmi malom nasýtení vodou sa prejavuje súdržnosť, ktorá od stupňa nasýtenia  $S = 0,1$  býva stála približne až do stupňa nasýtenia  $S = 0,8$ . Potom vzrastie a pri ďalšom nasýtení vodou poklesne (Myslivec, 1970).

### 3.3.3.2 Prístroje na meranie šmykovej pevnosti zemín

Prístroje na meranie šmykovej pevnosti zemín môžeme rozdeliť do troch skupín:

#### Translačné prístroje

Tieto prístroje sa skladajú z dvoch krabíc, a preto sa niekedy nazývajú aj krabicové prístroje. Jedna krabica, buď horná alebo dolná je pevná a druhá je pohyblivá. Skúška sa robí tak, že sa vzorka sa zaťaží v každej krabici rôzne veľkým zaťažením a



vyvodzuje sa buď postupne šmyková sila, až sa vzorka ušmykne, alebo sa vzorka šmýka konštantnou rýchlosťou a na dynamometri sa meria pôsobiaca ťažná sila (Myslivec, 1970).

### **Torzné prístroje**

Principiálne pracuje torzný šmykový prístroj ako translačný, ale skúšobná vzorka má tvar medzikružia. Horná a spodná čeľusť sa pohybujú proti sebe a styčná plocha je stála, pričom u krabicového prístroja sa znižovala. Prístroj je preto vhodný na zisťovanie šmykového odporu po veľkých deformáciách (Šimek, 1990).

### **Trojosové prístroje**

Vzorka zeminy má valcovitý tvar a na oboch základniach sú porézne dosky. Vzorka je obalená tenkou gumovou blanou. Pomer výšky vzorky k priemeru býva aspoň dva. Hore na povrchu vzorky je porézna doska a na nej kovová doska s guľičkou, na ktorú tlačí zaťažovací piest, ktorý je vybavený dynamometrom pre meranie veľkosti zvislého napätia. Vzorka zeminy je v komore, ktorá je vyplnená vodou, ktorej sa môže meniť tlak. Týmto tlakom, ktorý pôsobí na zeminu všestranne a behom skúšky sa udržiava na konštantnej hodnote, je zemina stlačovaná. Na porézne dosky, ktoré sú na oboch základniach vzorky, je napojené potrubie, aby sa umožnilo odvodnenie vzorky zeminy, ak je vzorka vystavená všestrannému tlaku, alebo sa zväčšuje zvislé napätie. Pri meraní sa postupuje tak, že sa zväčšuje zvislé napätie a vodorovné napätie zostáva konštantné až do okamžiku, keď sa vytvorí jedna, dve, alebo celá sústava klzných plôch, potom sa vzorka ušmykne a zvislé napätie poklesne (Myslivec, 1970).

### **Vrtuľková skúška šmykovej pevnosti**

Pri určovaní šmykových parametrov pôdy je potrebné vychádzať z požiadaviek normy STN 72 1026 Laboratórne stanovenie šmykových vlastností pôdy vrtuľkovou skúškou. Platí pre skúšanie zemín v pôvodnom stave, alebo zemín s definovaným počiatočným stavom.

Metodika skúšky spočíva v tom, že sa skúšobná vrtuľka zatlačí do povrchu zeminy alebo sa zarazí do dna vrtu a po zatlačení na požadovanú hĺbku sa konštantne otáča, pričom sa zaznamenáva veľkosť krútiaceho momentu  $M$  a deformácie, pri ktorom sa zemina ušmykla po obvode vrtuľky. Táto skúška je vhodná najmä pre pôdy mäkšej

konzistencie, keďže porušenie pôdy nastáva už pri zatlačení vrtuľky do pôdy. Po nameraní parametrov uvedenou skúškou sa vypočítajú hodnoty (STN 72 1026, 1992): vrtuľkovej šmykovej pevnosti  $\tau$  :

$$\tau = \frac{M}{K} \quad , \quad Pa \quad (9)$$

kde: K - konštanta závislá na rozmeroch a tvare vrtuľky.

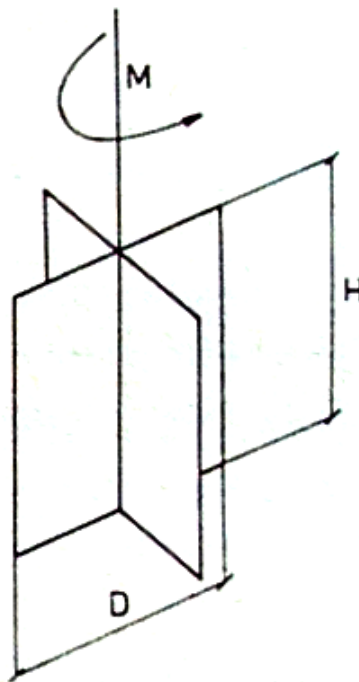
M - krútiaci moment,

Za predpokladu, že odpor proti ušmyknutiu je rozdelený rovnomerne po povrchu valca ušmyknutej zeminy platí:

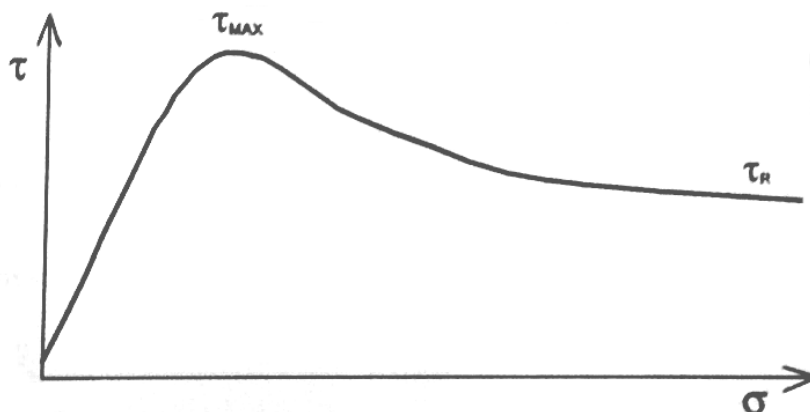
$$K = \frac{H \cdot D^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{D}{3H}\right) \quad (10)$$

kde D- priemer vrtuľky

H- výška vrtuľky,



**Obr. 8** Rozmery (detail) vrtuľky



Obr. 9 Typický pracovný diagram šmykového odporu

### 3.3.3.3 Penetrometrický odpor, penetrometre

Pôda, alebo tiež zemina, má partikulárny charakter, je zložená z individuálnych zŕn, ktoré sa priamo alebo nepriamo ovplyvňujú. Interakcia, ktorá pôsobí medzi jednotlivými časticami pevnej fázy, predstavujúca sa pri prenose sily na kontaktoch častíc, interakcia fyzikálna, kedy pôdou prúdi voda a ovplyvňuje pevné častice a vzájomný podiel na prenášaní zaťaženia, keď náhla zmena zaťaženia sa prenáša spoločne všetkými fázami a zmeny tlaku v póroch vyvolajú pohyb vody zeminou - vlastnosti sa teda menia v čase.

Metódy merania vlastností pôd zatláčaním špecifického telesa do pôdy, tzv. penetračné metódy, patria medzi široko používané empirické metódy, využívané vo všetkých uvedených vedných odboroch.

Pri skúmaní vlastností pôdy je nutné rešpektovať skutočnosť, že vlastnosti pôdy môžeme posudzovať z rôznych hľadísk, pričom exaktnosť a forma vyjadrenia vlastností je podmienená použitím metód a pomocného aparátu, využívaného v príslušnom vednom odbore. Bajla (1998)

Konkrétne a jednoznačne charakterizovať okamžitý stav pôdy umožňuje Penetrometrická metóda zisťovania okamžitej charakteristiky pôdy, penetračného odporu pôdy spolu s vlhkosťou a objemovou hmotnosťou pôdy. Je to jednoduchá, rýchla a cenovo výhodná metóda, využívaná vo výskume, skúšobníctve, vývoji a predovšetkým v poľnohospodárskej praxi.

Penetračný odpor alebo tiež odpor kužeľa je empirickou mierou pôdnej pevnosti, resp. únosnosti. Výhody tejto metódy sú v tom, že je rýchlejšia, pohodlnejšia a lacnejšia ako napr. metódy šmykovej pevnosti a uplatňuje sa predovšetkým pri hodnotení utlačovacích a kypriacich efektov pôdohospodárskej techniky.

Dôležité faktory ovplyvňujúce **penetračný** odpor:

- vlhkosť,
- hustota pôdy,
- pevnosť pôdy,
- pórovitosť pôdy,
- pevnosť pôdy,
- priemer základne,
- vrcholový uhol ,
- povrchová drsnosť kužeľa.

**Penetrometre** našli široké uplatnenie najmä pre tieto **výhody**:

- sú rýchlou, lacnou a ľahkou metódou;
- poskytujú experimentálne údaje, ktoré sa dajú jednoducho analyzovať;
- sú dobrým prostriedkom na vyšetrenie neporušených pôd.

### **Rozdelenie penetrometrov**

Penetrometre môžeme charakterizovať z hľadiska

- použitia,
- princípov metódy merania,
- tvaru hrotu
- záznamu nameraných hodnôt

**Tabuľka 3** Rozdelenie penetrometrov – Bajla (1998)

PENETROMETRE			
Použitie	Princípy	Tvar hrotu	Záznam hodnôt
poľnohospodárstvo stavebníctvo lesníctvo životné prostredie poľnohosp. technika výskum vývoj skúšobníctvo	statický kvázistatický dynamický inerčný	ploché gulový kuželový ihlový	ručný mechanický elektrický



**Obr. 10** Penetrometer

Pri zvažovaní rôznych technických aspektov a prístupoch k technickému riešeniu prístrojov, môžeme usudzovať na základné tri smery vývoja penetračných prístrojov:

- ručné prístroje, zameriavanie na ľahké konštrukcie, pre operatívnu diagnostiku.
- prenosné prístroje, spravidla na vlastnom podvozku, umožňujúce mechanizovať, resp. automatizovať cyklus merania a zvýšiť presnosť a rýchlosť meraní.
- nesené prístroje, umožňujúce s ďalšími prístrojmi uskutočňovať rozsiahlejšie monitorovanie vlastností pôdy

#### **3.3.3.4 Penetrometer P-BDH 3**

Nosnú konštrukciu tvorí nosný priečnik, ku ktorému je pomocou skrutky pripevnený deformačný prstenec optimalizovaného tvaru s upraveným optoelektronickým snímačom sily. K spodnej časti deformačného prstenca je pripevnená merná tyč s vymeniteľným merným kužeľom. Na priečniku je tiež pripojený optoelektronický snímač hĺbky so samonavíjacím oceľovým pásikom ukončeným okom, ku ktorému je pripojená nášľapná doska. V hornej časti priečnika je uchytený držiak s pružnými dotykmi pre upevnenie nabíjateľného akumulátora.

Elektronická časť je tvorená doskou s elektronickými obvodymi pripevnenou k panelu v hornej časti s displejom a ovládaním. Elektronická časť má novú koncepciu - je použitý multiprocessorový systém, tj. čiastkové úlohy systému bude riešiť samostatný mikroprocesor. Riadiaci jednočipový mikropočítač obsahuje len nevyhnutné prvky, potrebné na samostatnú činnosť a riadenie subsystému.

Ovládacie prvky a displej sú usporiadané prehľadne a umožňujú nastavovanie parametrov prístroja, signalizáciu i prepojenie s počítačom typu PC (Bajla, 1998).

Technické údaje penetrometra:

maximálna hĺbka merania pôdy	do 450 mm
max. dĺžka nepretržitej prevádzky	10 hod
rozhranie na prenos dát	RS 232C
rýchlosť prenosu dát	19 200 Bd
penetračný kužel - vrcholový uhol	30°
- priemer základne	12,8 / 20,3 mm
hmotnosť penetrometra	2,5 kg
merací krok hĺbky	10 mm
rozsah merania odporu penetrácie	0 – 6 MPa
kapacita pamäte	asi 500 meraní

Prejazdy poľnohospodárskych strojov po pozemku môžu zapríčiniť utuženie pôdy, zníženie pórovitosti pôdy a vytvoriť prekážky v pohybe pôdnej vody, vzduchu a prenikaniu koreňov v pôde. Utuženie pôdy môže byť zisťované viacerými spôsobmi, z ktorých väčšina vyžaduje „vyvrtanie“ a odoberanie pôdnej vzorky, čas potrebný na laboratórny rozbor alebo dlhú dobu prípravy pozemku, kde musia byť vyhlbené jamy pre zákopové sondy. Pravdepodobne najrýchlejší spôsob monitorujúci pôdne utuženie je meranie penetrometrického odporu. Výsledky meraní penetrometrického odporu uskutočnených na sledovanom pozemku potvrdili značný odpor pôdy (penetrometrický odpor dosahoval maximálne hodnoty až 5 MPa). Carrara et. al., (2003) tvrdí, že je uvádzaných veľa príkladov, kde sa penetrometrický odpor využíva na monitorovanie utuženia pôdy.

Penetrometria býva odporúčaná ako vhodná diagnostická metóda pre zisťovanie zhutnených vrstiev v pôdnom profile. V prípade výskytu zhutnenej vrstvy, napríklad v podorníči, môžeme zistiť hĺbku zhutnenia a posúdiť účelnosť kyprenia zhutnenej vrstvy.

Výskyt zhutnených vrstiev v pôdnom profile je spravidla možné zisťovať len na jar, kedy je pôdny profil rovnomerne prevlhčený. Meranie v lete a na jeseň je z tohto hľadiska nespoľahlivé, pretože v pôdnom profile môžu byť veľké vlhkosťné rozdiely, ktoré sa prejavujú na hodnotách penetrometrického odporu pôdy. Hodnotenie penetrometrického odporu sa spája spravidla s meraním vlhkosti, keďže medzi týmito veličinami je úzky vzťah (Abedin a kol., 1997).

### 3.4 Voda v pôde

Rastlinná výroba je závislá v najväčšej miere od vody. Pôdne živiny sa dostávajú do životného kolobehu v rastlinnom tele pomocou vody, tzv. transpiráciou. Voda dopravuje živiny do všetkých jej častí, začínajúc vlásočnicovými koreňkami, až do posledných, práve sa vytvárajúcich buniek listov a ostatných rastových orgánov. Voda okrem dopravy, živiny i rozpúšťa a upravuje do takej koncentrácie, aby boli pre rastlinu čo najvhodnejšie prijateľné. Ak je v pôde dostatok akéhokoľvek množstva živín pri nedostatku vody, rastlina nie je schopná ich prijímať a odumiera. Voda je životný sprostredkovateľ medzi rastlinou a okolím (Fojtík, 1991).

Podľa Šimeka (1990) vodu vyskytujúcu sa v zeminách môžeme rozdeliť do nasledujúcich kategórií:

#### 1. Gravitačná voda - Delíme ju na

- voľnú vodu,
- kapilárnu.

**Voľná voda** zaplňuje súvislé póry zeminy pod hladinou podzemnej vody. Jej pohyb podmieňuje len gravitačná sila. **Kapilárna voda** vzlína dôsledkom povrchového napätia vody v úzkych pórovitých kanáloch. Nasycuje zeminu nad hladinou podzemnej vody do tzv. kapilárnej výšky. Poklesom hladiny podzemnej vody klesá aj kapilárna hladina.

**Viazaná voda** - je zložená z vodných molekúl pripútaných k minerálnym povrchom elektromolekulárnymi silami. Podľa intenzity väzby na minerálne povrchy rozdeľujeme túto vodu na:

- pevne viazanú (absorbovanú),
- slabo viazanú vodu (voda obalová, osmotická).

**Štruktúrálna voda** - je súčasťou minerálov. Vyskytuje sa ako chemicky viazaná voda. Môžeme ju odstrániť len za vyšších teplôt nad 200 °C, kedy sa chemické

zloženie mení a minerál sa rozpadá. Inou formou štruktúrálnej vody je kryštalická voda, ktorá je taktiež súčasťou mriežky, ale zachová molekulárnu formu.

**Vodná para** - vyskytuje sa v póroch nenasýtených zemín. Môže sa v póroch premiestňovať aj pri veľmi nízkych vlhkostiach a kondenzáciou sa môže premeniť na iné formy výskytu. pohybuje sa z miest s vyššou vlhkosťou do miest s nižšou vlhkosťou a z miest teplejších do miest s nižšími teplotami.

**Ľad** - pri záporných teplotách sa voda v zemine mení postupne na ľad. Najprv zamrzá voľná voda, potom kapilárna a slabo viazaná voda. Pevne viazaná voda zamrzá len pri dlhodobo nízkych teplotách.

### 3.5 Druhy a spôsoby zavlažovania

Ako uvádza Fojtík (1991) poznáme tieto druhy zavlažovania:

- osviežujúce závlahy (klimatizačné),
- protimrazové závlahy,
- zúrodňovacie (premývacie) zavlažovanie slaných pôd,
- ozdravovacie závlahy (ochrana proti škodcom a burine).
- doplnkové zavlažovanie (vegetačné, zásobné, prevegetačné),
- hnojivé závlahy (hnojovicové, močovkové, odpadovými vodami),
- trvalé zavlažovanie (ryžoviská).

Závlaha výtopou - je najstarším spôsobom závlahy. Podstatou je napúšťame závlahovej vody do výtopových zdrží do priemernej výšky 10 - 15 cm, maximálne až 50 cm. Voda sa infiltruje do pôdy a zavlažuje ju.

Závlaha prerómom - voda preteká vo vrstve 2 - 7 cm plošne cez zavlažovanú plochu a pritom ju navlažuje vsakom. Zavlažovaná plocha je rozdelená systémom privádzacích a odpadových kanálov na prerónové tabule. Musí mať sklon najlepšie 0,1 - 0,2 %, minimálne 0,02 % a maximálne 10 %.

Závlaha brázdovým podmokom - podstatou závlahy brázdovým podmokom je privádzanie vody do hustej siete zavlažovacích brázd. Odtiaľ presakuje pôsobením matričného a gravitačného potenciálu do okolitej pôdy a navlhčuje ju.

Kvapková závlaha - podrobný povrchový rozvod vody potrubím s malými priermi zaisťuje vytekanie vody z kvapkáčov napojenými na potrubí alebo priamo otvory v potrubí.



Závlaha postrekom - je najmladšia. Pôda a rastliny sa zavlažujú dažďom, jeho intenzita a veľkosť kvapiek sa volí podľa potreby. Voda je rozdelená k rastlinám postrekovacími strojmi a zariadeniami (Baker, Simoník, 1989).

Podľa dopravy vody na zavlažovanú plochu rozoznávame štyri základné spôsoby zavlažovania:

- postrekom,
- podmokom a výtopom,
- preronom
- podpovrchová závlaha

### 3.6 Vlhkosť pôdy

Túto vlastnosť definuje STN 21012 (1980). Vlhkosť zeminy je daná množstvom vody v nej obsiahnutej, ktorú možno zohriať vzorky pri teplote 100 až 110 °C odstrániť do stálej hmotnosti. (Simoník a kol., 2009)

Voda v pôde sa vyskytuje v kvapalnom, pevnom (ľad, sneh) i plynnom skupenstve. Prvoradý význam pre život a pôdne režimy má kvapalná fáza, pretože zabezpečuje priebeh fyzikálnych, fyzikálno-chemických, chemických a biologických procesov.

Množstvo vody v pôde vplýva na tepelný režim (vysoká tepelná kapacita a vodivosť), technologické vlastnosti a obrábateľnosť. Z biologického hľadiska má voda nesporný význam na zachovanie a reprodukciu všetkých živých organizmov. Pôdna voda rozpúšťa a privádza živiny a kyslík ku koreňom a rozvádza ich po rastlinnom organizme.

V pôdnych póroch sa vždy nachádza určité množstvo kvapalnej fázy, ktorý nazývame pôdna voda. V skutočnosti je to pôdny roztok, ktorý obsahuje v malej koncentrácii organické aj anorganické zlúčeniny (Rehák, 2000).

Podľa normy STN 72 1012 Laboratórne stanovenie vlhkosti zemín, považujeme za obsah vody v zemine také množstvo vody, ktoré môžeme odstrániť vysušovaním zeminy pri teplote 105 až 110 °C do ustálenia hmotnosti vzorku.

Kvantitatívne obsah vody v zeminách vyjadrujeme pomocou ukazovateľov ako sú vlhkosť  $w$ , objemová vlhkosť  $n_w$  a stupeň nasýtenia  $S_r$ .

Vlhkosť zeminy  $w$  definujeme ako pomer hmotnosti vody v póroch k hmotnosti vysušenej zeminy.

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}, \quad \text{kg.kg}^{-1} \quad (11)$$

kde:  $m_s$  - hmotnosť vysušenej zeminy, *kg*

$m_w$  - hmotnosť vody odstránenej z vody sušením, *kg*

$m_1$  - hmotnosť vysušacej nádoby, *kg*

$m_2$  - hmotnosť vysušacej nádoby s vlhkou zeminou, *kg*

$m_3$  - hmotnosť vysušacej nádoby s vysušenou zeminou, *kg*

### 3.7 Teplota pôdy

Teplota pôdy je dôležitým faktorom, ktorý vplýva na procesy prebiehajúce v pôde. Výška ovplyvňuje biologickú aktivitu pôdných organizmov. Významný je aj vplyv na priebeh chemických reakcií v pôde a na fyzikálne vlastnosti pôdy.

Teplota pôdy sa počas dňa a roka mení v závislosti na priebehu počasia a na ročnom období. Znížením teploty pod bod mrazu spôsobí útlm biologických a chemických procesov na minimum. Negatívne vplýva aj veľmi vysoká teplota, pri ktorej dochádza k zastaveniu najmä biologickej aktivity pôdných organizmov. (Geografia, 2011)

### 3.8 Úrodnosť a produkčná schopnosť pôdy

#### 3.8.1 Úrodnosť – základná vlastnosť pôdy

Vznik a vývoj pôdy podmieňuje súčasné formovanie jej základnej vlastnosti – *úrodnosti*, ktorá predstavuje hlavný kvalitatívny znak odlišujúci pôdu od horniny.

Úrodnosť pôdy zahŕňa jej schopnosť poskytovať podmienky pre rastliny a iné organizmy, pre ktoré je pôda životným prostredím. Výška úrod nezávisí len od pôdy, ale aj od vplyvu vonkajšieho prostredia (klímy) a produkčnej schopnosti rastlinných organizmov. Podiel úrodnosti pôdy na vytváraní určitej výšky úrody rastlín závisí od schopnosti pôdy privádzať ku koreňom rastlín živiny a vodu, udržiavať priaznivý obsah kyslíka a oxidu uhličitého v pôdnom vzduchu, podporovať rozvoj pôdnej mikroflóry a obmedzovať tvorbu a akumuláciu cudzorodých látok. To znamená, že úrodnosť je výsledkom komplexného pôsobenia fyzikálnych, chemických a biologických vlastností a rôznych procesov prebiehajúcich v pôde. Bezprostredne ju

ovplyvňujú: pôdny typ, pôdny druh, hĺbka pôdy a ornice, štruktúra pôdy, obsah prístupných živín, priaznivý vodný, vzdušný a tepelný režim, pôdna reakcia, obsah a kvalita humusu, biologická aktivita a obsah škodlivých zlúčenín v pôde (Pôda 2, 2011).

### 3.8.2 *Kvantifikácia vlastností najúrodnejšej pôdy*

Na základe analýzy a hodnotenia nárokov rozhodujúcich poľných plodín bola urobená kvantifikácia chemických a fyzikálnych vlastností najúrodnejšej pôdy:

- Hĺbka pôdy nie menšia ako 1 m.
- Hladina podzemnej vody nie vyššia ako 1,2 m.
- Rýchlosť vsakovania vody do pôdy pri zrážkach by nemala byť menšia ako 30 mm za prvú hodinu.
- Obsah skeletu vo vrchných 0,2 m pôdy by nemal byť vyšší než 10 %; pokiaľ sa pôda využíva ako orná, veľkosť skeletu nesmie presahovať 20 mm.
- Celková mineralizácia vodného výluhu pôdy nemôže byť vyššia ako 0,3 %.
- Obsah humusu do hĺbky 0,3 m nemôže byť nižší než 2 %; pomer  $C_{HK} : C_{FK}$  by mal byť 1 – 3.
- Pôdna reakcia – pH by mala byť v rozpätí 5,2 – 8,3.
- Vo všetkých vrstvách pôdy nesmú byť toxické látky.
- Erózna ohrozenosť by nemala byť vyššia než vyjadruje erózný koeficient 0,4 podľa Silvestrova, čo znamená, že by nemala byť umiestnená na svahu nad 5°.
- Pôda by mala byť kyprá, má obsahovať 75 % agregátov guľatého tvaru veľkých 1 – 10 mm, ktoré sú vodo odolné.
- Objemová hmotnosť by mala byť v rozsahu 0,8 – 1,5 t.m<sup>-3</sup>.
- Pórovitosť by mala byť v rozpätí 40-50 %.
- Zrnitostne je optimálna pôda hlinitá (30-45 % ílu, 50 % prachu).
- Pôda nesmie premrzáť hlbšie než 0,5 m a teplota pôdy v mesiacoch jún až september by nemala byť nižšia než 15°C a to v hĺbke 0,5 m; v hĺbke 0,2 m by mala byť v rozpätí 20-25°C.
- Obsah vody v pôde by za celú dĺžku vegetačného obdobia nemal klesnúť pod trojnásobok čísla hygroskopicity (Pôda1, Pôda2, 2011).

### 3.8.3 *Produkčná schopnosť pôdy*

Pod pojmom úrodnosť pôdy chápeme jej základnú vlastnosť – atribút bez ohľadu na kvantitatívny stupeň tejto vlastnosti.

Pre kvantitatívne vyjadrenie tejto vlastnosti používame termín *produkčná schopnosť pôdy*, ktorú chápeme ako merateľný stupeň základného atribútu konkrétnej pôdy prijať, transformovať, akumulovať a odovzdávať potrebné množstvo vody, živín a energie pre rast a produkciu rastlín. Stupeň produkčnej schopnosti pôdy je funkciou vzájomnej, dynamicky sa meniacej interakcie zložitého komplexu abiotických, biotických a sociálno-ekonomických faktorov a je vyjadriteľný len vo vzťahu ku konkrétnym plodinám a kultúram (Pôda 2, 2011).

Z hľadiska biologického, ekologického a pestovateľského sa v zásade rozoznávajú tri úrovne produkcie:

**Teoreticky možná produkcia** rastlinného organizmu je určená schopnosťou fotosyntetického aparátu transformovať energiu žiarenia, prijať a redukovať oxid uhličitý v optimálnych podmienkach.

**Potenciálna produkcia** rastlinného organizmu je podmienená genotypom a faktormi prostredia v reálnych poľných podmienkach.

**Reálna produkcia** v konkrétnych pôdno-ekologických a výrobnou-ekonomických podmienkach. Reálny produkčný potenciál je limitovaný variabilitou pôdno-ekologických faktorov a pestovateľskou technológiou (Pôda 2, 2011).

### 3.8.4 *Chemická degradácia pôdy*

Chemická degradácia pôd je spôsobená vplyvom rizikových látok anorganickej a organickej povahy z prírodných aj antropických zdrojov, ktoré v určitej koncentrácii pôsobia škodlivo na pôdu, vyvolávajú zmeny jej fyzikálnych, chemických a biologických vlastností, negatívne ovplyvňujú produkčný potenciál pôd, znižujú nutričnú, technologickú a senzorickú hodnotu dopestovaných plodín, alebo negatívne vplývajú na vodu, atmosféru, ako aj zdravie zvierat a ľudí. Medzi závažnú degradáciu pôdy patrí kontaminácia pôd ťažkými kovmi a organickými polutantami, cidifikácia, ale aj alkalizácia a salinizácia pôdy. V poslednom období vzrastá význam degradácie pôdy dezertifikáciou. Náchylnejšie na eróziu sú pôdy s nižším obsahom humusu a ílových častíc v povrchovom horizonte (Enviroportál, 2011).

### 3.9 Praktické merania vo vybranom podniku PD Mojmírovce

#### 3.9.1 Charakteristika podniku

PD Mojmírovce sa rozprestiera na štyroch katastrálnych územiach (územie Mojmírovce, Veľká Dolina, Poľný Kesov, Štefanovičová). Celkovo obhospodaruje 3505 ha poľnohospodárskej pôdy.

Členovia družstva:

- Na čele družstva je predseda Ing. Peter Schultz,
- hlavný ekonóm Ing. Ivan Janiš,
- hlavný agronóm Ing. Slavomír Papp,
- hlavná zootechnik Ing. Jozef Jančovič
- mechanizátory Vladimír Kukla a František Pšenko,
- vedúci investičnej prevádzky Ján Kováč,
- vedúci špeciálnej rastlinnej výroby Ing. Miroslav Belan,
- vedúca bitúnku Ing. Gažiová

Poľnohospodárske družstvo Mojmírovce je obchodno-výrobný subjekt, zaoberajúci sa nielen poľnohospodárskou činnosťou, ale aj realizáciou stavieb, ako sú drobné stavby, chodníky a cesty. Stavby realizuje investičná skupina. Poľnohospodárske družstvo realizuje predaj živočíšnej výroby cez vlastný bitúnok, kde poľnohospodárske družstvo Mojmírovce zastáva dobrú pozíciu na trhu. Obdobným spôsobom družstvo realizuje spracovanie vína cez vlastnú pivnicu, kde v súčasnej dobe sa vyrába vysoko kvalitné značkové víno pod logom Poľnohospodárskeho družstva. Okrem toho družstvo vlastní výrobu PVC rúr, vlastnú predajňu mäsa, mlieka a ostatných komodít ktoré vyprodukuje. Poľnohospodárske družstvo v Mojmírovciach prešlo v priebehu rokov modernizáciou štruktúry družstva a pracovným systémom. S prihliadnutím na prednostné zameranie družstva sa organizovali aj zmeny v modernizácii a upriamili sa priamo pre potreby a rozvoj poľnohospodárskeho družstva pre oblasti jeho najväčšej a najdôležitejšej produkcie.

Poľnohospodárske družstvo Mojmírovce sa delí na päť **stredísk**:

#### **Prvé stredisko tzv. centrálné stredisko – Mojmírovce:**

Prvé tzv. centrálné stredisko poľnohospodárskeho družstva zahŕňa hospodársky dvor, výdajňa palív a olejov, sklad MTZ, dielne pre automobilovú dopravu a pre traktory. V centrálnom stredisku poľnohospodárskeho družstva Mojmírovce je

zastúpená rastlinná výroba vo forme skladov, liniek na pozberové spracovanie obilia, linka na výrobu osív (čistička, morička), výroba kŕmnych zmesí a sušiareň na obiloviny. Živočíšna výroba na stredisku zanikla, nakoľko bola ekonomicky nerentabilná.

Rovnaké zastúpenie má investičná prevádzka, ktorá má na svoju činnosť dve výrobné haly. V jednej sa vyrábajú PVC rúry, ktoré idú na export do českej republiky a druhá sa využíva na zväračské účely (kováči, klampiari, atď).

#### **Druhé stredisko – Veľká Dolina:**

Živočíšna a rastlinná výroba má svoje zastúpenie v druhom stredisku. Živočíšna výroba tu má štyri budovy (maštale). V dvoch budovách je presunutý chov teliat z farmy z Poľného Kesova a chov ošípaných bol zrušený. V druhom poľnohospodárskom stredisku sa nachádzajú štyri veľké silážne jamy slúžiace na uskladnenie krmovín (kvalitné seno, siláž, rôzne komponenty, ktoré sa pridávajú do kŕmnych dávok).

Vysokovýkonná čistička rastlinnej výroby slúžiaca na čistenie husto siatych obilovín patrí medzi zabudované komponenty materiálnej vybavenosti druhého strediska poľnohospodárskeho družstva Mojmirovce. Vysokovýkonná čistička rastlinnej výroby je jedným z mnohých prvkov modernizácie poľnohospodárskeho družstva v Mojmirovciach. Druhé stredisko rovnako zahŕňa aj jeden sklad o výmere 800m<sup>2</sup>. Na kvalitné uskladnenie lucerkového sena slúži vysoko objemový senník.

#### **Tretie stredisko – Poľný Kesov:**

Na treťom stredisku poľnohospodárskeho družstva v Mojmirovciach sa sústreďuje živočíšna výroba zastúpená chovom hovädzieho dobytku a teliec. K inventáru tretieho strediska v Poľnom Kesove patrí aj pozberové spracovanie obilnín a sklad o výmere 800m<sup>2</sup>.

#### **Štvrté stredisko – Štefanovičová:**

Stredisko je uzatvorené z dôvodu zrušenia chovu ošípaných.

#### **Piate stredisko – Stredisko špeciálnej rastlinnej výroby:**

Piate stredisko zameriavajúce sa na pestovanie viniča o rozlohe 130 ha a na pestovanie potníkov určuje svojím charakterom špeciálnej rastlinnej výroby ciele a náplň práce strediska. K piatemu stredisku patria aj ovocné sady : jablkový sad s rozlohou 10 ha, broskyňový sad s rozlohou 5 ha, marhuľový sad o rozlohe 5ha. Ovocný aj viničný sad poľnohospodárske družstvo obhospodaruje a spravuje pomocou modernizovaných technológií slúžiacich na odbornú starostlivosť, pestovanie a spracovanie.

Na stredisku sa realizuje spracovanie hrozna a následná výroba vína v miestnej klenbovej pivnici. Zvyšok produkcie hrozna sa predáva vinárskym závozom, ako napríklad víno Nitra a víno Topoľčany. Predaj broskýň, marhúľ a jablák sa realizuje cez podnikovú predajňu.

Celkový počet pracovníkov na PD je 180. V sezónnom období sa prirátava aj 40 brigádnikov na zber vinnej révy. Z celkového počtu pracovníkov je 42 pracovníkov THP a zvyšok sú robotníci. V administratívnej budove, kde je sídlo firmy sa nachádza ekonomický úsek firmy.

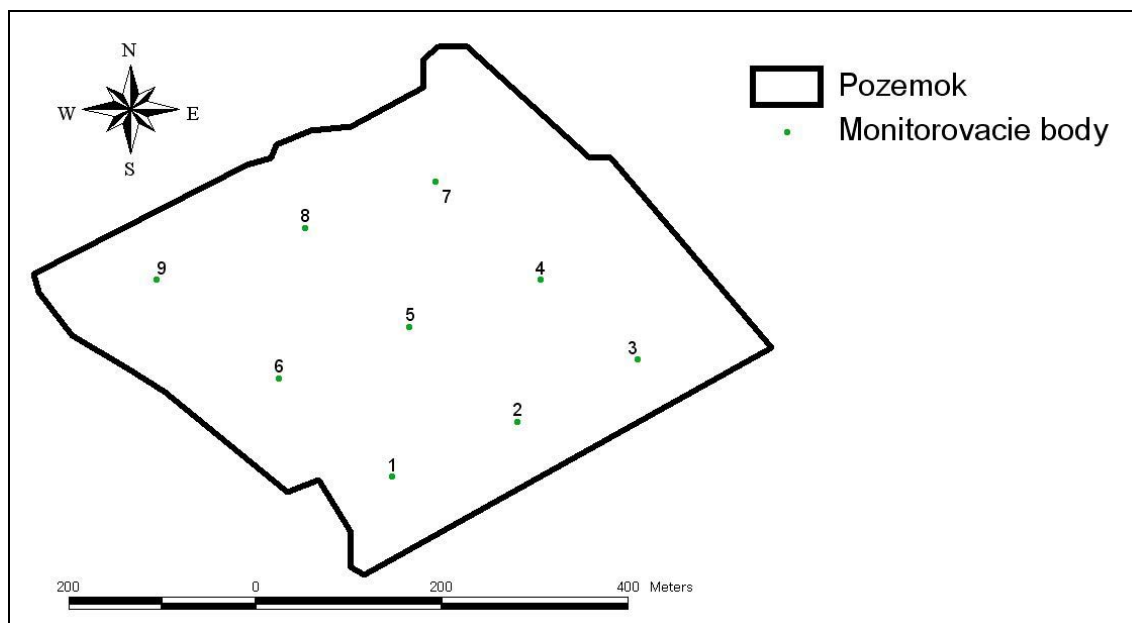
***Strojový park:***

- 3x John Deere 8520: - výkon v diskovaní za 12 hodín 40 ha
  - výkon v orbe:- stredná 12 hodín 15 ha
  - hlboká 12 hodín 15 ha
  - výkon pri práci s kompaktorom: 12 hodín 20-22 ha
- 4x Zetor 16045: - výkon v diskovaní za 12 hodín 20 ha
  - výkon v orbe: - stredná 12 hodín 12 ha, hlboká 12 hodín 9 ha
  - výkon pri práci s kompaktorom: 12 hodín 15 ha
- 4x Zetor 12045
- 10x Zetor 7045
- 2x Pluh Lemken
- 2x Kompaktor záber 6m
- 1x Radličkový podmietač (Hurikán) záber 6m:
  - hon pri práci 12 hodín 20 ha môže ho ťahať len vysokovýkonný stroj
- 1x Vakovač na výrobu senážnych vakov
- 4x NTVS – Horal
- 4x Brány
- 4x Smiko – brány
- 4x Pluhy atď.
- 2x Ťažké disky
- 2x Cambrické valce a iné závesné náradia

### *3.9.2 Hodnotenie šmykovej pevnosti a vlhkosti pôdy*

Merania sa uskutočnili na zameranom pozemku o rozlohe 15,3 ha. Počet monitorovacích bodov bol 9 (obr. 11). Na danom pozemku sa plánuje pestovať

kukurica. Nameraná hodnota kyslosti pôdy bola pH 6,4. V tabuľke 4 sa uviedli namerané hodnoty vlhkosti pôdy a šmykovej pevnosti v jednotlivých monitorovacích bodoch. Zhodnotenie nameraných výsledkov formou popisnej štatistiky sa uviedli v tabuľke 5.



Obr. 11 Pozemok s bodmi

Tabuľka 4 Namerané hodnoty vlhkosti a šmykovej pevnosti pôdy

Monitorovací bod			Šmyková pevnosť, kPa		Vlhkosť pôdy %-obj.
-	x	y	10 cm	20 cm	-
1	18.050400	48.201080	40	61	22,43
2	18.051610	48.201610	66	86	22,97
3	18.052770	48.202210	56	74	19,70
4	18.051830	48.202980	84	76	21,77
5	18.050570	48.202530	56	50	19,83
6	18.049310	48.202030	34	43	16,07
7	18.050820	48.203930	70	76	21,17
8	18.049560	48.203480	70	96	19,37
9	18.048130	48.202980	68	90	20,97

Tabuľka 5 Popisná štatistika

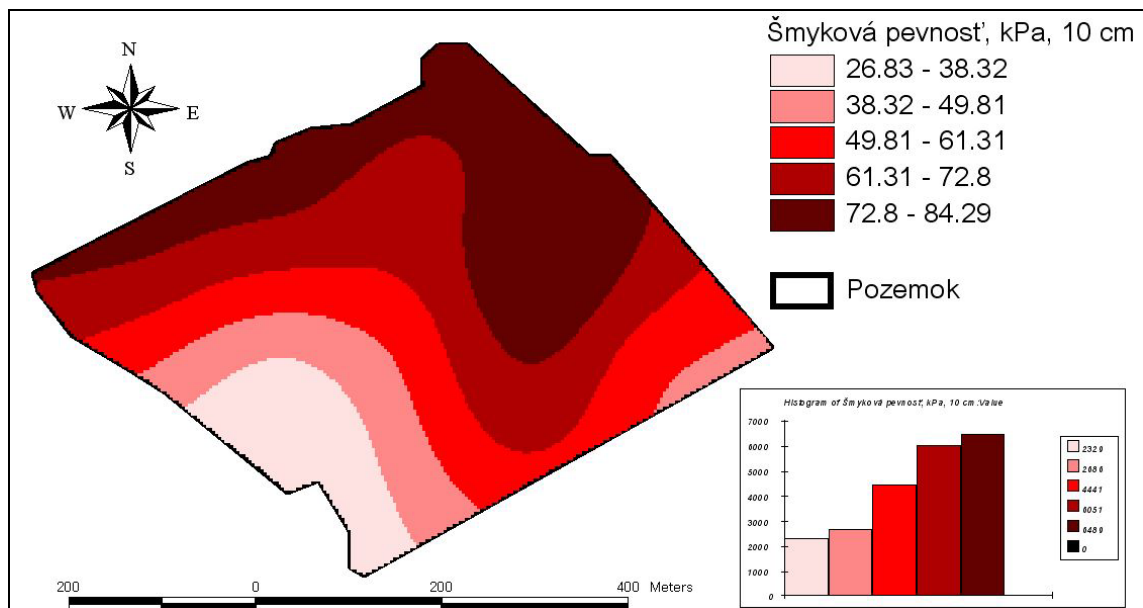
P.č.	Parameter	Šmyková pevnosť, kPa		Vlhkosť pôdy, %-obj.
		10 cm	20 cm	
1	Priemerná hodnota	60,44	72,44	20,47
2	Smerodajná odchýlka	15,74	17,95	2,06
3	Minimum	34,00	43,00	16,07
4	Maximum	84,00	96,00	22,97
5	Súčet	544,00	652,00	184,27
6	Počet	9,00	9,00	9,00
7	Variačný koeficient	26,04	24,77	10,08

Z výsledkov vyplýva, že priemerná hodnota šmykovej pevnosti v hĺbke 10 cm bola 60,44 kPa. Pri meraniach v hĺbke 20 cm sa priemerná hodnota zvýšila na hodnotu

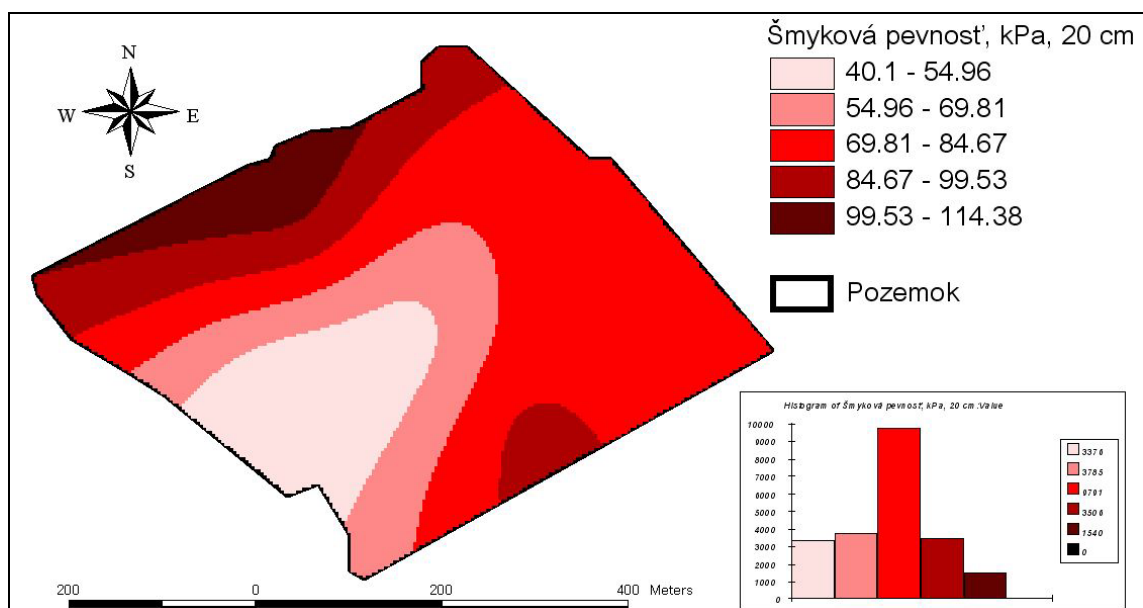


72,44 kPa. Minimálna hodnota bola 34 kPa pri hĺbke 10 cm a maximálna 84 kPa. Rozpätie hodnôt pri hĺbke merania 20 cm bolo od 43 do 96 kPa. Hodnota variačného koeficienta bola 26,04 % (hĺbka merania 10 cm) a 24,77 % (hĺbka merania 20 cm). Pri hodnotení vlhkosti pôdy bola priemerná hodnota 20,47 %-obj. s hodnotou variačného koeficienta 10,08 %. Hodnoty sa pohybovali v rozpätí od 16,07 do 22,97 %-obj.

Grafické zhodnotenie výsledkov merania šmykovej pevnosti v hĺbke 10 cm s programom ArcView 3.2 sa uviedlo na obr.12. Výsledky na základe grafického

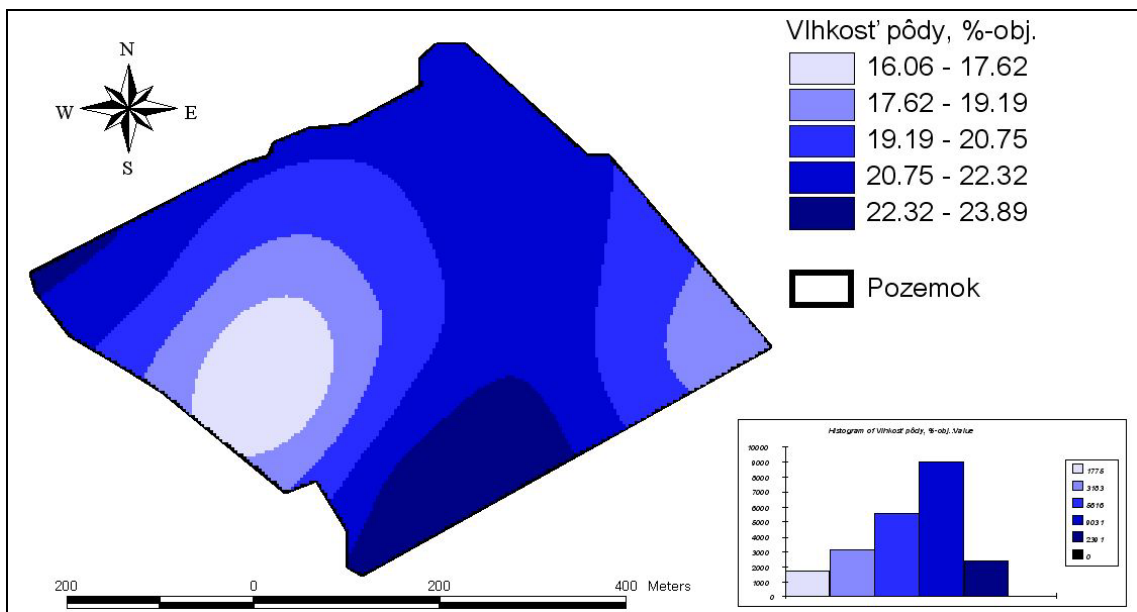


Obr. 12 Šmyková pevnosť pôdy, hĺbka 10 cm, kPa



Obr. 13 Šmyková pevnosť pôdy, hĺbka 20 cm, kPa

zhodnotenia sa pohybovali od 26,83 do 84,29 kPa. Najvyššie zastúpenie mal interval 72,8 až 84,29 kPa. Na obr.13 sa zobrazili výsledky merania v hĺbke 20 cm. V danej hĺbke mal najvyššie zastúpenie interval od 69,81 do 84,67 kPa. Variabilita vlhkosti pôdy na danom pozemku sa zobrazila na obr.14. Z výsledkov vyplýva, že najvyššie zastúpenie mal interval od 20,75 do 22,32 %-obj.



Obr. 14 Vlhkosť pôdy, %-obj.

## **4 NÁVRH NA VYUŽITIE VÝSLEDKOV**

Zhodnotené a popísané materiály poslúžia ako vstupe pre ďalšie praktické merania zhodnotenia stavu vybraného pozemku. Namerané hodnoty možno ďalej porovnávať s ďalšími hodnotami a na záver zhodnotiť vzájomnú väzbu týchto vlastností. Pre ďalšie skúmania variability penetrometrického odporu, šmykovej pevnosti, poprípade vlhkosti pôdy, by bolo treba danému podniku zakúpiť v prvom rade meraciu techniku. Zaobstaranie a zavedenie novej techniky a softvérového vybavenia vyžaduje spočiatku vynaloženie dosť značných finančných nákladov, ale na druhej strane sa zistia vlastnosti pôdy a možno s novšou technikou vykonávať variabilné operácie.

V poľnohospodárskom podniku je preto treba z hľadiska inovačného procesu brať výber vhodnej techniky ako vstupnú investíciu, ktorej úlohou je vrátiť vynaložené počiatkové náklady na jej zakúpenie, budúcim šetrením zdrojov hospodárenia.

## **5 ZÁVER**

V danej bakalárskej práci sa zameriavame na problematiku charakteristiky niektorých vybraných fyzikálno-mechanických vlastností pôdy. Prináša konkrétne výsledky skúmaného pozemku, prostredníctvom geograficky lokalizovaných informácií charakterizujúcich vlastnosti pôdy, ich spracovanie a vyhodnotenie. V práci sa charakterizovala pôda, jej vznik a vývoj. Medzi tie najdôležitejšie popísané vlastnosti sa môže zaradiť vlhkosť pôdy, zrnitosť, šmyková pevnosť a penetrometrický odpor pôdy. V závere práce sa popísala a posúdila úrodnosť a produkčná funkcia pôdy. Na záver sa uskutočnili praktické merania na vybranom pozemku v PD Mojmírovce.

## 6 POUŽITÁ LITERATÚRA

1. ANTAL, J. – IGAZ, D. 2006. *Aplikovaná agrohydrologia*. 4. vydanie. Nitra: SPU. 2006, 210 s. ISBN 80-8069-669-1.
2. BAJLA, J. 1998. *Penetrometrické merania pôdnych vlastností*. vyd. Nitra : SPU, 1998. 112 s. ISBN 80-7137-543-8
3. BAKER, P. - SIMONÍK, J. 1989. *Stroje pre zemné a melioračné práce*, vyd. Nitra : VŠP 1989. 205 s. ISBN 80-8517-274-5
4. CARRARA, M. et al., 2003. Mapping soil compaction measuring cone penetrometer resistance. *In: Programme book of the joint conference of ECPA – ECPLF*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2003, p. 176. ISBN 9076998345
5. Enviroportál1. [s.a.] [online] [cit. 17.02.2011] Dostupné na internete:  
[http://enviroportal.sk/pdf/spravy\\_zp/2004-sk/svk04s\\_poda.pdf](http://enviroportal.sk/pdf/spravy_zp/2004-sk/svk04s_poda.pdf)
6. Enviroportál2. [s.a.] [online] [cit. 22.03.2011] Dostupné na internete:  
[http://enviroportal.sk/indikatory/detail.php?kategoria=184&id\\_indikator=1885](http://enviroportal.sk/indikatory/detail.php?kategoria=184&id_indikator=1885)
7. FOJTÍK, Š. – HRÚZIKOVÁ, L. 1991. *Zavlažovanie*. Nitra: VŠP 1991. ISBN 80-7139-004-6
8. FULAJTÁR E., 2006. *Fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy. ISBN 80-89128-20-3
9. Geografia. [s.a.] [online] [cit. 14.02.2011] Dostupné na internete:  
[www2.statpedu.sk/buxus/spu/Geografia/Geografia2.doc](http://www2.statpedu.sk/buxus/spu/Geografia/Geografia2.doc)
10. HALAS, J. 2004. Mapové zobrazenie plošnej heterogenity pedokompakcie na vybranom pozemku. *In: Pedologické dni 2004. Sborník z konferencie na téma pedodiverzita*. Praha : ČZU, 2004. s.36-37 ISBN 80-213-1248-3
11. MYSLIVEC, A.-EICHLER, J.-JESENÁK, J. et al.: *Mechanika zemín*. 1.vyd. Praha: STNL, 1970. 237 s.
12. PÁLTIK, J. 2005. *Stroje pre rastlinnú výrobu*. Nitra : SPU, 2005. s. 10 ISBN 80-8069-547-4
13. Pedologia. [s.a.] [online] [cit. 28.02.2011] Dostupné na internete:  
<http://www.kpg.fapz.uniag.sk/upload/navodynacvika.pdf>
14. Pôda1. [s.a.] [online] [cit. 13.1.2011] Dostupné na internete:  
<http://www.fpv.umb.sk/~vzdchem/KEGA/TUR/PODA/Poda03.htm>

15. Pôda2. [s.a.] [online] [cit. 03.1.2011] Dostupné na internete:  
<http://www.fpv.umb.sk/~vzdchem/KEGA/TUR/PODA/Poda04.htm>
16. PRIECEL, J. 2000. *Mechanika zemín a zakladanie stavieb*. 4. vyd. Nitra: VSE SPU, 2000. 187 s. ISBN 80-7137-789-9
17. REHÁK, Š. – JANSKÝ, L. 2000. *Fyzika pôdy*. Bratislava : Univerzita Komenského, 2000. 108 s. ISBN 80-223-1544-3
18. SIMONÍK, J. RUŽIČKA, M. JOBBÁGY, J. 2009. Stroje pre zemné a melioračné práce. In: vysokoškolská učebnica, SPU, Garmond Nitra, 203s., ISBN 978-80-552-0251-8
19. STN 72 1012: 1993: Laboratórne stanovenie vlhkosti zemín.
20. STN 72 1026: 1992: Laboratórne stanovenie šmykovej pevnosti zemín vrtuľkovou skúškou.
21. ŠIMEK, J. et al. : *Mechanika zemín*. Praha : SNTL, 1990. 395 s. ISBN 80-03-00428-4
22. VELEBNÝ V., NOVÁK V., SKALOVÁ J., ŠTEKAUEROVÁ V., MAJERČÁK J., 2000. Vodný režim pôdy. Bratislava: STU, 2000 ISBN 80-227-1373-2
23. ZAUJEC, A. – CHLÍPIK, J. – TOBIAŠOVÁ, E. et al. 2003. *Pedológia* Nitra : SPU 2003. 98 s. ISBN 80-8069-261-0