

TARTU ÜLIKOOL
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geoloogia osakond

Grete Sabine Sarap

**Turba filtratsioonikoefitsiendi muutuse uurimine järk-järgulisel
tihendamisel kasutades modifitseeritud permeameetrit**

Bakalaureusetöö geoloogias (12EAP)

Juhendajad: Raul Paat

Argo jõelet

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2020

Measuring hydraulic conductivity of peats by gradual compression using a modified permeameter

The aim of this study is to observe a change in the hydraulic conductivity of peat with different properties and from multiple depths during its gradual compression. Also the objective is to assess the applicability of the modified laboratory permeameter for the experiments mentioned above. The samples used in this work were collected from the Ratva raised bog in North-East Estonia.

P470 Hydrogeology, geographical and geological engineering

Keywords: peat, hydraulic conductivity, consolidation

Turba filtratsioonikoefitsiendi muutuse uurimine järk-järgulisel tihendamisel, kasutades modifitseeritud permeameetrit

Käesolevas bakalaureusetöös vaadeldakse erineva botaanilise koostise ja lagunemisastmega ning erinevatelt sügavustelt pärinevate turvaste filtratsioonikoefitsiendi muutust selle järk-järgulisel tihendamisel. Lisaks hinnatakse modifitseeritud laboratoorse permeameetri kasutatavust eelmainitud katsete läbiviimiseks. Töös kasutatavad turbaproovid on pärit Kirde-Eestis asuvast Ratva rabast.

P470 Hüdrogeoloogia ja ehitusgeoloogia

Märksõnad: Turvas, filtratsioonikoefitsient, kokkusurutavus

Sisukord

1	Sissejuhatus.....	4
2	Teoreetiline taust	6
2.1	Kuivtihedus	6
2.2	Filtratsioonikoefitsient.....	7
3	Uurimisala iseloomustus	9
3.1	Uuringuala	9
3.2	Geoloogia ja hüdrogeoloogia	10
4	Materjal ja metoodika.....	12
5	Tulemused.....	17
6	Arutelu.....	23
	Kokkuvõte.....	25
	Summary	26
	Tänuavaldused	27
	Kasutatud kirjandus.....	28
	Lisad.....	30

1 Sissejuhatus

Turvas on biogeenne konsolideerumata sete, mis veeküllastunult koosneb 90-95% veest ja 5–10% tahkest materjalist, millest omakorda osaliselt lagunenud taimejäänustest koosneva orgaanilise ainese sisaldus on tihti kuni 95% (Warburton, Holden, & Mills, 2004). Turvas moodustub aladel, kus kliima, pinnamoe ja pinnakatte ning hüdrogeoloogiliste tingimuste koosmõjul on piisavalt pikaajalised veega küllastunud tingimused ja taimejäänused liigniiskes hapnikuvaeses pinnases ei lagune (Paal, 2007).

Maa on ligi 4 miljoni km² ulatuses kaetud turbaaladega, see moodustab kogu maismaa-alast 3% (Joosten & Clarke, 2002). Kusjuures M. Orru (1995) andmetel katavad umbes 22,3% Eesti maismaa-alast erinevad turbaalad kogupindalaga 1 009 101 ha. Sood ja rabad on elukeskkonnaks laiale hulgale taimedele, putukatele ja loomadele, pakkudes elupaiku paljudele ohustatud liikidele. Eestis väga suurt osa pindalast katvad turbaalad on suure ökoloogilise väärtuse ja majandusliku tähtsusega, mis tähendab, et neid tuleb heaperemehelikult majandada.

Turbaalade tervis sõltub paljuski saadaval olevast sademe- ja põhjaveest. Ajutiste ilmastikutingimuste tekitatud veetaseme muutustele reageerib süsteem turbasammalde tiheduse muutmisega, mis tagab rabas stabiilse veetoite (Paal, 2007). Põhjavee taseme muutused võivad olla aga hoopis drastilisemate tagajärgedega. Veetaseme langedes väheneb pinnases poorirõhk ja selle arvelt tõuseb pinnaseosakestele mõjuv efektiivpinge, mille mõjul surutakse pinnast kokku (Coduto, 1999). Turbalasundis tähendab pooriruumala vähenemine ka turba veejuhtivuse halvenemist (Wong, Hashim, & Ali, 2009).

Tänapäeval kasvab koos inimkonnaga vajadus infrastruktuuri rajamisele turbaga kaetud aladele ning sellega koos kasvab ka huvi ja vajadus orgaanikarikaste pinnaste ja turvaste ehitusgeoloogiliste omaduste uurimiseks. Ehitustegevuse käigus, näiteks teede ja hoonete rajamisel või põhjavee taseme langetamisel tekitatakse all lamavale pinnasele lisapinget. Kui varasemalt on pinnas pidanud oma raskusele vastu, siis lisapingete rakendamisel võivad pinnased deformeeruda ning selle tulemusel tekivad maapinnale vajumid (Coduto, 1999). Vajumite teke, ehitustegevuse käigus või sellele järgnevalt, tekitab ehitistes ebastabiilsust, võib neid lõhkuda, kallutada ja nende kuju moonutada.

Geotehnika on väga tihedalt seotud vee käitumisega pinnases, seetõttu on üks väga olulistest ehitusegeoloogias kasutatavates parameetritest just pinnaste filtratsioonikoefitsient. Pinnase veejuhtivuse efektiivsus mõjutab aega, mis kulub pinnase stabiliseerumiseks (Coduto, 1999). Antud parameetri teadmine on vajalik, et valida õige lahendus infrastruktuuri rajamiseks ning hinnata pinnase konsolidatsiooni kiirust, et vähendada hilisemaid vajumeid. Lisaks aitab turba veejuhtivuse uurimine hinnata turbaalade hüdroloogilise süsteemi muutumist põhjavee taseme alandamisel.

Käesolevas uurimistöös vaadeldakse erilaadsete omadustega (botaanilise koostise ja lagunemisastmega) ning erinevatelt sügavustelt pärinevate turvaste filtratsioonikoefitsiendi muutust selle järk-järgulisel tihendamisel. Lisaks hinnatakse modifitseeritud laboratoorse permeameetri kasutatavust eelmainitud katsete läbiviimiseks. Töös kasutatavad proovid on pärit Kirde-Eestis asuvast Ratva rabast.

2 Teoreetiline taust

Kui pinnasele rakendada vertikaalset lisapinget ehitise, täitepinnase või põhjavee langetamise kujul, surutakse pooriruumis paiknev vesi pinnasest välja ning pinnaseosakesed vajutatakse omavahel tihedamalt kokku, toimub konsolidatsioon (Coduto, 1999). Konsolidatsiooni tulemusel pinnase ruumala, täpsemalt pinnaseosakeste vaheline pooriruum väheneb ning maapinnale võivad tekkida vajumid. Konsolidatsiooniliste vajumite ulatus sõltub pinnase kokkusurutavutsest ja konsolidatsiooni kiirus sõltub sellest, kui hea on antud pinnase veejuhtivus ehk kui kiiresti pooriruumist vesi välja pressitakse (Coduto, 1999). Turba konsolidatsioon on väga erinev anorgaanilistest pinnastest (Dhowian & Edil, 1980).

Orgaanilisest ainest koosnev turvas on suure veesisalduse ja osakeste koheva paiknemise tõttu väga pehme ja ebastabiilne pinnas ning omab halbu geotehnilisi omadusi. Turvas on võrreldes mineraalsete pinnastega väga kokkusurutav ja väikese veejuhtivusega (Huat, Prasad, Asadi, & Kazemian, 2014). Turba kandevõime on suuresti mõjutatud ka põhjavee tasemest, selle langetamisel hajub turbaosakestele mõjuv poorirõhk ning selle arvelt kasvab omakorda osakestele mõjuv efektiivpinge. Lisaks tekitab põhjavee taseme langetamine turbas aeroobsed tingimused ning võimaldab turba oksüdeerumise, mis omakorda suurendab pinnase kokkusurutavust veelgi (Kazemian, 2017).

2.1 Kuivtihedus

Turba kokkusurutavus sõltub peamiselt poorsusest ja osakeste sisestest keemilistest sidemetest (Mesri & Ajlouni, 2007). Mida kohevamalt osakesed paiknevad, seda suurem on pinnaseosakeste vaheline pooriruum ning seda kokkusurutavam on pinnas (Coduto, 1999). Enamasti kasutatakse geotehnikas pooriruumala iseloomustamiseks poorsustegurit, kuid käesolevas töös kasutatud meetodilise lähenemise tõttu polnud võimalik seda arvutada. Sellest tulenevalt kasutatakse antud juhul pinnaseosakeste vahelise pooriruumi ruumala muutuse kirjeldamiseks kuivmahumassi. Kuivtihedus ehk kuivmahumass (ρ_d) on pinnase tahke osa massi (M_s) ja koguruumala (V) suhe:

$$\rho_d = \frac{M_s}{V}$$

Valem 1

2.2 Filtratsioonikoefitsient

Rabaturba filtratsiooniomadused sõltuvad selle botaanilisest koostisest ja lagunemis- ning konsolidatsiooniprotsessidest, mis muudavad lasundi turbamassi omadused heterogeenseteks (Nagare, Schincariol, Mohammed, Quinton, & Hayashi, 2013). Seetõttu on veeküllastunud turba veejuhtivus sõltuv paiknemissügavusest ja parameetritest nagu kuivmahukaal, lagunemisaste ja botaaniline koostis. Vee liikumist turbas aitab isemloomustada filtratsioonikoefitsient. Filtratsioonikoefitsient (K) on ühikulise hüdraulilise gradiendi (i) korral ajaühiku jooksul ühikulist vooluristlõiget (A) läbiva vee hulk. Hüdrauliline gradient näitab vee survetaseme muutust kahe punkti vahel. Filtratsioonikoefitsienti on võimalik leida läbi Darcy valemi:

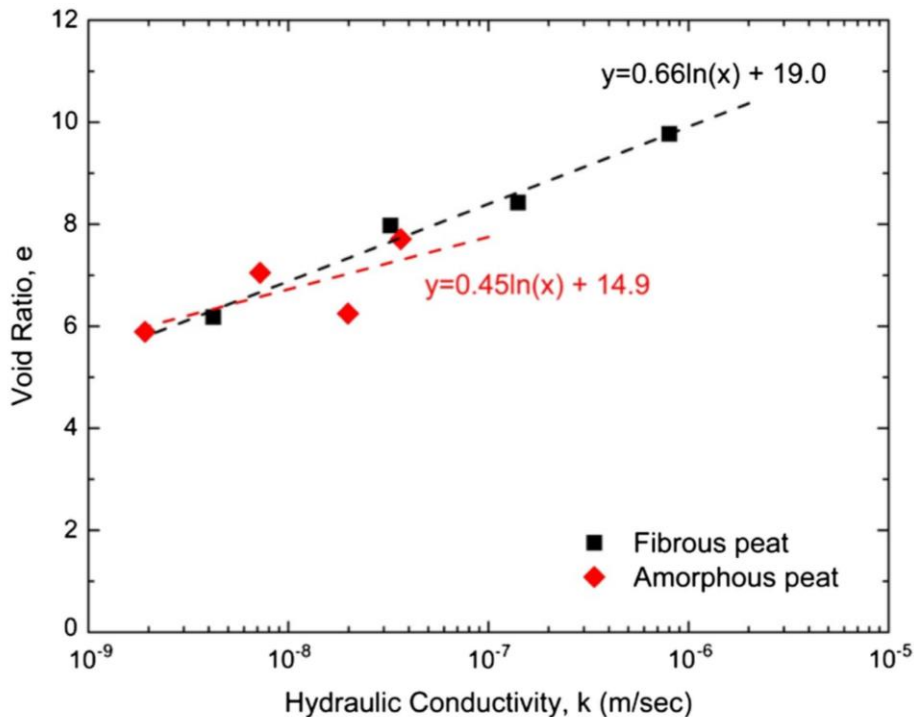
$$Q = KiA \Rightarrow K = \frac{iA}{Q}$$

Valem 2

Q ehk vooluhulk on võrdeline ajaühikus pinnast läbinud vee hulgaga.

Filtratsioonikoefitsient on sõltuv turba poorsusest, mille väärtus on omakorda tugevalt seotud selle lagunemisastme ja konsolidatsiooniga (Wong et al., 2009). Lagunemisaste suureneb sageli turbalasundis sügavuse suunas (Päivänen, 1973). Lagunemisaste näitab turbas oleva huumusaineid ja lagunenuid taimse materjali sisaldavat amorfse massi hulka (Rusanov, 2016). Mida suurem on lagunemisaste, seda rohkem on turbas väikseid hästi lagunenuid osakesi ning seda tihedamalt nad paiknevad. Lagunemisaste on seotud ka turbaliigiga, väiksema lagunemisastmega on üldiselt samblaturbad ja suurema astmega puuturbad (Rusanov, 2016). Lagunemisastet on võimalik määrata visuaalselt välitöödel Lennart von Posti skaala järgi või kasutades erinevaid laboratoorseid meetodeid. Turba veejuhtivus on mõjutatud ka konsolidatsioonist, nimelt väheneb turba filtratsioonikoefitsient kokkusurumisel suure ulatuses. De Guzman ja Alfaro poolt koostatud joonisel 1 on näha, et poorsusteguri ja

filtratsioonikoefitsiendi vahel on eksponentsiaalne sõltuvus (De Guzman & Alfaro, 2018; Wong et al., 2009).



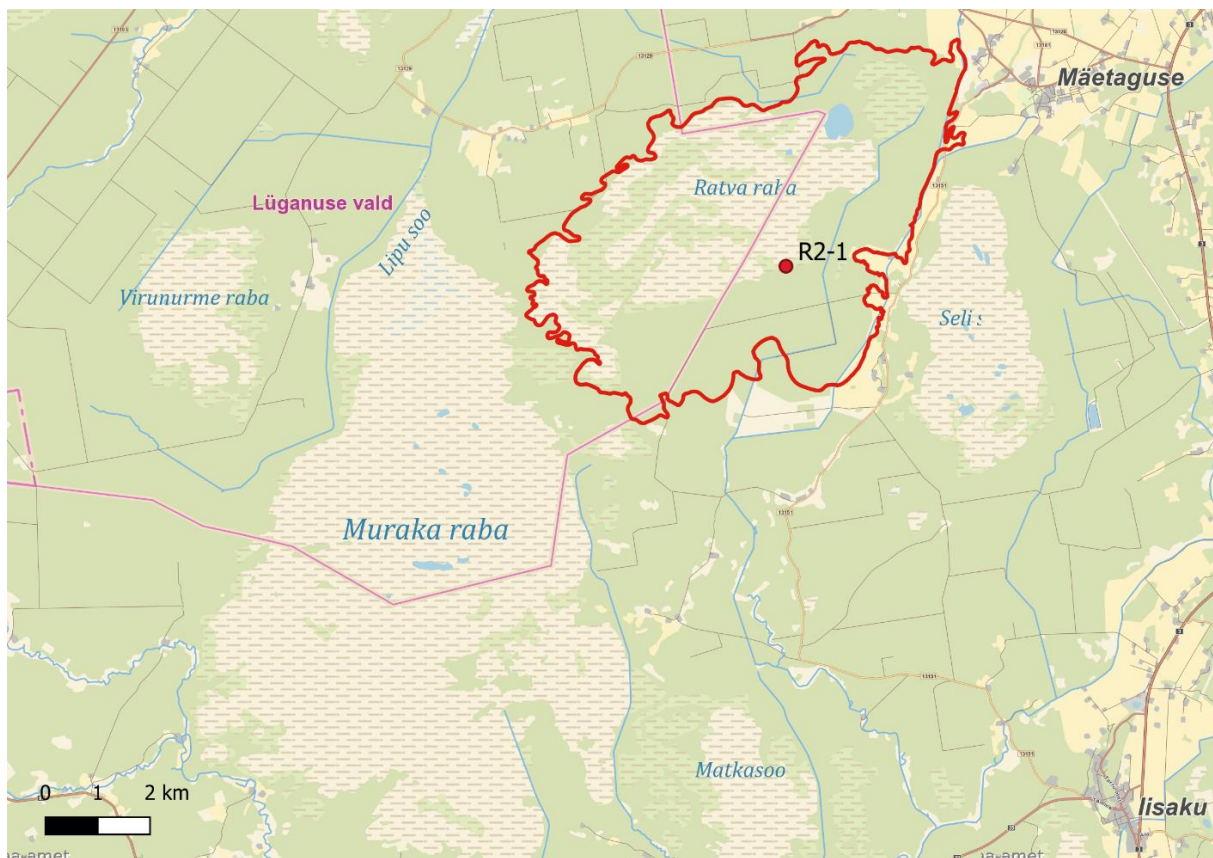
Joonis 1. Turvaste filtratsioonikoefitsiendi sõltuvus poorsustegurist (De Guzman & Alfaro, 2018).

Suurem osa turbaalasad koosnevad kahest kihist: ülemine aeroobne kiht ehk akrotelm, mis on väikese lagunemisastmega, pidevalt muutuva veetasemega ja suure filtratsioonikoefitsiendiga ning alumine kiht ehk katotelm, mis on veeküllastunud anaeroobne, suure lagunemisastmega ja väikese filtratsioonikoefitsiendiga kiht (Ingram, 1978). Hästilagunenud turvas on mineraalpinnastega, välja arvatud savidega, võrreldes väga halvasti vett juhtiv pinnas. Näiteks kruusa filtratsioonikonstant on tüüpiliselt vahemikus 10^{-2} – 1 m/s või erineva terasuurusega liivade puhul on see 10^{-4} – 10^{-2} m/s (Coduto, 1999). Hästilagunenud turba filtratsioonikoefitsient on aga sarnaselt savidele väga väike, jäädes tavaliselt alla 10^{-6} m/s (De Guzman & Alfaro, 2018; Wong et al., 2009). Vähelagunenud pealmiste turbakihtide puhul on filtratsioonikoefitsient tänu suuremale poorsusele mõnevõrra suurem.

3 Uurimisala iseloomustus

3.1 Uuringuala

Ratva raba asub Kirde-Eestis, Ida-Virumaa keskosas, Alutaguse ja Lüganuse valdade aladel (Joonis 2). Ratva raba maksimaalne turbapaksus on 7,4 meetrit ning selle pindala on üle 3529 hektari suurune, suurt osa sellest hõlmavad tänaseks kuivendatud kunagised madal-ja siirdesood (Hang et al., 2012). Ratva raba on osaks Muraka soostikust ja samanimelisest looduskaitsealast, paiknedes selle kirdeosas. Ratva raba kuulub ka Natura 2000 hoiualade võrgustikku ning on Ramsari ala, see tähendab rahvusvahelise tähtsusega märgala ning IBA ala ehk rahvusvahelise tähtsusega linnuala (Hang et al., 2012). Muraka soostik asub Alutaguse madaliku maastikurajoonis. Alutaguse madalik asub Põhja-Eesti paeplatoo ja Peipsi järve vahel ning selle alad Peipsi järve põhjaosas on olnud hilisjääaegse suure jääjärve põhjaks (Arold, 2005). Muraka soostik on moodustunud moreenialadega vahelduvate jääjärvenõgude soostumisel (Orru, 1995).



Joonis 2. Ratva raba ja seirepunkti R2-1 asukoht (Aluskaart: Maa-amet 2018).

3.2 Geoloogia ja hüdrogeoloogia

Ratva raba ümbritsev pinnamood on tasane ning väikese lõunasuunalise kallakusega Peipsi nõo poole. Üldistatud lõunasuunaline kallakus selles piirkonnas on 1,7 m/km. Raba piirneb edelas Muraka raba, lõunas ja loodes jääjärvetasandike ning lääeosas osaliselt raba all jätkuvate moreenist või liivast seljandikega. Raba aluse mineraalpinna absoluutkõrguseks põhjapiiril on ligikaudu 58 m, ida- ja lõunapiiril vahemikus 50-52 m ning lääne- ja edelapiiril vahemikus 54-56 m. Raba on varasema inimtegevuse, eriti kuivenduse tõttu ebaühtlase kujuga, ülemise pinna kõrgus on kuni 5 m ümbritsevast mineraalpinnast kõrgemal. Raba pealispinna absoluutkõrgused on vahemikus 53—59,6 m. (Hang et al., 2012)

Suurema osa Alutaguse madaliku aluspõhjast moodustavad Ordoviitsiumi lubjakivid: Rakvere, Nabala, Vormsi, Pirgu ja Porkuni lademed (Arold, 2005). Ratva raba piirkonnas avanevad neist Rakvere ja Nabala lademed (Hang et al., 2012).

Kvaternaarisetete paksused Kirde-Eestis jäävad 5-10 m vahemikku. Ratva raba turbakihi all oleva pinnakatte paksus on väike, selle paksused ulatuvad kirdeosas mõnekümnest sentimeetrist lõunaosas kuni 4,5 meetrini. Aluspõhjal lasuvad setted on peamiselt veeriselised sinakashallid saviliiv- või liivsavimoreenid, paksusega 0,15–3,5 m. Sellel lasuvad omakorda savikas aleuriit ja soo kesk- ning lääneosas valdavalt peeneteraline liiv. (Hang et al., 2012)

Ala hüdrogeoloogilises läbilõikes on esindatud järgmised veekompleksid: Kvaternaari veekompleks, Ordoviitsiumi veekompleks, Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks, Kambriumi- Vendi veekompleks ja kristalse aluskorra lõhelise vööndi põhjavesi (Hang et al., 2012). Uuringuala lähedal paiknev Jõhvi kõrgustik on peamine toiteala piirkonna pinna- ja põhjaveele (Marandi et al., 2013). Lisaks sellele on põhjavee toitealaks Pandivere kõrgustik ning hüdrogeoloogia on mõjutatud ka ümbritsevatest ürgorgudest ja tektooniliste rikete vöönditest (Hang et al., 2012).

Ratva raba all lamavas Kvaternaari settekompleksis ühtset põhjaveekihti ei moodustu, välja arvatud paksemate setetega täitunud ürgorgudes. Antud piirkonna põhjavesi on vabapinnaline ja tihedalt seotud ilmastikutingimustega. Suurema osa raba alusest pinnakattest moodustab 0,15–3,5 m paksune tihe sinakashall saviliiv- või liivsavimoreen, mille keskmine veejuhtivus on 0,003 m/d. Kohati moreenil lasuva tiheda savika aleuriidi keskmine

veejuhtivus on 0,1 m/d ning soo kesk- ja lääneosas moreeni katva peeneteralise liiva veejuhtivus on 1–30 m/d, mis on veepidiemena käitumiseks liiga suured väärtused. (Hang et al., 2012)

Ratva raba kõrval asuvas sarnase turbalasundiga Selisoos on kahes turbaprofiilis varasemalt Hang jt (2012) poolt läbi viidud hüdrogeoloogiliste uuringute raames mõõdetud ka turba filtratsioonikoefitsiente. Mõlemas profiilis oli veejuhtivus lasundis sügavuse suunas liikudes ebaühtlane, olles siiski halvem alumises hästilagunenud turbaga osas. Mõlemas profiilis jäid filtratsioonikonstandid vahemikku $0,1-10^{-4}$ m/d, sellest lähtuvalt ei ole alumise kihi filtratsioonikoefitsient piisavalt väike (väiksem kui 10^{-5} m/d), et põhjavee langetamisel vältida vee infiltratsiooni alumistesse kihtidesse. Lisaks järeldati, et veejuhtivus on tugevalt seotud turbakihtide mahukaalu ja lagunemisastmega. (Hang et al., 2012)

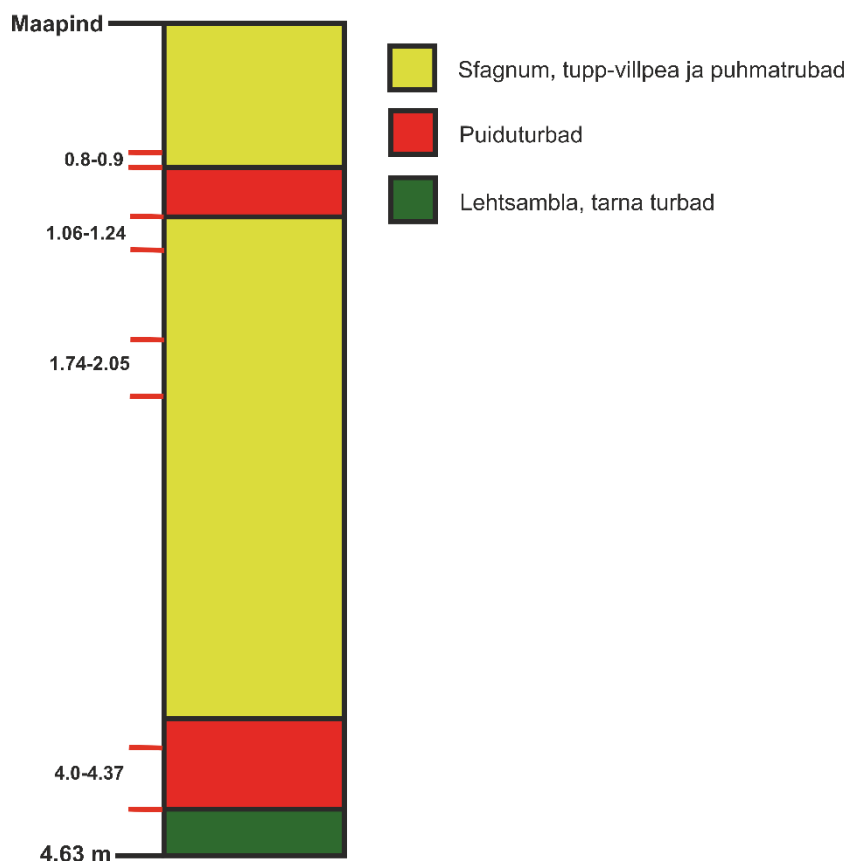
4 Materjal ja meetoodika

Antud uurimustöö jaoks võetud turbaproovid on pärit Ratva raba seirepunkti R2-1 juurest (Joonis 2). Punkti asukoha koordinaadid on $X = 683183$ ja $Y = 6566380$. Proovide võtmiseks valiti Ratva raba seetõttu, et seirepunktis R2-1 on 2019. aastal Raul Paadi, Marko Kohvi ja Argo Jõehele poolt määratud turbalasuundi kihtide omadused (Tabel 1).

Tabel 1. Ratva raba seirepunktis R2-1 määratud turvaste omadused. Filtratsioonikoefitsiendi väärtused on mõõdetud *in-situ*. Lagunemisastme määramiseks on kasutatud Chambers et al., 2011 meetodikat.

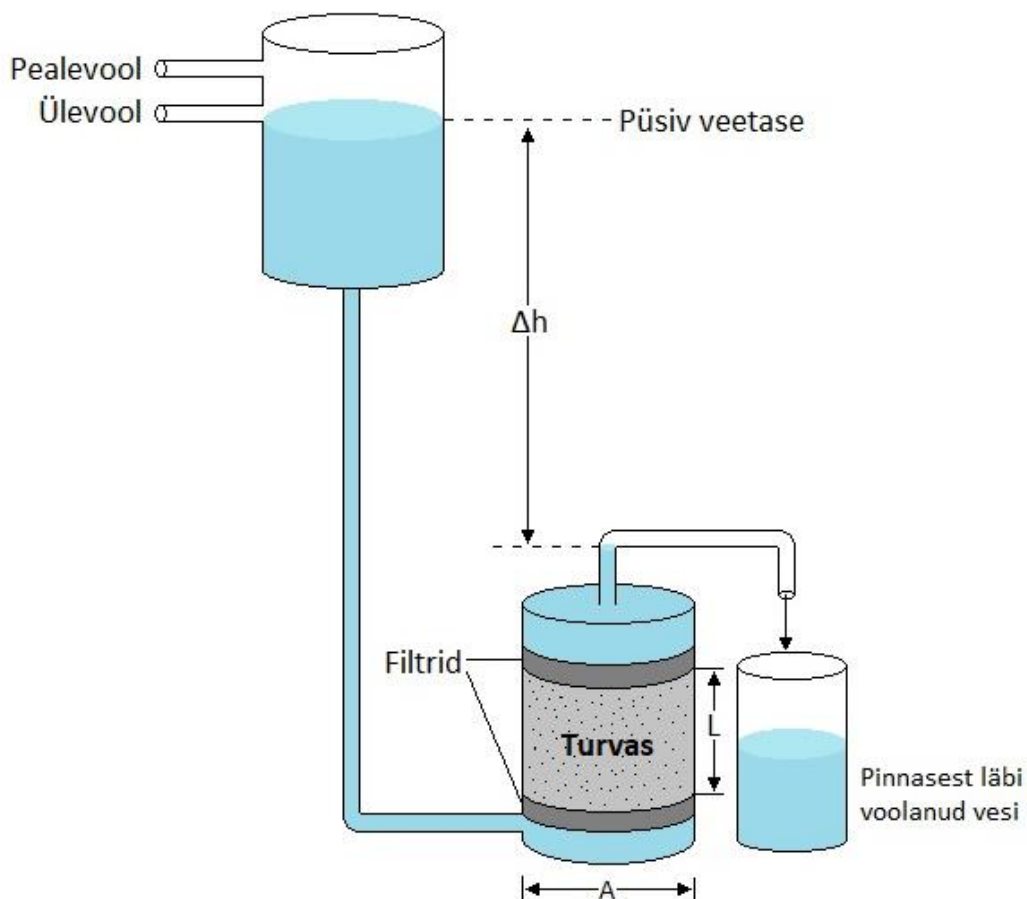
Turbaliik	Sügavus (m)	K (m/s)	Kuivtihedus (g/cm ³)	Lagunemisaste	Tuhasus %
Villpea ja puidu turvas	0,8–0,9	$1,81 \cdot 10^{-7}$	0,12	0,355	3,13
Puhma ja sfangnumi turvas	1,06–1,24	$2,90 \cdot 10^{-9}$	0,09	0,595	3,70
Sfangnumi turvas	1,74–2,05	$1,86 \cdot 10^{-8}$	0,06	0,513	4,65
Puiduturvas	3,86–4,37	$8,62 \cdot 10^{-10}$	0,14	0,637	2,94

21.11.2019 toimunud välitööde käigus võeti Ratva rabast kokku neli turbaproovi erinevatelt sügavustelt kasutades Vene tüüpi kannpuuri. Sügavused valiti vastavalt sellele, kus oli varasemalt mõõdetud *in-situ* filtratsioonikoefitsient ning võetud proov laboratoorseteks mahukaalu ja lagunemisastme analüüsideks (Tabel 1). Marko Kohvi poolt kirjeldatud turbalasundi läbilõige on järgmine (Joonis 3): 0,8–0,9 m sügavusel on puhma ja villpea turvas; 1,06–1,24 puhma ja sfangnumi turvas; 1,74–2,05 m sügavusel sfangnumi turvas; 3,86–4,37 m puiduturvas; 4,37-4,63 m lehtsambla turvas. Sondeerimisega mineraalpinnaseni ei jõutud, sest lehtsambla turvas oli puuriga läbimiseks liiga tihe. Käesoleva töö jaoks võeti turbaproovid sügavustelt 0,8–0,9 m; 1,06–1,24 m; 1,74–2,05 m ja 4,0–4,37 m. Piisava proovikoguse kättesaamiseks puuriti samale sügavusele mitu korda ning saadud turvas asetati õhukindlasse proovikotti, et säilitada proovi algset veesisaldust. Kõik puurimised teostati turba läbilõike kirjelduse jaoks tehtud sondeerimispunkti vahetus läheduses. Võetud turbaproove hoiti katsete tegemiseni külmkapis.



Joonis 3. Seirepunkti R2-1 turbalasundi litotulp maksimaalse puurimissügavuseni.

Filtratsioonikoefitsienti on võimalik mõõta nii välitingimustes kui ka laboratoorselt. Uurimistöös on filtratsioonikonstandi uurimiseks kasutatud laboratorset püsiva rõhutasemega (*constant-head*) permeameetrit (Joonis 4). Püsiva rõhuga katse on laboratoorne viis leida materjali filtratsioonikoefitsienti (K). Selle katse puhul tagatakse süsteemis konstantne veesamba kõrgus ning sellest tulenevalt ka katse jooksul püsiv hüdrauliline gradient. Hüdrauliline gradient leitakse lahutades vee väljeala kõrguse veetaseme kõige ülemisest tasemest veepaagis. Vee liikumine toimub kõrgemalt survetasemelt madalamale ning konstantse hüdraulilise gradiendi korral on tagatud ka ühtlane vee liikumine. Katse tulemusena mõõdetakse pinnasest, antud juhul turbaproovist, läbi liikunud vee hulka aja jooksul. Darcy valemi abil arvutatakse saadud tulemusest turba filtratsioonikoefitsient.



Joonis 4. Püsiva veetasemega permeameeter.



Joonis 5. Uurimistöös filtratsioonikonstandi mõõtmiseks kasutatud püsiva veetasemega permeameeter.

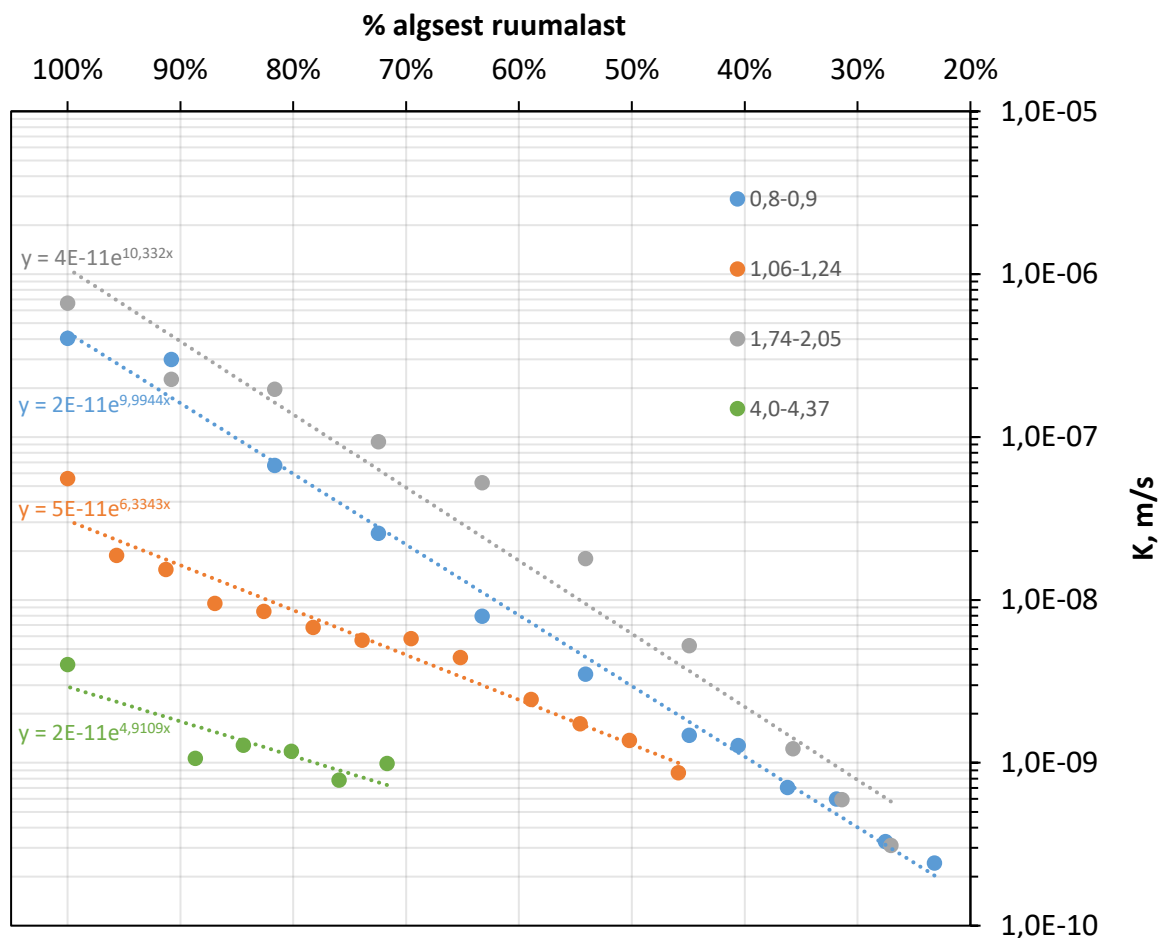
Kolme lasundis ülalpool paiknenud turbaprooviga ($R2-1/0,8-0,9$; $R2-1/1,06-1,24$; $R2-1/1,74-2,05$) viidi permeameetris (Joonis 5) läbi 10–13 mõõtmisest koosnev katseseeria. Neljanda prooviga ($R2-1/4,0-4,37$) viidi läbi lühem, kuuest katsest koosnev seeria, tema algse väga väikese filtratsioonikoefitsiendi ja kõrge lagunemisastme tõttu. Kõigepealt turbaproov homogeniseeriti ning seejärel asetati turvas permeameetrisse kahe vett läbi laskva plaadi vahele, mis olid kaetud peenfiltriga. Turba kokkusurumise tõttu tihendati ülemise plaadi ääri, et vältida peenemate turbaosakeste läbipääsu permeameetri seinte kaudu. Turbast läbi voolanud vee kogumiseks kasutati koonilist kolbi, mis kaeti katse ajaks teibiga, minimaliseerimaks vee aurustumist mahutist katse vältel. Enne iga katset lisati proovi ruumala

vähendamiseks ja proovi tihendamiseks ülemise läbilaskva plaadi peale järk-järgult kõrvuti kaks 4,5 mm või 9,5 mm paksust keermelatist lõigatud pulka. Proovi kokkusurumise ajal ei peatatud vee pealevoolu permeameetrisse, et vältida õhu sissekannet sissevoolu kanalite kaudu süsteemi ning tagada turba võimalikult pidev veeküllastunud olek. Peale proovikeha kokkusurumist ja enne iga katse alustamist lasti süsteemil stabiliseeruda, et tagada konstantne vee voolukiirus läbi turba. Aja jooksul permeameetrit läbinud vee ruumala tuletati väljavoolu mahutisse kogunenud vee massist, võttes vee tiheduseks 1000 kg/m³. Turbast proovikeha kokkusurumine ja filtratsioonikatsete tegemine lõpetati, kui filtratsioonikoefitsient oli jõudnud suurusjärku $1 \cdot 10^{-10}$ m/s, mis vastab väga halvasti vett juhtivate savidele.

Peale permeameetrilisi katseid asetati järele jäänud turbakeha kuivatamiseks 105°C juures ahju. Eeldusel, et kogu permeameetrilise katse jooksul oli turba äraanne tühine, arvutati saadud kuivmassi kaudu turba kuivtiheduse muutus katseseeria jooksul. Turbaproovide tuhasuse määramiseks uhmerdati ja homogeniseeriti kuivatatud turbaproove täiendavalt. Kõiki proove kuumutati 4 tundi kõrgkuumutusahjus 550°C juures, et arvutada turba tuhasus.

5 Tulemused

Ratva raba seirepunktist R2-1 kogutud nelja turbaproovi filtratsioonikoefitsientide muutused järk-järgulisel tihendamisel on toodud joonisel 6. Graafiku horisontaalteljel väljendatakse proovi ruumala muutust kokkusurumisel protsendina esimese katse ruumalast. Vertikaalteljel on logaritmilises skaalas filtratsioonikoefitsient. Uurimistöö tulemuste arvvaartused on toodud lisa 1.

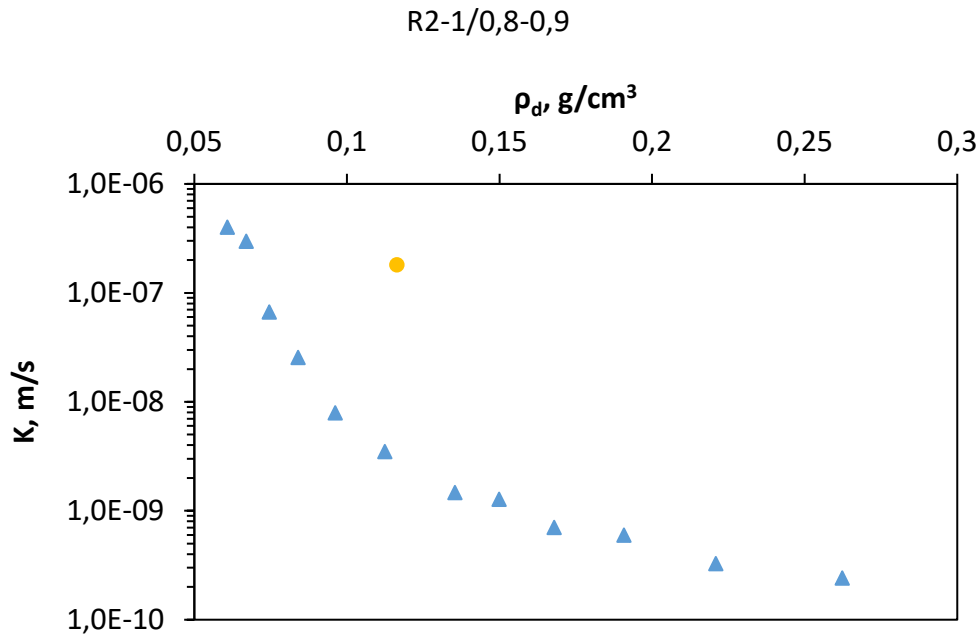


Joonis 6. Filtratsioonikoefitsiendi muutus proovi ruumala vähenemisel.

Filtratsioonikoefitsiendi väärtused kahanevad esimese kolme turbaproovi puhul nende kokkusurumisel eksponentsiaalselt. Sarnane trend on näha ka neljanda proovi puhul, kuid katse tulemustest on näha filtratsioonikoefitsiendi üles-alla kõikumist. Väiksema lagunemisastmega 0,8–0,9 m ja 1,74–2,05 m sügavuselt pärit turbaproovide graafikud on järsema langusega kui kõrgema lagunemisastmega 1,06–1,24 m ja 4,0–4,37 m sügavuselt pärit

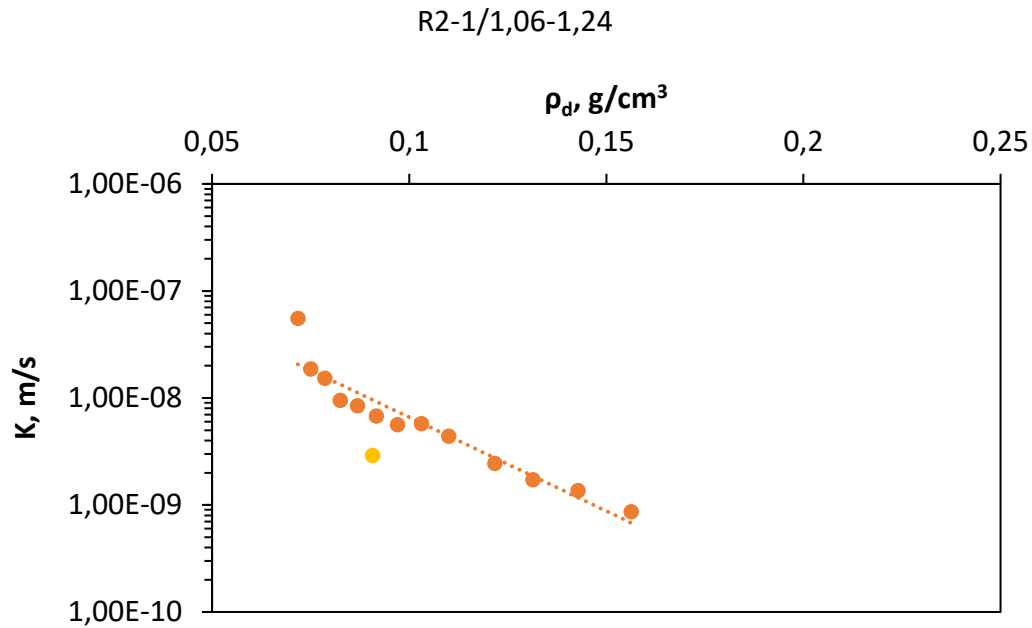
turbaproovide graafikud. Viimaste algsed filtratsioonikoefitsiendid on ka esimesel katsel väiksema väärtusega. Kõige suurema algse filtratsioonikoefitsiendiga ehk kõige parema veejuhtivusega on 1,74–2,05 m sügavuselt pärit sfangnumi turba proov, mille filtratsioonikoefitsient vähenes kokkusurumisel kõige suuremas ulatuses, $6,6 \cdot 10^{-7}$ m/s kuni $3,1 \cdot 10^{-10}$ m/s algsest ruumalast 27%-ni tihendatult. Väikseim algne filtratsioonikoefitsient on kõige alumisel suurima lagunemisastmega puidu turba kihil ($4,0 \cdot 10^{-9}$ m/s). Teiste proovidega võrreldes on ka antud proovi filtratsioonikoefitsiendi muutus kõige väiksema ulatusega ning kohati esineb katseseerias filtratsioonikoefitsiendi väärtusi, mis on eelnevast suuremad. Antud proov oli ka kõige vähemal määral kokkusurutav, mis tuleneb proovi väiksest algsest poorsusest. 4,0–4,37 m sügavuselt võetud puidu turvast suruti kokku kuni 72%-ni esimese mõõtmise ruumalast. Kõige ülemise 0,8–0,9 m sügavuselt pärit puhma ja villpea turba proovi filtratsioonikoefitsient jäi vahemikku $4,0 \cdot 10^{-7}$ m/s kuni $2,4 \cdot 10^{-10}$ m/s ning proovi suruti kokku kuni 23%-ni algsest ruumalast. 1,06–1,24 m sügavuselt pärit puhma ja sfangnumi turba esimene mõõdetud filtratsioonikoefitsient oli $5,6 \cdot 10^{-8}$ m/s ning viimase katse tulemus 46% ruumala juures algsest ruumalast oli $8,7 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Turbaproovide kuivtiheduse ja filtratsioonikoefitsiendi seoseid illustreerivad joonised 7–10, kus horisontaalteljel on turbaproovi kuivtihedus ning logaritmilisel vertikaalteljel on filtratsioonikoefitsient. Kuivtiheduse ja filtratsioonikoefitsiendi omavaheline seos iseloomustab kuidas muutub turba veejuhtivus selle pooriruumala vähenemisel, eeldades, et katsete jooksul pole toimunud turba ärakannet proovist. Kuivtiheduse kasvades vähenes kõigi proovide filtratsioonikoefitsiendi väärtus eksponentsiaalselt. Graafikutel on toodud ka *in-situ* mõõdetud sama botaanilise koostisega turba filtratsioonikoefitsiendi ja täpselt samalt sügavuselt võetud turbaproovi laboratoorselt mõõdetud kuivtiheduse väärtus.



Joonis 7. Proovi R2-1/0,8-0,9 filtratsioonikoefitsiendi ja kokkusurumisel toimunud kuivtiheduse muutuse sõltuvus ning *in situ* mõõdetud filtratsioonikoefitsiendi ja loodusliku kuivtiheduse väärtus.

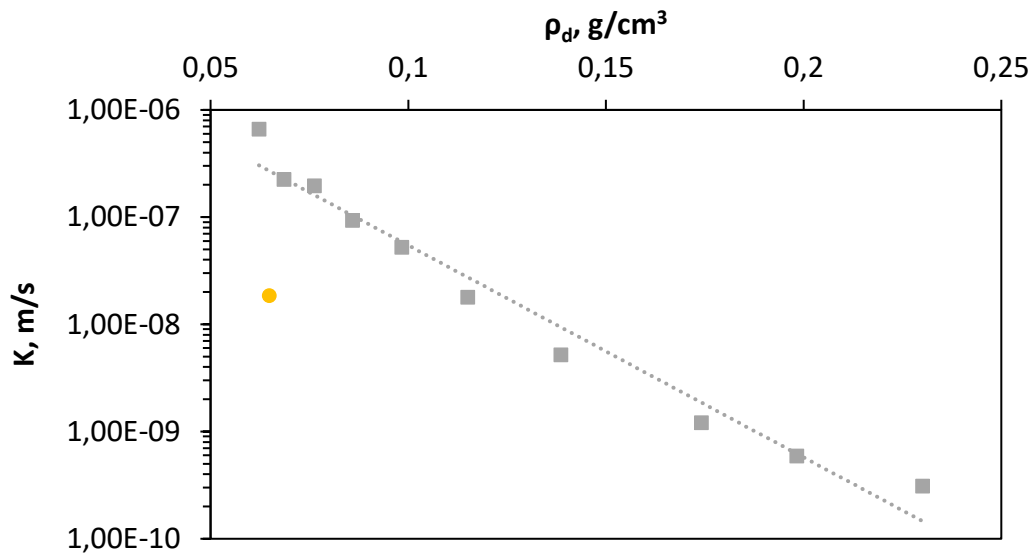
0,8–0,9 m sügavuselt pärit puhma ja villpea turba kuivtihedus kasvas kokkusurumisel umbes viis korda. Seirepunktis mõõdetud *in situ* filtratsioonikoefitsiendi väärtus $1,8 \cdot 10^{-7}$ m/s on samas suurusjärgus esimese ja teise laboratsoorse katse tulemusega (vastavalt $4,0 \cdot 10^{-7}$ m/s ja $3,0 \cdot 10^{-7}$ m/s). Rikkumata (looduslikul) kujul mõõdetud kuivtiheduse väärtus mahub laboratoorselt teostatud katseseeriade vahemikku. Kuivtiheduse väärtus esimesel katsel erineb looduslikust kaks korda, olles seejuures väiksem, mis näitab, et turba homogeniseerimisega ja permeameetrise asetamisega, tõsteti selle poorsust. Lisaks võib täheldada, et laboratoorselt saadud sarnase kuivtiheduse juures on turba filtratsioonikoefitsiendi väärtus kaks suurusjärku madalam kui *in-situ* mõõdetud puhul.



Joonis 8. Proovi R2-1/1,06-1,24 filtratsioonikoefitsiendi ja kokkusurumisel toimunud kuivtiheduse muutuse sõltuvus ning *in situ* mõõdetud filtratsioonikoefitsiendi ja loodusliku kuivtiheduse väärtus.

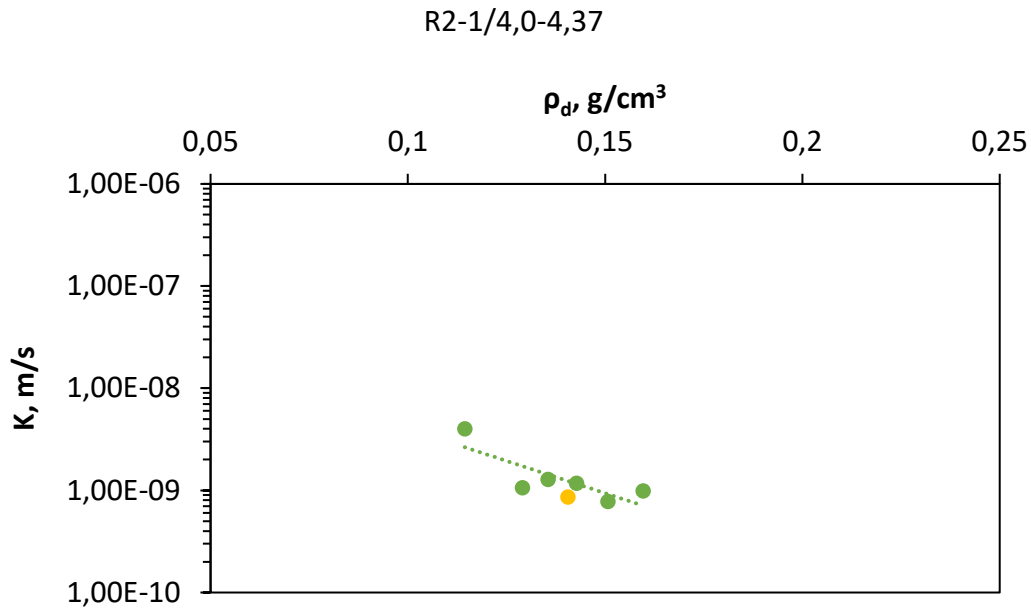
1,06–1,24 m sügavuselt pärit puhma ja sfangnumi turba kuivtihedus kasvas kokkusurumisel pea kolm korda. *In situ* mõõdetud filtratsioonikoefitsiendi väärtus on esimese katse omast suurusjärgu võrra erinev. Looduslikus seisundis mõõdetud turba parameetrid langevad üsna ligilähedaselt kokku uurimistöo jooksul teostatud mõõtmistega. Samuti võib täheldada turbaproovi homogeniseerimisel ja permeameetrise asetamisel selle poorsuse tõusu. *In-situ* mõõdetud turba veejuhtivus jääb samasse suurusjärku võrrelduna laboratoorselt saadud tulemustega, olles seejuures väärtuselt väiksem.

R2-1/1,74-2,05



Joonis 9. Proovi R2-1/1,74-2,05 filtratsioonikoefitsiendi ja kokkusurumisel toimunud kuivtiheduse muutuse sõltuvus ning *in situ* mõõdetud filtratsioonikoefitsiendi ja loodusliku kuivtiheduse väärtus.

1,74–2,05 m sügavuselt pärit sfangnumi turba kuivtihedus kasvas kokkusurumisel üle nelja korra. Antud turba puhul on ka varasemalt mõõdetud kuivtiheduse väärtus kõige sarnasem proovi esimese katse tulemustega, mis näitab kõige lähedasemat poorsust looduslikule situatsioonile katse alguses. Filtratsioonikoefitsiendi väärtus erineb seejuures peaaegu kahe suurusjärgu võrra, olles kõrgem kui *in-situ* mõõdetud väärtus.



Joonis 10. Proovi R2-1/4,0-4,37 filtratsioonikoefitsiendi ja kokkusurumisel toimunud kuivtiheduse muutuse sõltuvus ning *in situ* mõõdetud filtratsioonikoefitsiendi ja loodusliku kuivtiheduse väärtus.

Kõige sügavama proovi (4,0–4,37 m) kuivtihedus oli esimesel katsel suurim ning kuivtiheduse väärtus kasvas teiste proovidega võrreldes kõige vähem. Varasemalt mõõdetud kuivtiheduse väärtus on kõrgem esimese katse tulemusest, jäädes kuivtiheduse muutuse vahemikku, indikeerides poorsuse tõusu katse eelsel turba homogeniseerimisel ja permeameetrise paigutamisel. Filtratsioonikoefitsiendi väärtus on võrreldes teiste proovidega kõige ligilähedasem *in-situ* mõõtmistulemusega.

Käesolevas töös mõõdeti ka proovide tuhasust. Nende proovide puhul ei sõltu saadud tulemused tuhasusest.

6 Arutelu

Sarnaselt varasematele pooriruumi ja veejuhtivuse vahelisi suhteid vaadelnud uurimustele (De Guzman & Alfaro, 2018; Wong et al., 2009), viitavad ka käesoleva uurimistöö tulemused turba filtratsioonikoefitsiendi eksponentsiaalsele vähenemisele kokkusurumise tagajärjel (Joonis 6). Ehitusgeoloogiliselt tähendab see, et turbale täiendava efektiivpinge rakendamisel tuleks arvestada turba veejuhtivuse vähenemisega ning seetõttu ka konsolidatsiooni aeglustumisega, sest turba algne veejuhtivus langeb kokkusurumisel väga suures ulatuses.

Põhjavee langetamisega hajub pinnaseosakestele mõjuv poorirõhk, mis muutub osakestele mõjuvaks efektiivpingeks (Coduto, 1999). Sama toimub ka turbas, suurenev efektiivpinge tähendab, et lasundi alumisi kihte surutakse kokku ning nende kihtide juba niigi väike filtratsioonikoefitsient väheneb veelgi. Väga väikese filtratsioonikoefitsiendiga pinnased käituvad veepidemetena (Coduto, 1999). Käesolevas uurimistöös saavutati turba kokkusurumisel väga väikesed filtratsioonikoefitsiendi väärtused, mille korral võiks alumised turbakihid käituda veepidemetena, küll aga tuleb arvestada, et looduslikes tingimustes põhjavee taseme langetamisel toimuv konsolidatsioon ei ole tõenäoliselt nii ekstensiivne, kui antud katsete puhul saavutati.

Permeameetri täitmisel ei ole säilinud proovi naturaalne kuivtihedus. Kõikide seeriade esimese katse puhul oli laboratoorselt mõõdetud kuivtihedus madalam looduslikust seisundist. See näitab, et turba homogeniseerimisel ning permeameetrise panemisel on läinud selle poorsus suuremaks. Kuivtiheduse ja filtratsioonikoefitsiendi suhte graafikutel on näha looduslikes oludes saadud tulemuste punkti kõrvalekallet käesolevas töös saadud tulemuste trendilt. Seda võib seletada asjaolu, et permeameetrites kasutatud turbaproove ei kogutud nii, et säiliks nende looduslik seisund. Lisaks on laboratoorseteks katseteks kogutud turbaproovid võetud küll väga väiksest alalt, aga mitme puurimise käigus, mistõttu võib turba koostis varieeruda esialgse sondeerimise käigus võetuga. *In-situ* mõõtmistel peab arvestama ka tekkivate mõõtevigadega, mis tulenevad pidevalt muutuvatest ilmastikutingimustest (peamiselt õhurõhu muutustest) ning mõõteriistade enda ebatäpsustest. Kuivtiheduse ja filtratsioonikoefitsiendi suhte graafikutel on näha, et katseseeriade esimesed tulemused jäävad üldisest trendist kõrvale. See viitab ebaühtlasele materjali jaotumisele permeameetris või turbamassis tekkivate voolukanalite esinemisele.

Käesoleva uurimistöö tulemuste põhjal võib öelda, et kasutatud meetodikaga on võimalik hinnata turba filtratsioonikoefitsiendi muutust selle järk-järgulisel kokkusurumisel. Katseseeriade esimeste katsete alguses oli näha väike turba kadu. Kõige esimeste katsete puhul oli permeameetrist väljuv vesi kergelt pruuni tooni, mis viitab kõige peenemate osakeste väljavoolule, mis tuleneb surve avaldamisest proovikehale. Võib arvata, et esmane turba väljakanne pärines filtriga otseses kontaktis olevalt pinnalt ning seda esimeste katsete käigus. Hilisemate katsete käigus vee värvumist pruunikaks ei täheldatud ning permeameetrist voolas välja puhas vesi. Võib eeldada, et halvasti lagununud turvaste, kus peenosakeste osakaal on suurem, puhul polnud permeameetris kasutatavad peenfiltrid piisavad, et blokeerida väiksemate turbaosakeste ärakannet proovist. Seetõttu tuleb välja tuua, et väga hästi lagununud turvaste puhul ei pruugi meetod rakendatud kujul nii hästi töötada. Seda on näha kõige sügavamalt kogutud kõrge lagunemisastmega puidu turba puhul. Selle proovi filtratsioonikoefitsiendi väärtus fluktuuerub muutudes seeria jooksul kohati eelnenud katse tulemusest suuremaks. Samuti võis visuaalselt täheldada kõige suuremat turba ärakannet proovis, mis väljus proovikehast lisaks mahavoolule ka pealevoolu kaudu. Pealevoolu kanalitesse surutud turvas võib aga takistada vee liikumist läbi proovikeha, andes ekslikke tulemusi filtratsioonikoefitsiendi määramisel. Antud meetodit kasutades tuleb proovikehale survet avaldada järk-järguliselt, võttes arvesse turba looduslikku lagunemisastet ja eeldatavat poorsust. Enne igat katset tuleb süsteemil lasta piisavalt kaua tasakaalustuda, et tagada proovikeha täielik veeküllastatus ning konstantne vee vool. Katsete käigus ilmnes õhu eraldumine süsteemist, mis võib samuti mõjutada filtratsioonikatsete tulemusi. Õhu eraldumist võis täheldada õhumullidena, mis eraldusid pealevoolu torustiku kaudu. Katseseeriade vältel selgus, et õhu tekkimist süsteemi võis täheldada just pikemaajaliste katsete puhul, kui turba filtratsioonikoefitsient oli juba väga madal ning seetõttu katse kestvus pikem. Õhu tekkimine süsteemi on antud hetkel veel ebaselge, kuid tulevikus tuleks sellele probleemile kindlasti tähelepanu pöörata.

Kokkuvõte

Käesolevas uurimistöös vaadeldi erilaadsete omadustega (erineva botaanilise koostise ja lagunemisastmega) ning erinevatelt sügavustelt pärinevate turvaste filtratsioonikoefitsiendi muutust selle järk-järgulisel tihendamisel. Eesmärgiks oli hinnata modifitseeritud laboratoorse permeameetri kasutatavust eelmainitud katsete läbiviimiseks.

Uurimuse läbiviimiseks koguti välitööde käigus Ratva rabast seirepunkti R2-1 vahetust lähedusest erinevatelt sügavustelt neli erineva botaanilise koostise ja lagunemisastmega turbaproovi. Kõigi nelja prooviga viidi modifitseeritud permeameetris läbi katseseeria, mille jooksul suruti proove kokku. Peale permeameetrilisi katseid proovid kuivatati ja kaaluti ning saadud tulemustest arutati kuivtihedus. Filtratsioonikoefitsiendi muutust kirjeldati nii kokkusurumise protsendi kui ka arvatud kuivtiheduste suhtes.

Töö eesmärki, katsetada modifitseeritud permeameetri kasutatavust, võib hinnata edukaks. Tulemused näitavad sarnaselt varasemate uurimustega filtratsioonikoefitsiendi eksponentsiaalset vähenemist pooriruumi vähenemisel. Küll aga tuleb tulemustele tuginedes välja tuua, et meetod ei ole ideaalne väga väikese lagunemisastmega turvaste filtratsiooniomaduste uurimiseks kokkusurumisel. Lisaks võis katse visuaalsel hindamisel näha väga väikeste turbaosakeste suurt väljavoolu proovikehast, mis täitsid permeameetri pealevoolu kanalid. Seetõttu vajab käesolevas töös kasutatud meetod edaspidi mõningast täiendamist.

Summary

Measuring hydraulic conductivity of peats under gradual compression using a modified permeameter

The aim of this study was to observe a change in the hydraulic conductivity of peat with different properties (botanical composition and degree of decomposition) and from multiple depths during its gradual compression. The aim was to assess the applicability of the modified laboratory permeameter for the experiments mentioned above.

In order to carry out the study, four peat samples with contrasting botanical compositions were collected from the immediate vicinity of the monitoring point R2-1 in the Ratva bog during fieldwork. All four samples were subjected to a series of experiments, in a modified permeameter, during which the samples were compressed. After the permeametric tests, the samples were dried and weighed to calculate bulk density. The change in in the hydraulic conductivity was described for both the percentage of compression and the calculated dry densities.

The aim of this thesis, testing the usability of the modified permeameter, can be concluded as a success. The results show an exponential decrease in the coefficient of permeability as the pore space decreases - similar results were found in previous studies. However, the results indicate that the method is not ideal for studying the filtration properties under gradual compression of peats with a very low degree of decomposition. Very small peat particles were visually seen clogging up the flow channels of the permeameter. Therefore, the method used in this work needs some further improvement in the future.

Tänuavaldused

Töö autor soovib tänada juhendajaid Raul Paati ning Argo Jõehte.

Kasutatud kirjandus

- Arold, I. (2005). *Eesti maastikud* (T. Oja & A. Raukas, Eds.). Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Chambers, F. M., Beilman, D. W., & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density. *Mires and Peat*, 7(7), 1–10.
- Coduto, D. P. (1999). *Geotechnical engineering* (M. Horton, Ed.). Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- De Guzman, E. M. B., & Alfaro, M. C. (2018). Geotechnical properties of fibrous and amorphous peats for the construction of road embankments. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(7), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002325](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002325)
- Dhowian, A. W., & Edil, T. B. (1980). Consolidation Behavior of Peats. *Geotechnical Testing Journal*, 3(3), 105–114. <https://doi.org/10.1520/GTJ10881J>
- Viitena: Hang, T., Hiiemaa, H., Järveoja, M., Jõelet, A., Kalm, V., Karro, E., Kohv, M., Mustasaar, M., Polikarpus, M., Plado, J. 2012. Ratva raba hüdrogeoloogiline uuring ja Selisoo seiresüsteemi rajamine. KIK projekti nr 15 aruanne. Tartu Ülikooli geoloogia osakond.
- Huat, B. B. K., Prasad, A., Asadi, A., & Kazemian, S. (2014). *Geotechnics of organic soils and peat* (1st editio). CRC Press.
- Ingram, H. A. P. (1978). Soil Layers in Mires: Function and Terminology. *Journal of Soil Science*, 29(2), 224–227. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1978.tb02053.x>
- Joosten, H., & Clarke, D. (2002). Wise use of mires and peatlands -Background and principles including a framework for decision-making. In *International Mire Conservation Group and International Peat Society*.
- Kazemian, S. (2017). Organic Soils and Peats. *Encyclopedia of Engineering Geology*, (August 2019), 1–5. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12127-7_214-1
- Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jõelet, A., Kohv, M., Hang, T., & Hiiemaa, H. (2013). Simulation of the hydrogeologic effects of oil-shale mining on the neighbouring wetland

- water balance: Case study in north-eastern Estonia. *Hydrogeology Journal*, 21(7), 1581–1591. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1032-x>
- Mesri, G., & Ajlouni, M. (2007). Engineering properties of fibrous peats. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(7), 850–866. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:7\(850\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:7(850))
- Nagare, R. M., Schincariol, R. A., Mohammed, A. A., Quinton, W. L., & Hayashi, M. (2013). Measuring saturated hydraulic conductivity and anisotropy of peat by a modified split-container method. *Hydrogeology Journal*, 21(2), 515–520. <https://doi.org/10.1007/s10040-012-0930-7>
- Orru, M. (1995). *Eesti turbasood*. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.
- Paal, J. (2007). *Jääsoode korrastamise käsiraamat*. Tartu.
- Päivänen, J. (1973). *Hydraulic conductivity and water retention in peat soils*. Helsinki.
- Rusanov, F. (2016). *Turba tehniliste näitajate analüüsi meetoodika väljatöötamine , nende seosed turba omaduste muutuste ja kasutusalaadega*. Tallinna Tehnikaülikool.
- Warburton, J., Holden, J., & Mills, A. J. (2004). Hydrological controls of surficial mass movements in peat. *Earth-Science Reviews*, 67(1–2), 139–156. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.03.003>
- Wong, L. S., Hashim, R., & Ali, F. H. (2009). A review on hydraulic conductivity and compressibility of peat. *Journal of Applied Sciences*, 9(18), 3207–3218. <https://doi.org/10.3923/jas.2009.3207.3218>

Lisad

Lisa 1. Modifitseeritud permeameetri mõõtmistulemused

Proov	Katse nr	K, m/s	ρ_d (g/cm ³)	% algsest ruumalast
R2-1/0,8-0,9	1	4.03E-07	0.06	100.00%
	2	2.99E-07	0.07	90.82%
	3	6.68E-08	0.07	81.64%
	4	2.55E-08	0.08	72.46%
	5	7.94E-09	0.10	63.29%
	6	3.50E-09	0.11	54.11%
	7	1.47E-09	0.14	44.93%
	8	1.28E-09	0.15	40.58%
	9	7.04E-10	0.17	36.23%
	10	5.98E-10	0.19	31.88%
	11	3.27E-10	0.22	27.54%
	12	2.42E-10	0.26	23.19%
R2-1/1,06-1,24	1	5.56E-08	0.07	100.00%
	2	1.88E-08	0.07	95.65%
	3	1.53E-08	0.08	91.30%
	4	9.51E-09	0.08	86.96%
	5	8.47E-09	0.09	82.61%
	6	6.77E-09	0.09	78.26%
	7	5.64E-09	0.10	73.91%
	8	5.77E-09	0.10	69.57%
	9	4.41E-09	0.11	65.22%
	10	2.45E-09	0.12	58.94%
	11	1.73E-09	0.13	54.59%
	12	1.37E-09	0.14	50.24%
	13	8.67E-10	0.16	45.89%
R2-1/1,74-2,05	1	6.63E-07	0.06	100.00%
	2	2.26E-07	0.07	90.82%
	3	1.96E-07	0.08	81.64%
	4	9.34E-08	0.09	72.46%
	5	5.23E-08	0.10	63.29%
	6	1.79E-08	0.12	54.11%
	7	5.22E-09	0.14	44.93%
	8	1.21E-09	0.17	35.75%
	9	5.92E-10	0.20	31.40%
	10	3.10E-10	0.23	27.05%
R2-1/4,0-4,37	1	4.00E-09	0.11	100.00%
	2	1.06E-09	0.13	88.68%
	3	1.28E-09	0.14	84.43%
	4	1.17E-09	0.14	80.19%
	5	7.81E-10	0.15	75.94%
	6	9.87E-10	0.16	71.70%

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Grete Sabine Sarap

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Turba filtratsioonikoefitsiendi muutuse uurimine järk-järgulisel tihendamisel, kasutades modifitseeritud permeameetrit

mille juhendajad on Raul Paat ja Argo Jõelet,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

1. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Grete Sabine Sarap

01.06.2020