

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra pedologie a ochrany půd**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vliv různých mulčovacích materiálů na hydrofyzikální  
vlastnosti půdy**

**Bakalářská práce**

**Matylda Pavlíková**

**Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů**

**Ing. Antonín Nikodem, Ph.D., DiS.  
Konzultant: Ing. Miroslav Fér, Ph.D.**



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv různých mulčovacích materiálů na hydrofyzikální vlastnosti půdy" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3.5.2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu Ing. Antonínu Nikodemovi, Ph.D., DiS. za podporu, vedení práce, trpělivost, cenné rady a připomínky při tvorbě mé bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

# Vliv různých mulčovacích materiálů na hydrofyzikální vlastnosti půdy

## Souhrn

Cílem bakalářské práce bylo na základě literární rešerše a laboratorního experimentu popsat vliv aplikace různých mulčovacích materiálů na změnu vybraných fyzikálních, hydrofyzikálních a hydraulických vlastností půdy.

Teoretická část popisuje vznik půdy, složení půdy a její základní fyzikální a hydraulické vlastnosti a druhy mulče.

Praktická část popisuje odběrové místo, odebrané vzorky a laboratorní měření vzorků v přetlakovém aparátu a jejich následné zpracování v programu RETC. Pro odběr byl zvolen univerzitní demonstrační pozemek České zemědělské univerzity v Troji. Půda této oblasti se řadí do půdního typu fluvizem. Neporušené půdní vzorky se odebíraly pomocí Kopeckého válečku ze sedmi ploch. V roce 2018 se odebralo 27 neporušených půdních vzorků a v roce 2020 jich bylo 42. Na plochách bylo šest rozdílných mulčovacích materiálů: fólie Agtotex-Eko, kůra-fólie, kůra, štěpka, sláma, štěrk a jedna kontrolní plocha bez mulče. Na neporušených půdních vzorcích byly v laboratoři stanoveny základní fyzikální vlastnosti objemová hmotnost a pórovitost. Pomocí přetlakového aparátu byly změřeny hydraulické vlastnosti. K proložení naměřených bodů byl použit program RETC. Dále byly vypočteny charakteristiky půdního pórovitého systému, inflexní body, snadno dostupná voda a voda gravitační. Data získaná z roku 2018 a 2020 byla mezi sebou porovnávána.

Hypotézou bylo, že různé mulčovací materiály mohou ovlivnit vlastnosti půdy. Tato hypotéza byla potvrzena. Výsledky ukazují, že půdy pod mulčovacími materiály jsou půdy ve velmi dobré fyzikální kvalitě. Většina parametrů se však v průběhu dvou let mírně zhoršila. Byl potvrzen podobný trend parametrů u mulčovacích materiálů patřící do skupiny organických/rozložitelných materiálů a zároveň u skupiny materiálů, které jsou nerozložitelné.

**Klíčová slova:** půda, hydraulické vlastnosti půdy, struktura, půdní vlhkost, mulčovací materiál

# Effect of different mulch materials on soil hydrophysical properties

## Summary

The aim of this bachelor's thesis was based on a literature research and laboratory experiment to describe the effect of the application of various mulching materials on the change of selected physical and hydraulic properties of the soil.

The theoretical part describes soil formation, soils composition, its basic physical and hydraulic properties and types of mulch

The practical part describes the sampling site, soil samples and laboratory analyzes of samples in a pressure plate apparatus and their subsequent processing in the RETC program. The Demonstration and research station of Czech University of Life Sciences in Troja was chosen for sampling. The soil of this area belongs to the soil type Fluvisol. The undisturbed soil samples were taken into the soil samples columns from seven areas. In 2018 26 undisturbed 100 cm<sup>3</sup> soil samples were taken using columns and in 2020 there were 42 undisturbed 100 cm<sup>3</sup> soil samples. There were six different mulching materials on the surfaces: Agtotex-Eko foil, foil covered bark chips layer, bark chips, wood chips, wheat straw, bark chips and one control surface without mulch. The basic physical properties of bulk density and porosity were determined in the laboratory on undisturbed soil samples. The hydraulic properties were measured using a pressure plate apparatus. The RETC program was used to interpolate the measured points. Furthermore, the characteristics of the soil porosity system, inflection points, readily available water and gravitational water were calculated. Data obtained from 2018 and 2020 were compared with each other.

The hypothesis was that different mulching materials can affect soil properties. This hypothesis was confirmed. The results show that the soils under mulching materials are soils of very good physical quality. However, most parameters deteriorated slightly over the course of two years. A similar trend of parameters was confirmed for mulching materials belonging to the group of organic / degradable materials and at the same time for the group of materials that are non-degradable.

**Keywords:** soil, soil hydraulic properties, structure, soil moisture, mulch materials

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Faktory a podmínky vzniku půdy .....</b>	<b>11</b>
3.1.1 Půdotvorný substrát .....	12
3.1.2 Klima .....	12
3.1.3 Biologický faktor .....	13
3.1.4 Podzemní voda.....	13
3.1.5 Vliv člověka.....	13
3.1.6 Konfigurace terénu .....	13
3.1.7 Stáří půdy .....	14
<b>3.2 Funkce půdy .....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Produkční funkce .....	14
3.2.2 Mimoprodukční funkce.....	14
3.2.2.1 Prostorová funkce .....	15
3.2.2.2 Hydrologická a vodohospodářská funkce .....	15
3.2.2.3 Ekologická funkce.....	15
3.2.2.4 Sanitární a hygienická funkce .....	15
3.2.2.5 Pufrační funkce .....	15
3.2.2.6 Transformační funkce .....	16
3.2.2.7 Sociální funkce půdy.....	16
3.2.2.8 Kulturní funkce půdy .....	16
<b>3.3 Půdní vlastnosti a indikátory .....</b>	<b>16</b>
3.3.1 Barva .....	17
3.3.2 Struktura.....	17
3.3.3 Zrnitost.....	17
3.3.4 Skeletovitost.....	18
3.3.5 Voda v půdě .....	18
3.3.5.1 Půdní roztok .....	19
3.3.5.2 Půdní voda.....	19
3.3.5.3 Síly působící na půdní vodu.....	20
3.3.5.4 Retenční křivka .....	21
3.3.5.5 Hydrolimity .....	21
3.3.5.6 Pohyb vody v půdě.....	22
3.3.6 Konzistence půdy.....	23

3.3.7	Novotvary .....	23
3.3.8	Měrná hmotnost půdy .....	23
3.3.9	Objemová hmotnost.....	23
3.3.10	Pórovitost.....	23
3.3.11	Obsah humusu .....	24
<b>3.4</b>	<b>Hydraulické vlastnosti půdy .....</b>	<b>25</b>
3.4.1	Metody stanovení hydraulických vlastností .....	26
3.4.1.1	Stanovení retenčních čar .....	26
3.4.1.2	Stanovení hydraulických vodivostí.....	29
<b>3.5</b>	<b>Mulčovací materiály.....</b>	<b>29</b>
3.5.1	Mulčovací fólie a papír .....	30
3.5.1.1	Agrotexilie EKO .....	31
3.5.2	Přírodní mulč .....	31
3.5.3	Živý mulč .....	31
3.5.4	Drcený kámen, písek, štěrk.....	32
<b>4</b>	<b>Metodika.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Lokalita .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Odběr.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Rozbor půdních vzorků .....</b>	<b>34</b>
4.3.1	Stanovení základních fyzikálních vlastností.....	36
4.3.2	Stanovení hydraulických vlastností .....	36
4.3.3	Inflexní body.....	37
4.3.4	Půdní pórový systém.....	38
4.3.5	Voda gravitační a snadno dostupná .....	38
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Základní fyzikální vlastnosti .....</b>	<b>40</b>
5.1.1	Retenční čáry .....	42
<b>5.2</b>	<b>Hydraulické vlastnosti půdy .....</b>	<b>43</b>
5.2.1	Optimalizované hodnoty parametrů van Genuchtena pro retenční křivku.....	43
<b>5.3</b>	<b>Půdní pórový systém .....</b>	<b>47</b>
<b>5.4</b>	<b>Inflexní body .....</b>	<b>50</b>
<b>5.5</b>	<b>Voda snadno dostupná a voda gravitační .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Literatura (tištěné/elektronické zdroje) .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>



# 1 Úvod

Půda, nejsvrchnější vrstva zemského povrchu, která se neustále pod vlivem půdotvorných faktorů a podmínek vyvíjí. Patří mezi základní přírodní obnovitelné zdroje, bez kterých bychom se neobešli. Netvoří ovšem důležité životní prostředí pouze pro nás, ale i pro řadu organismů rostlinné a živočišné říše.

Má práce je rozdělena do dvou částí. V teoretické části jsem sestavila literární rešerši o půdě. Podrobněji popisují faktory, které mají vliv na její vznik, její funkce, její složení a její fyzikální či hydraulické vlastnosti.

V praktické části práce se zabývám otázkou mulčovacích materiálů. Na univerzitním demonstračním pozemku v Troji byly za tímto účelem odebrány vzorky z ploch s různým mulčem a v laboratoři podrobeny měření. Zda mají vliv na vodu v půdě a potažmo na půdní fyzikální, hydrofyzikální a hydraulické vlastnosti nám ukážou výsledné hodnoty, které budou mezi sebou porovnávány.

Cílem této práce je tedy měřené hodnoty vyhodnotit, a to jejich vliv na půdu její fyzikální a hydraulické vlastnosti. Jestli některý ze sledovaných materiálů má na vlhkost a další sledované parametry v půdě větší vliv než ty ostatní a existuje-li vůbec nějaký rozdíl mezi půdou ošetřenou pomocí mulče a půdou bez něj.

## 2 Cíl práce

Cílem práce bylo na základě literární rešerše a laboratorního experimentu popsání vlivu aplikace různých mulčovacích materiálů na změnu vybraných fyzikálních, hydrofyzikálních a hydraulických vlastností půdy. V praktické části bylo hlavní hodnocení vlivu aplikace různých mulčovacích materiálů na změnu vybraných fyzikálních a hydraulických půdních vlastností. Odebrané půdní vzorky v laboratoři prošly měřením v přetlakovém aparátu a výsledky následně zpracovány v programu RETC.

Hypotéza: různé mulčovací materiály mohou ovlivnit vlastnosti půdy.

### 3 Literární rešerše

Půda je pro člověka jeden ze základních nenahraditelných výrobních prostředků na Zemi. Je třeba na ni nahlížet, jako na dynamický útvar, který se tvoří, vyvíjí a udržuje pod vlivem prostředí (Tomášek 2007). Je nositelem života a reguluje pochody v různých sférách životního prostředí. Představuje i zdroj informací o vývoji krajiny nejen ve čtvrtohorách, ale i ve starších geologických obdobích. Řadíme ji s vodou, ovzduším, rostlinami, živočichy, sluneční energií a nerostným bohatstvím mezi základní přírodní zdroje. Při správném obhospodařování získává vlastnosti obnovitelného přírodního zdroje (Bičík et al. 2009). K vytvoření jednoho centimetru půdy dochází velmi dlouhou dobu v rozmezí až 80-150 let. Naopak vlivem eroze může být půda zničena i během několika málo minut, což je dnes častým jevem na zemědělských polích (Jandák et al. 2001).

Jeden z našich zakladatelů pedologie Václav Novák ji definuje: „Půda je přírodní útvar, který se vyvíjí z povrchových zvětralin kůry zemské a ze zbytků ústrojenců a jehož stavba a složení jsou výsledkem podnebí a jiných faktorů půdotvorných“ (Tomášek 2007).

Pedosféru je nutné chápat celostně, jako složku životního prostředí, která tvoří ekosystém společně s atmosférou, hydrosférou a biocenózou (Jandák et al. 2001). Pokud půdu vytrhneme z půdního celku a poté je zkoumána bez souvislosti s podmínkami svého vzniku označujeme ji pojmem zemina (Tomášek 2007). Vznik a vývin půdy je způsoben vzájemným působením na styku litosféry, atmosféry, biosféry a hydrosféry a zároveň činností člověka. Představuje složitý otevřený systém, ve kterém dochází k neustálé látkové a energetické výměně s prostředím (Jandák et al. 2001).

Vědu, která se půdou zabývá nazýváme pedologie. Vznikla v 1. polovině 19. století oddělením od geologie. Za zakladatele je považován Vasilij Vasiljevič Dokučajev. Pedologie studuje odlišnosti a podobnosti jednotlivých půd, zákonitosti jejich rozmístění na Zemi, procesy probíhající v půdě, chemické a fyzikální vlastnosti, vztahy mezi půdními vlastnostmi a vegetací nebo půdními organismy či společenstvy, vliv úrodnosti na využitelnost půdy člověkem v zemědělství, vodohospodářství a stavebnictví (Pavlů 2018).

#### 3.1 Faktory a podmínky vzniku půdy

Půda se vytváří dezintegrací, rozkladem a rekompozicí minerálního materiálu obsaženého v exponovaných horninách fyzikálními, chemickými a biologickými procesy. Vzniklý materiál je dále závislý na aktivitě a množství nahromaděných zbytků mikroskopických a makroskopických organismů. Proces půdní geneze probíhá i tisíce let, při němž se uvolněné zbytky úlomků hornin přetváří na téměř stabilní, vnitřně uspořádané a fungující přírodní těleso. Kulminuje vytvořením půdního vrstveného profilu (Hillel 2003). Vzniká tedy v důsledku komplexního působení vnějších činitelů na matečnou horninu během času. Je úplně novou substancí, která se od matečné horniny odlišuje svými vlastnostmi (Bičík et al. 2009). Genezi půdy ovlivňují komplexním působením půdotvorní činitelé, které dělíme na půdotvorné faktory a podmínky půdotvorného procesu. Faktory působí při vzniku přímo a podmínky svým vlivem působí na půdotvorné faktory. Mezi faktory řadíme půdotvorný substrát, podnebí, biologický faktor, podzemní vodu a vliv člověka. K podmínkám pak utváření terénu a čas (Tomášek 2007).

### 3.1.1 Půdotvorný substrát

Půdotvorný substrát je materiál, ze kterého vzniká půda a je předmětem přeměn probíhajících v půdě (Tomášek 2007). Jeho základem je matečná hornina (Pavlů 2018). Můžeme ho dělit podle různých hledisek. Hlavní je podle geologického stáří, které se projeví ve stupni zpevnění. Má vliv na tvorbu a vývoj půd, ale i na jejich znaky, vlastnosti a režim. Na našem území se nachází nezpevněný substrát z čtvrtohorního a třetihorního stáří. Starší horniny jsou pevné, nebo v různém stupni zpevnění. Souhrnně je nazýváme horniny skalního podkladu. Vlastní půdy se nevytváří přímo na pevné hornině, ale na její zvětralině, která je mladší. Nezpevnělé sedimenty lze dělit podle jejich zrnitostního složení na klastické (hrubě skeletovité), lehké, střední a těžké, či podle minerálního složení na vápňité, bazické, neutrální a kyselé (Tomášek 2007).

Mezi základní skupiny hornin patří: magmatické, sedimentární a metamorfované. Magmatické horniny vznikly v různých prostorových podmínkách zchladnutím magmatu. Dále je dělíme na hlubinné, žilné a výlevné.

Sedimentární horniny jsou tvořené transportem a sedimentací jiných rozpadlých hornin. Druhou možností je sedimentace biologického materiálu. Mezi sedimentární horniny řadíme: klastické, biochemické a přechodné horniny.

Metamorfované horniny vznikají přeměnou již zmíněných dvou hornin v důsledku působení vysokého tlaku nebo teploty. Členíme je na kontaktně metamorfované a regionálně metamorfované horniny (Pavlů 2018).

### 3.1.2 Klima

Je důležitým faktorem, který ovlivňuje směr, rychlost a intenzitu pochodů v půdě (Tomášek 2007). Působí na rychlost zvětrávání, vodní režim, vegetační pokryv a délku vegetačního období. (Pavlů 2018). Na teplotě, množství a rozvržení srážek během roku závisí, zda dojde k vynášení látek vztlínajících vodou, nebo k vyluhování (Tomášek 2007). Důležitá je i doba trvání a míra kolísání klimatických podmínek. Při dostatečném množství srážek je možný vznik více půdních horizontů (Pavlů 2018).

Podnebí na našem území se odvíjí od polohy v mírném klimatickém pásmu. V některých částech území mohou být poměry rozdílné a vedou k odlišnému vývoji půd daného území. Ovlivněno je nadmořskou výškou, ale i expozicí k převládajícímu vzdušnému proudění a na dalších faktorech.

Charakter podnebí je dán průměrnými teplotami území a jejich průběhem během roku. Dále ročním úhrnem srážek a jejich distribucí. Uplatňovat se může i mocnost a délka trvání sněhové pokrývky, větrný režim a další.

Klima na území České republiky lze označit za subatlantické na západě a subkontinentální na východě. Obecně lze konstatovat, že klima teplé oblasti je příznivé černozemnímu půdotvornému procesu. V oblasti mírně teplé je příznivé k tvorbě vnitropůdního zvětrávání a illimerizačnímu procesu. Klima v chladné oblasti způsobuje uplatnění pochodu podzolizačního (Tomášek 2007).

### 3.1.3 Biologický faktor

Působí jako dodavatel organické hmoty výchozího materiálu k tvorbě humusu. Ovlivňuje tak mikrobiální život v půdě (Tomášek 2007). Živé půdní organismy dělíme do dvou skupin. První jsou organismy žijící pouze částí těla v půdě. Mezi ně řadíme veškeré vyšší rostliny, které na půdu působí kořeny do různých hloubek a vzdáleností. U rostlin dochází k transpiraci, která ovlivní vlhkostní a živinový stav půdy. Mohou zabránit i půdní erozi. Celou částí těla žije v půdě edafon. Jeho množství je ovlivněno zrnitostním a chemickým složením půdy. Organismy se zúčastňují na tvorbě půdní struktury, zpřístupňování živin a na sanitární funkci (Pavlů 2018). Významně se tedy podílí na zpracování odumřelé organické hmoty. Dále způsobuje mísení půdní hmoty a může ovlivňovat drenáž půd (Tomášek 2007).

### 3.1.4 Podzemní voda

Spolu s povrchovou vodou ovlivňují celkové vláhové poměry v půdě. Velký obsah vody v půdě může způsobit fyzikálně-chemické a chemické změny například oglejení a glejové procesy. Vysoká vlhkost zpomalí rozklad organických látek, a naopak způsobí jejich hromadění. Pokud je podzemní voda bohatá na rozpuštěné látky, může zapříčinit zasolení půdy.

Stupeň ovlhčení půdy při genezi ji rozděluje na anhydromorfní, u nichž se ovlhčování neprojeví, semihydromorfní, kde došlo k sezónnímu převlhčení svrchní části půdy povrchovou vodou. A v poslední řadě hydromorfní, u kterých se při vzniku významně podílela voda převážně podzemní (Tomášek 2007).

### 3.1.5 Vliv člověka

Člověk působí na půdu dlouhodobě v určité kvalitě a intenzitě (Pavlů 2018). Ovlivňuj jí jak pozitivně, tak negativně. Mezi pozitivní vlivy patří: zvyšování hloubky prohumózněné vrstvy, změny ve fyzikálních, fyzikálně-chemických či biologických vlastnostech půdy. Naopak negativní vliv má kultivační činnost, která přináší: nežádoucí úbytek humusu v proorávané vrstvě, zhutňování, erozi půdy a kontaminaci cizorodými xenobiotickými látkami (Tomášek 2007). Tyto vlivy se týkají půd přirozeně vzniklých. Člověk má ovšem na starost i vznik nových půd například rekultivací skládek navrstvením zeminy. Kdy použitým materiálem ovlivní vlastnosti půdy. Proto rozdělujeme půdy ovlivněné člověkem a člověkem vytvořené (Pavlů 2018).

### 3.1.6 Konfigurace terénu

Působí hlavně na ostatní půdotvorné činitele a to na: klima v závislosti na nadmořské výšce a expozici stanoviště, vodní režim území, rozložení matečních substrátů. Na půdu samotnou působí ovlivňováním intenzity infiltrace a prostřednictvím eroze a akumulace. Půdy na našem území jsou určovány právě nadmořskou výškou území, rázem klimatu a původním vegetačním krytem. Půdy úzce spjaté s určitým výškovým pásmem se nazývají zonální. Vytváří převážně souvislé výškové pásmo. Větší část našich nejvýznamnějších půd (jako např. černozem, hnědozem) do této skupiny patří. Azonálními označujeme půdy (např. půdy aluvionů) méně závislé na výškových a bioklimatických poměrech. Imtrazonální jsou půdy (př. bazické vyvřeliny) nezávislé na nadmořské výšce a bioklimatických poměrech. S nadmořskou

výškou je spjata i svažitost terénu. Společně ovlivňují půdní kryt zejména prostřednictvím denudace a vodní i větrnou erozí (Tomášek 2007).

### 3.1.7 Stáří půdy

Označuje časový úsek, po který na půdu nerušeně působí soubor přibližně stejných půdotvorných faktorů. Stáří se poté projeví ve zralosti půdy (Tomášek 2007). Na našem území se většina půd vytvořila v období holocénu a patří do skupiny monocyklických půd s recentním vývojem. Jejich stáří se odhaduje na 10-15 000 let. Klimatické podmínky se v průběhu času měnily. Například oteplení způsobilo sušší podnebí. V době před 10 000 lety vznikla černozem v rozsáhlých lesostepních oblastech. Postupem času před 6-8 000 lety bylo podnebí vlhčí. Vlhko způsobilo rozmach dřevin a promývání půdy. To vedlo k větší diferenciaci půdního profilu a vývoji hnědozemí. Na konec ke stabilizaci podmínek došlo před 3 000 lety (Pavlů 2018).

## 3.2 Funkce půdy

V současné době se klade důraz na půdní funkce v krajině, které mají základní rozdělení na produkční a mimoprodukční (Pavlů 2018).

Funkce:

- Produkční
- Mimoprodukční
  - Prostorovou
  - Hydrologickou
  - Vodohospodářskou
  - Ekologickou
  - Sanitární a hygienickou
  - Pufrační
  - Transformační
  - Sociální a kulturní

### 3.2.1 Produkční funkce

Zásadní funkce, jelikož je půda zdrojem rostlinné a živočišné produkce (Bičík et al. 2009). Produkce je spojena s výnosem. V souvislosti s touto funkcí je nutné zmínit úrodnost, která je formulována jako schopnost půdy poskytnout životní podmínky pro rostliny a edafon. Určují ji fyzikální, fyzikálně chemické, chemické a biologické vlastnosti půdy. Úrodnost dělíme na přirozenou – která je dána vývojem, efektivní – do níž zasahuje člověk například hnojením a umělá – u půd uměle vytvořených člověkem.

### 3.2.2 Mimoprodukční funkce

Mnoho důležitých funkcí pro člověka patří právě do mimoprodukčních funkcí. Pokud by došlo k jejich porušení mělo by to velké následky (Pavlů 2018).

### 3.2.2.1 Prostorová funkce

Půda je prostorovou základnou pro různé socioekonomické aktivity člověka.

### 3.2.2.2 Hydrologická a vodohospodářská funkce

Důležitá úloha, co se týče vodního režimu krajiny. Půda je infiltračním a influkčním prostředím pro atmosférické srážky a zároveň nejdůležitějším prostředím pro jejich retenci, drenáž a akumulaci. Považujeme ji za zásobárnu vody k napájení vodních zdrojů. V našich podmínkách je to velmi klíčová funkce, protože jsme odkázáni právě na vodu z atmosférických srážek, která se infiltruje do půdy a představuje pak hlavní zdroj vody.

Retenční funkce označuje schopnost půdy dočasně zadržovat vodu. Projevuje se zadržováním vody v povrchových depresích různé velikosti, v pokravné vegetační a případně kulturní vrstvě povrchu krajiny (př. mokřady). Nejdůležitější je zadržování v gravitačních a semikapilárních pórech půdy.

Hydrologická akumulární funkce označuje zadržování vody v bezodtokových terénních depresích, mokřadech, jezerech, ve zvodnělých vrstvách hornin a půdě. Akumulační schopnost krajiny limituje její ekologické vlastnosti a zemědělské a vodohospodářské využití.

Drenážní schopnost půdy představuje potenciální množství vody, které povrchovým či podpovrchovým odtokem je krajina schopná odvést z jednotky plochy za jednotku času.

### 3.2.2.3 Ekologická funkce

V půdě mají rostliny možnost zakotvit a přichytit se, tvoří se v ní zásoby vody a minerálních látek. Tím, že umožňuje život rostlinám i jiným organismům, plní další nezastupitelné ekologické funkce a má mimořádný význam pro uchování genetického potenciálu těchto organismů.

### 3.2.2.4 Sanitární a hygienická funkce

V půdě dochází k významnému přírodnímu látkovému koloběhu. Je prostředím pro řadu látkových a energetických přeměn, filtračních pochodů a pochodů samočisticích včetně transformace odpadů (Bičík et al. 2009). Pro lidstvo je důležitá při pohřbívání, jelikož se v půdě nešíří nemoci (Pavlů 2018).

### 3.2.2.5 Pufrační funkce

Schopnost půdy odolávat změnám půdní reakce při okyselování či alkalizování. Projeví se odporem půdy proti změně koncentrace vodíkových iontů. Pokud se pH půdy extrémně nemění pod vlivem malých dávek kyselin nebo zásad, tak vykazuje dobrou pufrační schopnost. Pufrovitost je podmíněna fyzikálně chemickými procesy na aktivním povrchu. Úzce souvisí s: obsahem půdních koloidů s vysokou adsorpcí, velikostí sorpčního nasycení, s obsahem uhličitánů v půdě a přítomností fosfátů.

Nedostatečnou pufrovitost lze zlepšit péčí o humus, vápněním, slínováním nebo melioračními opatřeními, kdy se aplikuje montmorillonitická zemina. V neposlední řadě nepoužíváním fyziologicky kyselých hnojiv. Na změnu půdní reakce jsou totiž kořeny

některých plodin velmi citlivé. Pokud se mění půdní reakce velmi rychle, klesá intenzita jejich biochemických procesů a dochází ke snižování produkce biomasy a výnosů.

Význam má tato funkce v případě kyselých dešťů, kdy je půda schopna ho neutralizovat.

#### 3.2.2.6 Transformační funkce

V půdě dochází k rozkladu organických látek na nejjednodušší minerální složky. Také k mikrobiálně generovaným polykondenzacím humusových látek, kde výsledným produktem jsou komplikované organické struktury, které jsou stabilnější než látky humusové.

Heterotrofní organismy získávají energii hlavně díky mineralizaci. K úplné mineralizaci dojde postupnou činností různých mikrobů. Výslednými produkty jsou  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Humus můžeme popsat, jako skupinu látek na bázi rozvětvených polymerů spirální struktury s různě obsazenými funkčními skupinami. Jedná se o jednu z nejdůležitějších složek půdy, kvůli vysoké kationtové výměnné kapacitě.

#### 3.2.2.7 Sociální funkce půdy

Asi jedna z mála funkcí, o kterou se většina lidí zajímá a zná ji, jelikož se jedná o vlastnictví půdy. Celospolečenským zájmem je udržet její produkční schopnost. Obzvláště významnou sociální funkci má v odlehlých oblastech daleko od velkých měst, jako hlavní zdroj obživy a pracovních příležitostí.

#### 3.2.2.8 Kulturní funkce půdy

Vazba člověka na půdu se datuje již od počátku tzv. neolitické revoluce. Kdy dochází k změně způsobu života a v oblastech Starého světa se stává člověk zemědělcem. Začíná pěstovat kulturní plodiny, chovat domácí zvířata, vyrábět nástroje a keramické nádoby, budovat pevné domy. Od této chvíle byl člověk s půdou pevně spjat. A stává se pro společnost nenahraditelnou při obživě.

Funguje jako depozitář, kde se uchovávají známky přírodního a civilizačního vývoje. Představuje tak výsledek tisícileté kultivační činnosti našich předků v zemědělství. Vazba na půdu spadá mezi prvotní impulsy k vzniku přirozené dělby práce. Tento vliv přetrvává i do dnešní doby a promítá se do rozvoje strukturované společnosti.

Mezi hlavní úkoly ochrany přírody řadíme na přední místo právě ochranu půdy. Evidence půdy je vedena v systému LPIS, kde se registruje produkční blok, který umožňuje cílenou podporu prioritních věcných záměrů zmíněné ochrany půdy. Důležitým podkladem byla Zpráva o stavu půd Evropy, kterou schválila Rada Evropy a Evropský parlament v dubnu 2002. Proto v této souvislosti řadíme půdu České republiky do půdních zdrojů EU a tím pádem jakýkoliv místní deficit ochrany a péče je součástí celkového deficitu (Bičík et al. 2009).

### 3.3 Půdní vlastnosti a indikátory

Půdní systém je tvořen pevnou, kapalnou a plynnou složkou. Půdní vlastnosti lze nazývat indikátory. Indikátory stavu a vývoje půd představují vybrané fyzikální (barva, struktura, zrnitost, voda v půdě, konzistence, novotvary, měrná hmotnost půdy, objemová hmotnost půdy, pórovitost), chemické a fyzikálně chemické (obsah organické hmoty, půdní reakce, sorpce,



oxidačně-redukční potenciál půdy, obsahy živin) a biologické vlastnosti. K hodnocení plnění ekologických, produkčních a technických vlastností slouží odvozené ukazatele indikátorů. Z charakteristik a ukazatelů se stávají indikátory, pokud máme referenční hodnoty (statistické nebo legislativně stanovené hodnoty) nebo metody k vyhodnocení konkrétně zjištěných hodnot. Indikátory nebo skupinu indikátorů musíme vyhodnocovat vzhledem k funkci půdy, kterou má plnit.

### **3.3.1 Barva**

Pro popis půdního profilu je velmi důležitá. Vztahuje se k individuálním horizontům. Klíčovou rolí při určování barvy v povrchových humusových horizontech má množství organické hmoty. U podpovrchových a substrátových horizontů to pak je přítomnost minerálů a oxido-redukčních podmínek. Stanovíme ji podle Munsellovy barevné škály, kde se určuje barva (hue), sytost (chroma) a odstín (value). Barva je jedním z kritérií používaných v taxonomii půd a v rozlišení diagnostických horizontů.

### **3.3.2 Struktura**

Klasifikuje velikost, tvar, vyvinutost a stav povrchu půdních agregátů a prostory mezi nimi. Mají na ni vliv faktory fyzikální (např. mrznutí), chemické (např. mineralogická skladba), biologické (např. působení půdních živočichů) (Bičík et al. 2009). Vytváří se stmelěním jednotlivých částic do větších agregátů jílovou substancí, organickými látkami nebo sloučeninami železa. Další možností vzniku jsou objemové změny půdy při změnách vlhkosti. Stabilitou struktury popisujeme to, jak pevně jsou agregáty stmelené (Tomášek 2007). Strukturu stanovujeme pro jednotlivé horizonty. Základní typy struktury dělíme na: kulovitou, polyedrickou, hranolovitou, deskovitou (Bičík et al. 2009).

### **3.3.3 Zrnitost**

Značí velikost a poměrové zastoupení jednotlivých frakcí (Bičík et al. 2009). Frakce dělíme podle velikosti na: jílové (do 0,002 mm), prachové (0,002-0,05 mm) a pískové (0,05-2 mm). Frakce o velikosti větší než 2 mm se nazývají skelet (Pavlu 2018). Zohledňujeme i tvar částic, kdy u hrubých částic je kulový, u jemných a koloidních částí převážně šupinkový a vláknitý. U kulových částic dochází k bodovému dotyku, mají malé přitažlivé síly a tím pádem je půda sypká, drobivá, propustná. Jemné šupinky a vlákna se dotýkají velkým povrchem, koheze je silná, půdy jsou tuhé, ulehlé, málo propustné.

Její význam jako analytická charakteristika a morfologický znak plyne z jejího vlivu na téměř všechny ostatní půdní vlastnosti. Působí na poměr vody a vzduchu v půdě, poměr kapilárních a nekapilárních pórů, obsah a složení edafonu, velikost povrchové plochy a energie, adhezi (přilnavost), kohezi (soudržnost), chemické, fyzikálně chemické i biochemické procesy v půdách.

Zrnitostní složení ovlivňuje zvětrávání jak půdotvorného substrátu, tak i minerální části. Jemnozrnné substráty s velkou plochou oproti hrubozrnným zvětrávají snáz. Zrnitostní složení ovlivní sorpční schopnost půdy. Přesněji řečeno různá velikost a různý obsah částic vytvoří rozdíly v sorpci: rozpustných částí půdního roztoku, iontů, molekul a peptizovaných koloidů.

Hlinité a jílovité půdy obsahují mnoho jílu s velkým specifickým povrchem, které způsobí větší sorpční schopnost půdy než u písčité.

Ovlivní i biologickou aktivitu tedy i způsob rozkladu a přeměn organických látek. U těžší jemnozrné textury, způsobuje nedostatek kyslíku menší biologickou činnost. Ve větší míře v ní probíhají anaerobní transformace organických látek a jsou málo záhřevné. U hrubozrné textury – písčité dochází k rychlému a úplnému rozkladu organických látek aerobními organismy a oproti jílovým jsou záhřevné (Jandák et al. 2001).

Ke klasifikaci se používá praktická Nováková klasifikace, kterou je možno vidět v Tabulce 1. O něco přesnější klasifikaci uvádí Taxonomický systém půd ČR. Pokud půdu zařadíme podle zrnitosti je možné určit i půdní druh, který představuje důležitý parametr ovlivňující další vlastnosti (Bičík et al. 2009).

Tabulka 1: Půdní druhy podle Nováka (Pavlů 2018).

Půdní druh	zkratka	obsah I. kategorie	
Písčítá	p	< 10%	Lehké půdy
Hlinito písčítá	hp	10 – 20 %	
Písčitohlinitá	ph	20 – 30 %	Středně těžké půdy
Hlinitá	h	30 – 45 %	
Jílovitohlinitá	jh	45 – 70 %	Těžké půdy
Jílovitá	jv	60 – 75 %	
Jíl	j	> 75 %	

### 3.3.4 Skeletovitost

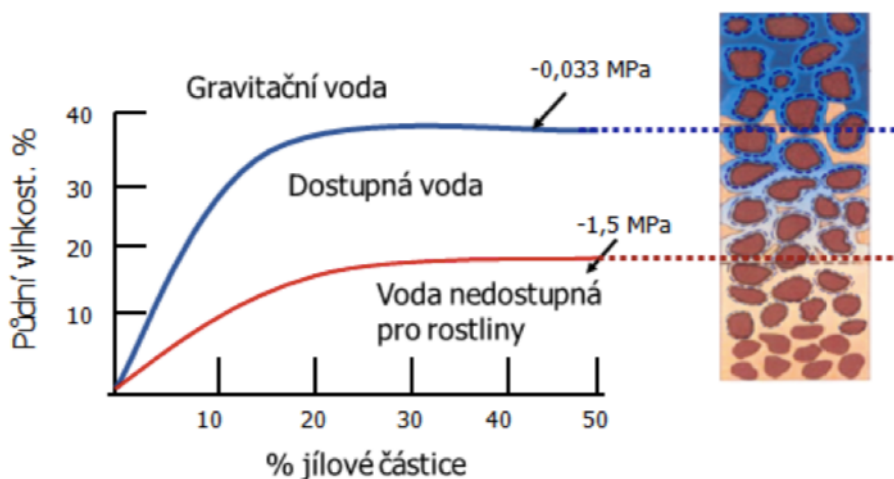
Neboli zastoupení hrubších částic v půdě s průměrem větším než 2 mm. Dělí se na hrubý písek (průměr zrn 2-5 mm), drobný štěrky (5-10 mm), hrubý štěrky (10-50 mm), kameny (50-500 mm), balvany (>500 mm) (Bičík et al. 2009).

### 3.3.5 Voda v půdě

Pokud prostředí obsahuje vodu, je splněna podmínka existence a rozvoje života. Je jednou z hlavních složek všech organismů a zároveň prostředím, v kterém probíhají životní pochody. Její množství v půdě patří mezi nejdůležitější faktory, které ovlivňují biologickou aktivitu půdy a růst rostlin. Kořeny rostlin a mikroorganismy přijímají transportem vody rozpuštěné potřebné látky přes membránu. Množství vody v půdě řídí difúzi plynů, pH, teplotu a naředění půdního roztoku (Šantrůčková 2014). Schopnost půdy zadržovat vodu, patří mezi její důležité vlastnosti. Odvíjí se od zrnitosti a struktury půdy viz. Obrázek 1. Její aktuální zásoba závisí na srážkách, které se do půdy infiltrují a výšce podzemní vody, která naopak půdou vztlíná (Bičík et al. 2009). Dále na podzemním a povrchovém přítoku, který dotuje hodnocený objem půdy

v horizontálním směru. Specifickým antropogenním zdrojem jsou závlahy. Malé množství vody se do půdy dostává kondenzací vodní páry a rozkladem odumřelých těl živočichů a rostlin.

Naopak k vytráčení vody z půdy dochází nejčastěji evaporací, transpirací a podzemním odtokem. Na základě zmíněných získaných informací můžeme posoudit množství vody v půdě. Vodu označujeme jako půdní roztok z chemického hlediska a jako půdní vodu z fyzikálního hlediska (Pavlů 2018).



Obrázek 1: Závislost dostupnosti vody na půdním druhu (Šantrůčková 2014).

### 3.3.5.1 Půdní roztok

Půdní roztok má velice proměnlivé složení v prostoru a čase. Složení ovlivňuje řada procesů odehrávajících se v půdě i mimo ni. Záleží na: složení podzemní, povrchové, srážkové a závlahové vody, teplotě a proudění vzduchu, které mají vliv na evaporaci a kondenzaci, transpiraci rostlin a selektivním příjmem živin a vylučováním organických látek, půdní reakci, biologické aktivitě mikroorganismů a složení organického a minerálního podílu půdy. Hlavní funkcí roztoku je pohyb látek, průběh chemických reakcí, přístupnost a složit jako zdroj látek pro organismy. Vytváří životní prostředí pro organismy a zprostředkovává některé půdotvorné procesy. Ovlivňuje biologickou činnost a transportní procesy, kdy v suchých půdách dochází k jejich zpomalení nebo potlačení. Množství organické a minerální složky závisí na klimatu. Kdy ve vlhkém klima s hydromorfní půdou převládá organický podíl. Oproti tomu v semiaridních (polosuchých) a semihumidních (polovlhkých) částech je podíl v půdním roztoku více méně vyrovnaný. V suchých oblastech pak převažuje rozpuštěná minerální složka (Pavlů 2018).

### 3.3.5.2 Půdní voda

Na její množství a pohyb působí řada sil, vlastnosti porézního prostředí, zrnitost a struktura půdy, chemické a fyzikálně chemické vlastnosti. Množství vody obsažené v půdě nazýváme půdní vlhkost. Můžeme ji určit ve třech formách. Objemová vlhkost ( $\theta$ ) představuje poměr objemu vody ( $V_w$ ) ( $\text{cm}^3$ ) k celkovému objemu půdy ( $V$ ) ( $\text{m}^3$ ). Vztah je vyjádřen v rovnici (1):

$$\theta = \frac{V_w}{V} (\cdot 100 \%) \quad (1)$$

K jejímu zjištění slouží neporušený půdní vzorek, který odebereme pomocí Kopeckého válečku.

Hmotnostní vlhkost ( $W$ ) vyjadřujeme jako poměr hmotnosti vody ( $m_w$ ) (kg) ku hmotnosti vysušené půdy ( $m_d$ ) (kg) v rovnici (2):

$$w = \frac{m_w}{m_d} \quad (2)$$

Relativním vyjádřením půdní vlhkosti ( $W_{rel}$ ) studujeme, kolik půdních pórů z celkového podílu pórovitosti ( $P$ ) je vyplněno vodou a kolik vzduchem (Pavlů 2018). Vztah je vyjádřen v rovnici (3):

$$W_{rel} = \frac{\theta}{P} \quad (3)$$

Pro nejpřesnější laboratorní výsledky se využívá gravimetrické měření, kdy u půdního vzorku zjišťujeme rozdíl hmotnosti mezi jeho vlhkým a vysušeným stavem. Jedná se o náročnou metodu, protože se vzorky musí odebrat, transportovat, vysoušet a jejich měření nelze sledovat kontinuálně. Z tohoto důvodu byla vyvinuta řada nepřímých metod, které lze využít ihned v terénu. Jejich pomocí neměříme přímo vlhkost, ale veličiny, které jsou vlhkostí ovlivněny. Nejvíce používané je měření elektrické vodivosti půdy. Čím vlhčí půda je, tím lépe vede elektrický proud (Pavlů 2018). V terénu se využívá i pocitu, který zemina vyvolá po stisku zeminy v rukou (Bičík et. al. 2009). Mezi další metody patří: TDR metoda, TDT metoda, neutronová, gamaskopická a v rozvoji je určení na základě dálkového průzkumu země (Pavlů 2018).

### 3.3.5.3 Síly působící na půdní vodu

Na půdní vodu působí mnoho sil, které podněcují přitažlivé síly mezi vodou a pevnými půdními částicemi. Dále síly podmíněné přítomností volných iontů v půdní vodě, hydrostatickým tlakem, gravitací a tlakem vzduchu. Podle převládající síly rozdělujeme vodu na tři základní formy: gravitační, kapilární a adsorpční.

Gravitační voda, jak její název napovídá, se pohybuje právě působením gravitační síly a nachází se ve velkých pórech (Pavlů 2018). Odtéká z větších pórů do spodních vrstev vod (Šantrůčková 2014). Je se o přebytek vody nad polní vodní kapacitou (Šimek 2005). Není vázaná na pevnou půdní složku. V půdě bychom ji našli pouze dočasně po přehánkových epizodách, závlahách a při kolísání hladiny podzemní vody (Pavlů 2018). Protože z půdy rychle odtéká, nemohou ji rostliny využít (Šimek 2005). Patří mezi důležité pedologické činitele, protože v důsledku jejího rychlého pohybu půdním profilem, přesouvá látky a koloidy.

Dalším typem je voda kapilární jejíž pohyb je ovládán kapilárními silami. Ty vznikají, pokud síly kohezní a adhezní převyšují sílu gravitační. Dochází tak ke vzlínání vody, ale i k jejímu zadržení. Síly poutají vodu pevně, proto po přeháňkách nedochází k jejímu odtoku do velkých hloubek. Kapilární voda je velmi důležitá pro rostliny a pro život v půdě i na ní.

Adsorpční voda je pevně poutána adsorpčními silami k povrchu půdních částic. Jedná se o vodu, která se v půdě nepohybuje a nemá rozpouštěcí schopnosti.

Směr pohybu vody je určován silou, která na ni působí. K definování směru pohybu je nutné určit energii vody v daném bodě (Pavlů 2018).

#### 3.3.5.4 Retenční křivka

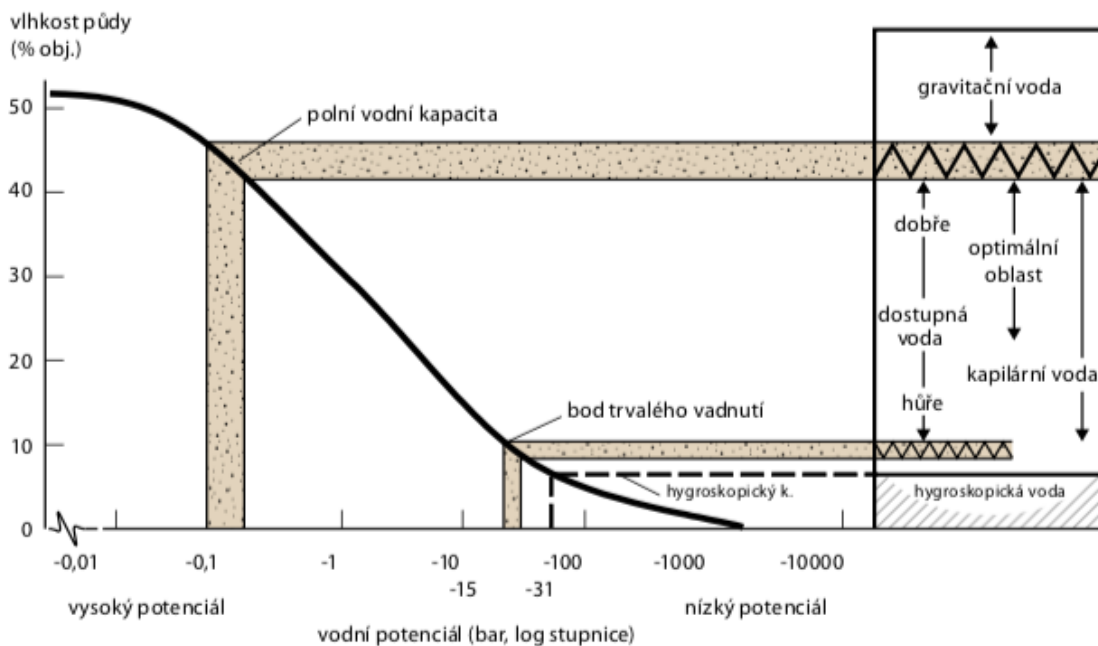
Základní hydraulická charakteristika vyjadřující vztah mezi objemovou půdní vlhkostí a tlakovou výškou (Kodešová et al. 2015). Je výsledkem propojení informací o vlhkosti půdy a jejích energetických charakteristikách. Popisuje důležitou schopnost půdy – retenci. Jedná se o grafické vyjádření vztahu mezi vlhkostí půdy a negativním potenciálem půdní vody. Dále ji lze po vyhodnocení využít, jako vstupní informaci k výpočtu dalších hydrofyzikálních charakteristik. V praxi ji používáme k určení dostupné vody a pro návrh závlah či naopak k návrhu odvodnění. Její průběh ovlivňují půdní vlastnosti: zrnitost, obsah organické hmoty a struktura (Pavlů 2018).

#### 3.3.5.5 Hydrolimity

K popisu půdní vlhkosti slouží i hydrolimity viz. Obrázek 2, které popisují její konkrétní stavy:

- Adsorpční vodní kapacita: maximální množství vody poutané adsorpčními silami (Pavlů 2018), obsažená voda v rozmezí mezi adsorpční a kapilární kategorií
- Číslo hygroskopie: maximální množství hygroskopické vody
- Lentokapilární bod: na hranici mezi lehce a těžce pohyblivou kapilární vodou
- Polní vodní kapacita: množství vody po odtoku gravitační vody
- Bod vadnutí: kdy jsou rostliny trvale nedostatečně zásobovány vodou
- Maximální kapilární vodní kapacita: množství zadržené v kapilárních pórech
- Retenční vodní kapacita: maximální množství, které je zadrženo v rovnovážném stavu po nadměrném zavlažení (Bičík et al. 2009).

K polní kapacitě dochází, pokud je 50-80 % kapilárních pórů zaplněno vodou neboli se jedná o optimální vlhkost. Voda je pro rostliny pořád dostupná, ale současně je stále dostatečné množství vzduchu ve zbývajících pórech (Šantrůčková 2014). Větší množství vody, než je polní vodní kapacita je z biologického hlediska pro rostliny škodlivé. Voda nacházející se mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí je pro ně přístupná. Voda pro rostliny nepřístupná má nižší potenciál (méně než -15 bar) (Šimek 2005).



Obrázek 2: Vztah půdní vlhkosti a vodního potenciálu a půdní hydrolimity ve středně těžké půdě (Sáňka et al. 2018).

### 3.3.5.6 Pohyb vody v půdě

Půda a zemina patří mezi nejrozšířenější kapilárně pórovité látky, v kterých dochází k přenosu tekutin a látek. Nasycený přenos probíhá ve vodou naplněných pórech. Nenasycený přenos se odehrává, pokud je pouze část pórů naplněná vodou a zbytek vzduchem (Jandák et al. 2001). Půdní voda má určitou energii. Má sklon měnit svůj stav a pohybovat se z vyšší volné energie – vlhké půdy do nižší volné energie – suché půdy. Čím více vody je obsaženo v půdě, tím snadněji se uvolňuje a odtéká. Naopak pokud je v půdě vody málo, tak se jí síly snaží poutat co nejvíce. Ovlivňuje to i struktura půdy. Při stejné vlhkosti je voda nejvíce poutána v jílovité půdě oproti hlinité a písčité. Vodní potenciál – rozdíl mezi volnou energií vody v půdě a volnou energií čisté vody. Představuje vodu přístupnou pro rostliny. Při stejné dostupnosti vody obsahuje těžká jílovitá půda mnohem větší množství vody než půda lehká nebo střední (Šimek 2005).

Na pohyb působí hydraulická vodivost neboli propustnost půdy. Proces je to velmi složitý, protože půda představuje heterogenní porézní prostředí, v kterém se nepohybuje čistá voda, ale roztok. Dále proces ovlivňují evaporace, transpirace a změny teplot. Proudění je různé v nasycené a nenasycené půdě. Rovněž rozlišujeme proudění ustálené, kdy je tok konstantní a neustálené, kdy se tok mění v závislosti na čase například při transpiraci. Při modelování a hodnocení výsledků, lze některé veličiny vynechat (např. různá teplota) pro jejich zjednodušení. Ve většině případů se uvažuje, že je prostředí homogenní, a tedy hydraulická vodivost je ve všech směrech stejná.

Infiltrace, schopnost půdy vsakovat vodu představuje zvláštní situaci neustáleného proudění v nenasyceném prostředí. Hlavním zdrojem vody k distribuci jsou atmosférické srážky a závlahy. Kvalita infiltrace závisí na počáteční vlhkosti půdy, struktuře, hydraulické vodivosti půdy, výskytu brzdících vrstev v profilu, intenzitě a době trvání srážek. Ideální infiltrace probíhá na vlhké půdě při menší intenzitě srážek. Při případné neschopnosti půdy

vodu infiltrovat dochází k povrchovému odtoku, který vede až k erozi půdy či záplavám. K určení infiltrace používáme rychlost infiltrace, kterou určuje objem infiltrující vody jdoucí přes povrch za čas. Nebo kumulativní infiltrace, kterou znázorňuje množství vody zasáknuté do půdy za určitou dobu (Pavlů 2018).

### 3.3.6 Konzistence půdy

Určuje stupeň vzájemného poutání částic mezi sebou a jejich ulpívání na jiné předměty. Rozdělujeme je podle

- Stupně lepivosti: silně lepivá, nelepivá
- Stupně plasticity: silně plastická, neplastická
- Stupně pevnosti: velmi tuhá, kyprá (Bičík et al. 2009).

### 3.3.7 Novotvary

Jsou výsledkem chemických, fyzikálně-chemických a biologických procesů (Bičík et al. 2009). U písčitého substrátu je významná tvorba ortšejnu – stmelenece při podzolizaci. Bročky neboli železité a manganové konkrce vznikají u semihydromorfních a hydromorfních půd. Cicváry – zhuštění uhličitanu vápenatého jsou typické pro půdy na spraši. Používáme je při diagnostice pro kalcikový horizont a k posouzení eroze černozemě. Cicváry najdeme v hloubce 80-120 cm. Pokud se nachází v menší hloubce je povrch oderodován. Naopak ve větší hloubce znamenají jeho akumulaci (Sáňka et al. 2018).

### 3.3.8 Měrná hmotnost půdy

Vyjadřuje hmotnost 1 m<sup>3</sup> pevné neporézní zeminy v tunách (t.m<sup>-3</sup>) či gramech (g.cm<sup>-3</sup>) tedy poměr hmotnosti k objemu. Popisuje hmotnost objemu pouze půdní části bez vzduchu. Je ovlivněna mineralogickým složením a obsahem organické hmoty. Vyšší hodnotu mají minerální půdy oproti půdám s vyšším obsahem organické hmoty. Nižší měrná hmotnost je u humusových horizontů zemědělských půd, nadložních organických horizontů lesních půd. Vyšší je u hlubších minerálních horizontů (Sáňka et al. 2018).

### 3.3.9 Objemová hmotnost

Hmotnost 1 m<sup>3</sup> půdy v přirozeném uložení. Oproti měrné hmotnosti je nižší a závisí na půdních vlastnostech. Je důležitá jako indikátor míry negativních faktorů zhutnění a pedokompakce. Působí na příměs skeletu a velikost jeho částic, přítomnost různých dutin i složení porostů (Bičík et al. 2009).

Je ovlivňována výskytem půdních pórů, mezer, zrnitostí, strukturou půdy a vlhkostí. U pórovitých materiálu je objemová hmotnost nižší než hmotnost měrná (Sáňka et al. 2018).

### 3.3.10 Pórovitost

Celkové procentuální množství volného prostoru, který není vyplněn pevnými částicemi půdy. Představuje tak 50 % objemu pedonu (Bičík et al. 2009). Póry dělíme podle jejich velikosti na kapilární s průměrem pod 0,2 μm (zaplněny vodou, zadržovanou vztláním), semikapilární v rozmezí 0,2-50 μm (vyplněny vodou a vzduchem) a nekapilární s rozměry nad

50  $\mu\text{m}$  (vyplněny vzduchem, voda z nich odtéká gravitací) (Sáňka et al. 2018). Jejich velikost i tvar se mohou neustále měnit, kdy póry o šířce jednoho milimetru se mohou zmenšit na mikrometr (Kutílek & Nielsen 2015). Čím větší velikost póru tím snazší je tok vody oproti pórům malým (Šimek 2005).

Půdní vzduch má na rozdíl od atmosférického vzduchu jiné složení. Liší se poměrem kyslíku a oxidu uhličitého, kdy na půdní vzduch má vliv půdní mikroflóra a dýchání kořenů rostlin (Sáňka et al. 2018). Vznik takzvaných biopórů probíhá činností žížal a tlakem kořenů rostlin (Kutílek & Nielsen 2015). Objem pórů stanovíme odečtením objemu pevných půdních částic od celkového objemu vzorku v neporušeném stavu. Ovlivňuje pohyb a zadržování vody v půdě a míru provzdušnění půdy. K snížení pórovitosti dojde při procesu utužování půdy (Sáňka et al. 2018). U proudění a transportu látek je důležité vzájemné propojení pórů. Propojením je zajištěna propustnost pro fáze kapalné, plynné i tekuté. Společně systém vyplňují a mají působením hnacích sil dopad na způsob jejich pohybu.

Největší vliv na velikost a tvar pórů má zrnitostní složení (Císlarová & Vogel 2008). Procento pórovitosti se odvíjí od půdního druhu. U písčítých půd se pohybuje mezi 35-45 % a u jemnějších struktur je mezi 40-60 %. Další hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 2. Vliv nemá pouze půdní druh, ale i množství organických látek. Ať už se jedná o rašelinu nebo o humózní půdy, tak u nich se pórovitost nachází mezi 70-80 %. Snížení pórovitosti až o 25-30 % je často způsobené utužením podpovrchových horizontů. Pro růst rostlin je nejvhodnější pórovitost mezi 55-60 % (Šarapatka 2014).

*Tabulka 2: Orientační hodnoty pórovitosti (Císlarová & Vogel 2008).*

Materiál	Pórovitost (%)
šterk hrubý	24-36
šterk jemný	25-38
písek hrubý	31-46
písek jemný	26-53
prach	34-61
jíl	34-60
pískovec	5-30
prachovec	21-41
vápenec, dolomit	0-20
krasový vápenec	5-50
rozpukané krystalinikum	0-10
nerozpukané krystalinikum	0-5
zvětralá žula	34-57
zvětralé gabro	42-45

### 3.3.11 Obsah humusu

Obsah organických látek je důležitý z hlediska úrodnosti půdy a ovlivňuje funkci půdy v celém ekosystému (Bičík et al. 2009). Je složen z rostlinných a živočišných zbytků, které se



nachází v různé fázi rozkladu na půdě, v půdě v různém stupni smíšení. Prochází neustálými chemickými změnami a změnami vlastností i funkcí půdy (Jandák et al. 2001). Organický odpad je přeměňován mikroorganismy až na monosacharidy, peptidy, aminokyseliny a jednoduché fenolické látky. Projde mineralizací. Syntézou produktů mineralizace vzniká humus neboli huminové látky, které dělíme na fulvokyseliny, humínové kyseliny a huminy.

Množství určíme stanovením oxidovatelného organického uhlíku ( $\text{CO}_x$ ) a vynásobením koeficientem 1,724 na humus. Tento výpočet můžeme použít, pokud humus obsahuje 58 % uhlíku. Významné je i kvalitativní složení humusu, které zjistíme výpočtem poměru uhlíku k celkovému dusíku. Nebo poměrem humínových kyselin a fulvokyselin, který je spolehlivějším ukazatelem.

Malé množství organické hmoty v zemědělské půdě je jejím nejzávažnějším projevem degradace. Podle množství obsaženého humusu vyhodnocujeme dodávky organické hmoty a organických hnojiv, ale i k provádění protierozních opatření a k vyhodnocení jejich účinnosti. Na tvorbu humusu mají zásadní vliv přirozené podmínky porostu, klimatu a substrátu. Podle podmínek a intenzity rozkladu se vytváří tři formy humusu: mor, model a mul (Bičík et al. 2009).

### 3.4 Hydraulické vlastnosti půdy

Veškeré důležité hydraulické vlastnosti půdy neboli schopnost zadržovat vodu v půdě jsou ovlivňovány: tlakovou výškou, obsahem vody, hydraulickou vodivostí (Nikodem et al. 2021). K popisu pohybu vody je nutné znát dvě základní hydraulické veličiny nenasycených půd. Jedná se o retenční čáru půdní vlhkosti a křivku hydraulických vodivostí (Kodešová 2005). Retenční čára vyjadřuje závislost mezi tlakovou výškou  $h$  (L) a objemovou půdní vlhkostí  $\theta$  ( $\text{L}^3\text{L}^{-3}$ ). Funkční vztah mezi vlhkostí a kapilární tlakovou výškou označujeme jako retenční křivka. Patří mezi základní hydraulickou charakteristiku pórovitého prostředí, kdy ho charakterizuje z hlediska jeho plnění a vyprazdňování. Tvar křivky je ovlivněn strukturou pevné části a ostatních fází (Císlarová & Vogel 2008). Křivka hydraulických vodivostí upravuje vztah mezi hydraulickou vodivostí  $K$  ( $\text{LT}^{-1}$ ) a tlakovou výškou vody  $h$  či objemovou vlhkostí  $\theta$  viz. Obrázek 3 (Kodešová 2005). Hydraulická vodivost ( $K$ ) se řadí mezi základní vlastnosti půdního prostředí. Jedná se o schopnost půdy vést vodu (Pavlů 2018). Závisí na vlastnostech půdy a množství vody v ní obsažené. Nejvyšší hodnotu naměříme při plném nasycení půdy vodou, kdy jsou veškeré propojené póry vodou naplněny a zapojí se při transportu vody. Příčinou stacionárního proudění za izotermních podmínek je gradient hydraulického potenciálu. K nasycenému ustálenému proudění vody dojde, když se vytvoří ustálený stav proudění směrem k podzemní vodě například při závlaze. Častější případ je proudění v nenasyceném prostředí, ke kterému dochází při: infiltraci, odtoku nebo výparu, kdy množství vody nezůstává stálé a mění se v čase (Jandák et al. 2001). Hydraulická vodivost dále souvisí s rychlostí toku. S vyšší vodivostí se zvyšuje rychlost toku. Rychlost je tedy spojena s velikostí a množstvím pórů – větší póry propustí více vody (Šimek 2005).

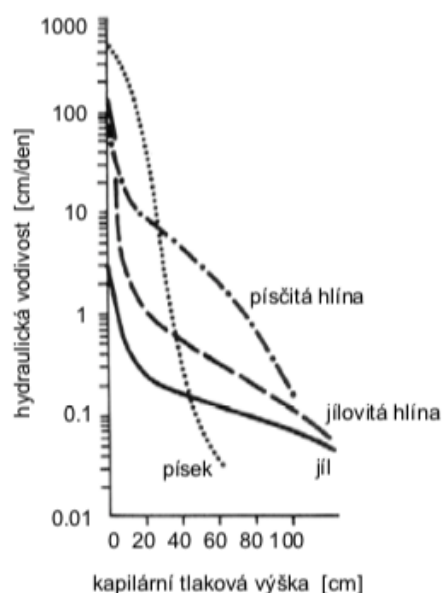
Tlaková výška vyjadřuje vodní potenciál a může vycházet v kladných i záporných hodnotách. U kladné tlakové výšky mluvíme o tzv. hydrostatické tlakové výšce, kde se hodnota potenciálu rovná vzdálenosti bodu pod hladinou podzemní vody. U záporné tlakové výšky

označované jako vlhkostní tlaková výška je formulována v nenasyceném prostředí (Pavlů 2018).

Schopnost půdy zadržovat vodu a křivka hydraulické vodivosti jsou důležité pro hodnocení stavu vody v půdě. Tyto veličiny dále ovlivňují růst rostlin či transport kontaminantů půdou a možné znečištění podzemních vod. Hydraulické schopnosti a struktura u obdělávaných půd se liší v prostoru a čase (Nikodem et al. 2021). Několik studií potvrzuje závislost vybraných vlastností půdy na určitých vlastnostech terénu jako například hloubka horizontu terénu, obsah organického uhlíku, obsah vody v půdě (př. Jakšík et al. 2015), hydromorfni vlastnosti (Wilson et al. 2005), hydraulická vodivost a stabilita agregátu půdy (Nikodem et al. 2021).

V průběhu roku se hydraulické vlastnosti a struktura půd mění v důsledku pravidelného zpracování půdy, hnojení, růstu rostlin a kořenů, vlivu podnebí. Jejich znalost je důležitá při hodnocení vodního režimu a souvisejícího transportu rozpuštěných látek v půdě.

Snižování objemové hustoty, zvyšování konsolidaci půdy a hustoty kontinuálních makropórů má dopad na zvyšování nasycené hydraulické vodivosti. Důvodem může být růst kořenů a jiná biologická aktivita (Kodešová et al. 2015).



Obrázek 3: Závislost nenasycené hydraulické vodivosti na tlakové výšce pro různé půdy (Císlarová & Vogel 2008).

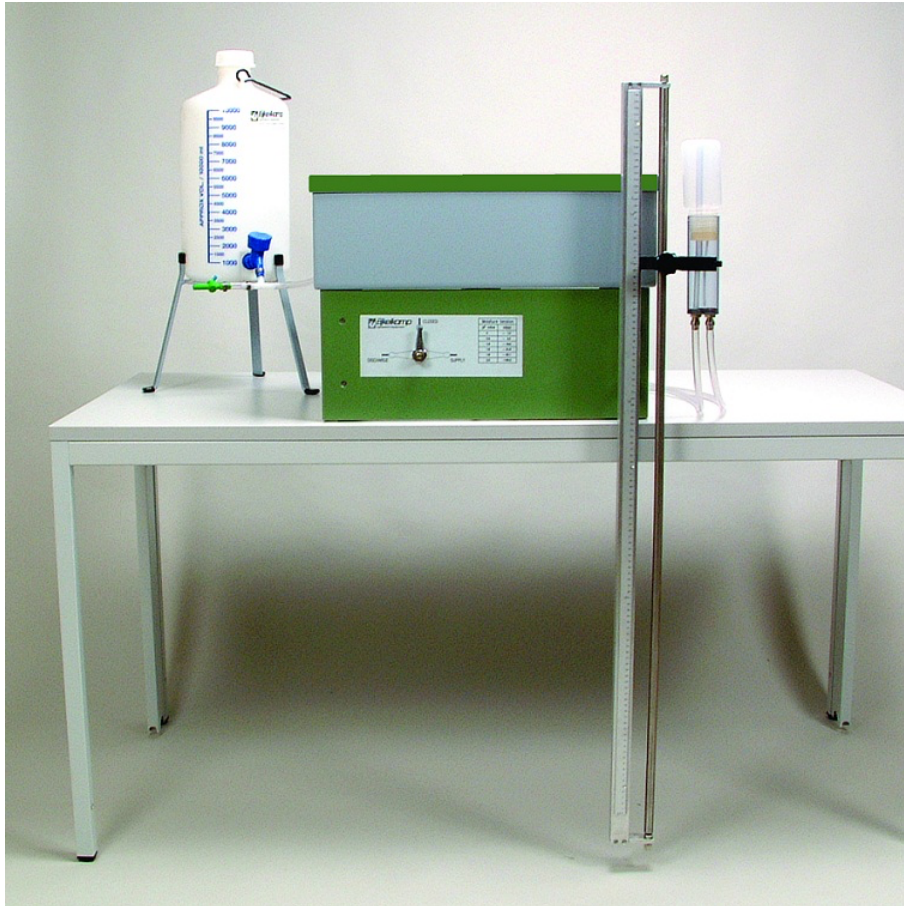
### 3.4.1 Metody stanovení hydraulických vlastností

Stanovujeme pomocí křivky hydraulické vodivosti a retenční čarou. Máme řadu metod na jejich určení. Charakteristiky jsou z pravidla určovány na neporušeném půdním vzorku, který odebíráme válečkem. Nejčastěji se na odběr a určování používají Kopeckého válečky o objemu 100 cm<sup>3</sup>.

#### 3.4.1.1 Stanovení retenčních čar

V laboratoři lze určit pomocí dvou přístrojů přetlakovým anebo podtlakovým. Mezi podtlakové řadíme pískový nebo jílový tank viz. Obrázek 4. Je složen z kontejneru vyplněného

dvěma vrstvami písku, hadičkou a nádobou na vodu. Co se týče vrstvy na dně, tak na úplně nejspodnější vrstvě písku je vrstva jílu a obě jsou nasycené vodou. Vodu dovnitř vedeme z nádoby hadičkou přímo na spodní stranu kontejneru. Neporušené půdní vzorky necháme nasytit na hodnotu objemové vlhkosti blízké nasycení a vložíme do kontejneru, kde dochází k postupným tlakovým krokům k drénování do ustáleného stavu. Gravimetricky zjistíme objemovou vlhkost půdy a odpovídajícími tlakovými výškami danými pod tlakem určíme body čar. Výsledkem jsou křivky retenčních čar.



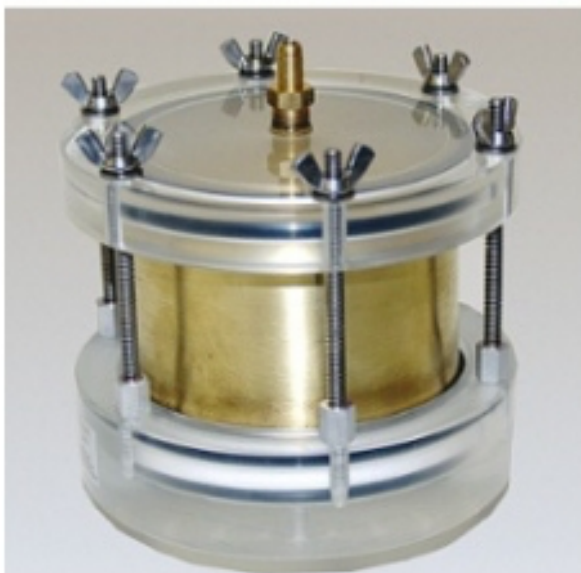
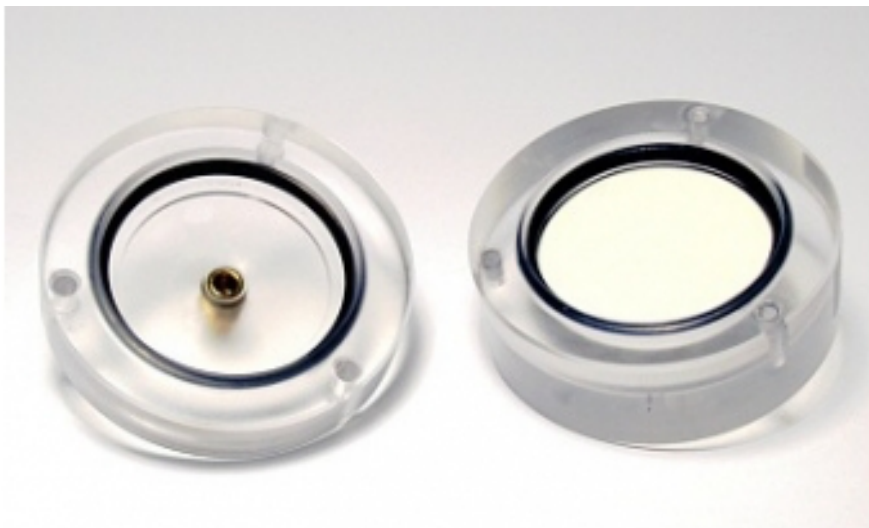
Obrázek 4: Pískový tank (EkoTechnika s.r.o.).

Přetlakový aparát, který můžeme vidět na Obrázku 9 a Obrázku 10 je přístroj s vysokou vstupní hodnotou vzduchu. Skládá se z tlakové nádoby, kompresoru, regulátoru tlaku, polopropustné keramické membrány, manometru, hadičky a byrety. V horní části přístroje je otvor spojený s kompresorem. Vnitřní přetlak vzduchu se nastavuje pomocí regulátoru tlaku a manometru. Vodou nasycenou membránu umístěnou v přetlakovém aparátu spojuje s byretou hadička.

Půdní vzorky jsou umístěny na keramickou membránu a postupně se u nich provádí v několika krocích tlakové drénování. Pomocí změřených hodnot stanovíme drenážní křivku  $\theta(h)$ . Výsledné body retenčních čar jsou dány objemovými vlhkostmi půdních vzorku, které zjistíme gravimetricky a odpovídajícími tlakovými výškami danými hodnotou přetlakem vzduchu (Kodešová et al. 2015).

Unikátním přístrojem je Tempská cela viz. Obrázek 5, která je přetlakovým i podtlakovým aparátem zároveň. Keramická destička nasycená vodou je spojena s prostorem

mezi hladinou vody v byretě prostřednictvím hadičky, jako je to u přetlakového aparátu. Tlakovou výšku nastavíme polohou byrety pod úroveň ve středu půdního vzorku či zdrojem přetlaku vzduchu. Průběh křivky zaznamenáváme pomocí vložení neporušených nasycených vzorků do cely, kde jsou v několika tlakových krocích drénovány do ustáleného stavu. Zaznamenáme kumulativní odtok vody ze vzorku. Po dokončení tlakových kroků může být vzorek znovu v několika krocích zvlhčován. Měření bude kumulativní přítok vody do vzorku. V tomto momentu experimentu jsou studovány zvlhčovací větve retenčních čar půdních vlhkostí. Body těchto retenčních čar jsou dány objemem vody odtoklé a přiteklé z nebo do byrety a tlakovými výškami danými hodnotou podtlaku vody nebo přetlaku vzduchu.



Obrázek 5: Tempská cela (Soilmoisture Equipment Corp. 1995.).

Výparovou metodou viz. Obrázek 6 stanovíme retenční čáry, kdy je půdní vzorek plně nasycený vodou položen na váhu, která váží úbytek vypařené vody v čase. Uvnitř vzorku jsou umístěny tenzometry, které měří tlakovou výšku. Body výsledných retenčních čar jsou udávány objemovými vlhkostmi půdních vzorků zjištěnými bilancí vypařeného objemu vody a tlakovými výškami (Kodešová et al. 2015).



Obrázek 6: HYPROP 2 (UMS GmbH München.).

#### 3.4.1.2 Stanovení hydraulických vodivostí

Nasycená hydraulická vodivost je závislá na půdní struktuře, zato nenasycená hydraulická vodivost je závislá na půdní textuře (Wagner et al. 2001). Velmi složité je stanovení hydraulické nasycené vodivosti  $K_s$  ( $LT^{-1}$ ). Měřena je v přístrojích s konstantním nebo proměnným spádem. U neporušeného vzorku nasyceného vodou se nastaví počáteční gradient potenciálu. Gradient zůstane konstantní nebo je proměnlivý v čase a je měřena rychlost proudění v čase. K výpočtu se využívá Darcyho zákon.

Pro nenasycený vzorek se hydraulická vodivost zjišťuje dvěma metodami multi-step outflow (inflow) a evaporační metodou. Multi-step outflow je podobná Tempským celám a k tomu doprovodně měříme průběh kumulativního odtoku/přítoku vody z/do vzorku v čase. Podobně to probíhá u evaporační metody, kde se v čase průběžně monitoruje hmotnost půdního vzorku (Kodešová 2015).

Určení nenasycené hydraulické vodivosti je velmi problematické. Její měření je možné, ale zároveň obtížné a náročné časově. Proto se věda stále snaží o zdokonalení metod predikce transportních procesů v nenasycené půdě (Dexter 2004c).

### 3.5 Mulčovací materiály

Mulč neboli ochranná vrstva z neživé hmoty (Kůdela 2002). V přírodě se půda nachází téměř vždy zakrytá živými rostlinami nebo tlejícím organickým materiálem. Trvalé krytí půdy není tedy novým postupem. Zakrývání slouží k ochraně půdy před jejím vysycháním nebo tvořením škraloupu kvůli činnosti větru a slunce. Vlivem větru může dojít ke kolísání teploty v půdě, k zničení drobtů a k odnosu cenných částic půdy z povrchu. Ochranou půdních organismů se přispěje k úrodnosti půdy. Další výhodou mulče je potlačování plevelu, kdy k úplnému potlačení slouží černé mulčovací fólie nebo papír (Pavlů et al. 2021).

Podle Celikiho teorie se potvrdilo, že pokud půdu pravidelně kultivujeme, dochází k vyšší náchylnosti k erozi. Zlepšit kvalitu a produktivitu půdy lze přidáním zbytků plodin, které následně mají příznivé účinky na vlastnosti půdy. Aplikací mulče zajistíme zvýšení obsahu organických látek. Pokud hospodaříme bez kultivace, tak zbytky rostlin mají příznivý vliv na: usměrňování eroze, obsah organických látek, fyzickou a chemickou úrodnost a biologii půdy. Předností používání mulče je především zachování půdní vlhkosti. Toto zjištění je velmi důležité pro suché a polosuché klimatické podmínky. Mulčování sníží náraz vodní kapky a tím vytváří prevenci před vznikem vodní eroze. Výsledky účinku mulče na pórovitost a objemovou hustotu jsou nejednoznačné. Účinky na objemovou hmotnost se mohou lišit v závislosti na typu půdy, způsobu hospodaření, typu mulče, klimatu a využití půdy (Jordán et al. 2010). Například při použití slámové mulče se zvýší množství organické hmoty v půdě, a zároveň se sníží objemová hmotnost půdy (Zhao et al. 2014). S touto je provázané zlepšení pórovitosti a provzdušňování půd (Lal & Stewart 1995, Duiker & Lal 1999, Tejada et al. 2008), což podpoří tvorbu větších agregátů stabilních ve vodě a poté zvýšení prostoru biopórů, které zlepší růst rostlin (Zhao et al. 2014). Pórovitost půdy lze zvýšit dlouhodobým používáním mulče (Malumba a Lal 2008).

Použití mulče má příznivé účinky na zdraví rostlin. Zlepšená půdní struktura vede ke kypré a vzdušné půdě, kde se vyskytuje méně houbových chorob, škodlivých organismů, které by napadaly zeslabené kořeny. Nezávisí to pouze na mulčování, ale i na dostatečném zásobení půdy organickými látkami (Kalina 1999). Ovšem dlouhodobým používáním mulče můžeme změnit některé vlastnosti půdy. Mezi používané materiály patří: kůra, dřevěná štěpka, pšeničná sláma, lepenka, papírová fólie, rozložitelná rohož, netkaná textilie pokrytá kůrou a drcený čedič (Pavlů et al. 2021).

Mulč aplikujeme na kyprou půdu, jelikož u utužené půdy je zničeno mnoho vzdušných pórů a mohlo by dojít k zabránění vypařování vody, které by negativně ovlivnilo růst rostlin (Kalina 1999).

Podle studie pánů Korkanç a Şahin z roku 2021 bylo zjištěno, že mulčovací materiály zvyšují hodnoty nejen pH, ale i elektrické vodivosti při odtoku. Aplikací suché slámy a trávy snížíme odtok živin a celkového organického uhlíku z povrchu. Typ mulčovacího materiálu a rychlost jeho obnovy by se měla vybírat podle hlediska ochrany vodních zdrojů. Při erozi dochází k odnosu ornice, která obsahuje nejvíce živin a organických látek. Usazeniny, organický uhlík a živiny v odtoku mohou způsobit problémy životnímu prostředí zahrnující sedimentaci a eutrofizaci (Korkanç & Şahin 2021). Mulčovací materiál je velmi nákladná záležitost proto je nutné stanovit optimální aplikační dávky (Malumba a Lal 2008).

### **3.5.1 Mulčovací fólie a papír**

Při výrobě černé fólie se využívá polyetylen. Její případná likvidace je proto velmi složitá. Používá se při pěstování rané zeleniny a na těžkých, pomalu zahřevných půdách (Kalina 1999). Mezi její výhody patří: šetření vody v půdě a hubení škůdců. Má ovšem i řadu nevýhod, jako již zmíněnou špatnou likvidaci, posouvání edafické biocenózy (společenstev) nebo zvýšené riziko tvorby mykotoxinů v půdě. Fólie v průběhu let prochází rozkladem na mikroplasty, které se společně s organickými a anorganickými nečistotami akumulují. Následně to může vést k negativnímu vlivu na flóru a faunu (Pavlů et al. 2021).



Na rozdíl od fólie je mulčovací papír pěstitelsky méně vhodný (Kalina 1999).

#### 3.5.1.1 Agrotextilie EKO

Jedná se o tepelně upravenou ekotextilii. Používá se jako dočasná ochrana proti plevelům a erozi. Její životnost je okolo 3-5 let. Balí se do rolí hnědé barvy. Vyrábí se z 100 % kompostovatelného materiálu a je tím pádem šetrná k životnímu prostředí, jelikož se působením tepla a vlhka rozkládá. Používá se v dopravní infrastruktuře, kde přispívá k omezení erozi a zpevňuje svah. Zajišťuje rovnoměrný průnik vody do půdy a omezuje odpařování, které vede k lepšímu udržování vlhkosti půdy (Geomat 2012).

#### 3.5.2 Přírodní mulč

Přírodní mulče vytváří potravu a prostor pro půdní biotu a pomáhají udržet půdní organickou hmotu (Pavlů et al. 2021). U posečené zelené hmoty se jedná o zaschlý rozdrcený zahradní odpad na části o velikosti 5-10 cm. Používá se posečená tráva nebo posečená hmota z léčivých volně rostoucích bylin (např. kopřivy, řebříček, pampeliška, jitrocel kopinatý...). U lehkého, vzdušného a kyprého materiálu může být vrstva nastýlky silná 2-3 cm. Těžký a více kompaktní materiál pokládáme v tenčí vrstvě 0,5 cm. Pod vrstvou musí mít možnost půdní organismy dýchat. Jinak by docházelo u nastýlky k hnití. Tenká vrstva rychle tlí a musí být pravidelně obnovována. Pokud používáme posečenou trávu, tak přináší krmivo pro půdní organismy, ale i potřebný dusík pro rostliny.

Nastýlka ze slámy izoluje půdu, tím pádem má půda problém se zahříváním. Kvůli jejímu tlumicímu efektu se používá v záhonech, kam často vstupujeme (Kalina 1999).

Převážná část drcené kůry pochází z jehličnatých stromů, a to především ze smrků a borovic. Její aplikace tedy není vhodná u listnatých stromů a trvalek, jelikož vytváří kyselější pH a obsahuje látky jehličnanů, které způsobují zpomalení růstu některých rostlin.

Štěpka z větví listnatých stromů obsahuje vysoké množství uhlíku. Při jejím tlení je důležitý dusík, který odebírá z půdy rostlinám, které následně hůře rostou. Míchá se tedy s dusíkatými materiály, aby čerpání dusíku z půdy nebylo v tak vysoké míře. Dřevní materiál by se neměl zarývat do země, ale nechat se rozkládat na povrchu (Svoboda 2005).

Záporem přírodní mulče je špatná kontrola plevelů, protože materiál sám o sobě může semena plevelů obsahovat. Na jaře způsobují zpomalení oteplování půdy. Jelikož některé organické materiály (např. obilná sláma) obsahují vysoký poměr dusíku k uhlíku, mohou při svém rozkladu zamezit pohybu dusíku v půdě. Na druhou stranu je přírodní kryt schopen snižovat vodní erozi. Jeho účinnost je podmíněna sklonem, strukturou půdy a typem mulče (Pavlů et al. 2021).

#### 3.5.3 Živý mulč

V zeleninových záhonech je možné využít podsevy ze špenátu nebo salátu. V trvalkových záhonech s dřevinami lze volné plochy osázet polštářovými rostlinami. Pro stinná místa mařinka vonná nebo lesní jahody (Kalina 1999).

#### **3.5.4 Drcený kámen, písek, štěrk**

Jejich aplikace je tradiční metodou v určitých zemědělských systémech, jako jsou vinice. Běžně se používá v polosuchých a suchých oblastech k zabránění evaporace půdy. Původně byl štěrk použit k omezení eroze půdy deštěm. Ale v architektuře se uplatňuje jeho estetická stránka, kdy se dají používat různé barvy a struktury drceného kamene či štěrku. K vyššímu uchování tepla v půdě jsou vhodnější menší struktury oproti větším strukturám s vyšší pórovitostí (Pavlů et al. 2021).



## 4 Metodika

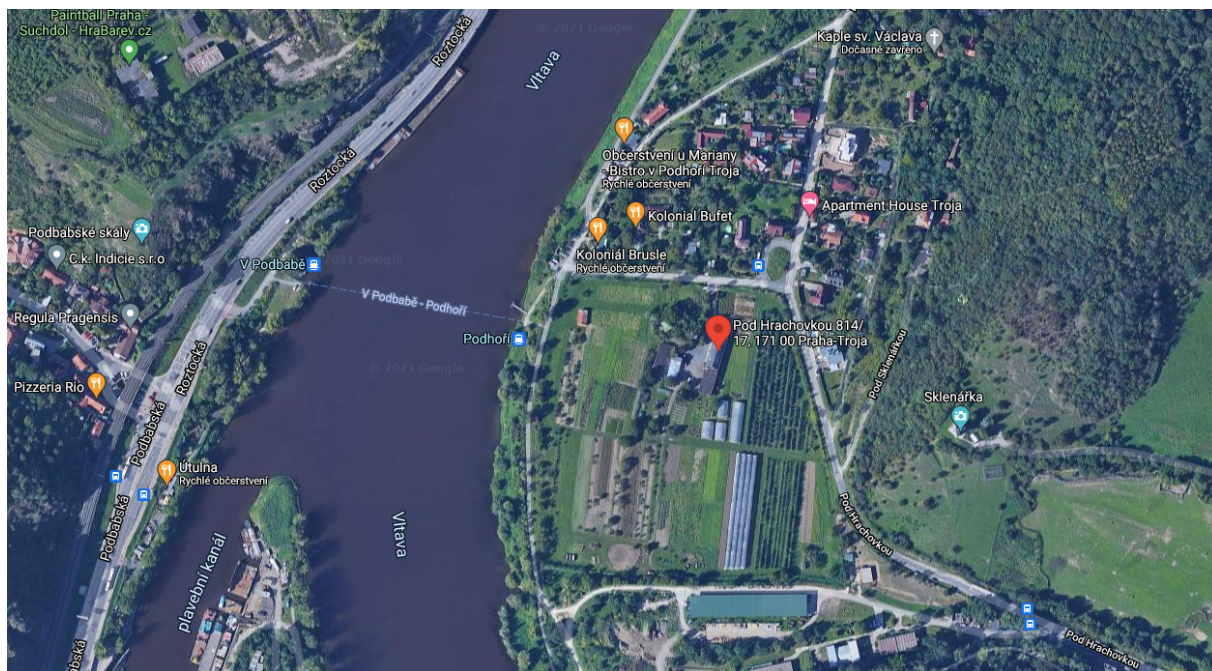
Laboratorní experiment byl prováděn na odebraných neporušených půdních vzorcích na výzkumné univerzitní stanici v Praze Troji. Vyhodnocuje, jak se mění půdní fyzikální, hydrofyzikální a hydraulické vlastnosti pod různými mulčovacími materiály. Zároveň mezi sebou porovnává dva odběry mezi lety 2018 a 2020.

### 4.1 Lokalita

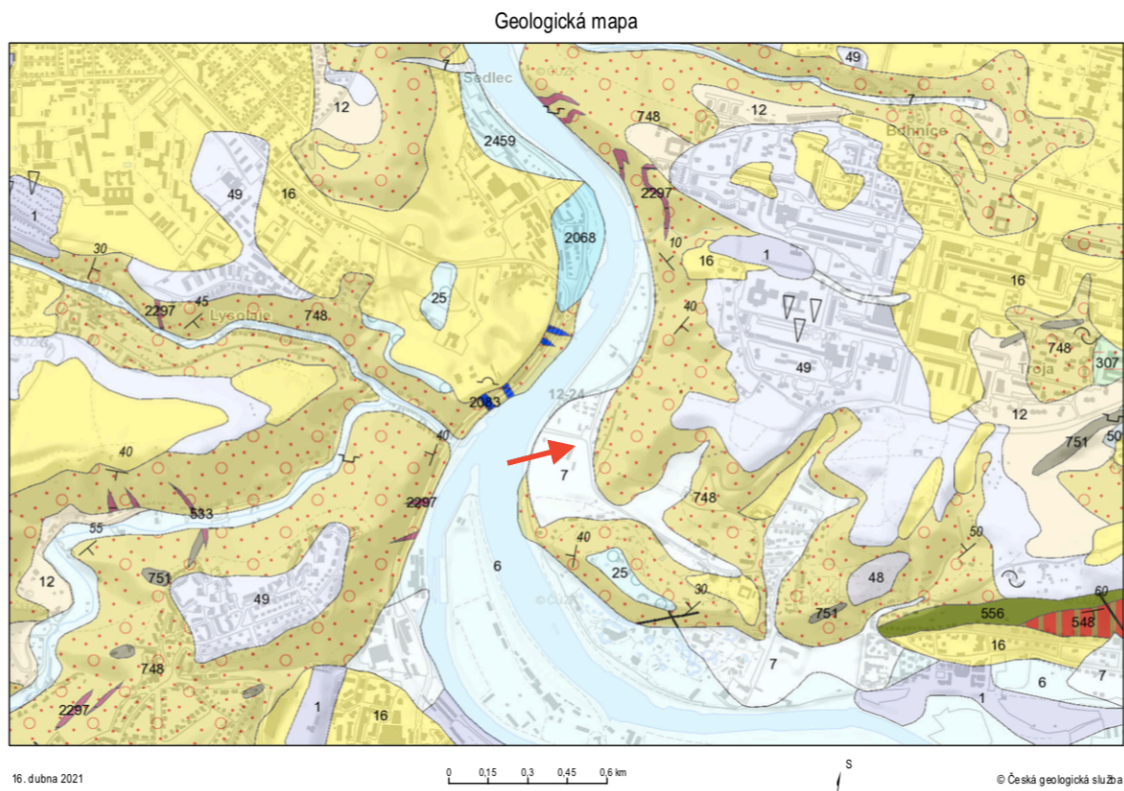
Demonstrační a výzkumná stanice je zaměřena na demonstraci nových technologií využívaných v zahradnictví. Pozemek slouží pro vykonávání studentských prací a využívá se pro pokusy v bakalářských a diplomových pracích.

Pozemek se nachází na souřadnicích 50°07'19.6" severní šířky a 14°23'59.8" východní délky. Přesněji na adrese Pod Hrachovkou 814/17, 171 00 Praha 7 – Troja v nadmořské výšce 196 m n.m. (ČZU 2019). Můžeme vidět na Obrázku 7 Průměrná roční teplota je 9,9 °C a množství srážek kolem 629 mm (ČHMÚ).

Půda byla zařazena do referenční třídy fluvisoly, půdní typ fluvizem (Němeček et al. 2011). Jedná se o zem s půdotvorným substrátem převážně z říčních, mořských a jezerních usazenin. Tento typ půd se nachází na všech kontinentech a ve veškerých klimatických pásmech, převážně kolem údolních niv a delt, v údolních a jezerních sníženinách a v poslední řadě v přívalových močálech. Vývoj profilu měl vliv na stratifikaci profilu se slabou diferenciací horizontu. Ovšem zřetelný horizont ornice se může vyskytovat. Mnoho fluvizemí je periodicky zaplavováno (FAO 2018). V našem případě se vyvinula na fluviálních sedimentech řeky Vltavy viz. Obrázek 8 (Česká geologická služba 2021).



Obrázek 7: Umístění lokality (Mapy Google).



Obrázek 8: Geologická mapa: červená šipka ukazuje místo odběru, číslo 7 označuje horninový podklad – smíšený sediment (Česká geologická služba).

## 4.2 Odběr

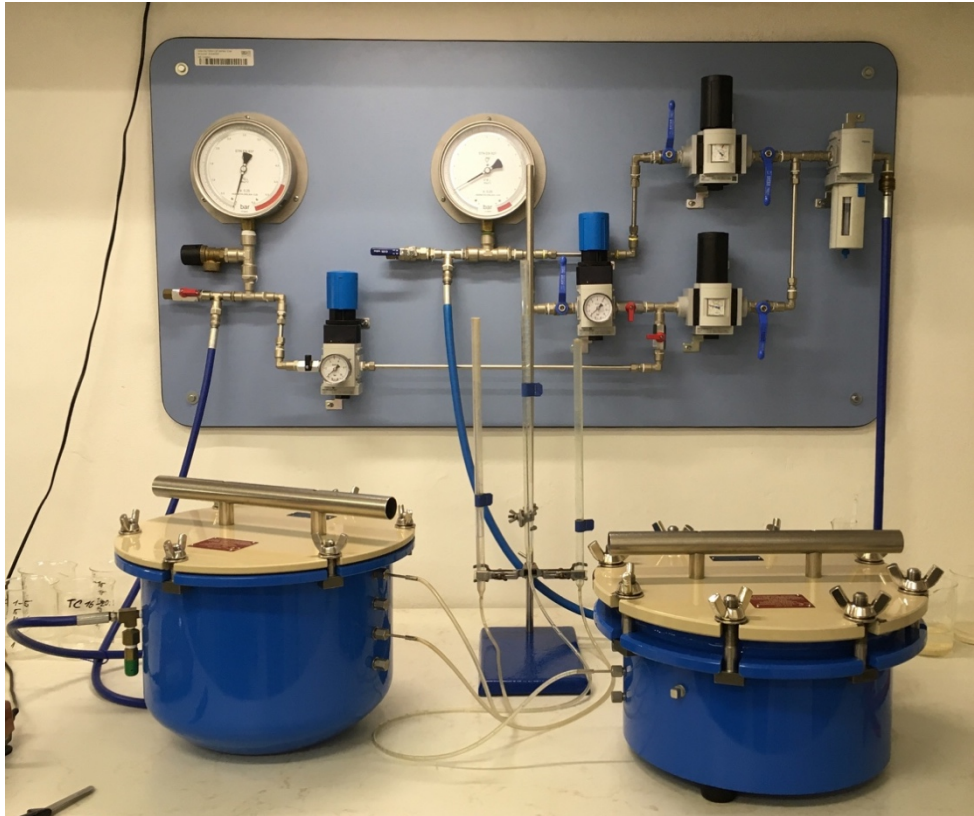
První odebrání neporušených půdních vzorků probíhalo v roce 2018 po zařezání trvalek a druhé v červenci roku 2020 z povrchové vrstvy (0–10 cm). Záhon se před výsadbou trvalek využíval k rostlinné výrobě a byl pravidelně obděláván. Na ploše byly vysazené trvalky: *Geranium sanguineum* 'Ankum's Pride' – kakost, *Hemerocallis* 'Stella D'Oro' – denivka, *Salvia nemorosa* 'Caradonna' – šalvěj hajní, *Echinacea purpurea* 'Primadonna Deep Rose' – třapatkovka nachová, *Coreopsis verticillata* 'Grandiflora' – krásnoočko přeslenité, *Heuchera sanguinea* 'Leuchtkäfer' – dlužicha krvavá (Pavlu et al. 2021).

Na plochy byly aplikovány tyto mulčovací materiály: fólie Agrotex Eko, štěpka, sláma, štěrky, kůra s fólií. Z každé plochy bylo odebráno šest neporušených půdních vzorků do Kopeckého válečku, a nakonec byly odebrány i kontrolní vzorky z nezakryté plochy. Dohromady se na lokalitě odebralo v roce 2020 42 vzorků. V roce 2018 bylo odebráno 27 vzorků.

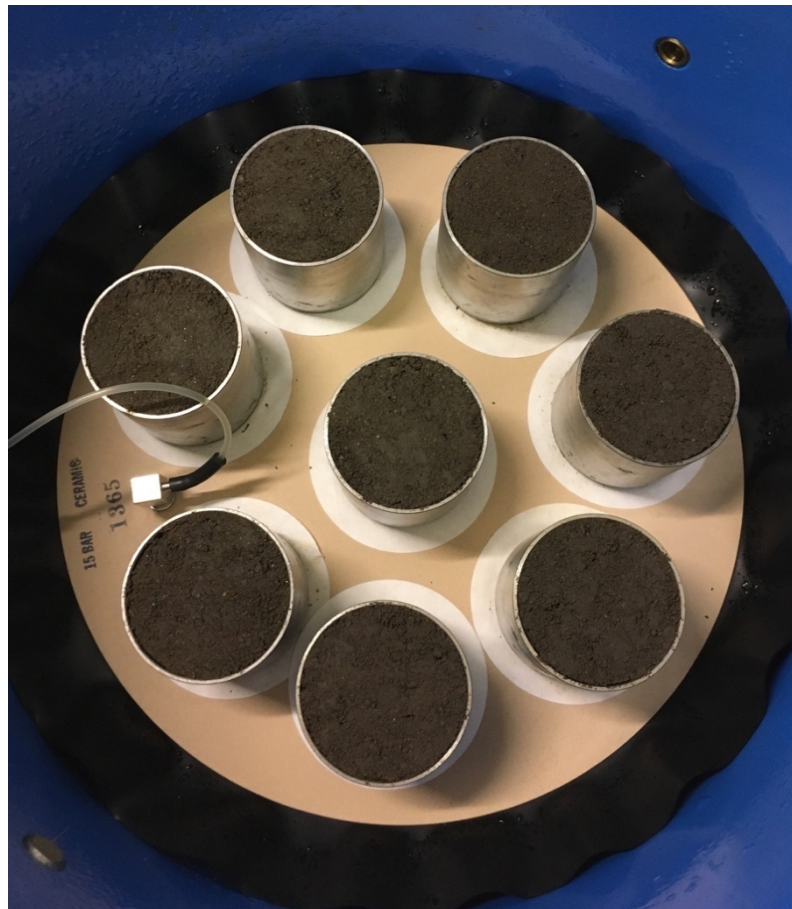
## 4.3 Rozbor půdních vzorků

Vzorky byly skladovány při 4 °C. Na vzorcích byly měřeny hydraulické vlastnosti půdy – křivka retence vody. K jejich stanovení byla použita přetlaková metoda za využití přetlakového aparátu (Soilmoisture Equipment Corp. 2009), který můžeme vidět na Obrázku 9 a Obrázku 10.





Obrázek 9: Přetlakový aparát (vlastní fotodokumentace).



Obrázek 10: Vzorky uvnitř přetlakového aparátu (vlastní fotodokumentace).

### 4.3.1 Stanovení základních fyzikálních vlastností

U fyzikálních vlastností se hodnotily dva parametry, které jsou spolu provázané: objemová hmotnost a pórovitost. Objemová hmotnost (rovnice 4) byla zmíněna v kapitole 3.3.9. Vyjadřuje hmotnost 1 m<sup>3</sup> půdy v přirozeném uložení. Je důležitá jako indikátor míry negativních faktorů zhutnění a pedokompakce. (Bičík et. al. 2009). U pórovitých materiálu je objemová hmotnost nižší než hmotnost měrná (Sáňka et al. 2018).

$$\rho_d = \frac{m_z}{V_s} \quad (4)$$

kde:  $\rho_d$  je objemová hmotnost (g cm<sup>-3</sup>),  
 $m_z$  je hmotnost zeminy v přirozeném uložení, vysušené při 105 °C (g),  
 $V_s$  je objem vzorku (cm<sup>3</sup>).

Druhým vypočteným parametrem byla pórovitost (rovnice 5) (3.3.10), která vyjadřuje celkové procentuální množství volného prostoru, který není vyplněn pevnými částicemi půdy (Bičík et. al. 2009).

$$P = \frac{\rho_z - \rho_d}{\rho_d} \times 100 \quad (5)$$

kde: P je pórovitost (% obj.),  
 $\rho_z$  je specifická hmotnost (g cm<sup>-3</sup>) (u všech vzorků byla použita hodnota 2,65 g.cm<sup>-3</sup>),  
 $\rho_d$  je objemová hmotnost (g cm<sup>-3</sup>).

### 4.3.2 Stanovení hydraulických vlastností

Jak již bylo zmíněno, tak neporušené půdní vzorky byly umístěny do přetlakového aparátu, kde se u nich provádělo v 8 krocích tlakové drénování (-1, -40, -100, -700, -2000, -5000, -8000 a -15000 cm). Pomocí změřených hodnot stanovíme drenážní křivku  $\theta(h)$ . Výsledné body retenčních čar jsou dány objemovými vlhkostmi půdních vzorku, které zjistíme gravimetricky a odpovídajícími tlakovými výškami danými hodnotou přetlakem vzduchu (Kodešová et al. 2015).

Následně byl k proložení výsledných dat použit program RETC (van Genuchten et al. 1991) a hydraulické parametry optimalizovány pomocí rovnice van Genuchtena (van Genuchten 1980):

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad \theta_e = \frac{1}{1 + (\alpha|h|)^n)^m} \quad h < 0 \quad \theta_e = 1 \quad h \geq 0 \quad (6)$$

kde:  $\theta_e$  je efektivní vlhkost (L<sup>3</sup>.L<sup>-3</sup>),  
 $\theta_r$  je reziduální vlhkost (L<sup>3</sup>.L<sup>-3</sup>),  
 $\theta_s$  je nasycená vlhkost (L<sup>3</sup>.L<sup>-3</sup>),  
 $\alpha$  je reciproční hodnota vstupu vzduchu tlakové výšky (L<sup>-1</sup>),  
n je parametr, který souvisí se sklonem čáry v inflexním bodě bezrozměrný

$m = 1 - 1/n$  bezrozměrný parametr.

Parametry  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$  a  $n$  byly optimalizovány.

### 4.3.3 Inflexní body

Z tvaru retenčních čar byly vypočítány parametry inflexních bodů: výška  $h_{INF}$  (rovnice 7), objemová vlhkost  $\theta_{INF}$  (rovnice 8), sklon čáry  $S_{INF}$  (rovnice 9) a místo, kde se změní tvar čáry z konkávní na konvexní viz. Obrázek 11 (Dexter 2004 a, b, c, Dexter a Czyz 2007). Nicméně je nutné brát ohled na to, že různé metody používané pro měření křivek zadržování vody v půdě mohou vést k odlišným tvarům křivek a různým charakteristikám inflexních bodů. Vyhodnocené hodnoty jsou proto spíše vhodné pro srovnání kvality půdy na dané ploše než pro obecné posouzení fyzikální kvality půdy viz. Tabulka 3 (Nikodem et al. 2021).

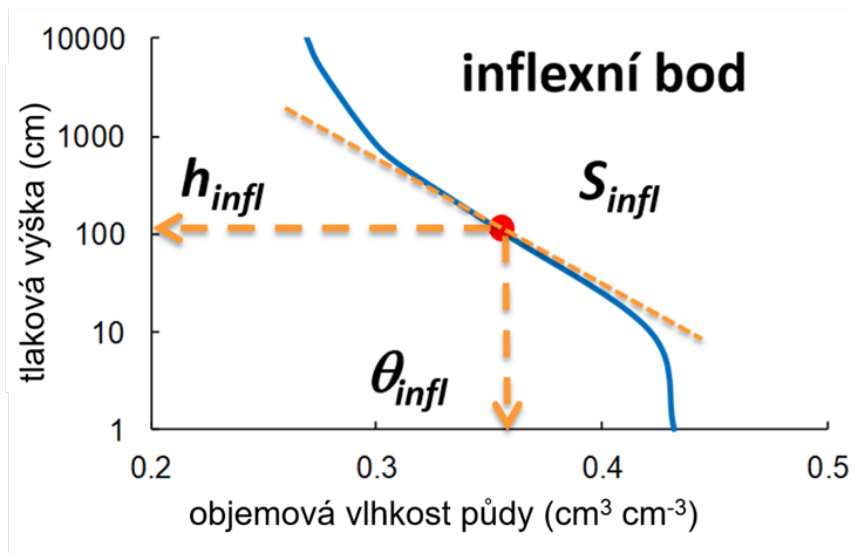
$$h_{INF} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{m} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

$$\theta_{INF} = (\theta_s - \theta_r) \left( + \frac{1}{m} \right)^{-m} + \theta_r \quad (8)$$

$$S_{INF} = -n(\theta_s - \theta_r) \left( + \frac{1}{m} \right)^{-(1+m)} \quad (9)$$

Tabulka 3: Fyzikální kvalita půdy vyjádřena sklonem retenční čáry v inflexním bodě (Dexter, 2004a, b, c; Dexter a Czyz, 2007).

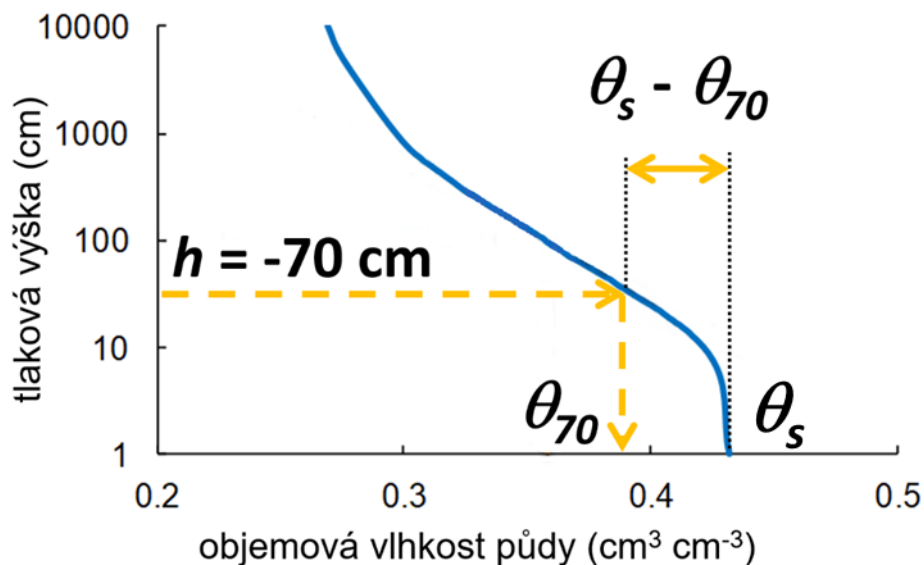
Kategorie hodnocení	Kvalita půdy
$S_{INF} \geq 0,05$	velmi dobrá
$0,05 > S_{INF} \geq 0,035$	dobrá
$0,035 > S_{INF} \geq 0,02$	špatná
$0,02 > S_{INF}$	velmi špatná



Obrázek 11: Vyjádření parametrů inflexního bodu retenčních čar půdní vlhkosti (Čermák 2020).

#### 4.3.4 Půdní pórový systém

Z retenčních čar byly určeny veličiny popisující půdní pórový systém viz. Obrázek 12 : polní kapacita (vlhkost půdy pro  $h = -330$  cm) ( $\theta_{PK}$ ), obsah půdní vody pro  $h = -70$  cm jako hranice mezi zastoupením menších a větších kapilárních pórů ( $\theta_{70}$ ) a obsah hrubých kapilárních pórů ( $\theta_s - \theta_{70}$ ) (Brych & Tesař 2014).



Obrázek 12: Půdní pórový systém – vyjádření hrubých kapilárních pórů (Čermák 2020).

#### 4.3.5 Voda gravitační a snadno dostupná

Dále byla vypočítána gravitační (rovnice 10) a snadno dostupná (rovnice 11) voda vyjádřena v mm vody na 1 cm půdní vrstvy.

$$GW = (\theta_s - \theta_{100}) * 10 \quad (10)$$

$$RAW = (\theta_s - \theta_{250}) * 10 \quad (11)$$

Kde: *GW* je voda gravitační

*RAW* je voda snadno dostupná

$\theta_{100}$  a  $\theta_{250}$  jsou obsahy půdní vody pro  $h = -100$  a  $-250$  cm.

Po provedení vícestupňových odtokových testů byly vzorky půdy vysušeny při 105 °C. Suší se do té doby, dokud se nedosáhne konstantní hmotnosti a objemové hmotnosti ( $\rho_d$ ). Vyhodnotí se standardní metodou (Dane & Topp 2002).

## 5 Výsledky

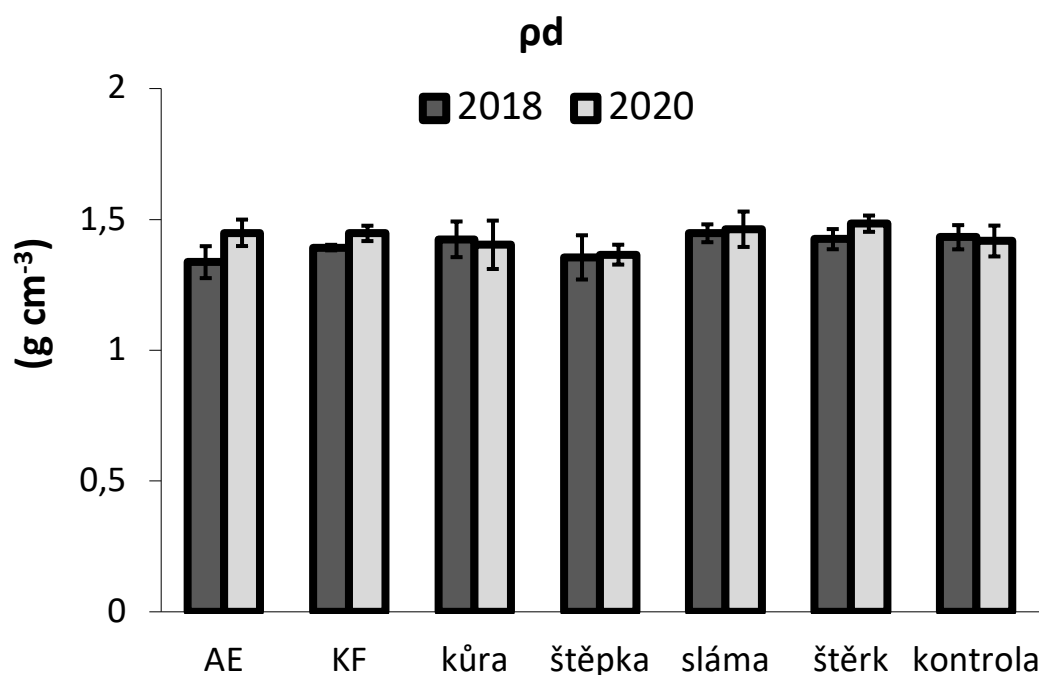
### 5.1 Základní fyzikální vlastnosti

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 13 si můžeme všimnout, že hodnoty  $\rho_d$  byly v roce 2020 kromě dvou případů (kůra a kontrola) vyšší než v roce 2018.

V roce 2018 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací materiál sláma  $1,447 \text{ g cm}^{-3}$  následuje kontrola  $1,432 \text{ g cm}^{-3}$ , štěrk  $1,424 \text{ g cm}^{-3}$ , kůra  $1,424 \text{ g cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $1,392 \text{ g cm}^{-3}$ , štěpka  $1,355 \text{ g cm}^{-3}$  a nejnižší pro fólii Agrotex Eko  $1,337 \text{ g cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty objemové hmotnosti ( $\rho_d$ ) nejvyšší pro mulčovací materiál štěrk  $1,448 \text{ g cm}^{-3}$  následuje sláma  $1,462 \text{ g cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $1,449 \text{ g cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $1,446 \text{ g cm}^{-3}$ , kontrola  $1,417 \text{ g cm}^{-3}$ , kůra  $1,403 \text{ g cm}^{-3}$ , a nejnižší pro štěpku  $1,365 \text{ g cm}^{-3}$ .

Hodnoty objemové hmotnosti ( $\rho_d$ ) se obvykle pohybují mezi  $1,20\text{-}1,80 \text{ g cm}^{-3}$ . Veškeré naměřené hodnoty v obou letech se v tomto rozmezí pohybují, a tedy kritérium splňují. Čím jsou hodnoty vyšší, tím je horizont v horším stavu a jedná se o půdu utuženější (Sáňka et al. 2018). Z toho vyplývá, že v roce 2018 půda pod fólii Agrotex Eko obsahovala větší množství pórů a byla více kyprá než ostatní vzorky. V roce 2020 to bylo pro půdu pod štěpkou. Výsledné parametry můžeme vidět v Příloha č. 1.



Obrázek 13: Průměrné hodnoty objemové hmotnosti půdy ( $\rho_d$ ) pro každou variantu mulče v roce 2018 a 2020. Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

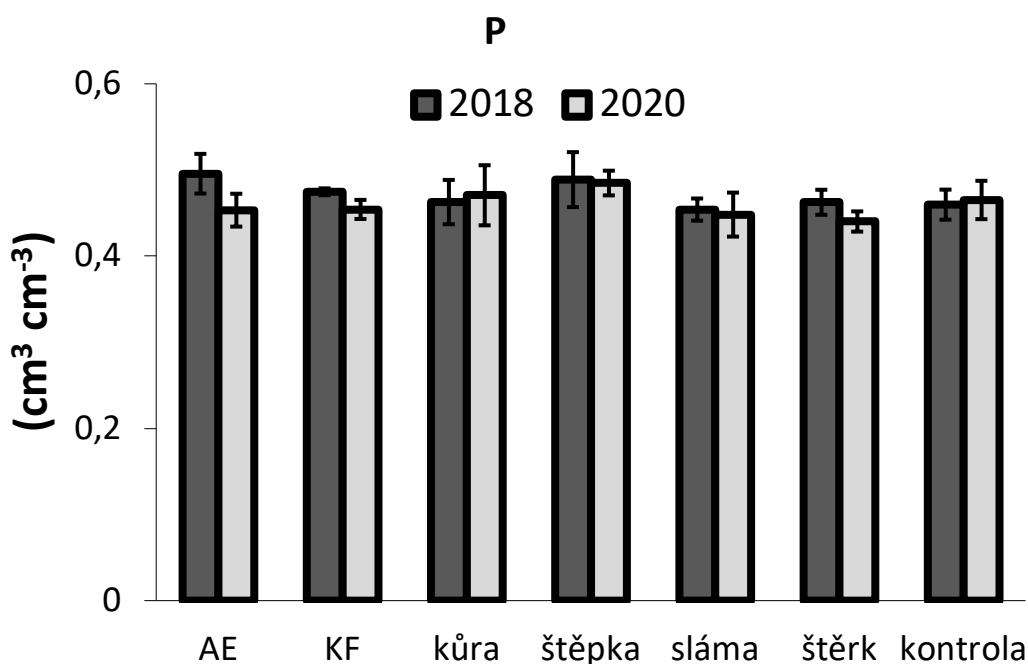


Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 14 si můžeme všimnout, že hodnoty  $P$  byly v roce 2018 kromě dvou případů (kůra a kontrola) vyšší než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty pórovitosti nejvyšší pro mulčovací materiál fólie Agrotex Eko  $0,496 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , následuje kůra-fólie  $0,475 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěpka  $0,489 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra  $0,463 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,463 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kontrola  $0,460 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední sláma  $0,454 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

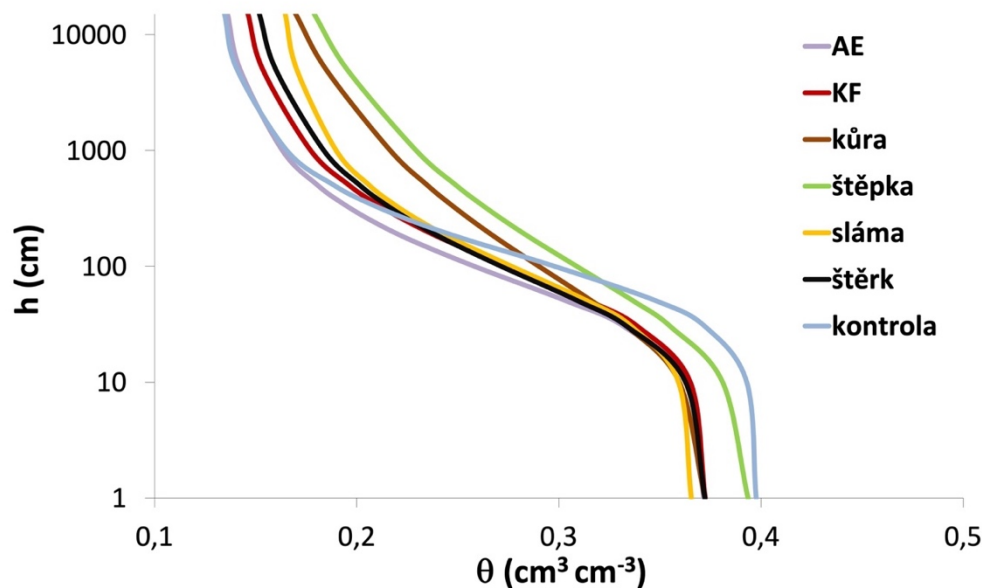
V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací materiál štěpka  $0,485 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , následuje kůra  $0,471 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kontrola  $0,465 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,454 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,453 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,448 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední štěrk  $0,440 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Jak již bylo zmíněno pórovitost je provázána s objemovou hmotností. V roce 2018 půda pod fólií Agrotex Eko obsahovala více pórů než ostatní vzorky. V roce 2020 byla pro půdu pod štěpkou. U ostatních vzorků hodnoty klesaly tím pádem se jedná o půdy více utužené. Výsledné parametry můžeme vidět v Příloha č. 1.



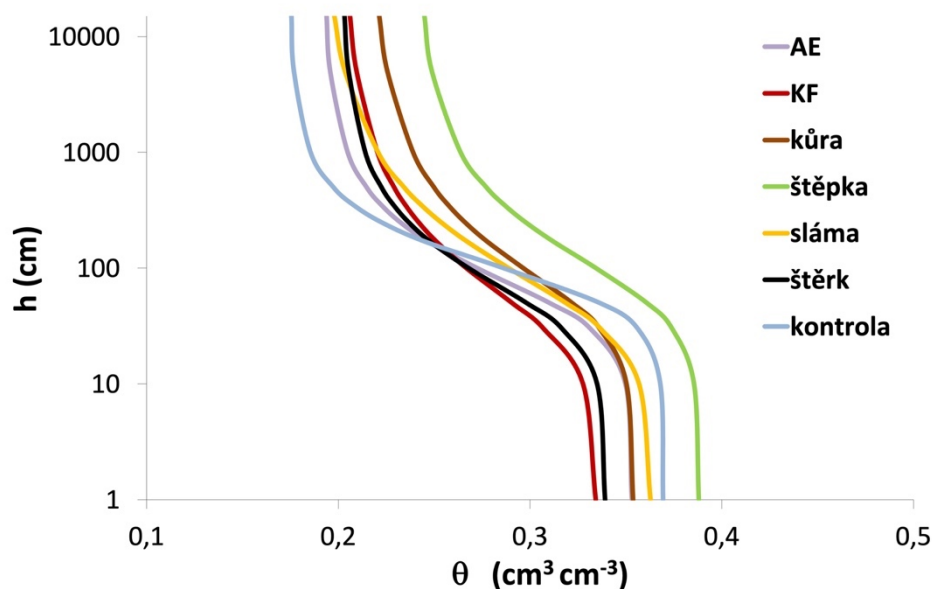
Obrázek 14: Průměrné hodnoty objemové pórovitosti ( $P$ ) pro každou variantu mulče v roce 2018 a 2020. Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

### 5.1.1 Retenční čáry



Obrázek 15: Retenční křivka pro různé mulčovací materiály v roce 2018 získané z přetlakového aparátu,  $h$  je tlaková výška vody v půdě,  $\theta$  je objemový obsah půdní vody, AE – fólie Agrotex Eko, KF – kůra-fólie.

Z Obrázku 15 můžeme vidět méně variabilnější rozdíl hodnot mezi různými mulčovacími materiály v roce 2018. Pod podobnými mulčovacími materiály byla podobnost, co se týče zadržování vody. Nejvíce podobný trend hodnot byl u mulčovacích materiálů sláma, kůra-fólie a štěrk. Podobnost byla i u organických materiálů štěpka a kůra.



Obrázek 16: Retenční křivka pro různé mulčovací materiály v roce 2020 získané z přetlakového aparátu,  $h$  je tlaková výška vody v půdě,  $\theta$  je objemový obsah půdní vody, AE – fólie Agrotex Eko, KF – kůra-fólie.

Z Obrázku 16 můžeme vidět, že v roce 2020 byl variabilnější rozdíl hodnot mezi různými mulčovacími materiály oproti roku 2018. Pod podobnými mulčovacími materiály nebyla taková podobnost, co se týče zadržování vody. Nejvíce podobný trend hodnot byl u mulčovacích materiálů kůra-fólie a štěrk.

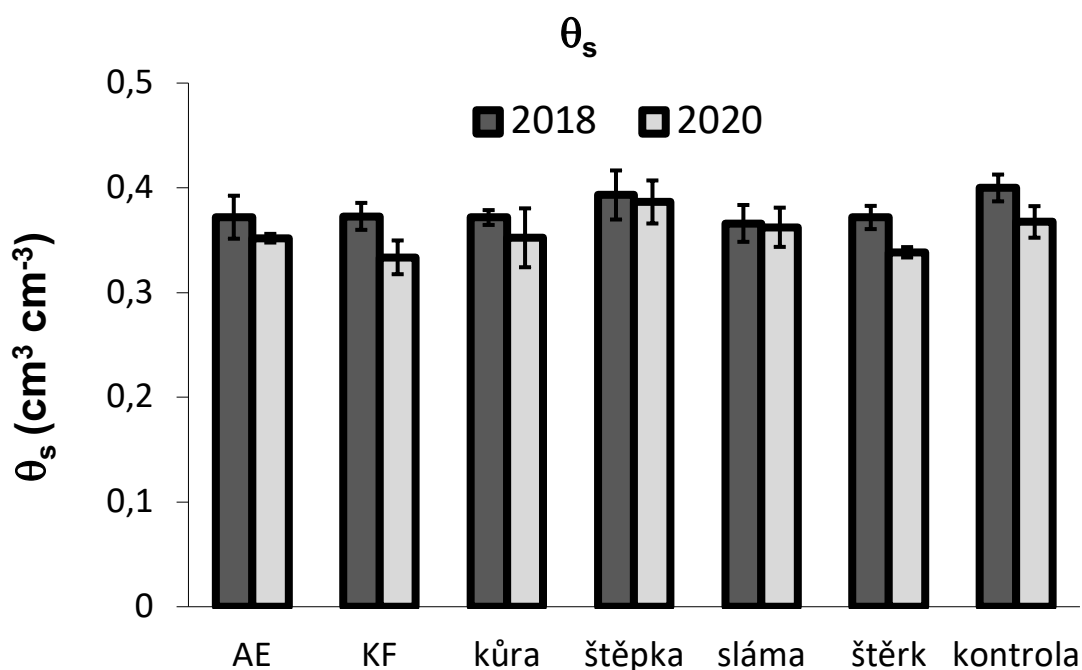
## 5.2 Hydraulické vlastnosti půdy

### 5.2.1 Optimalizované hodnoty parametrů van Genuchtena pro retenční křivku

Výsledné naměřené průměrné hodnoty: parametrů van Genuchtena s jejich směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v Příloha č. 2 až Příloha č. 3. Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 17 si můžeme všimnout, že hodnoty nasycené vlhkosti ( $\theta_s$ ), které popisují retenční čáru půdní vlhkosti a pórový systém půdy byly v roce 2018 vyšší než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty nejvyšší pro kontrolu  $0,398 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje štěpka  $0,395 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra  $0,373 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,378 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,373 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólii Agrotex Eko  $0,372 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a nejnižší pro slámu  $0,366 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nasycené vlhkosti ( $\theta_s$ ) nejvyšší pro mulčovací materiál štěpka  $0,389 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , následuje kontrola  $0,369 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,363 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra  $0,354 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,353 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,339 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a nejnižší pro kůru-fólii  $0,335 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

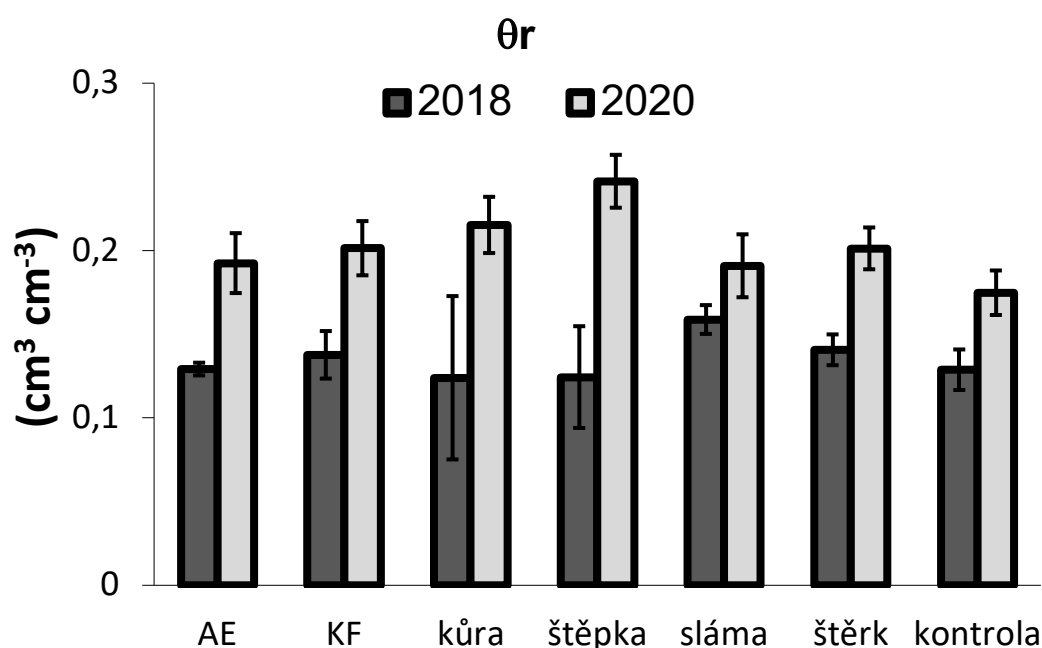


Obrázek 17: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 nasycené vlhkosti ( $\theta_s$ ). Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 18 si můžeme všimnout, že hodnoty reziduální vlhkosti ( $\theta_r$ ), které popisují retenční čáru půdní vlhkosti byly v roce 2020 vyšší než v roce 2018.

V roce 2018 byly hodnoty reziduální vlhkosti nejvyšší pro mulčovací materiál sláma  $0,159 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , následuje štěrk  $0,141 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,138 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,129 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kontrola  $0,129 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěpka  $0,124 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední kůra  $0,124 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací materiál štěpka  $0,241 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , následuje kůra  $0,215 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,201 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,201 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,193 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,191 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední kontrola  $0,175 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

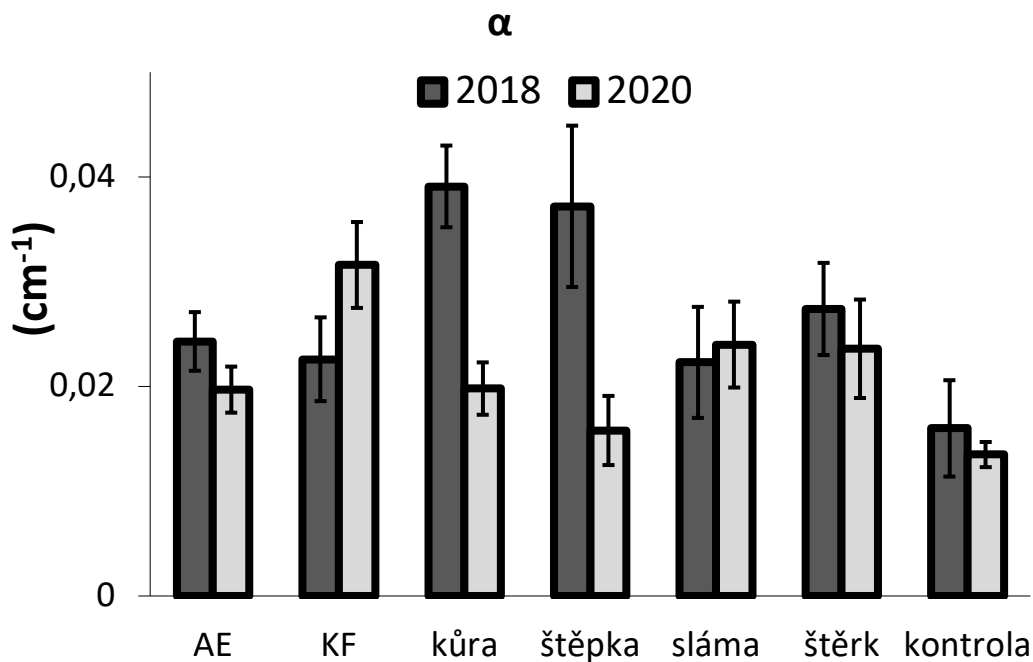


Obrázek 18: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 reziduální vlhkosti ( $\theta_r$ ). Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 19 si můžeme všimnout, že hodnoty  $\alpha$ , které popisují retenční čáru půdní vlhkosti byly v roce 2018 vyšší kromě dvou případů (kůra-fólie, sláma) než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty reziduální vlhkosti nejvyšší pro mulčovací materiál kůra 0,039  $\text{cm}^{-1}$ , následuje štěpka 0,037  $\text{cm}^{-1}$ , štěrk 0,027  $\text{cm}^{-1}$ , fólie Agrotex Eko 0,024  $\text{cm}^{-1}$ , kůra-fólie 0,023  $\text{cm}^{-1}$ , sláma 0,022  $\text{cm}^{-1}$  a poslední kontrola 0,016  $\text{cm}^{-1}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací materiál kůru-fólii 0,032  $\text{cm}^{-1}$ , následuje sláma 0,024  $\text{cm}^{-1}$ , štěrk 0,024  $\text{cm}^{-1}$ , kůra 0,020  $\text{cm}^{-1}$ , fólie Agrotex Eko 0,020  $\text{cm}^{-1}$ , štěpka 0,016  $\text{cm}^{-1}$ , a nejnižší hodnoty pro kontrolu 0,014  $\text{cm}^{-1}$ .

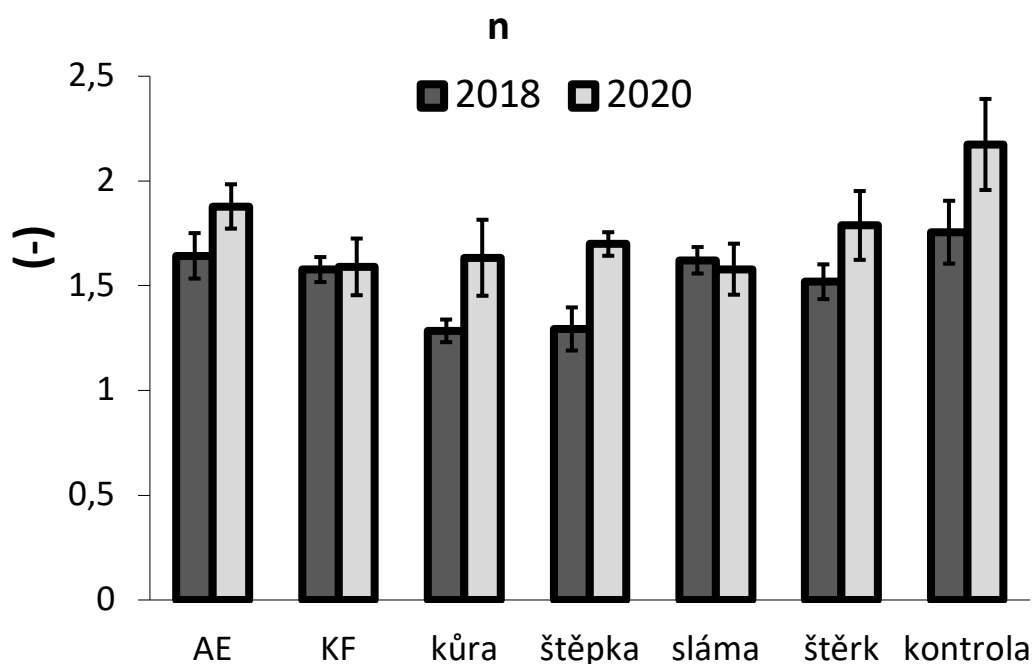


Obrázek 19: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 parametru  $\alpha$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 20 můžeme všimnout, že hodnoty  $n$ , které popisují retenční čáru půdní vlhkosti byly v roce 2020 vyšší kromě jednoho případu (sláma) než v roce 2018.

V roce 2018 byly hodnoty reziduální vlhkosti nejvyšší pro kontrolu bez mulče 1,756, následuje fólie Agrotex Eko 1,643, sláma 1,621, kůra-fólie 1,577, štěrk 1,519, štěpka 1,294 a poslední kůra 1,285.

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro kontrolu bez mulče 2,174, následuje fólie Agrotex Eko 1,878, štěrk 1,788, štěpka 1,699, kůra 1,6334, kůra-fólie 1,590 a nejnižší hodnoty pro slámu 1,579.



Obrázek 20: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 parametru  $n$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

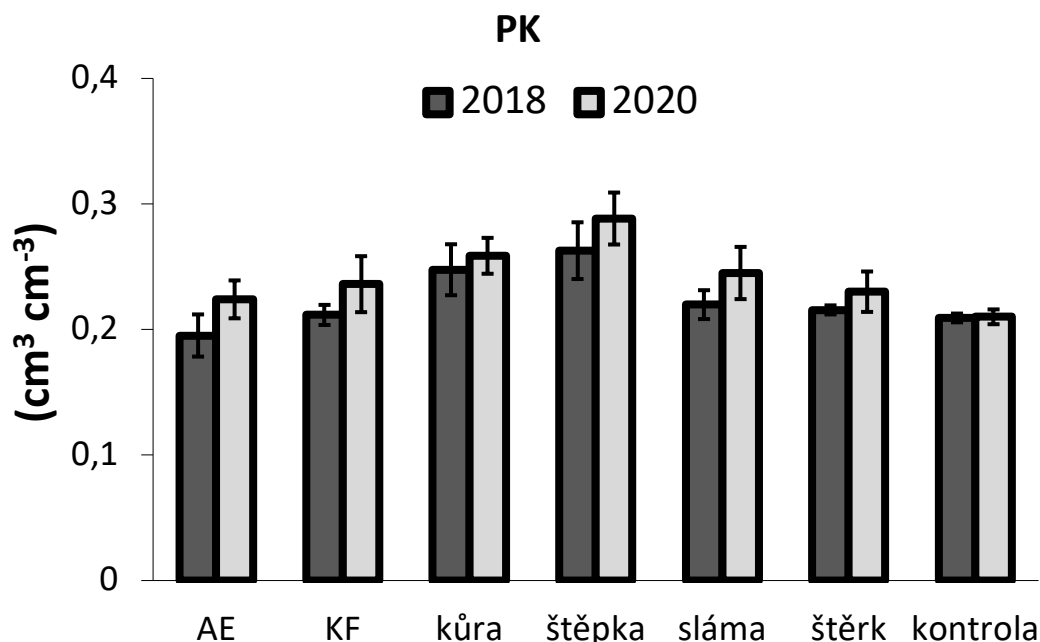
### 5.3 Půdní pórový systém

Výsledné naměřené průměrné hodnoty parametrů popisující půdní pórový systém a množství vody v půdě s jejich směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v Příloze č. 4 a Příloze č.5. Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 21 si můžeme všimnout, že hodnoty polní kapacity (*PK*), které popisují pórový systém byly v roce 2020 vyšší než v roce 2018.

V roce 2018 byly hodnoty polní kapacity nejvyšší pro mulčovací materiál štěpka  $0,263 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje kůra  $0,248 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,220 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,216 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,212 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kontrola  $0,209 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , a poslední fólie Agrotex Eko  $0,195 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací materiál štěpka  $0,288 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , následuje kůra  $0,259 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,245 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,236 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,230 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,224 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a nejnižší pro kontrolu  $0,210 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Polní vodní kapacita neboli množství vody zadržené v kapilárních pórech po odečtení gravitační vody (Sáňka et al. 2018).

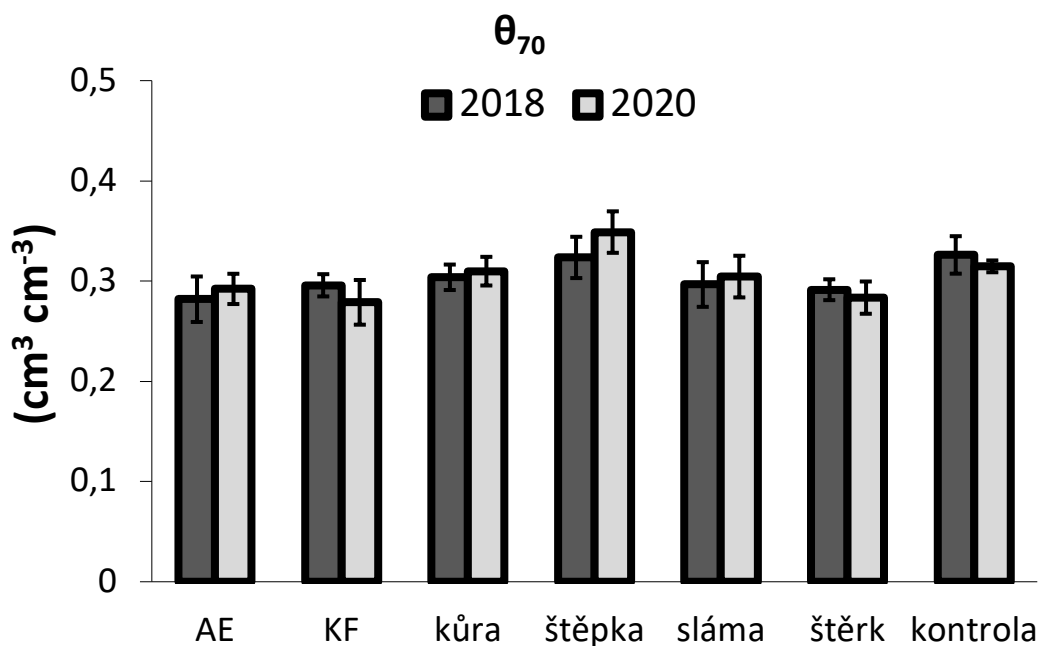


Obrázek 21: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 polní kapacity. Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 22 si můžeme všimnout, že hodnoty  $\theta_{70}$ , které popisují pórový systém byly v roce 2020 vyšší kromě tří případů (kůra-fólie, štěrk, kontrola) než v roce 2018.

V roce 2018 byly hodnoty  $\theta_{70}$  nejvyšší pro mulčovací materiál kontrola  $0,326 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje štěpka  $0,324 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra  $0,304 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,297 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,296 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,291 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední fólie Agrotex Eko  $0,282 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací štěpka  $0,3489 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje kontrola  $0,315 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra  $0,310 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,305 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,292 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,284 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a nejnižší pro kůra-fólie  $0,279 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .



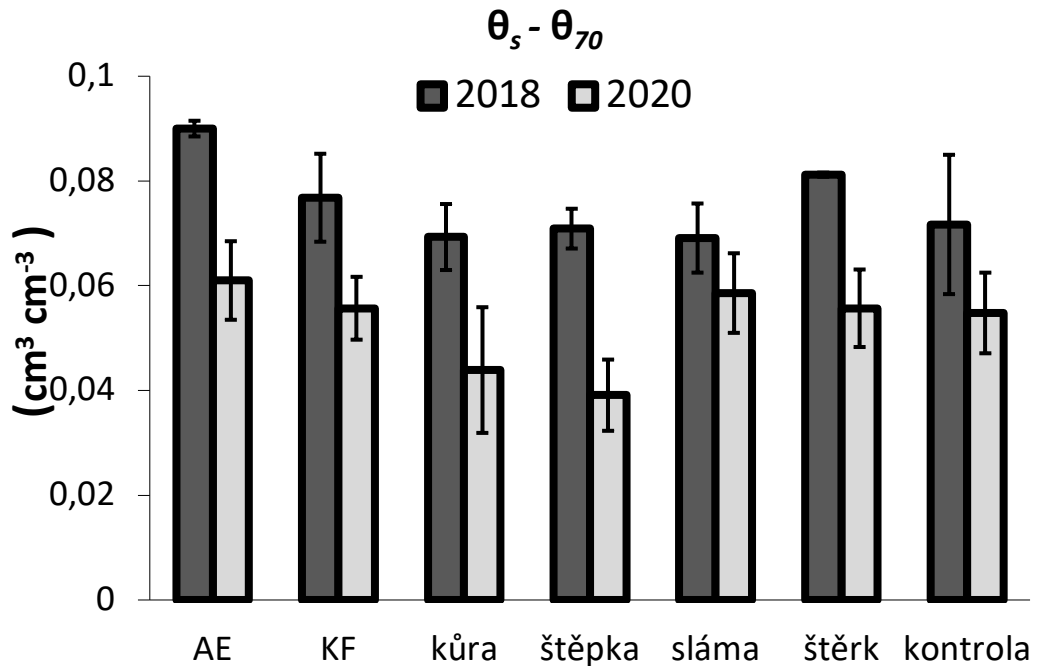
Obrázek 22: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020  $\theta_{70}$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.



Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 23 si můžeme všimnout, že hodnoty  $\theta_s - \theta_{70}$ , které popisují obsah hrubých kapilárních pórů byly v roce 2018 vyšší než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty  $\theta_s - \theta_{70}$  nejvyšší pro mulčovací materiál fólie Agrotex Eko 0,090  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  následuje kůra-fólie 0,090  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , štěrk 0,081  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kůra 0,077  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kontrola 0,072  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , sláma 0,071  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  a poslední štěpka 0,069  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro mulčovací fólii Agrotex Eko 0,061  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , následuje sláma 0,059  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kůra-fólie 0,056  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , štěrk 0,056  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kontrola 0,055  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kůra 0,044  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  a nejnižší pro štěpku 0,039  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .



Obrázek 23: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020  $\theta_s - \theta_{70}$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

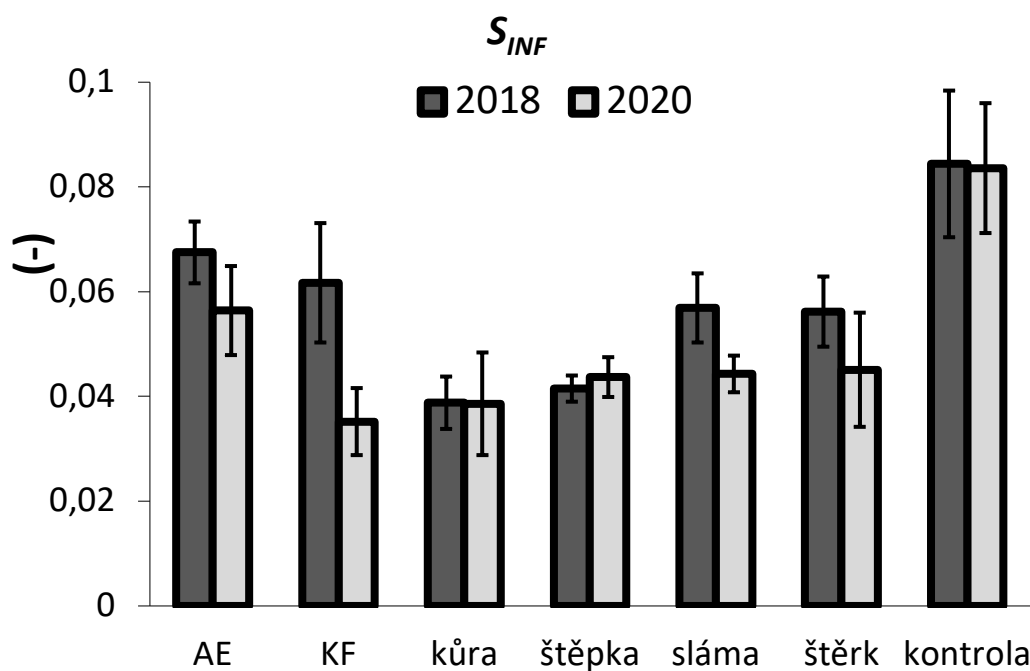
## 5.4 Inflexní body

Výsledné naměřené průměrné hodnoty parametrů inflexních bodů s jejich směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v Příloze č. 6 a Příloze č. 7. Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 24 si můžeme všimnout, že hodnoty  $S_{INF}$  byly v roce 2018 vyšší kromě jednoho případu (štěpka) než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty reziduální vlhkosti nejvyšší pro kontrolu bez mulče 0,084, následuje fólie Agrotex Eko 0,068, kůra-fólie 0,062, sláma 0,057, štěrk 0,056, štěpka 0,042 a poslední kůra 0,039.

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro kontrolu bez mulče 0,084, následuje fólie Agrotex Eko 0,056, štěrk 0,045, sláma 0,044, štěpka 0,044, kůra 0,039 a nejnižší hodnoty pro kůra-fólie 0,035.

U všech vzorků v obou letech hodnoty přesahovaly hranici  $S_{INF} \geq 0,035$ , která značí dobrou kvalitu půdy. V roce 2018 přesáhly dokonce dva vzorky: bez mulče (kontrola) a fólie Agrotex Eko hranici  $S_{INF} \geq 0,05$ , která značí velmi dobrou kvalitu půdy. V roce 2020 to bylo s fyzikální kvalitou půd u některé mulče horší. Všechny vzorky přesáhly hranici  $S_{INF} \geq 0,035$ , ale byly nižší než v roce 2018. Do kategorie velmi dobré půdy se opět zařadily vzorky kontrolní bez mulče a pod fólií Agrotex Eko. Celkově byly lepší hodnoty u rozložitelných fólií oproti organické mulči.

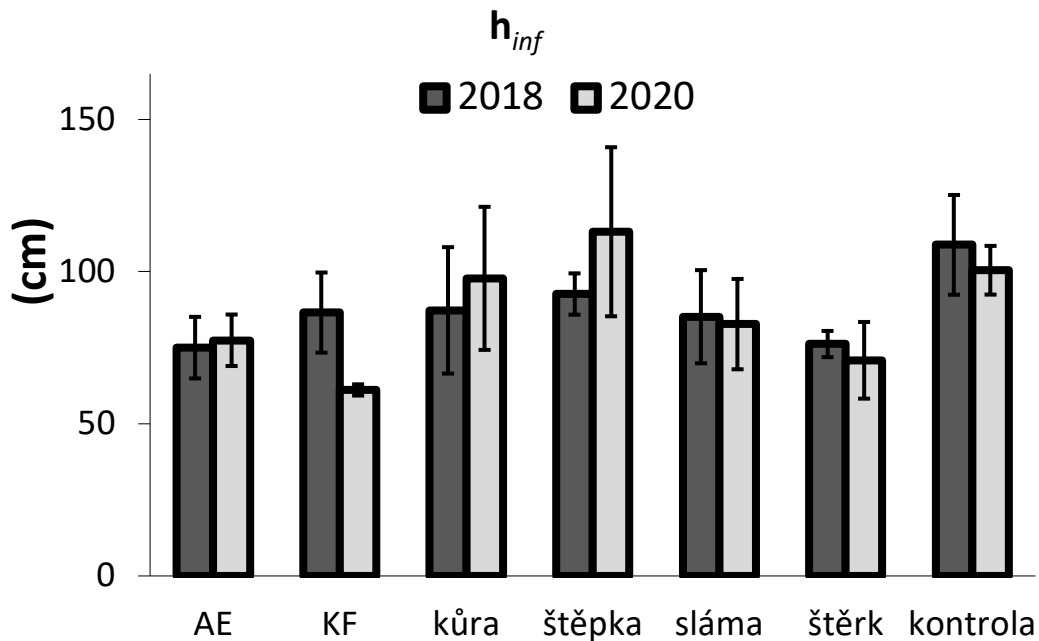


Obrázek 24: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020  $S_{INF}$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 25 si můžeme všimnout, že hodnoty  $h_{INF}$  byly v roce 2018 vyšší kromě tří případů (fólie Agrotex Eko, kůra, štěpka) než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty  $h_{INF}$  nejvyšší pro kontrolu 108,806 cm<sup>-1</sup> následuje štěpka 92,644 cm<sup>-1</sup>, kůra 87,278 cm<sup>-1</sup>, kůra-fólie 86,55 cm<sup>-1</sup>, sláma 85,193 cm<sup>-1</sup>, štěrk 76,206 cm<sup>-1</sup> a poslední fólie Agrotex Eko 75,022 cm<sup>-1</sup>.

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro štěpka 113,106 cm<sup>-1</sup> následuje kontrola 100,464 cm<sup>-1</sup>, kůra 97,797 cm<sup>-1</sup>, sláma 82,754 cm<sup>-1</sup>, fólie Agrotex Eko 77,447 cm<sup>-1</sup>, štěrk 70,865 cm<sup>-1</sup> a nejnižší pro kůra-fólie 61,128 cm<sup>-1</sup>.



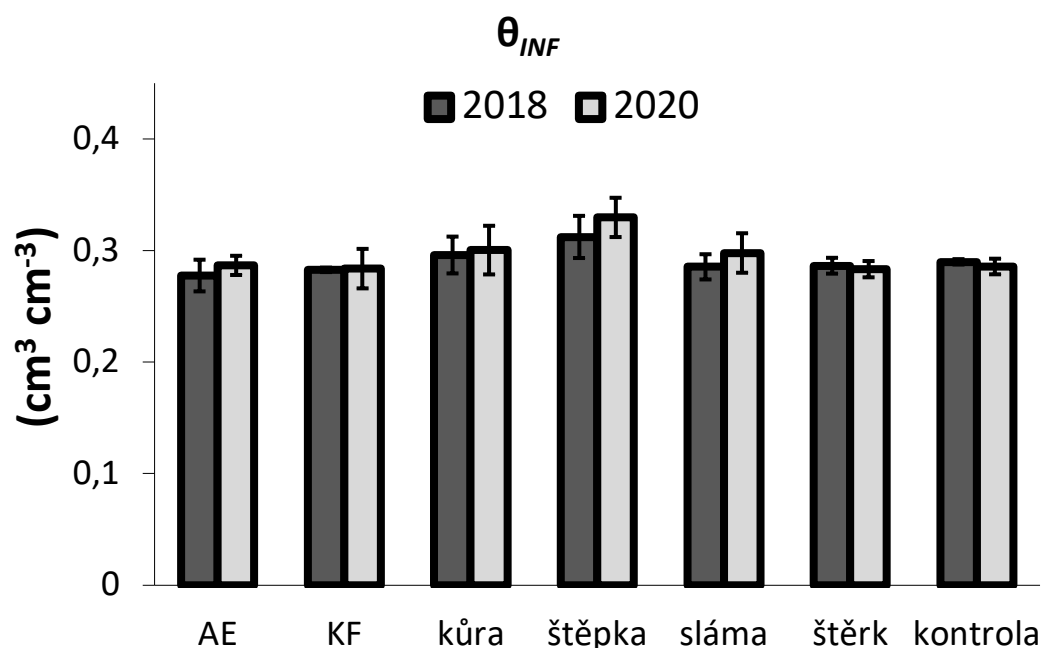
Obrázek 25: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020  $h_{INF}$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 26 si můžeme všimnout, že hodnoty  $\theta_{INF}$  byly v roce 2020 vyšší kromě dvou případů (štěrk, kontrola) než v roce 2018.

V roce 2018 byly hodnoty  $\theta_{INF}$  nejvyšší pro mulčovací materiál štěpka  $0,312 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje kůra  $0,296 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kontrola  $0,290 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,286 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,285 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,283 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední fólie Agrotex Eko  $0,278 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro štěpka  $0,330 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje kůra  $0,300 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,298 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , fólie Agrotex Eko  $0,287 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kontrola  $0,286 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,284 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a nejnižší pro štěrk  $0,283 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Hodnoty sledovaného parametru byly v obou termínech odběru půdních vzorků hodně podobné. Nevyskytovala se výrazná odchylka.



Obrázek 26: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020  $\theta_{INF}$ . Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

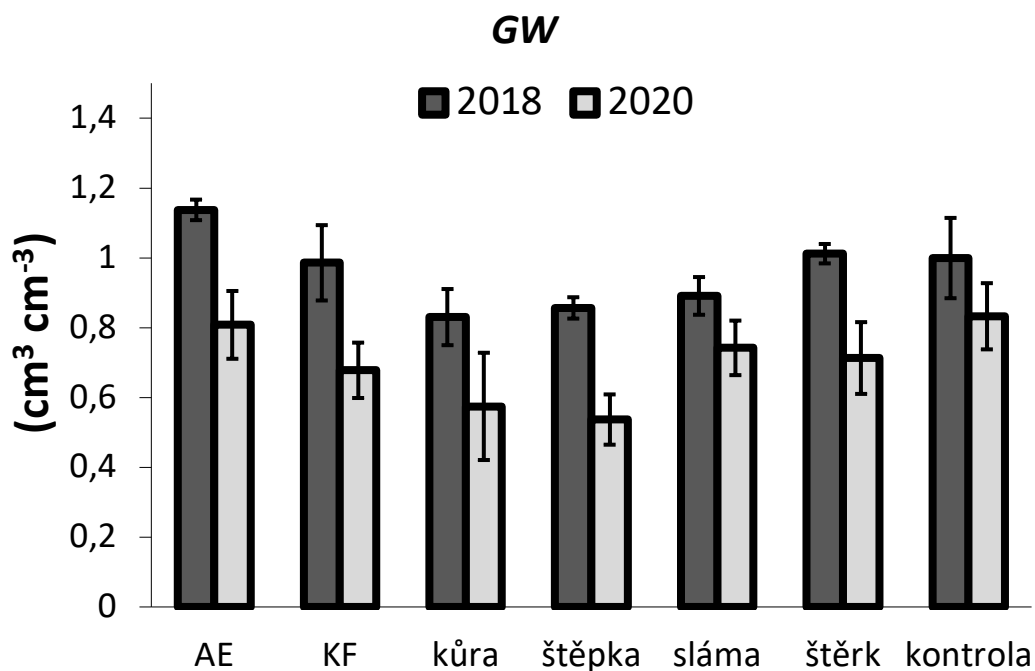
## 5.5 Voda snadno dostupná a voda gravitační

Výsledné naměřené průměrné hodnoty množství vody v půdě s jejich směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v Příloze 8. Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 27 si můžeme všimnout, že hodnoty gravitační vody (*GW*) byly v roce 2018 vyšší než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty *GW* nejvyšší pro mulčovací materiál fólie Agrotex Eko 1,137  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  následuje štěrk 1,012  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kontrola 0,999  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kůra-fólie 0,986  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , sláma 0,891  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , štěpka 0,856  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  a poslední kůra 0,830  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro kontrolu 0,833  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  následuje fólie Agrotex Eko 0,808  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , sláma 0,742  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , štěrk 0,713  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kůra-fólie 0,678  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , kůra 0,574  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  a nejnižší pro štěpku 0,537  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

Množství gravitační vody se během dvou let snížilo ve všech případech.



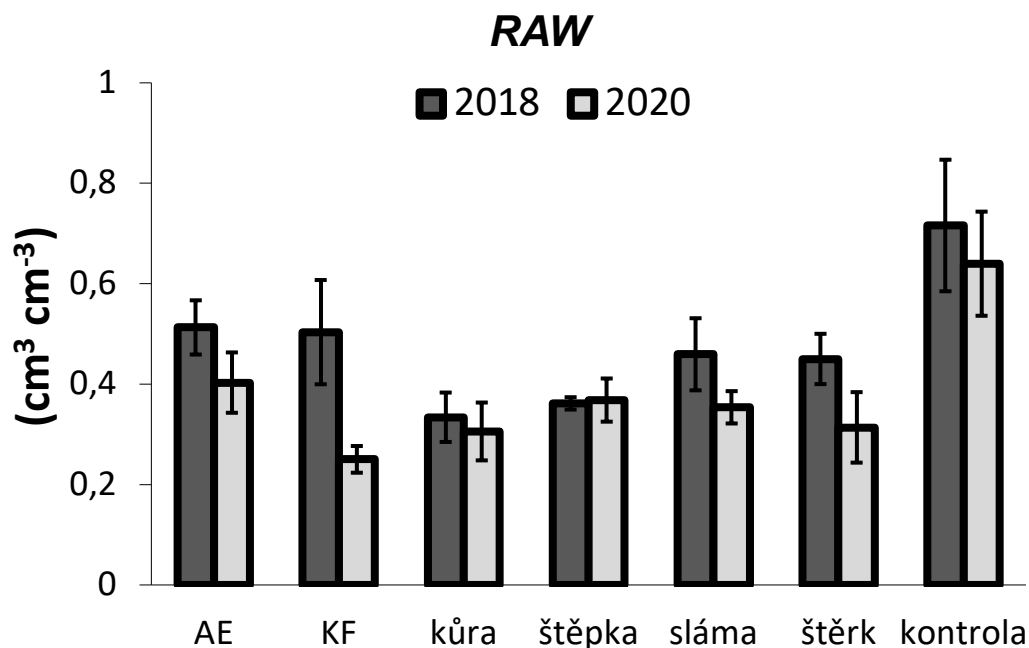
Obrázek 27: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 *GW*. Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

Po porovnání dat v grafu, který můžeme vidět na Obrázku 28 si můžeme všimnout, že hodnoty snadno dostupné vody (*RAW*) byly v roce 2018 nižší než v roce 2020.

V roce 2018 byly hodnoty *RAW* nejvyšší pro kontrolu  $0,716 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje fólie Agrotex Eko  $0,513 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra-fólie  $0,504 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,459 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,450 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěpka  $0,361 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a poslední kůra  $0,334 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

V roce 2020 byly hodnoty nejvyšší pro kontrolu  $0,640 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  následuje fólie Agrotex Eko  $0,403 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěpka  $0,368 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sláma  $0,354 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , štěrk  $0,314 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , kůra  $0,306 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a nejnižší pro kůra-fólie  $0,250 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Množství snadno dostupné vody se během dvou let se zhoršila.



Obrázek 28: Průměrné hodnoty (pro každou variantu mulče) v roce 2018 a 2020 *RAW*. Chybové pruhy označují směrodatné odchylky.

## 6 Diskuze

Při měření fyzikálních, hydrofyzikálních a hydraulických vlastností neporušených půdních vzorků mezi lety 2018 a 2020 bylo zjištěno mnoho zajímavých informací. Během hodnocení je nutné brát v potaz to, že parametry jsou mezi sebou provázány (např. pórovitost a objemová hmotnost půdy). Základní fyzikální vlastnost–pórovitost se mírně zhoršila kromě půdy, kde byla aplikována kůra. Zmíněné zhoršení mezi ostatními materiály nebylo ovšem tak významné.

Výsledky ukazují, že půdy pod mulčovacími materiály jsou půdy ve velmi dobré fyzikální kvalitě. V případě štěpky nastínil sklon retenční křivky v inflexním bodě zlepšení fyzické kvality půdy u ostatních se jednalo o mírné zhoršení. Tvar retenční křivky v roce 2020 byl pod kůrou a dřevní štěpkou pozvolnější oproti jiným mulčovacím materiálům a kontrole. U půd ošetřených organickým mulčem byl podobný trend retenční křivky a podobný byl i u půd ošetřených fóliemi a šterkem. Nejvíce podobný trend byl u šterku a kůra-fólie. Vesměs vzorky z obou let dosahovaly podobných výsledků, ale v roce 2020 došlo k mírnému zhoršení. Výsledky z kontrolních ploch mají v roce 2020 v některých případech nejvyšší hodnoty.

Pavlu et al. 2021, kteří prováděli průzkum na stejném pozemku, ale v letech 2015-2018 uvádějí, že mulčovací materiál má na fyzikální a hydraulické vlastnosti půdy vliv. V jejich studii se při rozboru půdních vzorků použily Tempské cely. V mé práci se použil přetlakový aparát. Při výzkumu v roce 2018 došlo k zvýšení parametrů oproti roku 2015: nasycené vlhkosti, reziduální vlhkosti,  $\theta_{INF}$ ,  $\alpha$ . K snížení došlo u  $h_{INF}$  a objemové hmotnosti ( $\rho d$ ). V roce 2020 hodnoty základních fyzikálních vlastností (pórovitosti a objemové hmotnosti) zůstaly podobné. U charakteristik, které popisují půdní pórový systém také velká změna nenastala, kromě hodnot  $\theta_s$ - $\theta_{70}$ , které popisují obsah hrubých kapilárních pórů, kde rozdíly vidět byly. U hydraulických vlastností: nasycené vlhkosti ( $\theta_s$ ) a  $n$  hodnoty zůstaly podobné, větší rozdíly byly patrné u reziduální vlhkosti ( $\theta_r$ ) a  $\alpha$ . Inflexní body se během dvou let patrně nezměnily kromě ojedinělých případů (viditelnější změna pod materiálem kůra-fólie u  $S_{INF}$  a  $h_{INF}$ ). U gravitační vody se hodnoty snížily a u snadno dostupné vody byl největší rozdíl opět pod materiálem kůra-fólie.

Podle studie Jordán et al. 2010 z jihozápadního Španělska má dlouhodobá aplikace mulče vliv na zlepšení fyzikálních a chemických vlastností. Souvisí však i s rychlostí mulčování.

Tu et al. 2021 ve své studii uvádí, že fyzikální vlastnosti ornice v citrónových sadech se v průběhu let zlepšovala, čím déle byla aplikována živá mulč v podobě trávy. Omezovala odtok vody a erozi.

Ai-Tian et al. 2021 ve své studii prokázali, že aplikace plastové fólie vedlo k nárůstu ukládání půdní vody v povrchové vrstvě do 60 cm o 8,4 %. Zvýšila se ovšem i intenzita evapotranspirace, která byla připisována transpiraci rostlin, protože plastová fólie brání odpařování vody z půdy. Důležité bylo zjištění, že z hlubokých vrstev půdy pod plastovou fólií lze účinně získávat zpět vodu. Plastová mulč zlepšila vlhkostní podmínky a produkci nadzemní a kořenové biomasy.

Zhao et al. 2014 uvádějí, že plochy ošetřené mulčem v podobě fólie mají vliv na využívání vody a výnos brambor.

Zhang et al. 2021 ve své studii uvádí, že biologicky odbouratelná plastová mulč a plastové mulče ovlivňují půdní prostředí. Mohou chránit půdní vlhkost. Zmiňovali studii Merwin et al.

1995, kteří studovali v jablečném sadu vliv mulče v podobě fólie a dřevěné štěpky. Kdy během chladných a vlhkých let štěpka konzervovala více vlhkosti oproti polypropylenové fólii. Dle Walsh et al. 1996 to mohlo být způsobeno vyšší teplotou pod černou fólií, která způsobovala rychlejší odpařování.

Tuure et al. 2021 studovali rozdíly ve vlhkosti půdy mezi nepokrytou a pokrytou mulčem z kukuřičných zbytků. Z výsledků vyplývá, že půda krytá kukuřičnými zbytky zachovala vlhkost půdy v průběhu času v efektivní kořenové zóně ve srovnání s holou půdou. Účinek zachování vlhkosti se zvyšuje s tloušťkou mulče.



## 7 Závěr

Cílem této práce bylo popsat vliv mulčovacích materiálů na různé fyzikální a hydraulické vlastnosti půd. K určování těchto vlastností byly odebrány vzorky na univerzitním demonstračním pozemku České zemědělské univerzity v Praze – Troja. Bylo provedeno porovnávání vzorků mezi dvěma odběry v letech 2018 a 2020. V obou letech se vzorky odebíraly ze sedmi různých ploch: štěpka, kůra, kůra-fólie, šterk, sláma, fólie Agrotex Eko a z kontrolní plochy. Dohromady bylo odebráno 69 neporušených půdních vzorků. V laboratoři na neporušených půdních vzorcích byly zjištěny fyzikální vlastnosti a v přetlakovém aparátu hydraulické vlastnosti. Výsledné hodnoty byly vloženy do programu RETC, kde došlo k proložení naměřených bodů retenčních čar. Byly vypočteny charakteristiky popisující systém půdních pórů a inflexní body. Podle sklonu retenční čáry se hodnotila fyzikální kvalita půdy. A bylo stanoveno množství gravitační a snadno dostupné vody.

Nejvíce patrný rozdíl byl u parametrů hodnot  $\theta_s$ - $\theta_{70}$ , které popisují obsah hrubých kapilárních pórů. Jejich hodnoty se snížily. Podobné to bylo s hodnotami reziduální vlhkosti, které se snížily. Další rozdíl byl ve fyzikální kvalitě půdy. Vliv mulčovacích materiálů na sledované vlastnosti půdy je patrný.

## 8 Literatura

Bičík I, Budňáková M, Čermák P, Čtyroká J, Dreslerová D, Fiala P, Hauptman I, Janderková J, Jech K, Kender J, Kopp J, Kubík L, Kukul Z, Matějů L, Němec J, Němec J, Novák P, Pošmourný K, Rejšek K, Penížek V, Petrů K, Sánka M, Sedláček J, Šefrna L, Vácha R, Vašků Z, Zimová M. 2009. Půda v České republice. Consult Praha.

Brych K, Tesar M. 2014. Hydrologie malého povodí. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha.

Císlarová M, Vogel T. 2008. Transportní procesy ve vadózní zóně. ČVUT, Praha.

Čermák Š. 2020. Vliv hnojení na hydraulické vlastnosti zemědělských půd [diplomová práce] Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Česká zemědělská univerzita v Praze. 2019. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from <https://www.af.czu.cz/cs/r-6779-katedry-a-soucasti/r-8736-ostatni-pracoviste/r-8760-demonstracni-a-vyzkumna-stanice-troja> (Accessed February 2021).

Český hydrometeorologický ústav. 2020. Územní srážky. Resort životního prostředí, Praha. Available from <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#> (Accessed April 2021).

Dane JH, Topp CT. 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4 — Physical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison.

DEXTER AR, CZYZ EA. 2007. Applications of S-theory in the study of soil physical degradation and its consequences. *Land Degradation & Development* **18**: 369-381.

DEXTER AR. 2004a. Soil physical quality.: Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma* **120**: 201–214.

DEXTER AR. 2004b. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma* **120**: 215-225.

Dexter AR. 2004c. Soil physical quality: Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma* **120**: 227-239.

Duiker SW, Lal R, 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research* **52**: 73–81.

EkoTechnika. EkoTechnika: Stanovení retenčních křivek. Ekotechnika s.r.o., Karlík u Prahy. Available from: <https://ekotechnika.cz/kategorie/vyrobky/stanoveni-retencnich-krivek?page=2> (accessed April 2021).

- FAO. 2018. Světová referenční báze pro půdní zdroje 2014. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- GEOMAT s.r.o. 2012. Geomall. GEOMAT s.r.o., Brno. Available from <https://www.geomall.cz/data/uploaded-files/VL-EKO-CZ-A-12-03.pdf> (Accessed February 2021).
- Hillel D. 2003. Introduction to environmental soil physics. Elsevier Science & Technology.
- Hranice hornin, Geologická mapa 1 : 25 000. 2021. Geovědní mapy 1 : 25 000. Česká geologická služba, Praha. Available from <https://mapy.geology.cz/geocr50/> (accessed April 2021).
- Jakšík O, Kodešová R, Kubiš A, Stehlíková I, Drábek O, Kapička A. 2015. Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena* **127**: 287–299.
- Jandák J, Prax A, Pokorný E. 2001. Půdoznalectví. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.
- Jordán A, Zavala L. M, Gil J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* **81**: 77–85.
- Kalina M. 1999. Kompostování a péče o půdu. Grada Publishing, Praha.
- Kodešová R, Nikodem, Jakšík O, Klement A, Fér M. 2015. Metodika průzkumu hydro-pedologických podmínek na území ovlivněném vodní erozí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Korkanç S.Y, Şahin H. 2021. The effects of mulching with organic materials on the soil nutrient and carbon transport by runoff under simulated rainfall conditions. *Journal of African Earth Sciences* **176** (e 104152) DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2021.104152.
- Kůdela V. 2002. Plant protection science = Ochrana rostlin. **38**: 175.
- Kutílek M, Nielsen D. 2015. Soil: The Skin of the Planet Earth. Springer. Available from <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9789-4> (accessed April 2021).
- Lal R, Stewart BA. 1995. Managing soils for enhancing and sustaining agricultural production. Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. CRC Lewis Publishers, Florida.
- Merwin I.A, Rosenberger D.A, Engle C.A, Rist D.L, Fargione M. 1995. Comparing mulches, herbicides, and cultivation as orchard groundcover management systems. *HortTechnology* **5**: 151-158.

Mulumba L.N, Lal R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil Tillage Research* **98**: 106-111.

Němeček J, Mühlhanslová M, Macků J, Vokoun J, Vavříček D, Novák P. 2011. Taxonomická klasifikační systém půd České republiky. ČZU Praha, Praha.

Nikodem A, Kodešová R, Fér M, Klement A. 2021. Using scaling factors for characterizing spatial and temporal variability of soil hydraulic properties of topsoils in areas heavily affected by soil erosion. *Journal of Hydrology* (e125897) DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125897.

Nikodem A, Kodešová R, Fér M, Klement A. 2021. Variability of topsoil hydraulic conductivity along the hillslope transects delineated in four areas strongly affected by soil erosion. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* **69**(2) přijato.

Pavlů L, Kodešová R, Fér M, Nikodem A, Němec F, Prokeš R. 2021. The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol. *Soil & Tillage Research* **205** (e104748) DOI: 10.1016/j.still.2020.104748.

Pavlů L. 2018. *Základy pedologie a ochrany půd*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Ren A-T, Zhou R, Mo F, Liu S-T, Li J-Y, Chen Y, Zhao L, Xiong Y-C. 2021. Soil water balance dynamics under plastic mulching in dryland rainfed agroecosystem across the Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **312** (e107354) DOI: 10.1016/j.agee.2021.107354.

Sánka M. Vácha R. Poláková Š. Fiala P. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půdy. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Soilmoisture Equipment Corp. Operating instruction: 15 Bar Pressure Plate Extractor. Santa Barbara, CA: 2009 Available from [http://www.ictinternational.com/content/uploads/2016/01/Resource\\_Instructions\\_0898-1500\\_1500-15-Bar-Pressure-Plate-Extractor.pdf](http://www.ictinternational.com/content/uploads/2016/01/Resource_Instructions_0898-1500_1500-15-Bar-Pressure-Plate-Extractor.pdf) (Accessed May 2021).

Soilmoisture Equipment Corp. Operating instruction: Tempe Pressure Cell. Santa Barbara, CA: 1995 Available from [https://ekotechnika.cz/sites/default/files/pdf/1400d\\_1995\\_6\\_1400d\\_tempe\\_cell.pdf](https://ekotechnika.cz/sites/default/files/pdf/1400d_1995_6_1400d_tempe_cell.pdf) (Accessed May 2021).

Svoboda J. 2005. *Ekozahrady*. Available from <http://www.ekozahrady.cz/mulcovani.htm> (Accessed February 2021).

Šantrůčková H. 2014. *Základy ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Šarapatka B. 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Šimek M. 2005. *Základy nauky o půdě 1. Neživé složky půdy*. Biologická fakulta JU, České Budějovice.

Tejada M, Gonzalez JL, García-Martínez AM, Parrado J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology* **99**: 1758–1767.

Tomášek M. 2007. *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha.

Tu A, Xie S, Zheng H, Li H, Li Y, Mo M. 2021. Long-term effects of living grass mulching on soil and water conservation and fruit yield of citrus orchard in south China. *Agricultural Water Management* 252 (e 106897) DOI:10.1016/j.agwat.2021.106897.

Tuure J, Räsänen M, Hautala M, Pellikka H, Mäkelä P.S.A, Alakukku L. 2021. Plant residue mulch increases measured and modelled soil moisture content in the effective root zone of maize in semi-arid Kenya. *Soil and Tillage Research* **209** (e 104945) DOI: 10.1016/j.still.2021.104945 .

UMS GmbH München. User manual: HYPROP. Mnichov. Available from [https://ekotechnika.cz/sites/default/files/pdf/hyprop\\_2010\\_11\\_hyprop\\_pf.pdf](https://ekotechnika.cz/sites/default/files/pdf/hyprop_2010_11_hyprop_pf.pdf) (accessed May 2021).

Van Genuchten M Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* **44**: 892-898. Available from <https://hwbddocuments.env.nm.gov/Los%20Alamos%20National%20Labs/TA%2054/11569.pdf> (Accessed February 2021).

Van Gunechten M. Th, Leij F. J, Yates S. R. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. U. S. Salinity Laboratory USDAARS, Kalifornie. Available from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.466.6966&rep=rep1&type=pdf> (accessed April 2021).

Wagner B, Tarnawski V.R, Hennings V, Müller U, Wessolek G, Plagge R. 2001. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma* **102**: 275–297.

Walsh BD, Salmins S, Deborah JB, MacKenzie AF. 1996. Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Canadian Journal of Soil Science* **76**:203-209.

Wilson DJ, Western AW, Grayson RB. 2005. A terrain and data-based method for generating the spatial distribution of soil moisture. *Advances in Water Resources* **28**: 43–54.

Zhang H, Miles C, Gerdeman B, LaHue DG, DeVetter L. 2021. Plastic mulch use in perennial fruit cropping systems – A review. *Scientia Horticulturae* **281** (e 109975) DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109975.

Zhao H, Wang R-Y, Ma B-L, Xiong Y-C, Qiang S-C, Wang C-L, Liu C-A, Li F-M. 2014. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem. *Field Crops Research* **161**: 137-148.

## 9 Samostatné přílohy

Příloha č. 1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro objemovou hmotnost ( $\rho_d$ ) a pórovitost ( $P$ ) získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020	2018	2020
mulčovací materiál	$\rho_d$ (g cm <sup>-3</sup> )	$\rho_d$ (g cm <sup>-3</sup> )	P (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	P (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
<b>AE</b>	1,337 ± 0,061	1,449 ± 0,051	0,496 ± 0,023	0,453 ± 0,019
<b>KF</b>	1,392 ± 0,011	1,446 ± 0,029	0,475 ± 0,004	0,454 ± 0,011
<b>kůra</b>	1,424 ± 0,068	1,403 ± 0,093	0,463 ± 0,026	0,471 ± 0,035
<b>štěpka</b>	1,355 ± 0,085	1,365 ± 0,038	0,489 ± 0,032	0,485 ± 0,014
<b>sláma</b>	1,447 ± 0,034	1,462 ± 0,068	0,454 ± 0,013	0,448 ± 0,026
<b>štěrk</b>	1,424 ± 0,039	1,484 ± 0,031	0,463 ± 0,015	0,440 ± 0,012
<b>kontrola</b>	1,432 ± 0,046	1,417 ± 0,059	0,460 ± 0,018	0,465 ± 0,022

Příloha č. 2: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro  $\theta_s$  (nasycené vlhkosti),  $\theta_r$  (reziduální vlhkosti) získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020	2018	2020
mulčovací materiál	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
<b>AE</b>	0,372 ± 0,021	0,353 ± 0,004	0,129 ± 0,004	0,193 ± 0,018
<b>KF</b>	0,373 ± 0,013	0,335 ± 0,016	0,138 ± 0,014	0,201 ± 0,016
<b>kůra</b>	0,373 ± 0,007	0,354 ± 0,028	0,124 ± 0,049	0,215 ± 0,017
<b>štěpka</b>	0,395 ± 0,024	0,388 ± 0,02	0,124 ± 0,030	0,241 ± 0,016
<b>sláma</b>	0,366 ± 0,017	0,363 ± 0,019	0,159 ± 0,009	0,191 ± 0,019
<b>štěrk</b>	0,378 ± 0,011	0,339 ± 0,005	0,141 ± 0,009	0,201 ± 0,013
<b>kontrola</b>	0,398 ± 0,012	0,369 ± 0,016	0,129 ± 0,012	0,175 ± 0,013

Příloha č. 3: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro  $\alpha$ ,  $n$  získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020	2018	2020
mulčovací materiál	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$n$ (-)	$n$ (-)
<b>AE</b>	0,024 ± 0,003	0,020 ± 0,002	1,643 ± 0,109	1,878 ± 0,106
<b>KF</b>	0,023 ± 0,004	0,032 ± 0,004	1,577 ± 0,060	1,590 ± 0,135
<b>kůra</b>	0,039 ± 0,004	0,020 ± 0,003	1,285 ± 0,054	1,634 ± 0,181
<b>štěpka</b>	0,037 ± 0,008	0,016 ± 0,003	1,294 ± 0,103	1,699 ± 0,056
<b>sláma</b>	0,022 ± 0,005	0,024 ± 0,004	1,621 ± 0,063	1,579 ± 0,122
<b>štěrk</b>	0,027 ± 0,004	0,024 ± 0,005	1,519 ± 0,083	1,788 ± 0,164
<b>kontrola</b>	0,016 ± 0,005	0,014 ± 0,001	1,756 ± 0,150	2,174 ± 0,217

Příloha č. 4: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro PK (polní kapacity),  $\theta_{70}$ , získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020	2018	2020
mulčovací materiál	$PK$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$PK$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{70}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{70}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
<b>AE</b>	0,195 ± 0,017	0,224 ± 0,015	0,282 ± 0,023	0,292 ± 0,009
<b>KF</b>	0,212 ± 0,008	0,236 ± 0,022	0,296 ± 0,011	0,279 ± 0,019
<b>kůra</b>	0,248 ± 0,020	0,259 ± 0,014	0,304 ± 0,013	0,310 ± 0,019
<b>štěpka</b>	0,263 ± 0,023	0,288 ± 0,021	0,324 ± 0,021	0,349 ± 0,026
<b>sláma</b>	0,220 ± 0,012	0,245 ± 0,021	0,297 ± 0,022	0,305 ± 0,021
<b>štěrk</b>	0,216 ± 0,004	0,230 ± 0,016	0,291 ± 0,010	0,284 ± 0,010
<b>kontrola</b>	0,209 ± 0,004	0,210 ± 0,006	0,326 ± 0,019	0,315 ± 0,014

Příloha č. 5: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro  $\theta_s - \theta_{70}$  (obsah hrubých kapilárních pórů) získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020

rok	2018	2020
mulčovací materiál	$\theta_s - \theta_{70}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_s - \theta_{70}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
<b>AE</b>	0,090 ± 0,002	0,061 ± 0,008
<b>KF</b>	0,090 ± 0,002	0,056 ± 0,006
<b>kůra</b>	0,077 ± 0,008	0,044 ± 0,012
<b>štěpka</b>	0,069 ± 0,006	0,039 ± 0,007
<b>sláma</b>	0,071 ± 0,004	0,059 ± 0,008
<b>štěrk</b>	0,081 ± 0,007	0,056 ± 0,007
<b>kontrola</b>	0,072 ± 0,013	0,055 ± 0,008

Příloha č. 6: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky  $h_{INF}$ ,  $\theta_{INF}$  získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020	2018	2020
mulčovací materiál	$h_{INF}$ (cm)	$h_{INF}$ (cm)	$\theta_{INF}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{INF}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
<b>AE</b>	75,022 ± 10,119	77,447 ± 8,463	0,278 ± 0,014	0,287 ± 0,009
<b>KF</b>	86,550 ± 13,166	61,128 ± 1,840	0,283 ± 0,002	0,284 ± 0,018
<b>kůra</b>	87,278 ± 20,772	97,797 ± 23,507	0,296 ± 0,017	0,300 ± 0,022
<b>štěpka</b>	92,644 ± 6,792	113,106 ± 27,778	0,312 ± 0,019	0,330 ± 0,018
<b>sláma</b>	85,193 ± 15,304	82,754 ± 14,845	0,285 ± 0,011	0,298 ± 0,018
<b>štěrk</b>	76,206 ± 4,307	70,865 ± 12,598	0,286 ± 0,007	0,283 ± 0,007
<b>kontrola</b>	108,806 ± 16,391	100,464 ± 8,006	0,290 ± 0,002	0,286 ± 0,007



Příloha č. 7: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro  $S_{INF}$  (sklon retenční čáry v inflexním bodě) získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020
mulčovací materiál	$S_{INF}$ (-)	$S_{INF}$ (-)
<b>AE</b>	0,068 ± 0,006	0,056 ± 0,009
<b>KF</b>	0,062 ± 0,011	0,035 ± 0,006
<b>kůra</b>	0,039 ± 0,005	0,039 ± 0,010
<b>štěpka</b>	0,042 ± 0,003	0,044 ± 0,004
<b>sláma</b>	0,057 ± 0,007	0,044 ± 0,004
<b>štěrk</b>	0,056 ± 0,007	0,045 ± 0,011
<b>kontrola</b>	0,084 ± 0,014	0,084 ± 0,012

Příloha č. 8: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro  $GW$  (gravitační voda),  $RAW$  (snadno dostupná voda) získané z přetlakového aparátu pro roky 2018 a 2020.

rok	2018	2020	2018	2020
mulčovací materiál	$GW$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$GW$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$RAW$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$RAW$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
<b>AE</b>	1,137 ± 0,029	0,808 ± 0,097	0,513 ± 0,054	0,403 ± 0,060
<b>KF</b>	0,986 ± 0,108	0,678 ± 0,079	0,504 ± 0,104	0,250 ± 0,027
<b>kůra</b>	0,830 ± 0,080	0,574 ± 0,154	0,334 ± 0,049	0,306 ± 0,058
<b>štěpka</b>	0,856 ± 0,031	0,537 ± 0,072	0,361 ± 0,012	0,368 ± 0,043
<b>sláma</b>	0,891 ± 0,054	0,742 ± 0,078	0,459 ± 0,072	0,354 ± 0,032
<b>štěrk</b>	1,012 ± 0,028	0,713 ± 0,103	0,450 ± 0,050	0,314 ± 0,070
<b>kontrola</b>	0,999 ± 0,115	0,833 ± 0,095	0,716 ± 0,131	0,640 ± 0,104