

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a enviromentálního  
modelování**



**Bakalářská práce**

**Měření hydraulické vodivosti na lesních půdách pod  
vybranými dřevinami na lokalitě Amálie**

**Vedoucí práce: Ing. Lukáš Jačka Ph.D.**

**Autor práce: Viktor Veselý**

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Viktor Veselý

Vodní hospodářství

Název práce

**Měření hydraulické vodivosti na lesních půdách pod vybranými dřevinami na lokalitě Amálie**

Název anglicky

**Hydraulic conductivity measurements of forest soils developing under selected tree species at the Amálie site**

---

### Cíle práce

Sepsání podrobné literární rešerše se zaměřením na nasycenou hydraulickou vodivost a související půdní vlastnosti.

Pod rozdílnými dřevinami na lokalitě Amálie provést měření hydraulické vodivosti při terénním nasycení a vyhodnotit vliv dřevin na tuto klíčovou hydraulickou charakteristiku půdy.

### Metodika

Stručně popsat vybrané půdní vlastnosti úzce související s hydraulickou vodivostí a popsat vlastnosti vybraných druhů dřevin (buk *Fagus sylvatica*, smrk *Picea abies*, modřín *Larix decidua*).

Na vybraných lokalitách provést terénní měření nasycené hydraulické vodivosti v mělkých vrtech s využitím Guelphského permeometru. Vyhodnotit naměřená data a popsat rozdílné hodnoty hydraulické vodivosti při terénním nasycení v závislosti na dřevině.



**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

hydraulické vlastnosti, lesní půda, infiltrace ve vrtech, vliv dřevin

---

**Doporučené zdroje informací**

- Fodor, N., Sándor, R., Orfanus, T., Lichner, L., Rajkai, K., 2011. Evaluation method dependency of measured saturated hydraulic conductivity. *Geoderma* 165, 60-68.
- Jačka, L., Pavlásek, J., Kalibová, J., Bašta, P., Kovář, M., Kuráž, V., 2018. The layering of a mountain podzol can strongly affect the distribution of infiltrated water in the soil profile. *J. Hydrol. Hydrom.* 66, 348–356.
- Kutílek, M., 1978. *Vodohospodářská pedologie*. SNTL- ALFA, Praha.
- Šimek, M., 2005. *Základy nauky o půdě, 1: neživé složky půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, České Budějovice, ISBN 80-7040-747-6.
- Zhang, Y., Schaap, M.G., 2019. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. *Journal of Hydrology* 575, 1011–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.058>
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Lukáš Jačka, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Konzultant**

Ing. Martin Kovář

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2023

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2023

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou/závěrečnou práci na téma: *Měření hydraulické vodivosti na lesních půdách pod vybranými dřevinami na lokalitě Amálie* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne: ....31.3.2023..... Podpis autora: .....Viktor Veselý.....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Lukáši Jačkovi, Ph.D. za možnost psaní bakalářské práce pod jeho záštitou, odborným dohledem, kontrolou a spoluprací při sběru dat v terénu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Kováři za veškeré konzultace, rady, typy, dohled, ochotu a spolupráci. V neposlední řadě také Veronice Veselé za korekturu textu.

## Abstrakt

Infiltrace vody a následná hydraulická nasycená vodivost se může významně změnit a urychlovat pod různými druhy dřevin. Pohyb a retence vody značně ovlivňuje veškeré organismy, které v půdě žijí, ať už to jsou rostliny, či malí živočichové. Do značné míry lze konstatovat i to, že ovlivňují život vegetace na povrchu půd. Dále retence a pohyb vody ovlivňuje samostatný proces tvorby půdy. Proto se tato bakalářská práce zaměřuje na to, jak se změní hydraulická nasycená vodivost a infiltrace vody pod dřevinami smrku, buku a modřínu. Výzkum a měření byl proveden na lokalitě Amálie, která se nachází v blízkosti obce Lány a prezentuje se jako chytrá krajina, jež spravuje Česká zemědělská univerzita v Praze. Jak již bylo zmíněno, data a informace se sbírala pod třemi druhy dřevin. Na každé lokalitě byly vyvrtané ručním vrtákem tři vrty, na kterých se následně provedla infiltrační měření za pomoci Guelpského permeometru. Z naměřených dat se potom vypočítala hydraulická nasycená vodivost pro každý jednotlivý pokus. Následně se z lokalit odebraly za pomoci válečků neporušené půdní vzorky.

V každé lokalitě vyšla z naměřených dat rozdílná průměrná hodnota nasycené hydraulické vodivosti. Vůbec největší hodnota hydraulické nasycené vodivosti byla naměřena pod smrkem s hodnotou  $1,55E-05$  m/s a nejmenší hodnota byla naměřena pod bukem a to  $9,75E-06$  m/s. Průměrné hodnoty pro jednotlivé lokality byly: smrk ( $7,02E-06$  m/s), buk ( $6,70E-06$  m/s) a modřín ( $7,58E-06$  m/s). Nejvyšší rychlost proudění není překvapivá, protože odpovídá popisu dřeviny a kořenovému systému. Smrk má nejvyšší pórovitost, proto tam voda proudila nejrychleji. S rostoucí hustotou půdy klesá rychlost proudění.

V této bakalářské práci jsou naznačeny trendy hodnot hydraulické nasycené vodivosti platné pouze pro zkoumané půdy pod vybranými dřevinami a pro zpřesnění výsledků by byla potřeba větší množství měření.

**Klíčová slova:** infiltrace, guelpský permeometr, půdní vlastnosti, hydraulická vodivost, Darcyho zákon, Amálie, hydraulické vlastnosti, lesní půda, infiltrace ve vrtech, vliv dřevin

## **Abstract**

Water infiltration and subsequent hydraulic saturated conductivity can change significantly and accelerate under different tree species. The movement and retention of water greatly affects all organisms that live in the soil, be they plants or small animals. To a large extent it can also be said to affect the life of vegetation on the surface of soils. Further, the retention and movement of water affects the independent process of soil formation. Therefore, this bachelor's thesis focuses on how much the hydraulic saturated conductivity and water infiltration change under spruce, beech and larch trees. The research and measurements were carried out at the Amálie site, which is located near Lány and presents itself as a smart landscape managed by the Czech University of Agriculture in Prague. As already mentioned, data and information was collected at the interface of the three tree species. Three boreholes were drilled with a hand auger at each site, where infiltration measurements were then taken using a Guelph permeameter. From the measured data, the hydraulic saturated conductivity was then calculated for each individual experiment. Next, intact soil samples were collected from the sites using rollers.

In each location the measured data resulted in a different average value of saturated hydraulic conductivity. The highest value of saturated hydraulic conductivity was measured under spruce with  $1.55\text{E-}05$  m/s and the lowest value was measured under beech with  $9.75\text{E-}06$  m/s. The average values for each site were: spruce ( $7.02\text{E-}06$  m/s), beech ( $6.70\text{E-}06$  m/s) and larch ( $7.58\text{E-}06$  m/s). The highest flow velocity is not surprising as it matches the tree species description and root system. Spruce has the highest porosity, so water flowed fastest there. The flow velocity decreases with increasing soil density.

In this bachelor thesis, trends of hydraulic saturated conductivity values valid only for the investigated soils under selected tree species are indicate and more measurements would be needed to refine the results.

**Keywords:** infiltration, Guelph permeameter, soil properties, hydraulic conductivity, Darcy's law, Amalie, hydraulic properties, forest soil, infiltration in boreholes, influence of tree species

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Literární rešerše .....</b>	<b>13</b>
3.1 Definice půdy .....	13
3.2 Složení půdy .....	13
3.3 Půdní typy .....	14
3.3.1 Černozem .....	14
3.3.2 Hnědozem .....	14
3.3.3 Kambizem .....	15
3.3.4 Luvizem .....	15
3.3.5 Pseudoglej .....	15
3.4 Půdní vlastnosti .....	16
3.4.1 Zrnitost .....	16
3.4.2 Struktura .....	17
3.4.3 Pórovitost .....	18
3.4.3.1 Půdní voda .....	19
3.4.3.2 Půdní vzduch .....	20
3.4.4 Hydraulická vodivost .....	20
3.4.5 Přímé a nepřímé stanovení hydraulické vodivosti .....	21
3.4.5.1 Laboratorní metody .....	22
3.4.5.2 Guelphský permeametr .....	23
3.4.5.3 Jednosondová metoda .....	24
3.4.5.4 Válcové infiltrometry .....	25
3.5 Darcyho zákon .....	26
3.6 Dřeviny .....	27
3.6.1 Buk .....	27
3.6.2 Smrk .....	28
3.6.3 Modřín .....	29
<b>4. Popis oblasti zájmového území .....</b>	<b>29</b>
4.1 Geomorfologie .....	30
4.2 Klima a využití území .....	30
<b>5. Metodika .....</b>	<b>30</b>
<b>6. Výsledky měření .....</b>	<b>32</b>
6.1 Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti v jednotlivých lokalitách .....	32
6.2 Průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pod dřevinami .....	33



<b>7. Diskuze .....</b>	<b>34</b>
<b>8. Závěr .....</b>	<b>36</b>
<b>9. Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>38</b>
<b>10. Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk .....</b>	<b>42</b>
10.1 Seznam obrázků .....	42
10.2 Seznam tabulek .....	42
<b>11. Přílohy.....</b>	<b>43</b>

# 1. Úvod

Půda se obecně popisuje jako nejsvrchnější vrstva zemské kůry. Půdu zařazujeme mezi vyčerpateľné zdroje. Půda vzniká zvětráváním horninových materiálů nebo usazováním a akumulací minerálních látek, které se přesunují za pomoci větru, vody či ledu. Typické pro půdu je to, že se v těchto zvětralých minerálních materiálech nachází i organická složka (organický materiál či organismy samy o sobě). Půda se dále rozděluje na mnoho půdních typů, nejznámější jsou například černozem, hnědozem či Kambizem. Vlastnosti půdy jsou vždy různé a mění se na základě struktury, textury a zrnitosti.

Mezi jedny z hlavních hydrologických a pedologických vlastností půd bezesporu zařazujeme hydraulickou nasycenou vodivost. Hydraulická nasycená vodivost se označuje jako  $K_s$  a vyjadřuje schopnost půdy vést či transportovat vodu v půdě. Hodnota hydraulické nasycené vodivosti se mění a je pro každý typ půdy různá.  $K_s$  je závislá na půdních vlastnostech jako je struktura, textura, zrnitost či pórovitost. Dále hydraulickou nasycenou vodivost ovlivňuje viskozita a hustota. Znalost hodnoty  $K_s$  je velmi důležitá, a to v odvětví hydrogeologie, pedologie či hydrogeologii.

Infiltrace vody, jejímž základním parametrem je hydraulická nasycená vodivost, se může významně změnit a urychlovat pod různými druhy dřevin. Infiltrace a s tím související, pohyb a retence vody, značně ovlivňuje veškeré organismy, které v půdě žijí, ať už to jsou rostliny, či jiné organismy. Do značné míry lze konstatovat i to, že ovlivňují život vegetace na povrchu půd. Dále retence a pohyb vody ovlivňuje samostatný proces tvorby půdy. Proto se tato bakalářská práce zaměřuje na to, jak se mění hydraulická nasycená vodivost pod dřevinami smrku, buku a modřínu.

V teoretické části této bakalářské práce, konkrétně v literární rešerši jsou proto popsány a definovány základní definice, pojmy, rozdělení půdy, popsány dřeviny a vybrané fyzikální vlastnosti půdy, které blízce souvisí s problematikou proudění vody v půdě. Dále jsou zde popsány metody, kterými lze stanovit hydraulickou nasycenou vodivost v terénu, jako je například Guelphský permeamter, jednosondová metoda či dvouválcový infiltrometr. V kapitole 4. – Popis oblasti zájmového území je popsána morfologie území, klimatický režim a využití oblasti, která funguje jako chytrá krajina. V kapitole 5. Metodika je popsáno,

jak probíhal proces sběru dat, ze kterých se následně dopočítávala hydraulická nasycená vodivost. V kapitole 6. Výsledky se bakalářská práce věnuje výsledkům měření, které jsou slovně popsány a následně prezentovány v grafech a tabulkách. V kapitole 7. Diskuze jsou výsledky porovnány a diskutovány s jinými výzkumy, které již na lokalitě Amálie byly provedeny.

## **2. Cíle práce**

Cílem této bakalářské práce je určení hydraulických vlastností lesních půd vznikajících pod rozdílnými dřevinami (smrk, buk, modřín) na lokalitě Amálie a to za pomoci Guelpského permeamtru, konkrétně určit a popsat nasycenou hydraulickou vodivost půdy z naměřených dat v terénu. Dále je cílem této práce popsat půdní vlastnosti a lokalitu Amálie, která funguje jako chytrá krajina České zemědělské univerzity.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Definice půdy

Půda je jeden z hlavních prvků přírody. Půda sama o sobě vzniká dlouholetými procesy. Tento děj se nazývá půdotvorný proces. Patří sem například zvětrávání zemské kůry nebo hornin. Půdu lze popsat jako vrstvu, která se nachází v největší vzdálenosti od zemského jádra. Kdyby neexistovala půda, dalo by se říci, že by pravděpodobně neexistoval ani život na této planetě (Tomášek 1995). Půda je dynamická a zároveň ji zařazujeme mezi přírodní útvary. Je to místo a domov pro velké množství živočichů, je schopna zachytávat látky a podílí se na koloběhu vody – transportu látek. Půda vzniká velmi pomalu, a proto jí lze zařadit ke zdrojům, které jsou vyčerpatelné, z tohoto důvodu je důležité ji chránit a dobře s ní hospodařit (Lhotský 2006). Půda vzniká hlavně zejména kvůli dvěma půdotvorným procesům a to – zvětrávání a působení živočišných organismů. Proto lze v půdě najít dvě hlavní složky: minerály a organické látky (humus).

#### 3.2 Složení půdy

Složení půdy je velmi důležité, a to z hlediska fungování, vlastností půdy a půdního režimu. Zjednodušeně by se dalo říct, že půda obsahuje pouze dvě hlavní složky. První složkou je část anorganická (neživá) a druhá organická (živočišného původu). Neživá složka obsahuje především pevné částice a póry – prostor mezi dvěma částicemi, který obsahuje vodu nebo vzduch (půdní vodu a půdní vzduch) (Šimek 2005).

U půdy klasifikujeme složky dle skupenství, tj. pevné, plynné a kapalné složky (Yong 2012). Pevnou část v půdě tvoří výhradně minerální látky a organické složky. Organické složky lze definovat jako zbytky živočišných či rostlinných částí.

- Organická hmota v půdě obsahuje živou (mikroorganismy, plantae) a mrtvou (rozkládající se části zvířat, zbytky odumřelých částí rostlin atd.) část. Složení organické složky je dle (Toor & Shober 2018) následovné: 50 % uhlík, 40 % kyslík, 9-10% vodík a dusík (společně) a případně síra 1 %.

Zvětráváním matečné horniny a následujícími půdotvornými procesy vznikají anorganické částice, které tvoří minerální složku půdy. Velikost těchto částic se pohybuje od drobných koloidních až po velké kusy hornin. Právě kvůli různým velikostem a uspořádání

částic dochází k velkému ovlivnění fyzikálních vlastností. Textura je dána velikostním poměrem jednotlivých minerálních částic a struktura zase jejich vzájemným uspořádáním (Šimek 2015).

Zvětrávání je proces, který nelze zastavit. Je to děj, který probíhá každou sekundu, neovlivňuje pouze matečnou horninu, ale také celý půdní profil. V závislosti na tomto ději se mění neustále velikostní frakce, jež má za důsledek změnu zrnitostního složení půdy (Pavlů 2018).

### **3.3 Půdní typy**

Půdní typy jsou rozdělovány na základě chemicko-fyzikálního složení půdního profilu. V České republice se nachází mnoho půdních typů, ale nejčastější jsou hnědozem, kambizem, hnědozem a luvizem.

#### **3.3.1 Černozem**

Černozem je hlubokohumózní druh půdy, který dosahuje až 30 centimetrů mocnosti. Černozem se vytváří ze spraší s příměsí písku a slínů silně nahromaděných a zhutnění půdní organické hmoty, v podmínkách nepromyvného vodního režimu. Počáteční vegetace, ze které se černozem vytváří jsou lesostepi a stepi. Ornice obsahuje od dvou do tří procent humusu. PH toho půdního typu bývá obvykle neutrální až mírně zásaditý. Procentuální zastoupení černozemě není nijak velké, na území České republiky to je kolem 11 % (MŽP 2018). Černozem je velmi důležitá pro zemědělství a je to jedna z nejúrodnějších půd.

#### **3.3.2 Hnědozem**

Hnědozem je půdní typ, který vzniká převážně v mírně vlnitých nebo rovinných oblastech. Tvořen je na spraších a hlínách a má mírně vystouplý horizont, za které mohou srážky a voda, která transportovala jílové částice hlouběji do půdního profilu. Stejně jako černozem, patří hnědozem mezi úrodné půdy, pouze má menší zastoupení organických látek (Vaněk 2012). Velká část hnědozemě je zoraná, protože se na našem území hojně využívá k zemědělské činnosti. Zastoupení organických látek je poměrně malé bývá často kolem 1,8 % (Kubík a Sánka 2010).



### **3.3.3 Kambizem**

Jedná se o půdu hnědé barvy, která se převážně vyskytuje v mírně teplých a vlhkých oblastech, v pahorkatinách či vrchovitých oblastech, průměr srážek v těchto oblastech bývá 770 mm a nadmořská výška je od 500 do 800 metrů nad mořem a průměrná roční teplota je kolem 8 stupňů Celsia. Původní vegetace, na kterých kambizem vzniká jsou listnaté a smíšené lesy. V chladnějších oblastech vrchovin s většími ročními srážkami roste obsah humusu. Čím větší je nadmořská výška, tím víc se zvedá mocnost půdy, s rostoucí nadmořskou výškou roste kyprost, obsah humusových látek, ale také vymývání půdy. Typickou vlastností proto tento typ půdy je velká pórovitost mezi jednotlivými agregáty (Smatanová 2014).

### **3.3.4 Luvizem**

Luvizem navazuje na černozem, ta se vytváří hlavně z těžkých, částečně i středně těžkých sedimentů jako jsou spraše a hlína, především se jedná o sedimenty z čtvrtohor. Jelikož se jedná o sedimenty, tak oblasti, kde se luvizem často nachází, jsou kotliny nebo nížiny. Luvizem je bohatá na minerály a živiny, ale na druhou stranu není až tak bohatá na vodu (jsou sušší). Tento typ půdy nemá až tak dobré fyzikální vlastnosti (mají tendenci se ulehávat) (Smatanová 2014). Fyzikálními vlastnostmi jsou přirovnatelné k hnědozemí s tím, že jsou znatelně horší. Luvizem se vyznačuje svou slabou kyselostí a výskytem ve vyšší nadmořské výšce než hnědozem (Vaněk 2012).

### **3.3.5 Pseudoglej**

Pseudoglej vzniká v oblastech, které jsou opakovaně vlhké a následně opět vysušené. To znamená, že takové oblasti jsou často v záplavových územích. Tento typ půdy se vyskytuje maximálně do 800 metrů nad mořem a v nižších polohách je utvářen na těžkých půdotvorných substrátech. Základní proces, který se děje v těchto půdách se jmenuje oglejení. Oglejení je proces, kdy dochází k opakovanému zaplavení a vysušení území, přičemž se redukuje obsah železa a manganu v půdě. Proto tato půda tvoří skvrny, pruhy a mramorování. Pseudoglej se nachází na rovinách, plošinách či mírně svažitéch úpatích. Tento typ půdy není nijak úrodný a většinou zde roste jen tráva (Smatanová 2014).

### 3.4 Půdní vlastnosti

Vlastnosti půdy rozdělujeme na tři základní skupiny: fyzikální, chemické a biologické. Mezi těmito skupinami existuje určité propojení a navzájem se ovlivňují, jak ve finálních vlastnostech půd, tak i na její schopnost úrodnosti.

#### 3.4.1 Zrnitost

Zrnitost (textura) patří mezi nejzákladnější fyzikální vlastnosti půdy. Textura udává zrnitostní zastoupení v půdě, a to od nejjemnějších po nejhrubší. Půdní frakce nejjednodušeji rozdělujeme do 2 skupin (jemnozeme a skelet). Jako jemnozeme označujeme částice, které nejsou větší než 2 mm, naopak skelet jsou částice, jež jsou větší než 2 mm.

Jemnozeme hraje významnou roli v ovlivňování vlastností půdy. Podíl jemnozeme v půdě ovlivňuje například transport živin, které rostliny nutně potřebují. Dále ovlivňuje pórovitost, obsah edafonu v půdě (organické hmoty), soudržnost půdy (kohezi), schopnost půdy pohlcovat vodu a mnoho dalších.

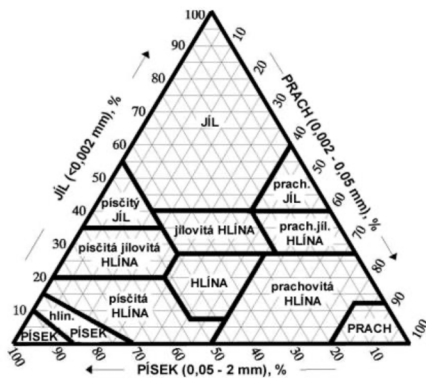
Zrnitostní složení v České republice (dále jen ČR.) rozlišujeme do mnoha skupin. Mezi 3 nejzákladnější skupiny patří: písčité, prachová a jílová. U nás v ČR používáme pro klasifikaci půdního druhu dvě metody. Klasifikaci „dle Nováka“ viz. tabulka č.1 a „Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd viz. obrázek č.1 (NRSC USDA)“. Pro klasifikaci dle Nováka je potřeba znát procentuální zastoupení jílnatých částic <0,01 mm ve vzorku.

Obsah částic < 0,01 mm [mm]	Označení druhu půdy	Zkratka	Klasifikace půdy
0 - 10	písčité	P	lehká
10. - 20	hlinitopísčité	HP	
20 - 30	písčitohlinité	PH	středně těžká
30 - 45	hlinité	H	
45 - 60	jílovitohlinité	JH	těžká
60 - 75	jílovité	JV	
>75	jíl	J	

Tabulka č.1: Klasifikace půdního druhu dle Nováka

(Šimečková 2014).

Pro trojúhelníkový diagram je zase potřeba znát procentuální zastoupení jílu (<0,002 mm), prachu (0,002 – 0,05 mm) a písku (0,05–2 mm) (Šimečková 2014).



Obrázek č.1: Diagram půdní textury podle systému USDA (Pavluš

2018).

### 3.4.2 Struktura

Struktura půdy by se dala definovat jako uspořádání pevných částic a pórů, které se shlukují do větších seskupení, jež nazýváme půdní agregáty. Půdní agregáty jsou většinou soubor půdních částic, které jsou z valné většiny minerálního původu, ale nevyklučuje se i obsah organického. Stejně jako textura, tak i struktura výrazně ovlivňuje vlastnosti a fungování půdy. Uspořádání půdních agregátů má vliv na fungování organismů, zadržování vody, provzdušnění, transportu živin, infiltraci a celkové propustnosti půdy (vody, vzduchu). Částice jsou k sobě vázány různými mechanismy a silami. To má za následek to, že v půdě nalézáme agregáty o různých velikostech a rozměrech. Stabilita půdní struktury vyjadřuje pevnost stmelení strukturních agregátů. Půdní struktura podléhá okolním jevům, proto se v čase mění. Například velký rozdíl bude v období sucha a v období dostatku vody (Huang 2011).

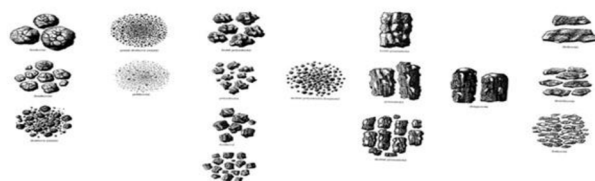
Na základě velikosti a rozměrů půdních agregátů rozlišujeme 3 kategorie: makroagregáty ( $> 250 \mu\text{m}$ ), mikroagregáty ( $2-250 \mu\text{m}$ ) a jílovité částice (menší než  $2 \mu\text{m}$ ). Jakmile má půda nedostatek tmelících látek dochází k tomu, že se mezi sebou částice jednotlivých půdních částic nepojí a zůstávají v takzvaném elementárním stavu (samostatný písek). Za dostatku těchto látek se jednotlivé částice k sobě pojí a poté vznikají různorodé tvary a velikosti půdních agregátů. Jak již bylo zmíněno, půdní struktura podléhá okolním jevům a je ovlivněna mnoha faktory. Tyto faktory můžeme rozdělit na tři základní: biotické, abiotické a antropogenní. Antropogenní faktor je takový, který je ovlivněn lidskou činností (orba půdy, špatné hospodaření). Biotický faktor na druhou stranu ovlivňují pouze živé

organismy (žížaly, kořeny, vegetace). Poslední abiotický či fyzikální faktor ovlivňují pouze „neživé věci“ jako je například vítr, voda a tak dále (Hůla a Procházková, 2008).

Půdní struktura výrazně ovlivňuje pórovitost. Pór lze popsat jako prostor mezi dvěma půdními částicemi či agregáty. Velikost póru rozlišujeme na makropóry a mikropóry. Logicky z toho vyplývá, že vzdušnost a propustnost vody či vzduchu, bude u makropórů mnohonásobně větší. Dále půdní strukturu ovlivňují chemické vlivy, a to třeba vazby jílovitých částic, které jsou při tvorbě agregátů nezbytné. Biologický nebo jak již bylo zmíněno biotický vliv zase ovlivňuje strukturu zcela jinak, poté co například žížala nebo jiný makroskopický živočich utvoří při svém pohybu cestu, rozrušuje danou strukturu a tvoří novou. Vliv má také růst a odumírání kořenových systémů, které za sebou zanechávají podobné „cestičky“ (Šimek 2005). Jak lze vidět na obrázku č.2, strukturu půdy rozdělujeme do 3 skupin. Struktura kulovitá, zrnitá a polyedrická.

A – Izometrické (všechny tři rozměry přibližně stejné) strukturální elementy			B – Anisometrické (jeden nebo dva rozměry se liší) strukturální elementy						
A1 – Kulovitá struktura	A2 – Zrnitá struktura	A3 – Polyedrická struktura	B1 – Vertikálně protažené elementy	B2 – Horizontálně protažené elementy					
hrudovitá	> 50	zrnitá	10-5	polyedrická	> 10	hrubě prismatická (sloupkovitá)	> 50	deskovitá	> 5
hrudovitá	50-10	jemně zrnitá	5-1	drobně polyedrická	< 10	prismatická (sloupkovitá)	50-20	destičkovitá	5-2
drobtovitá	10-5					drobně prismatická (sloupkovitá)	< 20	listkovitá	< 2
jemně drobtovitá	5-1								
práškovitá	> 1								

Pozn.: Velikosti elementů jsou v milimetrech.



Obrázek č.2: Tvary a třídění

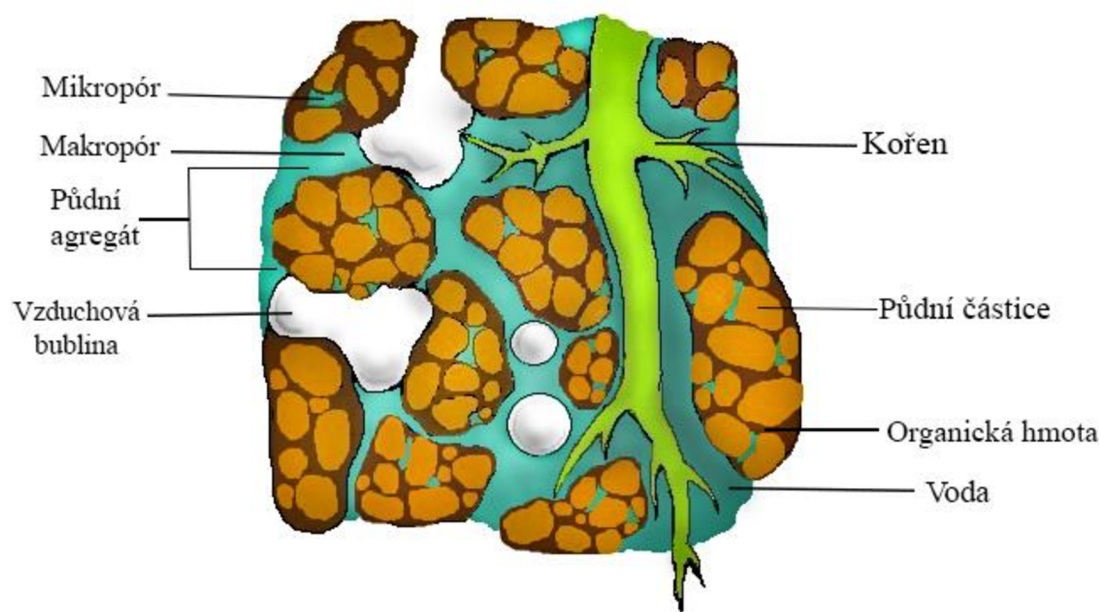
strukturálních půdních elementů.

### 3.4.3 Pórovitost

Pórovitost patří mezi jedny z nejdůležitějších fyzikálních vlastností půdy. Půdní póry označujeme jako prostor, který se nachází mezi jednotlivými půdními agregáty, je to takzvaně prostor nevyplněn pevnými částicemi. Tvar a velikost půdních pórů se liší a jsou závislé na půdní struktuře. Právě prostor mezi půdními agregáty-póry umožňují transport vody v půdě. V prostorech, kde není půdní voda se nachází vzduch (Pokorný 2007). Póry tedy mohou být vyplněné půdní vodou, vzduchem či půdními roztoky. (Hillel 1998).

V celkovém objemu půdy hraje pórovitost důležitou roli. Půdní roztoky a vzduch tvoří právě až 50 % objemu. Procentuální zastoupení vody či vzduchu v půdě se mění a je závislé na klimatických podmínkách, jakmile bude pršet, půdní vzduch se vytlačí a nahradí jej voda.

Naopak v suchém období mizí půdní roztoky a prostor póru naplňuje vzduch (Šantrůčková et al., 2018).



Obrázek. č.3 – Schéma půdního prostředí.

Póry, jak lze vidět na obrázku č.3 rozdělujeme na dvě skupiny: makropóry a mikropóry. Rozdíl mezi nimi je jak ve velikosti, tak i ve schopnosti zachycovat vodu. Makropóry svou velikostí nejsou schopny vodu dlouhodobě zadržovat, a proto kvůli gravitaci voda odtéká pryč. Naopak mikropóry svou velikostí jsou schopny vodu kapilárně vázat. Pórovitost udáváme v objemových procentech (Vopravil 2010). Proces tvorby pórů ovlivňují organické složky. Kořeny rostlin, které vyrostly zaplňují prostor v půdě a čerpají vodu. Jakmile kořeny začnou odumírat a dojde k procesu rozkladu, následný prostor, kde kořen býval se již nevyplní a vznikne prázdný půdní prostor = pór. To samé platí při transportu organismů v půdě. Jejich pohyb má za následek vytváření „cest“, které již nejsou vyplněny (Oades, 1993).

### 3.4.3.1 Půdní voda

Půdní voda je nesmírně důležitá pro organismy žijící v půdě. Veškeré živiny, které se nachází v půdě jsou rozpuštěny právě v této vodě. Voda se v půdě nachází, jak již bylo několikrát zmíněno v pórech. Struktura a textura půdy je pro zachycování vody v půdě

důležitá, čím více organické složky se v půdě nachází a jemnější a menší póry jsou, tím se voda v půdě lépe udržuje. Půdní voda také slouží jako regulátor kyselosti/zásaditosti a ovlivňuje teplotu půdy samotné (Šantrůčková 2014). Kdykoliv mluvíme o půdní vodě, nikdy se nejedná čistě o  $H_2O$ , kvůli rozpuštěným látkám se často jedná o různě koncentrované roztoky. Nejčastější látky jsou například K, Na,  $PO_4^{3-}$ , Mg, dusičnany, chloridy a ionty  $NH_3$  (Laník, Halada 1960). Půdní voda, která slouží jako hlavní činitel rozpouštění a transportu látek, je proto absolutně existenciálně důležitá pro veškeré organismy a živočichy žijící v půdě.

### 3.4.3.2 Půdní vzduch

Stejně jako půdní voda, tak se i půdní vzduch nachází v prostorech pórů. Je to takzvaně plynná výplň prostorů pórů, které neobsahují vodu. Stejně jako voda, tak i chemické složení půdního vzduchu se odlišuje od toho „klasického“ vzduchu atmosférického. Půdní vzduch obsahuje mnohem méně kyslíku ( $O_2$ ) a větší procento  $CO_2$ . Přitom zastoupení kyslíku je důležité pro zásobování edafonu a rostlin (Vopravil 2010). Nejdůležitějšími plyny v půdě jsou jednoznačně kyslík a oxid uhličitý. Koncentrace kyslíku je daná především tím, jak moc je půda provzdušněná a také na tom, jak moc dobře se kyslík dokáže rozpustit ve vodě. Hlavní původ oxidu uhličitého v půdě je respirace jednotlivých rostlin a organismů. Množství oxidu uhličitého v půdě je zejména důležité proto, protože způsobuje pokles či nárůst pH půdy.

### 3.4.4 Hydraulická vodivost

Hydraulická vodivost se rozděluje na nasycenou a nenasycenou. Nasycená hydraulická vodivost je schopnost půdy transportovat vodu, a to i přes stav půdy, kdy je zcela nasycena (ve stavu půdy, kdy veškeré póry již obsahují vodu a neobsahují žádný půdní vzduch). Rozdíl tedy mezi nasycenou a nenasycenou hydraulickou vodivostí je ten, v jakém stavu se půda nachází. Nenasyceném proudění nastává v půdě za situace, kdy póry stále obsahují půdní vzduch. Čím je číslo hydraulické vodivosti větší, tím je také průtok v půdě rychlejší (Kozák 2011). Hydraulická vodivost je určována filtračním součinitelem (koeficient filtrace a koeficient hydraulické vodivosti). U hydraulické vodivosti je důležité dbát na to, že se jedná o jednotky metru za sekundu (m/s) a ne metry čtvereční ( $m^2$ ), které náleží jiné veličině – propustnosti prostředí (Kuráž 2011).



Nasyčená hydraulická vodivost (dále pouze  $K_s$ ), patří k nejdůležitějším hydraulickým vlastnostem. Jedná se o hlavní veličinu v oblasti hydrogeologie, hydrogeologie, vodním hospodářství a zemědělství. Jak již bylo řečeno, vyjadřuje proudění kapalin v porézním prostředí. (Bát'ková 2013). Hodnota  $K_s$  podléhá vlastnostem proudění kapaliny a pórovitosti daného prostředí. Dynamická viskozita, hustota kapaliny, textura a struktura půdy, tvar a velikost póru a skeletovitost hodnotu  $K_s$  ovlivňují (Pavlásek, Jačka, 2014). Nasyčená hydraulická vodivost je jeden z členů pro výpočet zdánlivé rychlosti proudění – Darcyho rovnice.

$$Q = K * S \quad Q = K * \frac{(H_2 - H_1)}{L}, \quad q = K_s \frac{\Delta H}{\Delta L}, \quad q = \frac{Q}{S}$$

$Q =$  průtok ( $m^3/s$ ),  $K =$  nasyčená hydraulická vodivost ( $m/s$ ),  $S =$  plocha ( $m^2$ ),  $H =$  hydraulická výška ( $m$ ),  $L =$  délka vzorku,  $q =$  filtrační rychlost ( $m/s$ )

### 3.4.5 Přímé a nepřímé stanovení hydraulické vodivosti

Stanovení hydraulické nasyčené vodivosti lze rozdělit na dvě metody, a to přímou a nepřímou. Rozdíly mezi těmito metodami jsou markantní, nepřímá metoda je používána především k hrubému odhadu  $K_s$ , zatímco přímé metody určují hodnotu co nejpřesněji. Nepřímé metody vychází ze znalosti textury, struktury, zrnitosti, obsahu organických látek či objemové hmotnosti (Kutílek 2000).

#### Přímé stanovení hydraulické vodivosti

Přímé stanovení hydraulické vodivosti dělíme na dvě základní skupiny, a to podle toho, kde se metoda odehrává – metody laboratorní a terénní. Pro stanovení  $K_s$  v terénu se využívají různé metody. Jeden z hlavních faktorů, který ovlivňuje, jaká metoda se využije jsou podmínky stanoviště. V lokalitách s dostupnou hladinou podzemní vody využijeme spíše jednosondovou metodu, a naopak v místě, kde je nedostatek podzemní vody využijeme různé infiltrometry (Parr & Bertrand 1960). Pro laboratorní metody je nutnost z terénu dostat neporušený vzorek půdy, se kterým se nadále bude pracovat v laboratoři. Tyto neporušené vzorky jsou odebírány většinou v kalibrovaných válečcích o objemu  $100 \text{ cm}^3$ . Velmi důležitý krok je daný půdní vzorek před začátkem testování důkladně nasytit vodou, a to do úplného maxima (Valla 2002). Podle propustnosti vzorku se poté měří  $K_s$  s proměnným nebo stálým spádem. Když je vzorek málo propustný, využívá se spád proměnný (Pavlásek, Jačka 2014).

Využívání laboratorních metod má spoustu výhod, měření je přesnější, jednodušší a snadněji proveditelné. Tento typ měření má ale také nevýhody, a to například to, že potřebujeme neporušený vzorek v co nejlepším stavu dovézt až do laboratoře a objem vzorku bývá většinou nižší než reprezentativní objem půdy (Kuráž 2009).

#### **3.4.5.1 Laboratorní metody**

Velmi často se laboratorní metody využívají v případech, kdy nelze určit hydraulickou nasycenou vodivost přímo v terénu. Jedna z velkých nevýhod laboratorních metod je ta, že se  $K_s$  vyhodnocuje pouze pro malý půdní objem oproti terénu, kdy pokus probíhá na větším objemu půdy. Proto se může stát, že takto odebraný půdní vzorek nemusí správně reprezentovat správnost měření (Pavlásek et Jačka, 2014).

Pro stanovení hydraulické nasycené vodivosti v laboratoři se používají neporušené půdní vzorky, které se odebírají přímo z terénu. Tyto neporušené vzorky se následně měří v laboratorních permeametrech. Vzorky se střední nebo vysokou propustností se měří konstantním spádem a vzorky s nízkou propustností zase se spádem proměnným. Nevýhody laboratorních metod jsou následovné: Půdní vzorky nejsou v hydraulickém kontaktu s okolní půdou, jsou měřeny menší objemy půd anebo se po cestě do laboratoře půdní vzorek poničí. Mezi výhody patří například přesné stanovení a kontrola okrajových podmínek či určování  $K_s$  podle základní definice Darcyho zákona (Kanwar, 1989).

#### **Propustoměr s konstantní hladinou**

Propustoměr s konstantní hladinou se využívá tehdy, když testovaný materiál je hrubozrnný nebo středozrnný (písky, šterky). Hodnoty hydraulické nasycené vodivosti se pohybují od  $10^{-1}$  do  $10^{-6}$  m/s. Dále se udržuje stejný hydraulický gradient a měří se průtok vody a následuje výpočet hydraulické nasycené vodivosti za pomoci Darcyho zákona (Briaud, 2013).

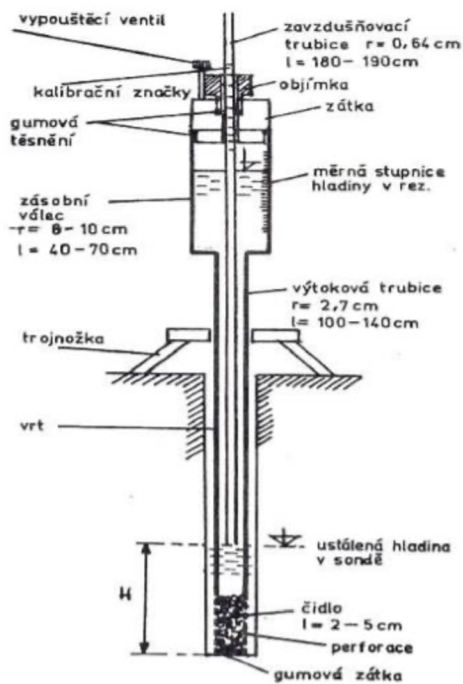
#### **Propustoměr s klesající hladinou**

Tento propustoměr se využívá pro vzorky, který obsahují jemnozrnné materiály s hydraulickou vodivostí mezi  $10^{-7}$  až  $10^{-11}$  m/s. Rozdíl mezi propustoměrem s konstantní hladinou a hladinou klesající je takový, že se na tento propustoměr připevní úzká trubice se stupnicí, na které lze odečítat pokles tlakové výšky. Voda proudí z této trubice skrz vzorek do

nádoby, ve které je přetékáním udržována konstantní hladina. Měření se vícekrát opakuje a zaznamenává se hladina v trubici, a to v krátkých časových intervalech (Briaud, 2013).

### 3.4.5.2 Guelphský permeametr

Gulephský permeametr je metoda terénního stanovení hydraulické nasycené vodivosti. Tento přístroj nám umožňuje měřit i v hlubších místech. Důležitý faktor, který ovlivňuje hloubku měření je stabilita půdy. Před každým měřením je vyvrtaná sonda, kam se vkládá permeametr. Za pomoci trubky, která slouží jako přívod vzduchu nastavíme konstantní hladinu vody v sondě. Pomocí permeamtru pak sledujeme a měříme infiltrační rychlost (Matula 1989). Zde na obrázku č.4 lze vidět jednotlivé části Guelphského permeamtru.



Obrázek č.4: Popis Guelphského permeamtru, zdroj: Matula. 1989

Guelphský permeametr se využívá za situace, kdy hladina podzemní vody je nedostatečná, a proto potřebuje vlastní zdroj vody, který po sléze budeme nalévat do permeamtru. Přístroj vložíme do vyvrtané sondy o známých parametrech (hloubka a průměr sondy) viz obrázek č.5. Potom musíme nastavit stálou tlakovou výšku za pomoci trubice, která poskytuje přístup vzduchu. Díky Guelphskému permeamtru zjistíme tlak, který působí

na dno a stěny trubice a hodnoty infiltrační rychlosti. Pro úplnost musíme posléze vypočítat nasycenou hydraulickou vodivost (Kodešová, 2005).



Obrázek č.5: *Guelphský permeametr v terénu.*

### 3.4.5.3 Jednosondová metoda

#### Jednosondová metoda

V místech, kde je dostatečná hladina podzemní vody se využívá metoda jednosondová. Nejprve se vyvrtá sonda a následně se voda odčerpá. To, co se měří je, za jak dlouho a jak rychle vystoupá hladina podzemní vody zpět na původní hladinu. Na základě těchto informací se určí nasycená hydraulická vodivost. Tento princip měření se využívá především v půdách bez zvrstvení a s co nejvíce podobnou propustností v půdním profilu (Bařková 2012). Pro výpočet nasycené hydraulické vodivosti používáme tři způsoby. První pomocí rovnice Hooghoudta a Ernsta a druhý podle rovnice Kirkhama a van Bavela. Třetí a zároveň poslední je metoda Hvorstelova metoda. Každá ze těchto uvedených metod má své klady a zápory, proto se jejich využití liší podle potřebných podmínek.

#### 3.4.5.4 Válcové infiltrometry

Nejčastěji se využívají kovové válce viz obrázek č.6, které umožňují svislé proudění vody. K měření se používají válce o průměru pět až sto dvacet centimetrů. V běžné praxi se především využívají dvouválcové infiltrometry a měří se hlavně to, jak moc dobře je půda schopna vsakovat vodu na povrchu. První válec (menší) slouží jako prostor, ze kterého měříme vsak. Druhý kovový kruh především slouží jako zábrana proti rozlití vody do okolí (Cislerová, 1989, Kutílek 1978). Tato metoda se využívá v lokalitách, kde není dostatečná hladina podzemní vody, a proto musíme mít s sebou vlastní zdroj vody. Pro tuto metodu je zapotřebí mít: dva soustředné válce, měrné hroty, kladivo a zdroj vody. V terénu za pomoci těchto válců zjistíme, jaké množství vody se vsákne do půdy za čas (Bařková 2013).



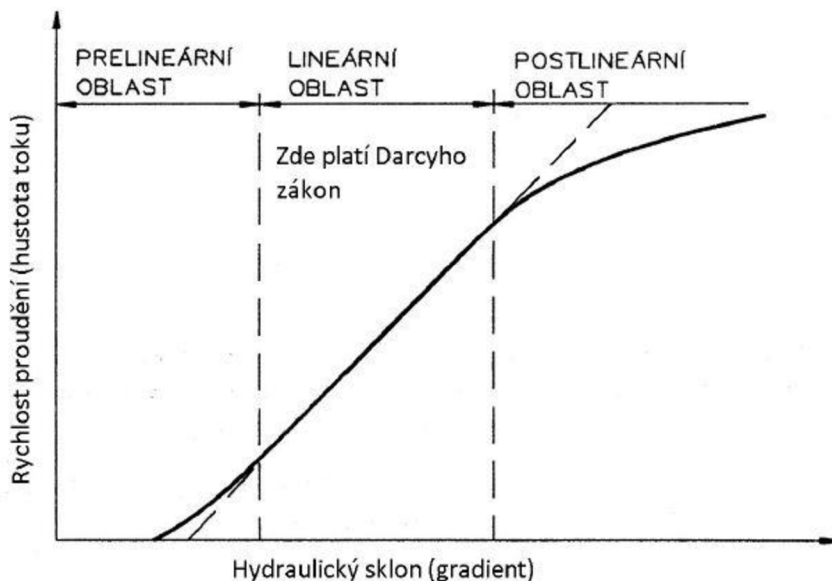
Obrázek č.6: *Součásti dvouválcového infiltrometru (Ekotechnika, 2019)*

Základní princip funguje na tom, že postupně doléváme vodu do vnitřního válce a měříme čas infiltrace mezi dalšími dolití vody. Pro začátek měření je důležité ustálit hladinu výtopy pro předem danou výšku, dále musíme jen hladinu udržovat na této hodnotě (Kutílek 1966).

### 3.5 Darcyho zákon

Darcyho zákon se jmenuje podle francouzského inženýra Henryho Darcyho, ten uskutečnil pokus, při kterém vzal půdu o předem známém objemu a hmotnosti a pouštěl do ní stále stejný proud vody. Z pokusu vyplynulo, že hodnoty hydraulické výšky na začátku měření a na konci nejsou stejné. Henry Darcy proto zavedl veličinu, kterou dnes všichni znají pod názvem hydraulická vodivost. Díky tomuto pokusu zjistil lineární závislost mezi hydraulickou výškou a průtokem. Tento zákon popisuje závislost proudění vody v kapalině v plně nasyceném porézním prostředí (Darcy 1856).

Hydraulická vodivost, plocha průřezu daného vzorku, rozdíl tlakových výšek na vstupu a výstupu zařízení a výška půdy přímo souvisejí s průtokem vody v porézním prostředí (Šráček, Kuchovský, 2003). Jak již bylo zmíněno, Darcyho zákon popisuje lineární závislost mezi hydraulickým gradientem a rychlosti proudění v nasyceném prostředí, proto Darcyho zákon platí jen a pouze v lineární oblasti.



Obrázek č.7: Platnost Darcyho zákona (Převzato z: Pavlásek et Jačka, 2014)

Jak lze vidět na obrázku č.7. v předlineární oblasti je rychlost proudění skoro nulová, za což můžou jemnozrnné materiály. Jak lze vidět z obrázku č.7, tak Darcyho zákon neplatí také v postlineární oblasti. Důvod je podobný jako v prelineární oblasti, rozdíl je v tom, že důvodem jsou hrubozrnné materiály. Proto abychom zjistili, v jaké části se nacházíme využíváme



Reynoldsovo číslo. Reynoldsovo číslo je vyjádřeno součinem efektivního průměru zrna, rychlosti proudění a hustotou ku dynamické viskozitě (Pavlásek, Jačka, 2014).

### 3.6 Dřeviny

V námi vybrané lokalitě (Amálie) se nachází mnoho různých druhů dřevin. Proto jsme vybrali pouze tři druhy, se kterými jsme následovně pracovali a prováděli pokusy a tj. buk, smrk a modřín.

#### 3.6.1 Buk

Buk je opadavý strom, může vyrůst do výšky 45 metrů a zároveň mít průměr kmenu kolem 1,5 metru. Věk takto velkých buků je až 400 let (Zahradník 2014). Větrosnubné květy rozkvétají během května a následně se z nich během roku vyvinou ostnitě čížky, které následně opadnou v druhé půlce podzimu. Tato dřevina začíná plodit nejdříve ve věku přibližně 75 let. Buk je strom, který roste pomalu, ale v prvních deseti letech svého života předčí svým růstem i stromy jako jsou smrky, jedle nebo dub. Maximální výšky dosahují ve věku padesáti let a do šířky rostou celý život. Pokud buk roste v hlubokých půdách, tak dochází k tomu, že kořenový systém vytváří markantní srdčitou kořenovou soustavu, díky které je strom kvalitně zakotven. V případě, že strom nedokáže proniknout svými kořeny hluboko do půdy, dochází pak ve starším věku k tomu, že se často vyvrátí (Vyskot 1962). Buk lesní je momentálně jeden z nejvíce rozšířených stromů v našich lesích. Na území ČR zaujímá necelých 6 % veškeré lesní půdy. Přirozený poměr této dřeviny v lese by měl být do 40 procent, na obrázku č.8 lze vidět přirozený výskyt buku v lese. Na druhou stranu se doporučuje alespoň 18 % zastoupení v každém lese (Musil, Hamerník 2003). Za příznivých podmínek pro buk dochází k tomu, že tento strom vypuzuje a vytlačuje ostatní dřeviny. Špatné lokality pro růst buku jsou ty, kde je půda často mokrá nebo suchá a zároveň i lokality, které jsou často pod přímým sluncem. Buku se daří tam, kde půda obsahuje hodně živin a má dostatek vody. Tato dřevina roste téměř na jakékoliv hornině a trpí na mrazy. Buk je také jedna z nejdůležitějších listnatých hospodářských dřevin (Řezáč, 2001). Dřevo buku se řadí mezi dřeva pevná, tvrdá a spíše málo flexibilní a pokrývá 230 305 ha (MZE, 2019).



obrázek č.8: *Buk na rozhraní se*

*smrkem a modřínem. Autor: (Viktor Veselý 2022).*

### 3.6.2 Smrk

Smrk je strom, který patří do čeledi borovicovitých a to je zároveň jedna z nejvíce rozšířených dřevin v jihovýchodní a střední Evropě. Čím je smrk starší, tím více se mění barva jeho kůry. Z počátku má barvu světle hnědou a postupem času se mění na šedo-červeno hnědou. Kůra je zpočátku hladká a také se postupně mění, a to na to kůru šupinovitou a rozpuklou. Plodem smrku jsou šišky, které dosahují délky až 15 cm. Smrk dorůstá do výšky 50 metrů a může být starý až 200 let (Björn, 2013). Pro smrk jsou nejpříznivější půdní podmínky takové, při kterých je půda podmáčená a vlhká. Tento strom nejlépe roste na půdách, které jsou středně hluboké až hluboké. Smrky, kvůli své struktuře větvení trpí labilitou (nedostatečně hluboké zakořenění). Dále se smrky vyskytují v oblastech od 0 až 1550 metrů nad mořem (Hecker, 2009). Smrk ztepilý patří k nejdůležitějším dřevinám, co se týče hospodářství, v dřívějších dobách byl vehementně vysazován, a proto se stal jednou z nejrozšířenějších dřevin vůbec (zastoupení smrku na území České republiky je v dnešní době cca 50 %) (Štursa, 2016). Smrk je stálezelený strom a jeho jehličí se obměňuje přibližně každých 5 až 9 let. Oblasti, kde se smrky na území ČR vyskytují jsou převážně všechny pohoří od Hrubého Jeseníku, Orlické hory, Krkonoše, Jizerské hory, Krušné hory přes Šumavu a Český les. Zastoupení těchto stromů na území České republiky je přibližně pěti násobný tomu původně přirozenému, a to na úkor buků a dubů (Musil, Hamerník, 2007).

### 3.6.3 Modřín

Modřín je strom, který dorůstá přibližně stejně jako smrk, a to do výšky 50 metrů, maximální tloušťka tohoto stromu se pohybuje kolem 1,6 metru. Modřín je dřevina, která roste poměrně rychle, dožívá se až 500 let a trpí zastíněním (Slávik, 2006). Modřín má velmi dobře ukotvený kořenový systém, díky kterému nedochází tak často k vyvrácení a také ho uznáváme jako prvek, který napomáhá stabilitě svahů (Musil, 2001). Tento strom je opadavý jednodomý a dospívá nejrychleji ze všech jehličnanů na našem území. Doba kvetení se liší podle stanoviště (Klika, 1953). Právě kvůli rychlému růstu v mládí dochází později k značnému zpomalení, kolem 20 roku života modřínu ho předhání smrk svým vzrůstem a následuje borovice a jedle. Modřín roste nejrychleji do 60 roku a po 100 letech značně slábne, do šířky roste neustále (Svoboda, 1953). Modřín má skvělou schopnost odolávat nepříznivým podmínkám, tato schopnost je spjata s velkou potřebou světla. Na přirozených místech výskytu dokáže modřín růst v hlubokých a zvětralých půdách, tak i na mělkých svazích (Svoboda, 1953). Modřín je strom, který se vyskytuje ve střední Evropě, v Karpatech a Alpách, kde jeho poměr roste s rostoucí nadmořskou výškou. (Slávik, 2006). V 50. letech minulého století měl modřín malé zastoupení na našem území, a to kolem jednoho a půl procenta a od té doby jen roste. Důvod, proč byl modřín vysazován, byla potřeba zalesnit kalamitní holiny. Modřín shazuje své jehličí každý rok, a proto dobře odolává imisím (Šindelář, 2006).

## 4. Popis oblasti zájmového území

V této kapitole se budeme zabývat popisem oblasti Amálie, která slouží jako „chytrá krajina“ České zemědělské univerzity.

Tato oblast spadá pod CHKO, a to konkrétně Křivoklátsko (AOPK, 2022).

Na území povodí Brejlského potoka probíhá měření a detailní sběr dat třech vegetačních stanovišť, jež jsou modřín, smrk a buk. Celkově se v této lokalitě nachází 55 čidel, která neustále sbírají data. V této lokalitě jsou čidla umístěna do dvou rozdílných hloubek a snímají vlhkost. První jsou čidla ve vrchní vrstvě, ty jsou umístěny do hloubky 14 centimetrů, druhá čidla jsou umístěna od 15 do 29 centimetrů (Jačka, 2021).

Na základě probíhajícího projektu „chytrá krajina“ byl v této lokalitě proveden hydrofyzikální průzkum, z laboratorních výsledků vyšlo, že půdní profil v celém tomto území je hodně diverzní. Znatelný rozdíl mocnosti organické složky v půdním profilu byl již po pár metrech. Z rozboru zrnitosti vzešlo stanovisko, že je v této lokalitě podíl prachových částic přes 60 %. Z měření vyplynulo, že většina půdního druhu je prachovitá hlína a jen minimálně prachovitá jílovitá hlína. V tomto území se nachází kambizem mesobazická a kambizem oglejná mesobazická (Státní geologická služba, 2022).

## **4.1 Geomorfologie**

System: Hercynský – Hercynské pohoří

Provincie: Česká Vysočina – Poberounská provincie

Brdská oblast – Křivoklátská vrchovina

Podcelek – Lánská pahorkatina

## **4.2 Klima a využití území**

Území Amálie se nachází v klimatické oblasti mírně teplé, kde se roční teplota v průměru šplhá mezi 7 až 8,5 stupni celsia a průměrný úhrn srážek je kolem 500 mm (CENIA 2019, VUMOP 2019).

Dle Corine Land Cover (2018) se lokalita dělí na 6 kategorií. Majoritní kategorie v zájmovém území jsou lesy, a to jak jehličnaté, listnaté, tak smíšené. Dále nesmíme zapomenout na ornou půdu, která se v oblasti hojně vyskytuje. Minoritní skupiny jsou pastviny, přirozená vegetace a zemědělská území.

## **5. Metodika**

Terénní měření se uskutečnilo v období od 12.7.2022 do 13.7.2022 a bylo prováděno za pomoci Guelpského permeometru, který nám umožnil dopočítat nasycenou hydraulickou vodivost. První den byly určena místa pro první dvě lokality, kde se následně vyvrtaly vrty o

průměru 7 cm a hluboké od 9 do 12 cm, a to u každé lokality třikrát. Druhý den se se provádělo to samé, akorát na třetí lokalitě. Vyhodnocování dat poté probíhalo až v areálu České zemědělské univerzity, a to na Fakultě životního prostředí.

Měření proběhlo na předem dohodnuté lokalitě Amálie, která je jedním z pilotních územích ČZU pro tvorbu „Chytré krajiny“ (CVPK, 2021). Po příjezdu na tuto lokalitu byly veškeré přístroje vybaleny, složeny a přepraveny do lesa, kde později proběhlo měření. Místa měření byla vybrána na základě vegetačního pokryvu, a to pod třemi druhy dřevin (buk, smrk, modřín). Lokality jednotlivých dřevin byly označeny v zápisnicích jako 1-buk, 2-modřín, 3-smrk viz. příloha č.6.

Během měření byla potřeba speciálních zařízení jako například Guelphský permeometr. Dále byly používány tyto pomůcky: barely s vodou, kbelík, metr, trojnožka, palice, vodováha, nůž, ježek, vrták, stopky a pumpička. Po dokončení každého pokusu byl vždy permeometr doplněn o požadované množství vody pro provedení dalšího měření.

Měření probíhalo tak, že se pokaždé vyvrtal vrt, následně se vyčistil a upravil tak, aby se v něm nenacházelo nic, co by mohlo mít negativní vliv na pokus (větvíčky, kořínky, listy atd.). Poté se změřily parametry vrtu (hloubka, průměr). Dále se připravil již sestavený Guelphský permeometr, který byl již naplněn vodou, nastavila se výška výtopy a umístil se do vrtu tak, aby se konec trubice, ve které proudila voda nedotýkala našeho dna vrtu. Poté se sledoval pokles hladiny vody v Guelphském permeometru a výsledky se postupně zapisovaly do zápisníku. Hodnoty, které jsme naměřili, jsme poté upravili tak, aby odpovídaly požadovaným jednotkám pro předem nastavenou excelovou tabulku, následně jsme vypočítali přes excelovou tabulku hodnoty  $K_s$ .

$$\text{Hodnoty } K_s \text{ jsme vypočítali za pomoci vzorce } K_s = \frac{C_w i_{cg} A_g}{2\pi h_g^2 + C_w \pi r_g^2 + 2\pi h_g / s_n}$$

(Elrick et al., 1989; Reynolds, 2008).

Kde:  $A_g$  = plocha průřezu nádrže na vodu GP,  $C_w$  = bezrozměrný koeficient tvaru vrtu,  $s_n$  = sorpční číslo. Hodnota  $C_w$  byla vypočtená na základě Zhang et al. 1998.

Dále se z každé lokality odebral neporušený půdní vzorek pro následné laboratorní pokusy. Toto se provedlo za pomoci kovových válečků, které se opatrně zatloukly do země. To probíhalo tak, že se kovový váleček přiložil na půdu a za pomoci kladiva se zatlouk do země,

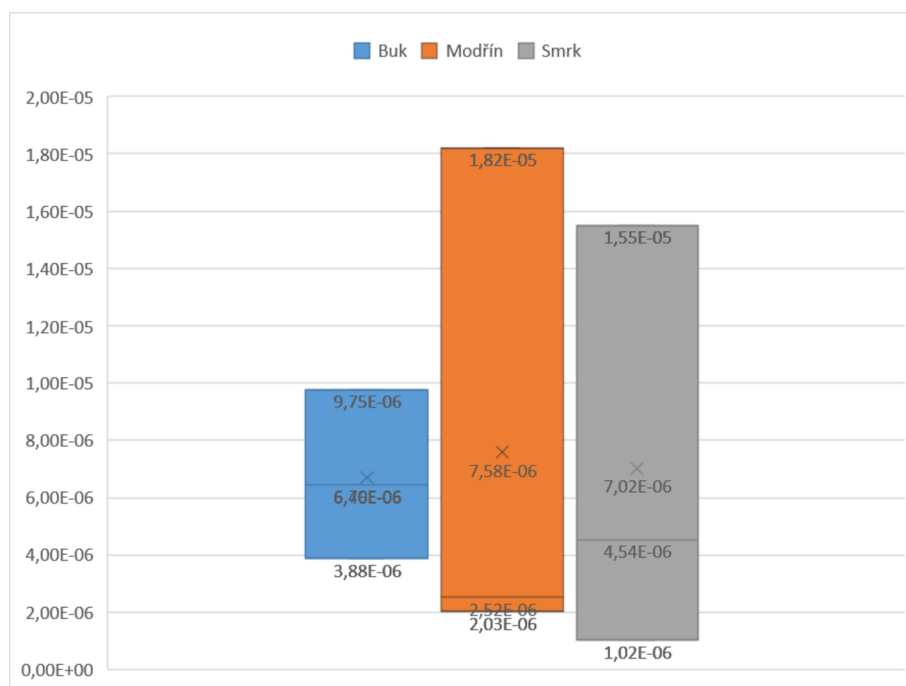
následně se větší část půdy vyrýpnula ven, opatrně se ořízla a následně očistila. Poté se váleček uzamkl kovovým víkem a byl převezen na fakultu.

## 6. Výsledky měření

Veškeré hodnoty a výsledky vychází z dat naměřených ve dnech 12. - 13.7.2022 v lokalitě Amálie.

### 6.1 Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti v jednotlivých lokalitách

Jak lze vyčíst z tabulky č.2, nejmenší  $K_s$  byla naměřena pod bukem a to  $9,75E-06$  m/s. Dále se v této lokalitě naměřila hodnota nasycené hydraulické vodivosti  $6,46E-06$  m/s a  $3,88E-06$  m/s. Naopak největší hodnotu  $K_s$  jsme naměřili pod smrkem a to  $1,55E-05$  m/s. Dále hodnoty hydraulické nasycené vodivosti byly  $1,02E-06$  m/s a  $1,55E-05$  m/s. U modřínu byly naměřeny hodnoty  $1,82E-05$  m/s,  $2,03E-06$  m/s a  $2,52E-06$  m/s. Na obrázku č.9 lze pozorovat číselné a grafické znázornění hodnot  $K_s$ .



Obrázek č.9 – Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pod dřevinami

[m.s-1]	měření		
Lokalita	1	2	3
Buk	9,75E-06	3,88E-06	6,46E-06
Modřín	1,82E-05	2,52E-06	2,03E-06
Smrk	1,02E-06	4,54E-06	1,55E-05

Tabulka č.2: Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pod dřevinami

## 6.2 Průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pod dřevinami

Z hodnot, které lze vidět v tabulce č.2 vychází, že průměrné hodnoty hydraulické nasycené vodivosti pro jednotlivé dřeviny se odlišují. Pro buk je průměrná hodnota  $K_s$  **6,70E-06 m/s**, průměrná hodnota pro modřín je **7,58E-06 m/s** a pro smrk **7,02E-06 m/s**.

V tabulce č.3 lze také vidět, že se pod každou dřevinou změnil i koeficient variace. Ze všech dřevin byl koeficient variace největší u modřínu s hodnotou **1,21**. Poté následuje smrk s koeficientem **1,08** a nejmenší rozptyl v datech měl buk s hodnotou koeficientu **0,44**.

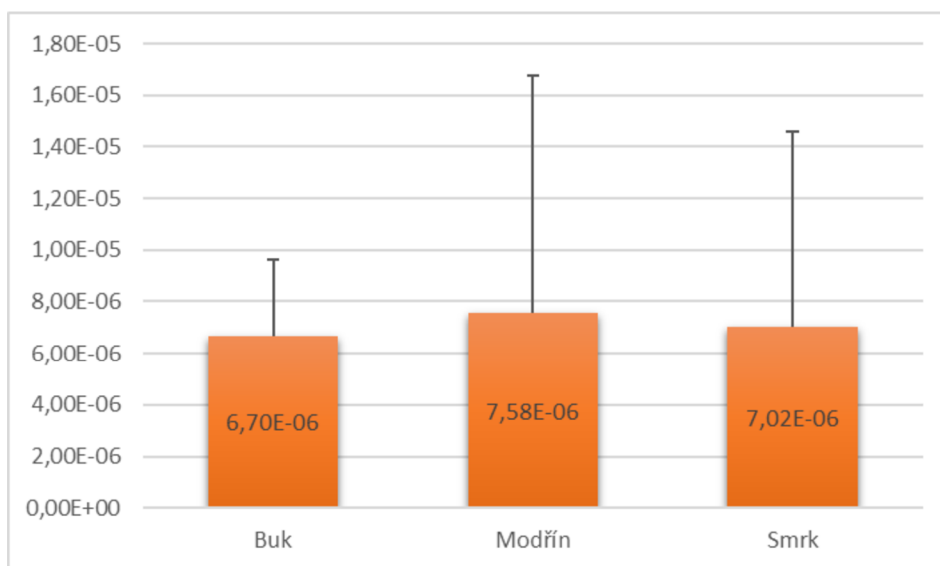
Největší rozdíl hodnot nasycené hydraulické vodivosti byl zaznamenán u smrku a to **5,87E-06 m/s**. Podobnou hodnotu jsme zaznamenali i u modřínu, kdy hodnota rozsahu je **1,62E-05 m/s**. Nejmenší rozdíl hodnot  $K_s$  byl u buku a to **5,87E-06 m/s**.

	rozsah [m.s-1]	koeficient variace	Průměry	[m.s-1]	směrodatná odchylka	[m.s-1]
Buk	5,87E-06	0,44	Buk	6,70E-06	Buk	2,94E-06
Modřín	1,62E-05	1,21	Modřín	7,58E-06	Modřín	9,20E-06
Smrk	1,45E-05	1,08	Smrk	7,02E-06	Smrk	7,55E-06

Tabulka č.3 – Průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti, hodnoty variace a rozsahu

Na obrázku č.10 lze vidět znázorněné průměrné hodnoty hydraulické nasycené vodivosti jednotlivých dřevin, které jsou obohaceny o chybovou úsečku znázorňuje směrodatnou odchylku, tedy jak moc jsou hodnoty rozptýleny od průměrných hodnot.

Jak lze vyčíst v tabulce č.3, největší směrodatnou odchylku má modřín s hodnotou **9,20E-06 m/s**, poté následuje smrk **7,55E-06 m/s**. Nejmenší směrodatná odchylka je u buku **2,94E-06 m/s**.



Obrázek č.10 – Průměrná hodnota  $K_s$  s chybovou úsečkou znázorňující směrodatnou odchylku

## 7. Diskuze

Z hodnot a výsledků měření hydraulické nasycené vodivosti vyplývá, že ve modřínovém lese došlo k největšímu rozptylu hodnot hydraulické nasycené vodivosti. Toto mohlo ovlivnit mnoho faktorů jako je například kořenový systém modřínu. Ve vrtech jsme mohli například narazit na malé kořeny kudy následně voda mohla rychle odtékat což následně mohlo ovlivnit výsledky měření.

Největší nasycená hydraulická vodivost byla naměřena ve třetí lokalitě, a to u smrku, naopak u buku byla hydraulická nasycená vodivost nejmenší. Dále ze zprůměrovaných hodnot měření lze říct, že nejpomaleji se vsakuje voda kolem buku.

Dle Válka (1977), který popisuje kořenové systémy by se dalo očekávat, že nejmenší hodnotu hydraulické nasycené vodivosti bude mít modřín, to se na základě výsledku



neshoduje s námi dosaženými výsledky. Proto je důležité se zamyslet nad tím, co mohlo výsledek ovlivnit.

Faktor, který značně ovlivňuje povrchový vsak vody kolem dřevin je kořenový systém a také například jehličí, které padá přímo pod stromy, pod kterými byly pokusy prováděny. Proto, lze konstatovat, že u buku, jakožto jediného listnatého stromu byla hodnota hydraulické nasycené vodivosti nejmenší. Kořenový systém a také listy, které padají přímo pod strom, tak půdu utemují a voda proto neproudí tak rychle jako u jehličnanů. Hodnotu hydraulické nasycené vodivosti dále ovlivňuje aktivita edafonu to jsou například žížaly a další živočichové, ti totiž mohou například transportem vytvořit cesty, kterými následně voda odtéká znatelně rychleji.

Z výsledků a měření lze vyzorovat, že počáteční infiltrace vody je značně rychlejší na začátku pokusu, proto je třeba vyčkat do ustálení vsaku vody. Až tehdy lze výsledky považovat za správné a prokazatelné.

V rámci výzkumu hydraulických vlastností půd na lokalitě Amálie byl proveden výzkum hydraulické nasycené vodivosti za pomoci Guelphského permeometru. Souběžně ve stejném místě a čase byl proveden pokus jednoválcovým infiltrometrem. Výsledky, které kolegyně získala z tohoto pokusu se blíží těmi mnou dosaženými.

Pokus, který probíhal ve stejné lokalitě a ve stejný den, akorát s využitím jiné terénní metody sběru dat naměřil hodnoty podobné mému pokusu. Musíme, ale konstatovat to, že pro jednoznačné závěry je nutné provést minimálně třikrát více pokusů v každé jednotlivé lokalitě. Pro kvalitní výsledky hodné diplomové či disertační práce je nutnost provést minimálně dvakrát až třikrát více pokusů v každé jednotlivé lokalitě. V této bakalářské práci jsou pouze naznačeny trendy hodnot  $K_s$  platné pouze pro zkoumané půdy pod vybranými dřevinami.

## 8. Závěr

Předmětem této bakalářské práce bylo zjistit a popsat hydraulické vlastnosti půdy pod třemi různými druhy dřevin a případně popsat, v čem se odlišují. V rámci práce bylo provedeno měření nasycené hydraulické vodivosti ( $K_s$ ) a to v terénu za pomoci Guelphského permeometru.

Zpracováním literární rešerše bylo zjištěno, že infiltraci vody v půdě ovlivňuje mnoho činitelů, jako je například struktura půdy, její zrnitostní složení či zastoupení organické složky v půdě.

Hydraulickou nasycenou vodivost lze určit dvěma způsoby, a to terénní anebo laboratorní metodou. V rámci výzkumu a z hlediska požadavků této bakalářské práce jsme využili metodu terénní.

V červenci roku 2022 byl na lokalitě Amálie, která funguje jako chytrá krajina a spravuje jí Česká zemědělská univerzita proveden výzkum na téma hydraulických vlastností půd. V rámci tohoto výzkumu se v této lokalitě, na lesní půdě vybraly 3 lokality. Každá lokalita byla specifická svou vegetací, kde se na daných místech vyskytovala pouze jedna dřevina. Vybrané dřeviny byly: buk, smrk, modřín. V každé lokalitě se vybrala 3 místa, kde se následně za pomoci ručního vrtáku vyvrtal vrt s hloubkou 9 až 12 cm a provedl pokus infiltrace za pomoci přístroje s názvem Guelphský permeometr.

Získané výsledky a poznatky, které byly naměřeny v terénu nám prokazují, že hydraulické vlastnosti a proudění vody v půdě se poměrně značně mění na základě toho pod jakou dřevinou se půda vyskytuje. Naměřené hodnoty hydraulické nasycené vodivosti ukazují, že smrk a modřín mají hodnoty hydraulických vlastností podobné. Důvodem může být to, že obě dřeviny jsou jehličnany a mají podobný kořenový systém. Buk, jakožto jediný listnatý strom, u kterého jsme pokus prováděli, vykazuje hodnoty hydraulické nasycené vodivosti nejmenší. Z dosažených výsledků nám vychází, že průměrná hodnota vsaku vody je následující: buk, jakožto jediná listnatá dřevina je nejmenší, a to s hodnotou  $6,70E-06$  m/s, dále následuje smrk s hodnotou  $7,02E-06$  m/s a nejrychlejší průměrná infiltrace vody byla u modřínu s hodnotou  $7,58E-06$  m/s.

Z naměřených hodnot  $K_s$  nelze ale jednoznačně vyvodit jednoznačné závěry, protože měření bylo uskutečněno v krátkém časovém období a ani počet pokusů není zcela

dostatečný. Bylo by tedy vyhovující pokusy opakovat, jak po stránce množství, tak po stránce časového rozestupu (více dní v roce s větším časovým rozestupem).

## 9. Seznam použitých zdrojů

AOPK., 2022. *Správa CHKO Křivoklátsko: Charakteristika oblasti - Zemědělství*.  
<https://krivoklatsko.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/zemedelstvi/>

Bát'ková K, Matula S, Miháliková M. 2013: Multimediální učebnice hydropedologických terénních měření. 2. doplněné vydání. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Available from <http://hydropedologie.agrobiologie.cz>

Briaud, J. - L. (2013). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. John Wiley&Sons.

Cejpek, J., Kuráž, V., Frouz, J., 2013: Hydrological properties of soils in reclaimed and unreclaimed sites after brown-coal mining. *Polish Journal of Environmental Studies* 22, 645–652.

Cejpek, J., Kuráž, V., Vindušková, O., Frouz, J., 2017: Water regime of reclaimed and unreclaimed post-mining sites. *Ecohydrology*, e1911

CENIA [online]. 2019 [cit. 2023-03-1]. dostupné z:  
<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>

Cislerová M., 1989: *Inženýrská hydropedologie*. ČVUT, Praha.

Centrum pro vodu, půdu a krajinu, 2021 [online]. CVPK. [cit. 30.3.2023]. Dostupné z:  
<https://cvpk.czu.cz/cs/r-13920-chytra-krajina>

Darcy H., 1856: Darcy H., *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon* („The Public Fountains of the Town of Dijon“), Dalmont, Paris, 1856

Hecker, U., 2009. *Stromy a keře*. Mnichov : BLV Verlagsgesellschaft mbH. 240 s. ISBN 9788025502914.

Elrick, D.E; Reynolds, W.D., Tan, K.A., 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Ground Water Monit. Rev.*, 9, 184–193.

Huang P. M., Li Y., Sumner M. E. [eds.], 2011: *Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes*. CRC Press, USA. 1442 s. ISBN 978-1-4398-0305-9.

Hillel, D., 1998: *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Academic press, London.

Hůla, J. - PROCHÁZKOVÁ, B., 2008: *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vyd. Praha: Profi Press, ISBN 978-80-86726-28-1

Jačka, L., Kuželková, M., & Kovář, M., 2021: *Souhrnná zpráva Amálie Chytrá krajina II - lesní půda: Teploty a vlhkost lesní půdy*.

Jačka, L., Pavlásek, J., Kuráň, V., Pech, P., 2014. A comparison of three measuring methods for estimating the saturated hydraulic conductivity in the shallow subsurface layer of mountain podzols. *Geoderma* 219 – 220, 82 – 88

Jačka, L., Pavlásek, J., Kalibová, J., Bašta, P., Kovář, M., Kuráň, V., 2018. The layering of a mountain podzol can strongly affect the distribution of infiltrated water in the soil profile. *J. Hydrol. Hydrom.* 66, 348–356.

Kanwar R. S., Rizvi H. A., Ahmed M., Horton R., Marley S. J., 1989: Measurement of Field-Saturated Hydraulic Conductivity by Using Guelph and Velocity Permeameters. The American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, 1885-1890.

Klika, Jaromír, Karel Šiman, František Novák a Bohumil Kavka., 1953: *Jehličnaté*. Praha: Československá akademie věd.

Kodešová, R., 2005. Modelování v pedologii. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1347-1.

Kozák J, Němeček J, Matula S, Borůvka L, Valla M., 2011. Pedologie. Česká zemědělská univerzita. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Praha. ISBN: 978-80-213-0907-4.

Kubík L, Sáňka M., 2010. Reprezentativní půdní typy a jejich charakteristika pro území jižních a západních Čech – výsledky projektu "Rizikové látky v půdě ve vztahu k životnímu prostředí" – přeshraniční základy ochrany půdy (Bavorsko – Česká republika). Mezinárodní projekt realizovaný v rámci programu Iniciativy Evropských společenství. ÚKZUZ, Brno.

Kuráň, M., 2009: Metody stanovení nasycené hydraulické vodivosti, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, online: <http://klobouk.fsv.cvut.cz/~miguel/K.pdf>, cit. 10. 3. 2013

Kuráň, M., 2011: Numerical solution of the flow and transport equations in porous media with the dual permeability conceptual approach. *VeRBuM*, Zlín, ISBN 978-80-87500-12-5.

Kutílek M., 1966: *Vodohospodářská pedologie*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 276 s.

Kutílek M., 1978: *Vodohospodářská pedologie*. SNLT/ALFA, Praha, 296 s.

Kutílek M., Kuráň V., Císlarová M., 2000: *Hydropedologie 10*. Skriptum, Fakulta stavební ČVUT, Praha. ISBN 80-010-2237-4.

LANÍK, Josef a Jan HALADA., 1960: *Kniha o půdě*. 1.díl, 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 259 s., Zemědělská výroba.

- Lhotský, Jan., 2006: Minimum z pedologie 1. Farmář, č.1, Praha: Profi Press, str. 74
- Matula S. a kol., 1989: Hydopedologie-praktikum. První vydání ed. České vysoké učení technické, Praha
- Musil, Ivan., 2001: Lesnická dendrologie 1: *Jehličnaté - a další nahosemenné dřeviny*. Praha: Česká zemědělská univerzita.
- Musil, I.; Hamerník, J., 2007: *Jehličnaté dřeviny*. Praha, 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9
- Musil, Ivan; Hamerník, Jan., 2003: *Lesnická dendrologie 1, Jehličnaté dřeviny, přehled nahosemenných (i výtrusných) dřevin*, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze. 177 pp, ISBN 80-213-0992-X-2. ed.
- MZe, (2019). Zpráva o stavu lesa 2019. Dostupné také na:  
[http://www.uhul.cz/images/ke\\_stazeni/zelenazprava/ZZ\\_2019.pdf](http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/zelenazprava/ZZ_2019.pdf)
- Nysted, Björn., et al., 2013: *The Norway spruce genome sequence and conifer genome evolution*. Nature, 497.7451: 579-584.
- Oades, J.M., 1993: The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma 56: 377-400.
- Parr JF, Bertrand AR., 1960: Water Infiltration Into Soils. Advances in Agronomy **12**: 311-363. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60086-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60086-3)
- Pavlásek J., Jačka L., 2014: Hydopedologie. Skriptum, ČZU, Praha
- Pavlu, L., 2018: Základy pedologie a ochrany půdy. Praha: první vydání. ČZU, Praha. ISBN 978-80-213-2876-1
- Pokorný E., Šarapatka B., Hejátková K., 2007: Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku. ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, a.s., Náměšť nad Oslavou. 28 s. ISBN 80-903548-5-8.
- Reynolds, W.D., 2008. Saturated hydraulic properties: Well permeameter. In: Carter M.R., Gregorich, E.G. (Eds.): Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. CRC Press Taylor & Francis, Boca Raton, USA, pp. 1025-1042.
- Smatanová M, Klement V, Florián M., 2014. Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, na agrochemické vlastnosti půd a bilanci živin. ÚKZUZ, Brno
- Státní geologická služba., 2022 <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>
- Svoboda, Pravdomil., 1953: *Lesní dřeviny a jejich porosty, část I*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- Šantrůčková H., 2014: Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. 125 s. ISBN 978-80-7394-480-3.

Šantrůčková, H., Kaštovská, E., Bárta, J., Miko, L., Tajkovský, K., 2018: Ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Academia, České Budějovice.

Šimečková, J., 2014: Zrnitostní složení půdy - Postup stanovení zrnitostního složení pomocí pipetovací metody. Načteno z [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf)

ŠIMEČKOVÁ, Jana. Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd [online]. In: [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf)

Šimek M., 2005: Základy nauky o půdě, 1: neživé složky půdy. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, České Budějovice.

Štursa, J., 2016: *Dřeviny opadavé a stálezelené*. Praha, ISBN 978-80-7442-082-5

Tomášek, M., 1995: Atlas půd České republiky. Český geologický ústav, Praha. 36 s. ISBN 80-7075-198-3.

Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek, O., 2002: Pedologické praktikum. ČZU, Praha.

Vaněk V. et al., 2012: Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha.

Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Novák, P., Novotný, I., Hladík, J., Vašků, Z., Jacko, K., Rožnovský, J., Janeček, M., Vácha, R., Pivcová, J., Kvítek, T., Novák, P., Fučík, P., Čermák, P., Janků J., Papaj, V., Pírková, I., Banýrová, J., 2010: Půda a její hodnocení v ČR. VÚMOP, Praha.

VUMOP [online]. 2019 [cit. 2023-03-1]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz>

Vyskot M. et al., 1962: Praktická rukověť lesnická, Státní zemědělské nakladatelství Praha, 986 s.

Význam modřinu opadavého pro lesní hospodářství ČR | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství. LP | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství | Lesnická práce - nakladatelství a vydavatelství [online]. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-85-2006/lesnicka-prace-c-12-06/vyznam-modrinu-opadaveho-pro-lesni-hospodarstvi-cr>

Yong R. N., Nakano M., Pusch R., 2012: Environmental Soil Properties and Behaviour. CRC Press, USA. 455 s. ISBN 978-1-4398-4529-5

Obrázek č.4: převzato a upraveno online: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=3416&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3416&typ=html)).

Obrázek 5: standartní souprava dvouválcového infiltrometru (Ekotechnika: Přístroje pro environmentální diagnostiku (online) [cit. 2019.19.04), dostupné z <<https://www.ekotechnika.cz/vyrobek/dvouvalcovy-infiltrometr-standardni-souprava>>

## **10. Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk**

### **10.1 Seznam obrázků**

*Obrázek č.1: Diagram půdní textury podle systému USDA (Pavlů 2018).*

Obrázek č.2: Tvary a třídění strukturních půdních elementů.

*Obrázek. č.3 – Schéma půdního prostředí*

Obrázek č.4: Popis Guelphského permeamtru, zdroj: Matula. 1989

Obrázek č.5: *Guelphský permeametr v terénu. Autor: (Viktor Veselý 2022.)*

Obrázek č.6: Součásti dvouválcového infiltrometru (Ekotechnika, 2019)

Obrázek č.7: Platnost Darcyho zákona (Převzato z: Pavlásek et Jačka, 2014)

Obrázek č.8: *Buk na rozhraní se smrkem a modřínem. Autor: (Viktor Veselý 2022).*

Obrázek č.9: *Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pod dřevinami*

Obrázek č.10: *Průměrná hodnota  $K_s$  s chybovou úsečkou znázorňující směrodatnou odchylku*

### **10.2 Seznam tabulek**

Tabulka č.1: Klasifikace půdní druhy dle Nováka (Šimečková 2014).

Tabulka č.2: *Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pod dřevinami*



Tabulka č.3: Průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti, hodnoty variace a rozsahu

## 11. Přílohy

Druhá stránka formuláře pro záznamy měření Guelphským permeametrem

Údaje o průběhu měření Guelphským permeametrem					
Datum: 13.7.2022					
Čas počátku měření: 12:06			Čas konce měření:		
Metoda měření: GP konst. H <input type="checkbox"/>		proměnné H <input type="checkbox"/> 3' 11cm			
Průměr vrtu(ů): 7cm		Hloubka vrtu(ů): 11 2: 11,5 cm			
Výška(y) hladiny ve vrtu(ech): 9 cm 2: 9,5 cm 3: 9 cm					
mm i sec L3-GP3					
Čas [h:m:s]	Hvz [cm]	Čas [h:m:s]	Hvz [cm]	Čas [h:m:s]	Hvz [cm]
0:00	0,8	0:00	3,5	14:30	39
0:20	8	0:44	10	14:56	40
5:37	9	1:23	11	15:23	41
11:31	10	1:53	12	15:50	42
17:55	11	2:23	13	16:14	43
24:58	12	2:53	14	16:37	44
31:57	13	3:25	15	17:00	45
38:10	14	3:55	16	17:22	46
44:07	15	4:26	17	17:43	47
		4:53	18	18:08	48
		5:21	19	18:29	49
		5:50	20	18:52	50
0:00	15	6:18	21	19:15	51
0:34	23	6:48	22		
1:45	24	7:14	23		
4:27	25	7:46	24		
7:32	26	8:15	25		
9:54	27	8:43	26		
12:26	28	9:04	27		
14:46	29	9:36	28		
17:15	30	10:03	29		
19:35	31	10:28	30		
21:56	32	10:55	31		
23:58	33	11:23	32		
25:20	34	11:49	33		
26:36	35	12:15	34		
27:47	36	12:42	35		
29:06	37	13:08	36		
30:27	38	13:33	37		
		14:02	38		
Poznámky k měření: L3-GP1 - smrk SKLON: 2,25%; 3,75%; 4,25%; 5,75%; 4,25%					

Vyrobeno na Filipově Huti v červenci roku 2008, upraveno v Praze v srpnu 2011

Příloha 1: Zápisník terénní Ks Guelphským permeametrem 1





L1-GP3 - BUK

Druhá stránka formuláře pro záznamy měření Guelphským permeametrem

Údaje o průběhu měření Guelphským permeametrem	
Datum:	12.7.2022
Čas počátku měření:	Čas konce měření:
Metoda měření: GP konst. H <input type="checkbox"/>	proměnné H <input type="checkbox"/>
Průměr vrtu(ů): 7 cm	Hloubka vrtu(ů): 11,5 cm 4 = 13 cm
Výška(y) hladiny ve vrtu(ech): 9,5 cm	4: 11 cm

L1-GP3

L2-GP4

MIN: SCC

Čas [h:m:s]	Hvz [cm]	Čas [h:m:s]	Hvz [cm]	Čas [h:m:s]	Hvz [cm]
0:00	9,5	0:00	0,7	8:39	39
0:30	16	0:13	10	8:56	40
1:12	17	0:13	11	9:13	41
1:54	18	0:30	12	9:29	42
2:31	19	0:51	13	9:47	43
3:10	20	1:06	14	10:04	44
3:46	21	1:24	15	10:22	45
4:34	22	1:42	16	10:39	46
5:28	23	2:01	17	10:56	47
6:21	24	2:23	18	11:14	48
7:13	25	2:39	19	11:30	49
8:03	26	2:59	20	11:49	50
8:48	27	3:17	21	12:06	51
9:37	28	3:37	22	12:24	52
10:29	29	3:56	23	12:42	53
11:15	30	4:18	24	12:57	54
12:09	31	4:32	25	13:13	55
13:00	32	4:51	26	13:30	56
13:55	33	5:10	27	13:47	57
14:44	34	5:28	28	14:05	58
15:41	35	5:47	29	14:22	59
16:32	36	6:03	30	14:39	60
17:30	37	6:22	31	14:58	61
18:25	38	6:38	32	15:15	62
19:16	39	6:55	33	15:32	63
20:15	40	7:12	34	15:50	64
21:11	41	7:27	35		
22:06	42	7:47	36		
23:01	43	8:04	37		
23:57	44	8:22	38		

Poznámky k měření: MODĚLN

Vyrobeno na Filipově Huti v červenci roku 2008, upraveno v Praze v srpnu 2011

Příloha 3: Zápisník terénní Ks Guelphským permeametrem 3



## Údaje o průběhu měření Guelphským permeametrem

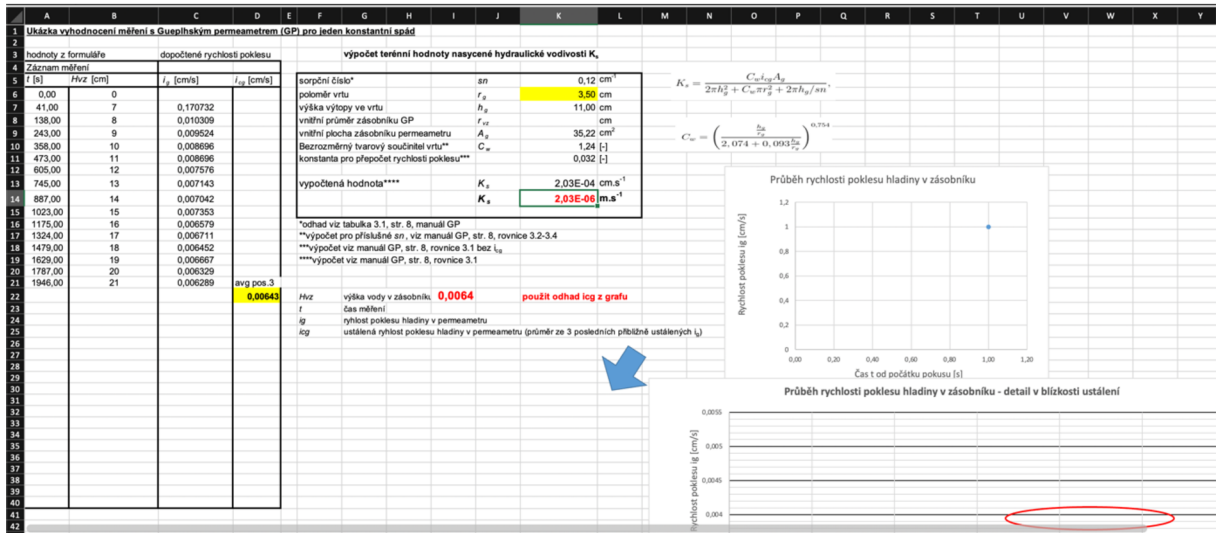
Datum: 12.7.2022	
Čas počátku měření: 11:00	Čas konce měření:
Metoda měření: konst. H <input type="checkbox"/>	proměnné H <input type="checkbox"/>
Průměr vrtu(ů): 7cm	Hloubka vrtu(ů): 12cm 2: 11,5cm
Výška(y) hladiny ve vrtu(ech): 10cm	2: 10cm

MIN; SEC

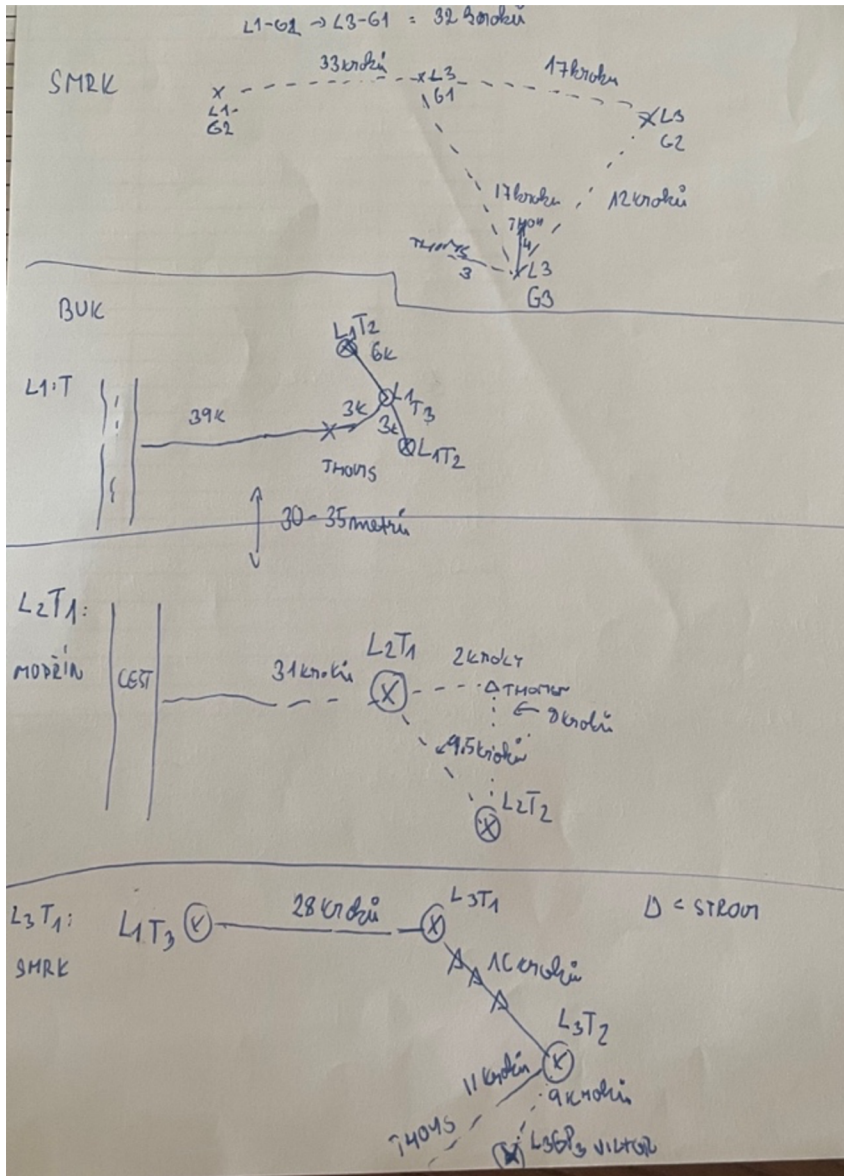
Čas [h:m:s]	Hvz [cm]	Čas [h:m:s]	Hvz [cm]	Čas [h:m:s]	Hvz [cm]
0:00	0,5	20:11	38	26:25	25
0:32	9	20:53	39	27:57	26
0:55	10	21:32	40	29:21	27
1:22	11	22:07	41	30:50	28
1:54	12	22:49	42		29
2:30	13	23:26	43		30
3:11	14	24:07	44		
3:48	15	24:42	45		
4:32	16	25:17	46		
5:14	17				
5:59	18	L1-BUK GP2			
6:49	19	0:00	0		
7:37	20	0:33	7,5		
8:29	21	1:09	8		
9:16	22	2:39	9		
9:59	23	4:21	10		
10:42	24	6:22	11		
11:21	25	8:11	12		
12:02	26	9:44	13		
12:45	27	11:08	14		
13:25	28	12:24	15		
14:09	29	13:46	16		
14:45	30	15:07	17		
15:29	31	16:24	18		
16:10	32	18:03	19		
16:53	33	19:11	20		
17:32	34	20:39	21		
18:13	35	22:08	22		
18:52	36	23:30	23		
19:30	37	24:58	24		

Poznámky k měření:

SKLON-BUK : 3,75% ; 2,25% ; 3% ; 5% ; 5% ; 6,5% ; 1,75% ; 2,25%  
L1-BUK GP1, + GP2



Příloha 5: Ukázka výpočtu z excelovské tabulky  $K_s$ .



Příloha 6: Polní náčrt lokality a umístění vrtů (L = lokalita, T = test, X = umístění vrtu)