

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Õppekava: Geoloogia ja keskkonnatehnoloogia

Eliisabet Põldver

Turba kompressiooniparameetrid ning vajumite hindamine Oandu  
soo näitel

Bakalaureusetöö geoloogias (12EAP)

Juhendajad: Annette Talpsep, Raul Paat

Tartu 2023

## **Turba kompressiooniparameetrid ning vajumite hindamine Oandu soo näitel**

Turba suure kokkusurutavuse tõttu tuleb enne sellise pinnase koormamist määrata ära selle vajumise ulatus. Peale primaarse kompressiooni leiab turbapinnase koormamise juures aset ka märkimisväärne sekundaarne konsolidatsioon. Selle bakalaureusetöö käigus viidi katsed läbi Oandust pärit viie turbaprooviga, et määrata turba füüsikalisi omadusi ning primaarset ja sekundaarset konsolidatsiooni. Töö eesmärgiks on leida turbapinnase primaarse ja sekundaarse konsolidatsiooni juures tekkivad vajumid eri muldkeha koormuste ja aastate lõikes ning hinnata kasutatud meetodite usaldusväärsust.

Märksõnad: turvas, sekundaarne kompressioon/ konsolidatsioon

CERCS kood: P470 – Hüdrogeoloogia, geoplaneering ja ehitusgeoloogia

## **Peat compression parameters and assessment of subsidence using the example of Oandu swamp**

Due to the high compressibility of peat, the extent of its subsidence must be determined before loading such a soil. In addition to primary compression, considerable secondary consolidation also occurs when peat soil is loaded. During this bachelor thesis, experiments were carried out on five peat samples from Oandu bog to determine the physical properties of the peat and the primary and secondary consolidation. The aim of the work is to find the subsidences that occur during the primary and secondary consolidation of peat soil according to different embankment loads and years, and to evaluate the reliability of the methods used.

Keywords: peat, secondary compression/consolidation.

CERCS code: P470 – Hydrogeology, geographical and geological engineering

# SISUKORD

Sissejuhatus .....	4
1. Teoreetiline taust.....	5
1.1 Turba omadused.....	5
1.2 Turba primaarne ja sekundaarne konsolidatsioon.....	6
1.3 Kompressiooniindeks ja konsolidatsiooni kiirus.....	8
2. Materjal ja meetodika.....	9
2.1 Proovide kogumine .....	9
2.2 Ödomeeterkatse.....	10
2.3 Turba füüsilised parameetrid.....	12
2.4 Noto meetod.....	14
3. Tulemused ja Arutelu .....	16
3.1 Füüsilised omadused.....	16
3.2 Primaarse ja sekundaarse kompressiooni indeksid.....	18
3.3 Primaarse ja sekundaarse kompressiooni vajumite arvutused.....	20
Kokkuvõte.....	24
Summary.....	25
Kasutatud kirjandus .....	27
Lisad .....	29

## SISSEJUHATUS

Poorsetele pinnastele koormust lisades tekivad vajumid, mille ulatust oleneb pinnase omadustest, ennekõike selle poorsusest. Vajumite ulatus ning kiirus on olulised teadmised tsiviilehituses, kus näiteks majade ja teede ehitusel peab nendega arvestama, et tagada nende ehitiste püsivus ja ohutus (Coduto, 1999). Seoses kasvava rahvastikuga ning laieneva infrastruktuuriga ehitatakse üha rohkem pinnastele, mis on oma omadustelt ning seetõttu ka ehitustingimuslikult keerukamad ning problemaatilisemad. Keerulisemateks pinnasteks võib lugeda ka turbapinnaseid, mis eristuvad teistest setetest nende suure orgaanika, niiskusesisalduse, väga suure kokkusurutavuse ning pindalalise heterogeensuse poolest (Dhowian & Edil, 1980; Huat et al., 2014). Eesti pindala on üsna suures, umbes 22,3% ulatuses kaetud turbaaladega (Paal & Leibak, 2011) mis teeb rajatavate taristuprojektide lõikumise turbapinnastega üsna tõenäoliseks. Nende põhjuste tõttu tuleb turbapinnaste kompressiooniomadusi lähemalt uurida. saab määrata kompressiooni ja rekompresiooni indekse järgi.

Turba omadused on pindalaliselt ning asukohast sõltuvalt väga erinevad (Paat et al., 2022), mistõttu on turba geotehniliste omaduste universaalne kirjeldamine keeruline (Sarap, 2022). Seetõttu on turbaproovidega tehtud laborikatsed ja kohapeal teostatavad uuringud turbapinnase veejuhtivuse ja kokkusurutavuse saamiseks väga olulised. Lisaks pindalalisele erinevusele on turbalasuund väga heterogeenne ka vertikaalsuunas, kus reeglina turba lagunemisaste ning sellest tulenevalt ka poorsus vertikaalsihis väheneb. Sellest tulenevalt võib ka turba veejuhtivus erinevatel sügavustel väga palju erineda (Paat et al., 2022). Veejuhtivus omakorda mõjutab turba kokkusurutavust (Coduto, 1999), mistõttu tuleb turba kompressiooniomadusi mõõta erinevatel sügavustel. Üks peamisi parameetreid pinnaste vajumite arvutamiseks on kompressiooniindeks (McCarthy, 2006). Selle kaudu analüüsitakse ja iseloomustatakse pinnase kokkusurutavust, mis on vajalik teadmaks pinnaste eelkoormamiste ning vajumite kestvust (Wong et al., 2009). Kompressiooniomadusi saab leida näiteks laboris läbi viidavate ödomeeterkatsetega (Coduto, 1999).

Käesoleva bakalaureusetöö käigus viidi läbi laboratoorsed ödomeetri katsed Oandu soost võetud turbaproovidega. Uurimistöö eesmärk on uurida ning iseloomustada turbapinnase koormamisest tulenevaid vajumeid ning leida konsolidatsiooniparameetrid, sealhulgas sekundaarset

konsolidatsioon. Lisaks kasutatakse leitud parameetreid vajumite arvutamisel teoreetilises situatsioonis.

## **1. TEOREETILINE TAUST**

### **1.1 Turba omadused**

Turvas sisaldab suures koguses orgaanikat ning on väga varieeruva lagunemisastmega. Turvas käitub mineraalsest pinnasest erinevalt just tema erinevate faasiomaduste ja mikrostruktuuri tõttu (Edil, 2003), seetõttu tuleb turba kompressiooni ja käitumise prognoosimise juures kasutada mineraalpinnastest erinevaid teooriaid. (Yulindasari, 2006)

Turvas moodustub tavaliselt sellises kohtades sisemaal, mis on liigniisked.. Turba tekib peamiselt kas olemasoleva veekogu kinnikasvamisel või maapinnal selle nõgudes, kus sealne taimestik kasvab püsivalt liigniisketes tingimustes. Turba kuhjumise kiirus on varieeruv ning akumulatsioon jätkub nii kaua, kuni rabataimed selles pinnases kasvavad ja seal samas lagunevad. Turba akumulatsioon lõpetab näiteks pinnase kuivendamine ja koorimine (Leong & Chin, 2003)(Yulindasari, 2006).

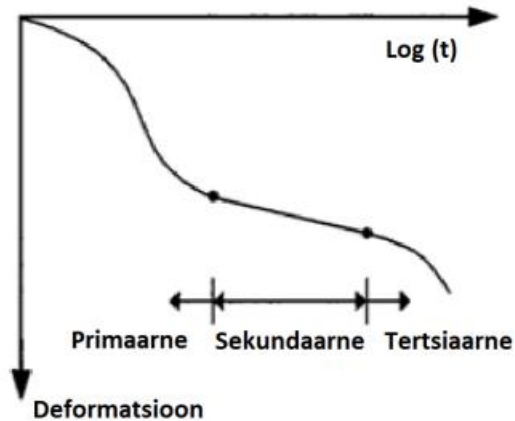
Turvas, mis on lagunenu orgaanika segu, on moodustunud märgaladel sellele sobivates ilmastiku- ja topograafilistes tingimustes ning tekkinud keemiliselt muundunud ja fossiliseerunud taimestikust (Edil ja Dhowian, 1980). Looduslikus olekus puudub turbal igasugune tugevus, koosnedes vaid veest ja lagunenu taimefragmentidest (Munro, 2005). Turba madala nihketugevuse, kõrge kokkusurutavuse ja suure veesisalduse tõttu peetakse seda tihtipeale problemaatiliseks pinnaseks. (Kazemian et al., 2011)

Turba orgaanilise aine sisaldus ulatub sageli üle 75%. Turba tahked osakesed on osaliselt kõdunenud ja lagunenu taimede jäänused. Orgaanika kuhjumine toimub tingimustes, kus akumulatsioon on suurem kui lagunemise kiirus (Bell, 2000). Turvas kuhjub juhul, kui tingimused on sobivad. Sobivates piirkondades esineb rohkelt sademeid ja pinnases esineb niiskust, sõltumata laiuskraadist või asukohast. (Kazemian et al., 2011)

Turba tahkete osakeste sisaldus varieerub eri kohtades kiudude päritolu, temperatuuri ja humifitseerumise astme tõttu. Humifitseerimine ehk lagunemine tähendab orgaanilise ainese vähenemist, osakeste esialgse struktuuri kadumist ja keemilise oleku muutumist. Taimejäänused lagunevad mulla mikrofloora abil, seal on aeroobse lagunemise eest hoolt kandvad bakterid ja seened. Pinnase suur veesisaldus vähendab hapnikuvarustust, mis tähendab väiksemat aeroobsete mikroobide aktiivsust ja soodustab palju aeglasemat anaeroobset lagunemist. Sellest lähtuvalt saab väita, et võrreldes anorgaaniliste savi- ja liivamuldadega, on turbal ainulaadsed geotehnilised omadused (Hashim ja Islam, 2008). (Kazemian et al., 2011)

## **1.2 Turba primaarne ja sekundaarne konsolidatsioon**

Turba kokkusurutavuse omadusi kontrollivad peamiselt kiulise materjali sisaldus, naturaalne vee sisaldus, poorsuse osakaal ja esialgne vee läbilaskvus (Yulindasari, 2006). Turba primaarne konsolidatsioon, ühtlasi ka kompressiooni esimene faas, on selle suure esialgse veesisalduse tõttu palju suurem kui teistel pinnastel (Yulindasari, 2006). Turba kompressiooni võib jagada kahte etappi: primaarne kompressioon ja sekundaarne konsolidatsioon. Turba looduslik (*in situ*) poorsustegur on väga kõrge ja seetõttu on need ka väga kokkusurutavad ja painduvad. Suure veesisalduse tagavad õõnsad raku kiud, mis moodustavad lahtise põimunud osakeste võrgustiku. Mõlema, nii primaarse kui ka sekundaarse kompressiooni ajal surutakse vesi välja nii pinnaseosakeste vahelt kui ka nende seest (Mesri ja Ajlouni, 2007). Turbas toimub primaarne kompressioon üsna lühikese aja jooksul, sekundaarne konsolidatsioon aga juba palju pikaajalisemalt (Kazemian et al., 2011). Kusjuures, sekundaarne kompressioon võib alata ka enne, kui pooride liigse rõhu hajumine on lõpule jõudnud (Leonards ja Girault, 1961). Turvaste juures on täheldatud ka kolmandat ehk tertsaarset konsolidatsiooni (Kazemian et al., 2011).



**Joonis 1.** Deformatsioon aja logaritmi suhtes: primaarne, sekundaarne ja tertsiaarne konsolidatsioon (Augustesen et al., 2004 järgi, eestikeelne versioon võetud Sarap, 2022).

Terzaghi ühemõõtmelise konsolideerumise teooria põhineb oletusel, et primaarse kompressiooni juures liigne poorivee rõhk hajub, kuna efektiivne pinge suureneb, samas kui sekundaarse konsolidatsiooni puhul toimub kokkusurumine konstantse efektiivse pinge all pärast liigse poorivee rõhu hajumist. Selle teooria teisteks olulisemateks eeldusteks on, et voolamine on ühemõõtmeline ning konsolideerumise kiirus ja vee läbilaskvus on kogu konsolideerumise protsessi jooksul konstantne (Coduto, 1999). Pinnase kokkusurutavus koosneb üldiselt kolmest järgnevast etapist: esialgne pinnase tihenemine, primaarne kompressioon ja sekundaarne konsolidatsioon. Esialgne tihenemine toimub koheselt peale koormuse rakendamist. Primaarne ja sekundaarne kompressioon sõltuvad sellest, kui pikk on koormuse rakendamise aeg. Primaarse kompressiooni ajal toimub põhiliselt õhu ja vee pooriruumist välja surumine ja pinnaseosakeste elastne kokkusurumine. Primaarne konsolidatsioon lõpeb liigse poorivee rõhu hajumisega (Coduto, 1999).

Pärast poorivee liigse rõhu hajumist toimub pinnase sekundaarne konsolidatsioon ning vajumine pideva efektiivse vertikaalse surve all (Kazemian et al., 2011). Turba sekundaarne konsolidatsioon mängib turba kompressiooni juures suuremat rolli, kuna toimub aeglasemalt, kui primaarne kompressioon ja võtab ajaliselt märkimisväärsema osa (Yulindasari, 2006). Turbapinnastes nagu ka savide puhul ei pressita sekundaarse kompressiooni puhul sette osiseid

omavahel ainult kokku (osakeste vaheline ruumala väheneb), vaid toimub osakeste plastilisest järeleandmisest tulenev paindumine (Samson ja La Rochelle, 1972), mis tähendab, et sete ei taasta oma algset struktuuri ning ruumala. Kusjuures pinnas, millelt on koormus hiljem eemaldatud, pole uuesti koormamisel enam kuigi kokkusurutav. Kui turbale mõjuv uus koormus jääb alla pinnasele viimati rakendatud raskusest, siis ei ole konsolidatsiooni ulatus enam sama suur (Yulindasari, 2006). Sekundaarse kokkusurumise olemasolu ja füüsikaline taust on senimaani ebaselge, kuid arvatakse, et see toimub setteosakeste ümberpaigutumise, roomavuse ja orgaaniliste ainete lagunemise tõttu (Coduto, 1999).

### 1.3 Kompressiooniindeks ja konsolidatsiooni kiirus

Geotehnikas arvutatakse ja hinnatakse kompressiooniindeksi abil vajumite ulatusi. Pinnas on seda kokkusurutavam, mida suurem on langus, kuna sama pinge muutus kutsub esile ulatuslikuma deformatsiooni. Turba puhul on kompressiooniindeksid selle ulatusliku kokkusurutavuse tõttu väga suured (Sarap, 2022).

Kompressiooniindeks ( $C_c$ ) arvutatakse kompressioonikõvera langusest (Valem 1). Kompresiooniindeks arvutatakse poollogaritmiliselt kompressioonigraafikult saadud valemi abil. Graafiku x-teljel on proovile astmeliselt rakendatud koormuse vertikaalse efektiivpinge ( $\sigma'_z$ ) logaritm ning y-teljel proovi poorsustegur ( $e$ ). (Coduto, 1999)

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{(\log \sigma'_z)_b - (\log \sigma'_z)_a}$$

(Valem 1)

Primaarne kompressioon ja sekundaarne konsolidatsioon võivad toimuda ka üheaegselt. Siiski arvatakse, et primaarse kompressiooni lõpus aset leidev sekundaarne konsolidatsioon on minimaalne ning see avastatakse pärast primaarse kompressiooni lõpule jõudmist. Pinnase sekundaarse kompressiooni puhul eeldatakse, et see toimub aeglasema kiirusega pärast esmase konsolideerimise lõppu. Sekundaarse konsolidatsiooni parameetrit standardse konsolideerimiskatse puhul saab määratleda poorsusteguri ( $e$ ) ja aja logaritmilise kõvera lõpuosa kalde ( $C_\alpha$ ) abil (Valem 2). (Yulindasari, 2006) lk35

$$C_{\alpha} = -\frac{de}{dlogt}$$

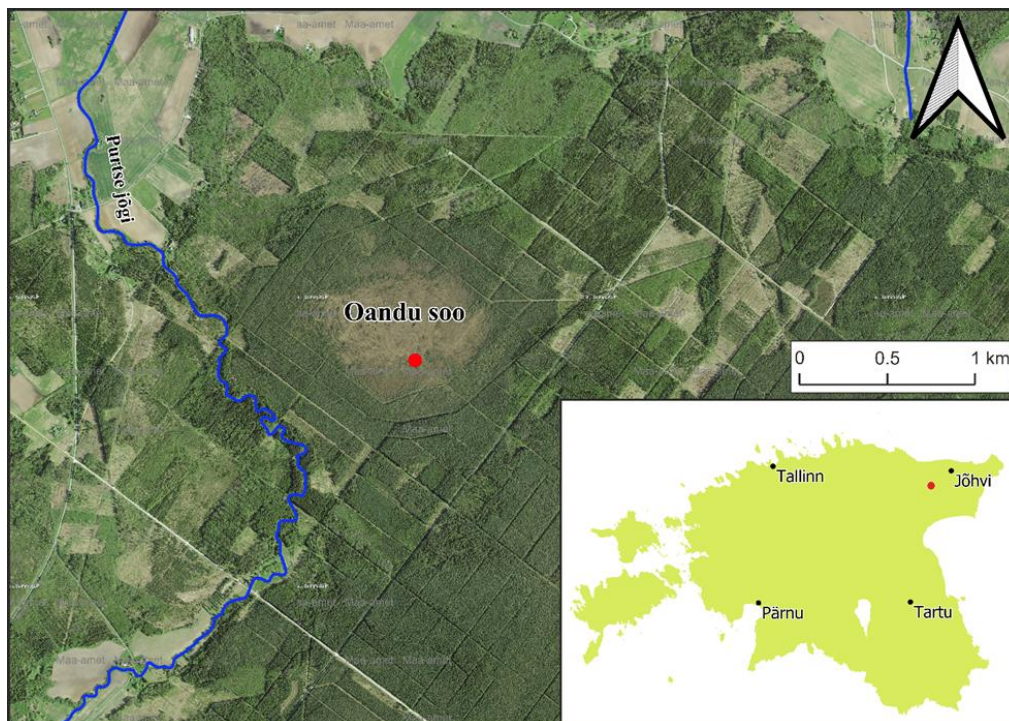
(Valem 2)

Võib oletada, et sekundaarse kompressiooni settimine algab, kui proov on ligi 95% ulatuses juba vajunud. Üldiselt pinnastele, kus toimub aastate jooksul märkimisväärne sekundaarne kompressioon, suuri ehitisi ei rajata. Küll aga maanteede ja raudteede puhul tuleb ka sellistele pinnastele ehitada. (Coduto, 1999) lk 412

## **2. MATERJAL JA METOODIKA**

### **2.1 Proovide kogumine**

Turbaproovid, millega analüüsid läbi viidi, on võetud Ida-Virumaal asuvast Oandu soost (X: 6572666 Y: 672960, Joonis 1). Oandu soo on metsakuivenduse poolt tugevalt mõjutatud ning üsna väikese pindalaga soo. Oandu soos on suurimaks mõõdetud turba paksuseks 3.1 meetrit. Antud uuringupunktis, kus turba paksus on 3.0 meetrit, jääb turbalasundi paksus üsna lähedale suurimale mõõdetud turba paksusele. Turbalasundi pealmisemat osa nimetatakse rabaturbaks, kuna see koosneb tupp-villpea- ja sfaagnum turbast. Turbalasundi lamam ehk rabaturba alla jääv osa on madalsoo turvas, mis koosneb peamiselt hästi lagunenenud puidujäänustest ning võib sisaldada ka tarnast ja pilliroogu. Raba kasvufaasi esindav turvas on halvasti lagunenenud (von Post indeks H1-H4), kuid alumisem osa koosneb väga hästi lagunenenud (H8-H10) väheste taimeosistega turbast.



**Joonis 2.** Oandu uuringupunkti asukoht (Ortofoto: Maa-amet, 2023).

Turbaproovid koguti Raul Paadi, Argo Jõelege ja Grete Sarap-i poolt 2021. aastal. Kogumiseks kasutati vene tüüpi kannpuuri. Turbaproovid võeti iga meetrise intervalli kohta ning asetati õhukindlalt taas-suletavasse kotti, säilitamaks selle algset veesisaldust ning vältimaks turbaproovi oksüdeerimist. Piisava proovi koguse saamiseks puuriti turvast samalt sügavuselt mitu korda. Turbarproove hoiti külmkapis kuni analüüsimiseni.

## 2.2 Ödomeeterkatse

Ödomeeterkatset nimetatakse ka konsolidatsioonikatseks. Teorias peaks ödomeetri katseid läbi viidama rikkumata pinnaseproovidega, et need oleksid võimalikult sarnased oma looduslikule olekule. Antud juhul olid proovid kogutud mitme puurimisega, mistõttu võib turba struktuur mõnevõrra erineda looduslikust. Pudedate pinnaste puhul, mis võivad samuti proovi kogumisel oma loodusliku oleku kaotada, kasutatakse ödomeeterkatse asemel empiirilisi korrelatsioone või kohapealseid katseid, hindamaks selle pingede-deformatsiooni omadusi. Turvaste puhul sellist lähenemist pole kasutatud. Ödomeetri katsete juures on tähtis ka proovide looduslik niiskuse

sisalduse säilitamine, kuna poorivee rõhk võib muutuda negatiivseks, mis omakorda võib kaasa tuua pöördumatuid muutusi, mille tõttu ei saaks proovi enam kasutada.

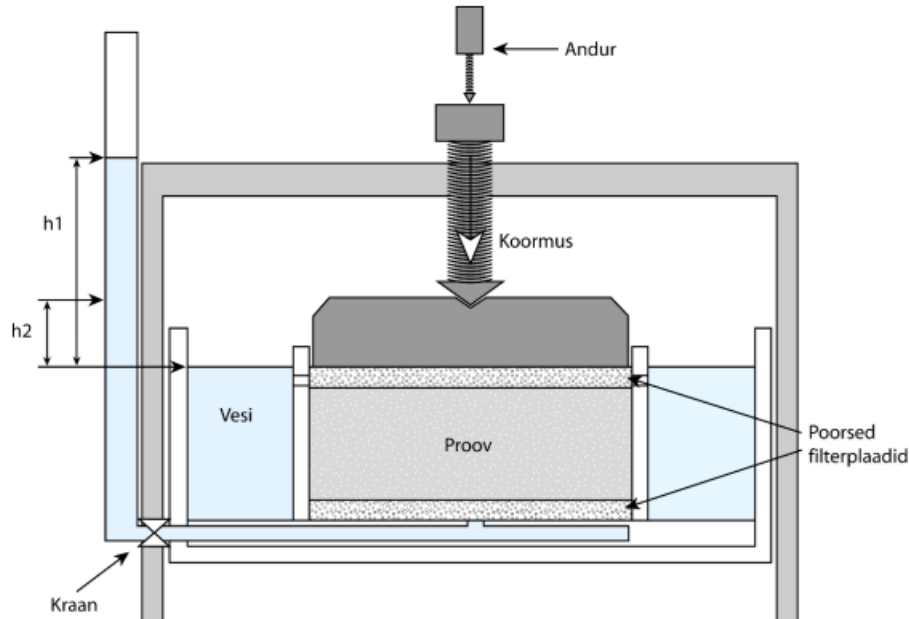
Proov asetatakse ödomeetrisse püstise silindri kujuliselt, mida ümbritseb messingist või roostevabast terasest silinder. Selline silinder tagab kokkusurutuse vaid vertikaalselt, kuna looduses toimub koormamine samuti ülevalt poolt ning ümbritsev pinnas takistab horisontaalsuunalisi deformatsioone. Proov asetatakse kahe poorse kivimi vahele, mis on piisavalt tugevad, et need rakendatud koormuste all ei puruneks, kuid samas võimaldades vee liikumist katsekehast välja (Coduto, 1999).

Poorseid kivimeid tuli eelnevalt ka veega täidetud kausis leotada, et need oleksid enne turbaproovidega kokkupuutumist veega küllastunud. Turbaproovi ja poorsete kivimite vahele asetati filterpaberid, et peened pinnaseosakesed ei ummistaks kivimi poore, mis takistaks seeläbi vee ühtlast läbitavust. Turbaproov täideti silindri ülemisel poolel paiknevate aukudeni. Silinder, mille sisse oli paigutatud turbaproov ja poorused kivimid, ümbritseti kogu katse vältel veega. Tänu silindris paiknevatele aukudele püsis turbaproov kogu katse vältel veeküllastunud. Proovi kohale paigutati elektrooniline seade, mis mõõtis katse käigus tekkivaid kompressiooni muutusi.

Antud katsed viidi läbi viie prooviga, kasutatud proovide sügavusvahemik ulatus 0.5 meetrist 2.85 meetrini. Proovid asetati ödomeetri katserakku kahe poorse kivimi vahele. Poorseid kivimeid leotati eelnevalt veega täidetud kausis, et need oleksid enne turbaproovidega kokkupuutumist veega täielikult küllastunud. Turbaproovi ja poorsete kivimite vahele asetati filterpaberid, et vältida kivide pooride ummistamist peenete turbaosakestega, mis seeläbi vähendaks nende veeläbilaskvust. Ödomeetri rakk täideti turbaga kuni silindri ülemisel poolel paiknevate aukudeni. Silinder, mille sisse oli paigutatud turbaproov ja poorused kivimid, ümbritseti kogu katse vältel veega. Tänu silindris paiknevatele aukudele püsis turbaproov kogu katse vältel veeküllastunud. Proovi kohale paigutati elektrooniline seade, mis mõõtis katse käigus vajumite ulatust.

Turbaproovidele rakendati järk-järguliselt suuremaid koormusi, mis ulatusid 0.25-4.5 kg-ni (5.5-99.8 kPa). Iga uus koormus lisati ühe ööpäeva möödudes, millest tulenevalt lisati viimane, 4.5kg

raskus, nädal pärast katse alustamist. Sekundaarse konsolidatsiooni nägemiseks hoiti viimast raskust proovil nädal aega, mistõttu kulus ühe katse jaoks ligi kaks nädalat.



**Joonis 3.** Ödomeetri joonis (Sarap, 2022)

### 2.3 Turba füüsikalised parameetrid

Veesisaldus ( $w$ ) ehk niiskusesisaldus on pinnases sisalduva vee ( $M_w$ ) ja pinnase tahke osa ( $M_s$ ) masside suhe protsentides (Valem 4). Setete veesisaldus on tugevalt seotud nende poorsusega – mida rohkem on pinnaseosakeste vahel vaba pooriruumi, seda enam vett pinnas küllastunud olekus sisaldab. Turba veesisaldus on suur: hästi lagunenenud madalsooturvaste puhul on see 3 kuni 7 korda suurem turba kuivmassist ning vähelagunenud sfangnumiturba puhul võib see olla kuivmassist isegi 15 kuni 20 korda suurem (Rusanov, 2016).

$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100\%$$

(4)

Tihti iseloomustatakse turvast ka kuivtihedusega, mis näitab tahkete osakeste massi ( $M_s$ ) suhet proovi koguruumalasse ( $V$ ) (Valem 5). Turba kuivtihedus on võrreldes mineraalsete pinnastega väike, kuid varieerudes samas suures ulatuses. Turba kuivtiheduse väärtused jäävad Boelter (1969) põhjal rabaturba puhul alla  $0,075 \text{ g/cm}^3$  ning võivad madalsooturba puhul küündida üle  $0,195 \text{ g/cm}^3$ .

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

(Valem 5)

Veesisalduse ning kuivtiheduse saamiseks asetati turbaproovid minimaalselt kaheks ööpäevaks  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  juurde kuivama, kuniks kogu vesi oli proovist aurustunud. Selline temperatuur on valitud, et vältida proovides oleva orgaanilise aine söestumist. Orgaanika söestumine annaks veesisalduse ja kuivtiheduse kohta väärasid näitajaid. Söestumise ohu tõttu on mõned pooldanud pigem madalamaid temperatuure, mis jäävad vahemikku  $50\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$ . Skempton ja Petley (1970) uurisid neid mõjusid eri temperatuuride juures ning leidsid, et orgaanilise aine kadu  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  pole kuigi märkimisväärne. Madalamate temperatuuride juures kuivatamine võtab rohkem aega ning võib jätta proovidesse väikese koguse vaba vett, mida ei tohiks proovidesse peale kuivatamist jääda. Seetõttu on optimaalne proovi kuivatada maksimaalse võimaliku temperatuuri juures ehk  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  (Den Haan, 1997).

Poorsustegur, mis näitab pinnase poorsust, on pooride ruumala ( $V_v$ ) ja tahkete osakeste ruumala ( $V_s$ ) suhe (Valem 6). Poorsus on turbapinnases suurem pealmistes kihtides ning pinnasele rakendatud jõu tulemusel see väheneb.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

(Valem 6)

## 2.4 Noto meetod

Noto meetod on samuti välja töötatud turbapinnase vajumite hindamiseks. Teades turba veesisaldust, turbakihi paksust ja planeeritavast muldkehast tulenevat lisakoormust, on Noto meetodi puhul vajumist, sealhulgas sekundaarset konsolidatsiooni ja muid vajumite juures esinevaid ajutisi muutuseid lihtne arvutada. Kui muidu võib muudel meetoditel turbapinnase parameetrite täpne määramine osutuda vägagi kulukaks, siis Noto meetodi abil pinnase parameetrite määramiseks teostatavad katsed on lihtsad ega nõua seetõttu ka suuri kulutusi. Pehme pinnase konsolidatsiooni kulgemine sõltub üldiselt pinnase kokkusurutavusest ja vee läbilaskevõimest. Kuna Noto meetod koosneb eksperimentaalsetest võrranditest, mis on saadud turbaga läbiviidud katsetest, siis tuleks seda meetodit samuti kasutada üksnes turbapinnase puhul. (Hayashi, Nishomoto, & Yamanashi, 2016)

Noto meetodi puhul tuginetakse oletusele, et valemis (7) koefitsiendina kasutatavat astendaja konstantseks väärtuseks -0.62. Koefitsient  $C_p$ , mida väljendatakse võrrandiga (11), on seotud primaarse konsolidatsiooni kiirusega ning see leitakse graafiliselt (Hayashi, Nishomoto, & Yamanashi, 2016)

Sekundaarse konsolideerimise koefitsient ( $C_\alpha$ ) suureneb lineaarselt turba veesisalduse ( $w$ ) suurenemisega. Võrrand (12) on tuletatud Noto poolt tehtud katsetulemuste ligikaudsest seosest. Nagu eespool lühidalt selgitatud, saab turba konsolideerimise omadusi (st primaarset ja sekundaarset konsolideerimist) kaudselt seletada pinnasele rakendatava efektiivpinge, veesisalduse ja turba paksuse abil. (Hayashi, Nishomoto, & Yamanashi, 2016)

Noto meetod lähtub eeldusest, et turbapinnase settimise juures toimuvad lühiajalised muutused. Võrrand (7) kujutab primaarset konsolidatsiooni. See lõpeb ajahetkel  $t_s$ , mis on arvutatud võrrandi

(8) abil. Pärast primaarse konsolidatsiooni lõppu ehk peale aega  $t_s$  algab sekundaarne konsolidatsioon, mis on lineaarses seoses logaritmilise ajaga, nagu on näidatud võrrandis (9). (Hayashi, Nishimoto, & Yamanashi, 2016)

Settimine primaarse konsolidatsiooni ajal,  $S_p$  (cm):

$$S_p = \frac{\varepsilon_f}{(1 + C_p \times t^{-0.62})} \times H$$

(Valem 7)

$\varepsilon_f$  on primaarse konsolidatsiooni lõpptugevus,  $C_p$  on primaarse konsolidatsiooni kiiruskoefitsient,  $t$  on kulunud aeg (päevades) ja  $H$  on turbakihi esialgne paksus (cm).

Aeg, mil primaarne konsolidatsioon lõppeb ( $t_s$ ), kus konstandi (0,0055) suuruseks on päev/cm<sup>2</sup>

$$t_s = 0.0055H^2$$

(Valem 8)

Settimine sekundaarse konsolidatsiooni ajal,  $S_s$  (cm):

$$S_s = S_{pf} + C_\alpha \times H \times \log\left(\frac{t}{t_s}\right)$$

(Valem 9)

kus  $S_{pf}$  on settimine ajal, mil  $t = t_s$  võrrandis (7) (primaarne konsolidatsioon) ja  $C_\alpha$  on sekundaarse konsolidatsiooni koefitsient (%).

Võrrandites (7) ja (9) kasutatud koefitsiendid arvutatakse alltoodud võrrandite abil, kus  $P$  on muldkehast tulenev lisakoormus (kN/m<sup>2</sup>) ja  $w$  on turba veesisaldus (%).

$$\varepsilon_f = \frac{1}{1 + \frac{(2.74 \times 10^4)}{(w \times P^{0.8})}}$$

(Valem 10)

$$C_p = 0.0044 \times H^{1.25}$$

(Valem 11)

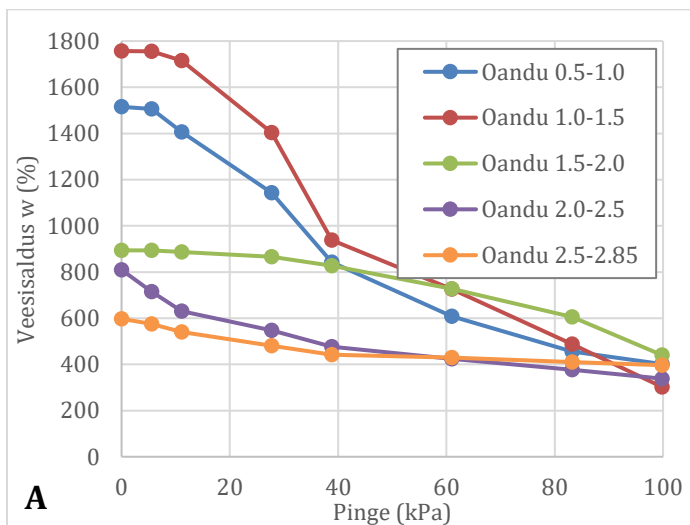
$$C_{\alpha} = 3.3 + 0.0043 \times w$$

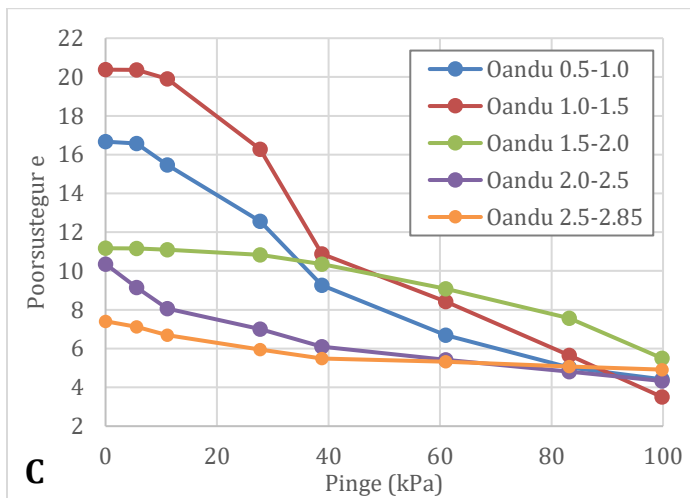
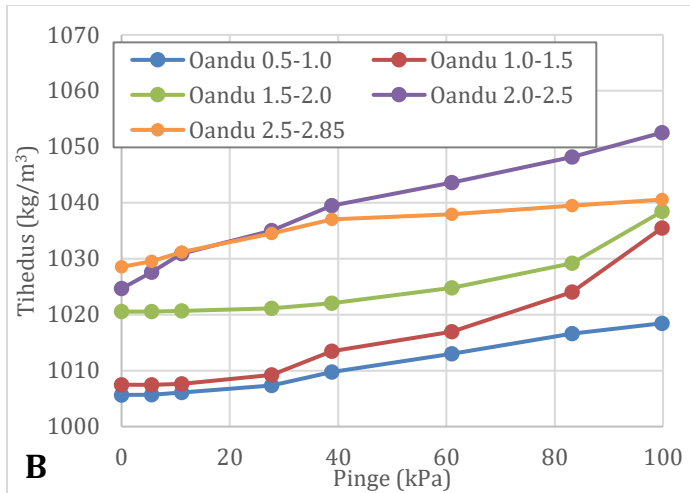
(Valem 12)

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1 Füüsikalised omadused

Proovide füüsikalised omadused on toodud allpool (Tabelis 1), kus on välja toodud veesisalduse ( $w$ ), tiheduse ( $\rho$ ), poorsusteguri ( $e$ ) ja erimassi ( $G_s$ ) (proovi lõikes konstant) väärtused enne katset ja iga koormuse lõpus. Illusteerimiseks on toodud allpool ka graafikud veesisalduse, poorsusteguri ja tiheduse kohta, kus on näha antud füüsikaliste parameetrite muutumist katse käigus. Kuna veesisaldus sõltub pinnase poorsusest, siis on nii veesisalduse kui ka poorsusteguri graafikutel (Joonis 4) välja toodud nende parameetrite vähenemine pinge suurenemisel. Tihedus aga pinnasele rakendatud raskusega hoopis suureneb, kuna pinnaseosakesed surutakse poorsuse ja veesisalduse vähenemise tagajärjel omavahel tihedamini kokku.





**Joonis 4.** Proovide veesisalduse (A), tiheduse (B) ja poorsusteguri (C) muutumine kompressioonikatse käigus. Viimase koormuse juures on toodud väärtused 24 h möödumisel koormuse lisamisest.

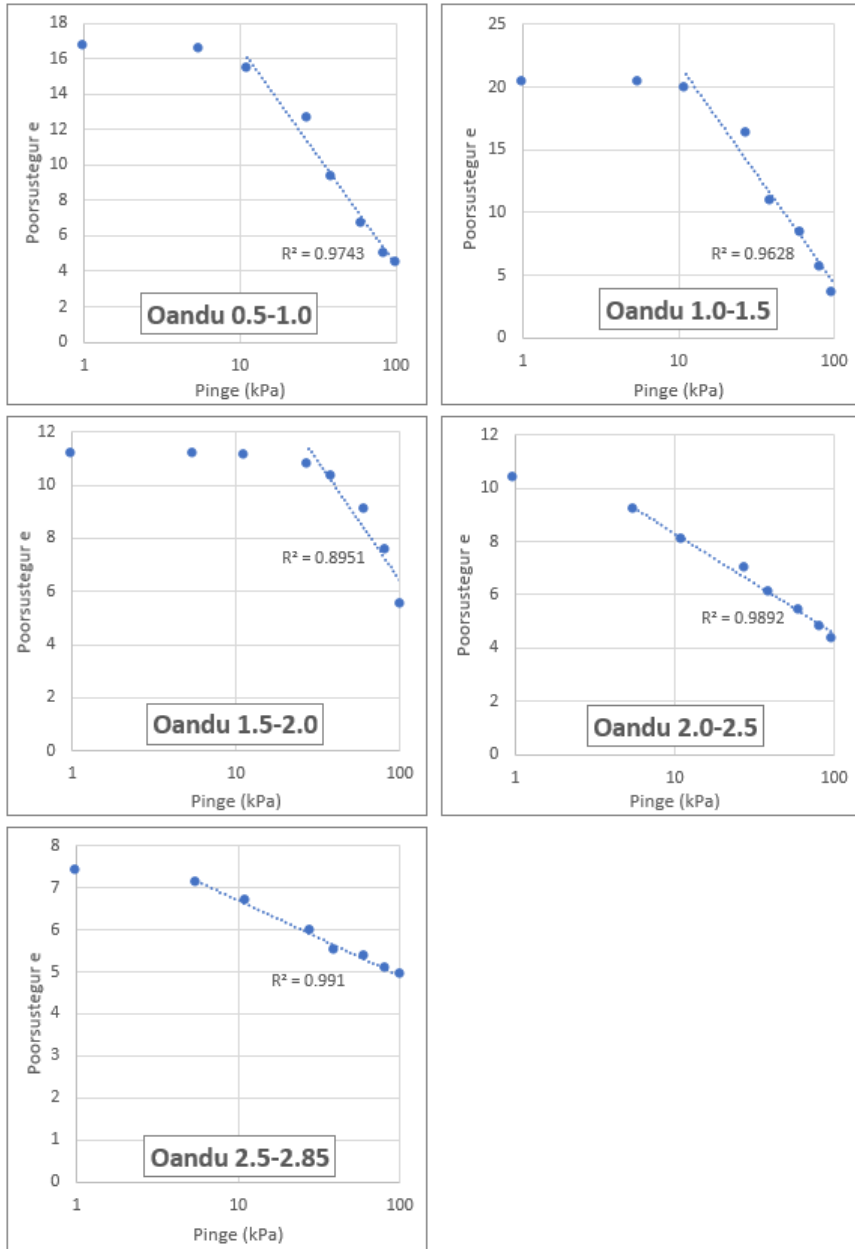
**Tabel 1.** Proovide veesisalduse ( $w$ ), tiheduse ( $\rho$ ), poorsusteguri ( $e$ ) ja erimassi ( $G_s$ ) väärtused kompressioonikatse alguses ja lõpus (2 nädalat algusest).

Proov		$w$ (%)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$e$	$G_s$
Oandu 0.5-1.0	Alguses	1515	1006	16.67	1.10
	Lõpus	379	1019	4.16	
Oandu 1.0-1.5	Alguses	1757	1007	20.38	1.16
	Lõpus	283	1037	3.29	
Oandu 1.5-2.0	Alguses	894	1021	11.17	1.25
	Lõpus	324	1050	4.05	
Oandu 2.0-2.5	Alguses	809	1025	10.36	1.28
	Lõpus	324	1054	4.14	
Oandu 2.5- 2.85	Alguses	597	1029	7.41	1.24
	Lõpus	366	1043	4.54	

### 3.2 Primaarse ja sekundaarse kompressiooni indeksid

Kompressiooniindeksi ( $C_c$ ) arvutamisel lähtuti graafiku osast, kus toimus järsem langus. Väikestel koormustel, kui katse algab on kokkusurutavust mõjutatud sellest, et proovid ei ole looduslikus olekus. Turba struktuur muutub kohe alguses, kui proov võetakse kui ka katseseadmesse paigaldamisel. Katse alguses toimuv deformatsioon ei kirjelda sel juhul mitte kompressiooni vaid pigem rekompresiooni. Laborikatse tulemuste kaudu arvutatud poorsusteguri ( $e$ ) ja koormamisel kasutatud raskustest tulenevate pinge väärtuste põhjal koostati graafikud, et leida kompressiooniindeks ( $C_c$ ). Allpool toodud graafikutel (Joonis 5) on näha poorsusteguri ( $e$ ) muutumist pinge suurenemisel. Poorsusteguri ja pinge sõltuvuse punktide järgi lisati graafikule logaritmiline katkendjoon, mille abil saigi arvutada  $C_c$  väärtuse.  $C_c$  väärtused üldiselt vähenevad sügavuse suunas, kus kihid on suurema tihedusega. Teistest kihtidest suurem  $C_c$  väärtus aga sügavusel 1.0-1.5 meetrit (Tabel 2).

Sekundaarse kompressiooniindeksi ( $C_\alpha$ ) väärtused on arvatud iga proovi viimase koormuse deformatsioonigraafiku languse järgi, peale primaarne kompressiooni toimumist, ehk mitte varem kui 24 tundi pärast viimase koormuse peale panemist.



**Joonis 5.** Proovide kompressioonikatsete tulemused: poorsusteguri ( $e$ ) muutumine pinge kasvades. Punktidega on näidatud igal koormusel arvatud poorsusteguri väärtused. Katkendjoonega osa järgi arvutati kompressiooniindeksi ( $C_c$ ) väärtus.

**Tabel 2.** Laborikatse järgi arvatud kompressiooniindeksi ( $C_c$ ) ja sekundaarse kompressiooniindeksi ( $C_\alpha$ ) väärtused.

Proov	$C_c$	$C_\alpha$
Oandu 0.5-1.0	12.30	0.624
Oandu 1.0-1.5	17.49	0.523
Oandu 1.5-2.0	8.92	5.590
Oandu 2.0-2.5	3.76	0.771
Oandu 2.5-2.85	1.79	0.641

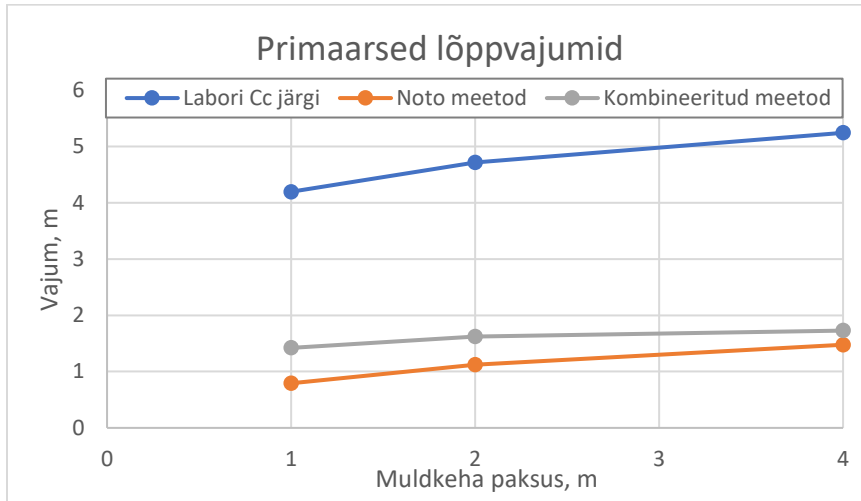
### 3.3 Primaarse ja sekundaarse kompressiooni vajumite arvutused

Primaarse vajumi väärtused (Lisa 2) arvutati alakihtide kaupa kolmel viisil: katses määratud  $C_c$  väärtustega, Noto meetodil ning kasutades korrelatsiooni veesisaldusega. Pinnasele lisakoormusi põhjustavate muldkehade paksusteks olid 1 meeter, 2 meetrit ja 4 meetrit. Laborikatsete kaudu määratud  $C_c$  järgi ei tulnud alakihtide vajumite väärtused kolme ülemise kihi puhul realistlikud. Need tulid suuremad vastava kihi tegelikust paksusest. Vajum ei saa tegelikust kihi paksusest suurem olla.

Turba vajumine on mõnevõrra erinevam mineraalpinnaste, kokkusurutavate savide vajumisest. Turbapinnase puhul hakkavad veesisaldus ( $w$ ) ja kompressiooniindeks ( $C_c$ ) koormuse suurenemisel kiiresti vähenema. See vähenemine on suurem just väikeste koormuste lisandumisel. Mineraalpinnastele tavapäraseid ehituskoormusi rakendades jääb aga kompressiooniindeks konstantseks. Kuna enamus vajumiarvutusprogramme on mõeldud mineraalpinnastes vajumite arvutamiseks, siis turba puhul tavapärase lineaarne mudel ülehindab vajumite ulatust. (Talpsep, 2020)

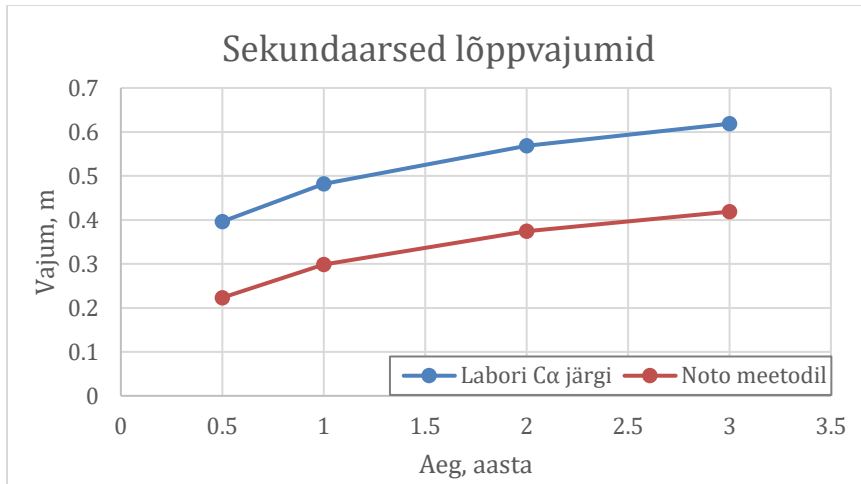
Primaarse konsolidatsiooni vajumi arvutamiseks tuli kasutada Peeter Talviste poolt ja tema avaldamata andmete põhjal koostatud vajumisarvutuste kombineeritud mudelit. See võtab arvesse,

et koormamise käigus hakkab turvas väga kiiresti tihenema, mistõttu kompressiooniindeksi väärtus väheneb. Eriti kiire on see vähenemine koormamise alguses. Vajum on arvatud väiksemate koormusintervallide kaupa, kasutades igas intervallis eelmisest väiksemat kompressiooniindeksi väärtust.

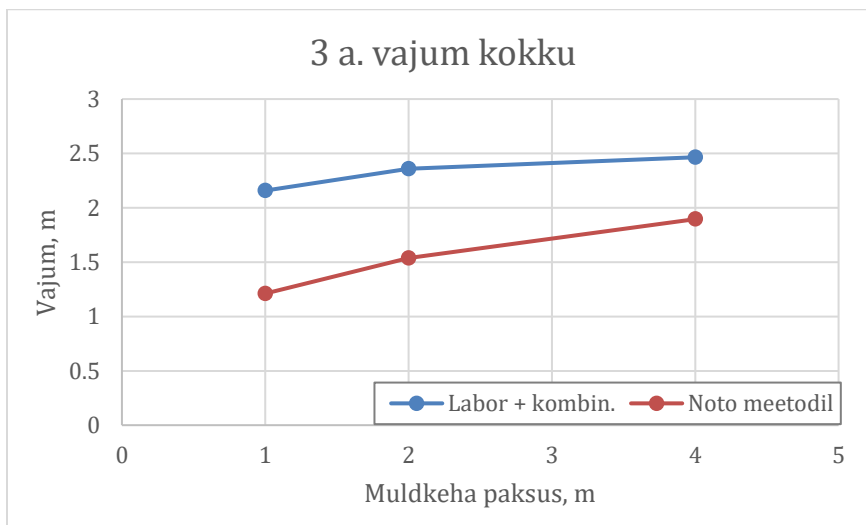


**Joonis 6.** Kolmel viisil arvatud primaarse konsolidatsiooni vajumid lisakoormust põhjustava muldkeha eri paksuste juures.

Kuna viimasel koormusel, milleks oli 4.5 kg ehk 99.8 kPa, lasti nädal aega vajuda, siis tulid sekundaarse kompressiooni tulemused hästi välja. Vajumi arvutustest saadud tulemused paistavad realistlikud, kuna need on tunduvalt väiksemad primaarse kompressiooni puhul tekkivatest vajumitest. Joonisel 7 on toodud sekundaarse konsolidatsiooni lõppvajumid kahe erineva arvutusmeetodi alusel. Joonis 8. kujutab pinnases tekkivat vajumit kolm aastat pärast primaarse konsolidatsiooni lõppu ning kolme erineva muldkeha paksuse juures.



**Joonis 7.** Labori  $C_\alpha$  järgi ja Noto meetodil arvatud sekundaarse konsolidatsiooni vajumi ulatused 0.5-, 1-, 2- ja 3 aasta pärast.



**Joonis 8.** Kolme aasta vajum kombineeritud meetodi ja labori tulemustest määratud  $C_\alpha$  vajumi järgi ning Noto meetodi järgi. Vajumid 1, 2 ja 4 meetri paksuste muldkehade puhul.

Kuna laboris mõõdetud näitajad ei andnud primaarse kompressiooni puhul adekvaatseid tulemusi, siis kasutusele võetud kombineeritud meetod toimis selle asemel hästi. Kombineeritud meetodi tulemused said Noto meetodi järgi arvatud tulemustest veidi suuremad, kuid jäid alla alakihtide paksuste. Sekundaarse konsolidatsiooni vajumi näitajad laboris mõõdetud andmete põhjal tulid Noto meetodil arvatud vajumitest ligi kaks korda suuremad. Kuna sekundaarse konsolidatsiooni

vajumi väärtused jäid alla primaarse kompressiooni vajumi väärtustest, siis on need usaldusväärsed.

Noto meetodit sai selle uurimustöö juures kasutatud mõlema, nii primaarse kui ka sekundaarse kompressiooni vajumi arvutustel, Saadud tulemustest lähtudes võib öelda, et need tulemused on reaalsed ning seda meetodit saab kasutada.

## KOKKUVÕTE

Uurimustöö käigus viidi viie Oandu soost kogutud prooviga läbi laboratoorsed ödomeetri katsed. Katsete eesmärk oli määrata turba füüsikalised omadused ning primaarse ja sekundaarse kompressiooniindeksid. Samuti arvutati kompressiooniindeksite ja füüsikaliste parameetrite abil turbapinnases tekkivad vajumid teoreetiliste muldkehade koormuste juures. Primaarse kompressiooni puhul hinnati ühe, kahe ja kolme meetri paksustest muldkehade tulenevaid vajumeid antud uuringupunkti aluspinnase kohta. Kuna sekundaarne konsolidatsioon on sõltuv ajast, arvutati vajumid 0,5 kuni 3 aastat peale primaarse kompressiooni põhjustatud vajumi lõppemist.

Töö tulemuste põhjal tehti järgnevad järeldused:

1. Kuna viimasel koormusel lasti laboris läbi viidud ödomeetri katsel nädal aega vajuda, siis oli antud aeg piisav, et vajalikud tulemused välja tuleksid.
2. Näidisarvutuste põhjal saadud vajumi tulemused näitasid, et sekundaarse vajumise osakaal on peale primaarse kompressiooni vajumist üsna märkimisväärne. Praktilistes lahendustes, näiteks raudteid või ehitisi planeerides, tuleb sekundaarse vajumisega kindlasti arvestada.
3. Laboratoorse kompressioonikatse juures määratud kompressiooniindeksi väärtus ületab reaalselt võimalikku vajumi väärtust. Pinnas ei saa vajuda rohkem selle esialgsest paksusest. Primaarse kompressiooni arvutamise puhul on mõistlikum kasutada korrelatsioone füüsikaluste omadustega, milleks on näiteks antud töös kasutatud kombineeritud meetod või Noto meetod.
4. Noto meetodil ja kombineeritud meetodil arvutatud vajumid langevad omavahel üldiselt siiski kokku, seega Noto meetod sobib kasutamiseks. Samuti on Noto meetodi abil pinnase parameetrite määramiseks teostatavad katsed lihtsamad ning seeläbi vähem kulukamad, kui muudel meetoditel.

## SUMMARY

In the course of this research, five samples collected from the Oandu bog were subjected to laboratory oedometer tests. The purpose of the tests was to determine the physical properties of peat and the primary and secondary compression indices. Subsidence in the peat soil was also assessed using compression indices and physical parameters. In the case of primary compression, the resulting subsidence from one, two and three meter thick embankments on the soil of the Oandu study site were calculated. Since secondary consolidation is time-dependent, subsidences were calculated from 0.5 to 3 years after the end of subsidence caused by primary compression.

Based on the results of the work, the following conclusions were drawn:

1. Since the last load was allowed to sink for a week in the oedometer test carried out in the laboratory, the given time was enough for the secondary compression to come out.
2. The subsidence results obtained from calculations showed that the proportion of secondary subsidence after primary compression subsidence is quite significant. In practical solutions, for example when planning railways or buildings, secondary subsidence must be taken into account.
3. The subsidence values calculated with the compression index determined in the laboratory compression test exceeds the real possible value of the subsidence. The soil cannot sink more than its original thickness. When calculating primary compression, it is more reasonable to use correlations with physical properties, such as the combined method used in this work or the Noto method.
4. The settlements calculated by the Noto method and the combined method generally coincide with each other, so the Noto method is suitable for use. Also, tests to determine soil parameters using Noto's method are simpler and thus less expensive than other methods.

## **Tänuavaldused**

Suur tänu töö juhendajatele Annette Talpsepale ja Raul Paadile huvitava idee eest ning samuti toetuse ja abivalmiduse eest kogu tööprotsessi vältel.

## KASUTATUD KIRJANDUS

Coduto, D. P. (1999). *Geotechnical engineering* (M. Horton, Ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.

den Haan 1997. Overview of mechanical behaviour of peat (1).pdf. Leong, E. C., & Chin, C. Y. **GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF PEATY SOILS IN SOUTHEAST ASIA.**

Dhowian, A., & Edil, T. (1980). Consolidation Behavior of Peats. *Geotechnical Testing Journal*, 3(3), 105. <https://doi.org/10.1520/GTJ10881J>

Edil, T. B. (2003). *Recent Advances in Geotechnical Characterization and Construction Over Peats and Organic Soils*. Putrajaya (Malaysia): 2nd International Conferences in Soft Soil Engineering and Technology.

Hashim, R., & Islam, M. S. (2008). Properties of stabilized peat by soil-cement column method. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13 J.1-9.

Hayashi, H., Nishimoto, S., & Yamanashi, T. (2016). Applicability of settlement prediction method to peaty ground. Elsevier. 145

Huat, B. B. K., Prasad, A., Asadi, A., & Kazemian, S. (2014). Geotechnics of organic soils and peat. *Geotechnics of Organic Soils and Peat*. <https://doi.org/10.1201/b15627>

Kazemian, S., Huat, B. B., Prasad, A., & Barghchi, M. (2011). A state of art review of peat: *Geotechnical engineering*. Academic Journals, 1974-1979.

Leonards, G.A., Girault, P. (1961). A study of the one-dimensional consolidation test. *Proceeding 9 th ICSMFE, Paris*, 1: 116-130

McCarthy, D. F. (2006). *Essentials of soil mechanics and foundations* (7 edition). Prentice Hall. 850 pp

Mesri, G., Stark, T. D., Ajlouni, M. A., & Chen, C. S. (1997). Secondary compression of peat with or without surcharging. *Journal of Geotechnical Engineering*, 123(5), 411-420. doi:10.1061

Munro, N. (2005). *Dealing With Bearing Capacity Problems on Low Volume Roads Constructed on Peat*. ROADEX II Northern Periphery.

Paal, J., & Leibak, E. (2011). *Estonian Mires: Inventory of Habitats*. Publication of the Project 'Estonian Mires Inventory Completion for Maintaining Biodiversity.' Tartu: Eestimaa Looduse Fond.

Paat, R., Kohv, M., & Jõelet, A. (2022). Saturated hydraulic conductivity of boreal peat and its relationships with peat properties and sampling depth. *Hydrological Processes*, 36(2), 1–12. <https://doi.org/10.1002/hyp.14487>

Samson, L., La Rochelle, P. (1972). Design and Performance of an Expressway Constructed Over Peat by Preloading. *Can. Geotech. J.*, Ottawa, Canada, 9: 447- 466.

Sarap, G. S. (2022). Turba geotehnilised parameetrid ja nende seosed turba füüsikaliste omadustega [Thesis, Tartu Ülikool]. <https://dspace.ut.ee/handle/10062/82223>

Skempton, A.W. & Petley D.J. (1970). Ignition loss and other properties of peats and clays from Avonmouth, King's Lynn and Cranberry Moss. *Geotechnique*, Vol. 4.

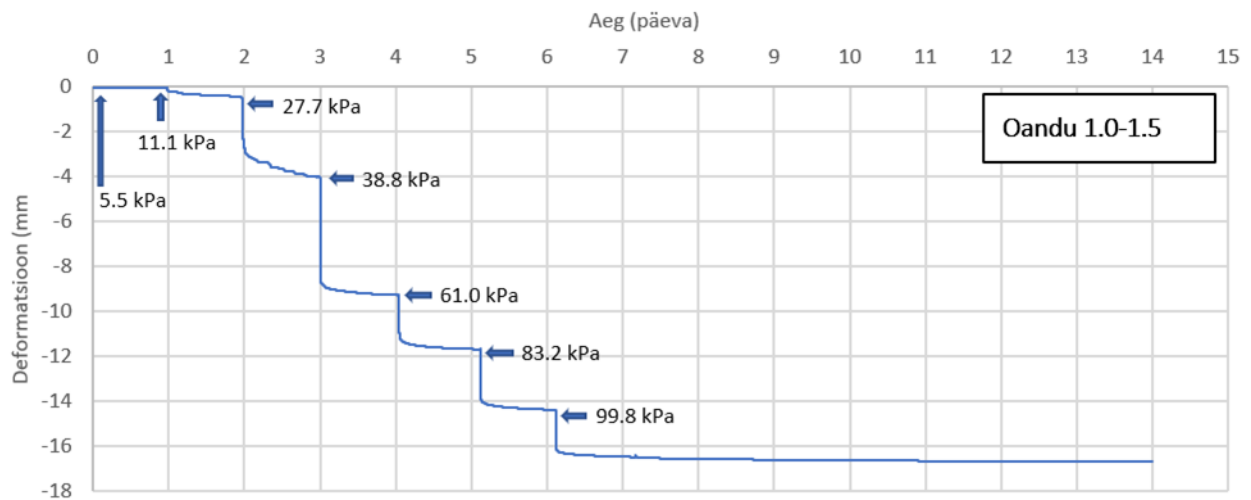
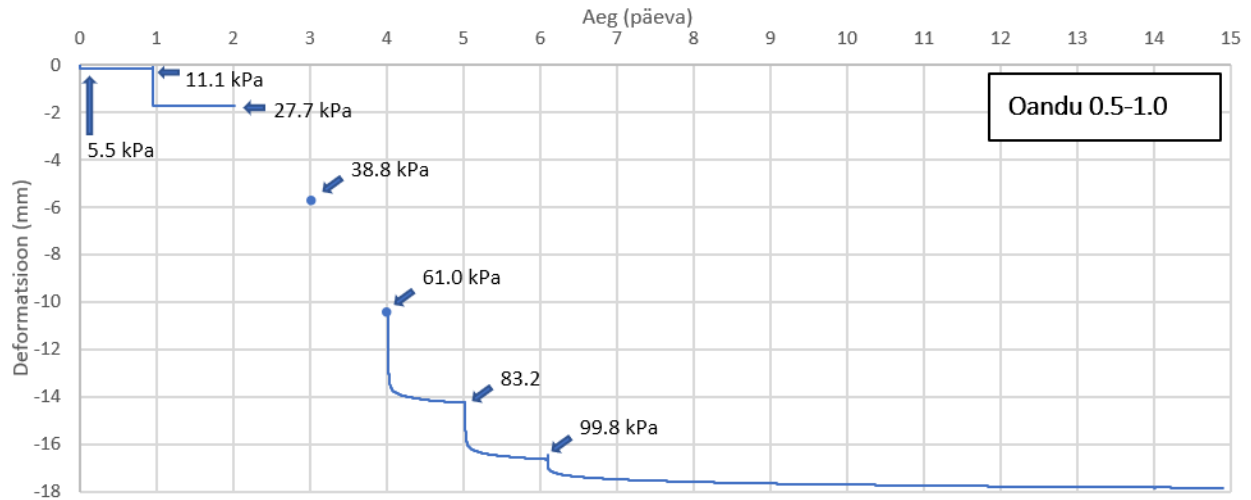
Talpsep, A. (2020). Ekspertarvamus suure paksusega turbaaladele projekteeritud piirilõikude erilähenduse osas. IPT Projektijuhtimine OÜ.

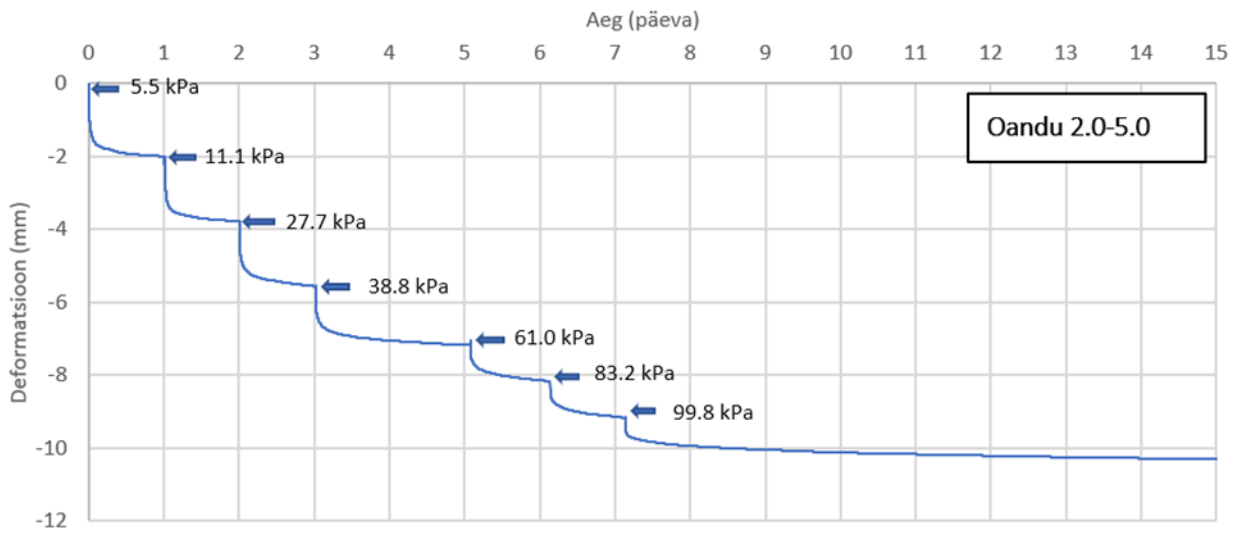
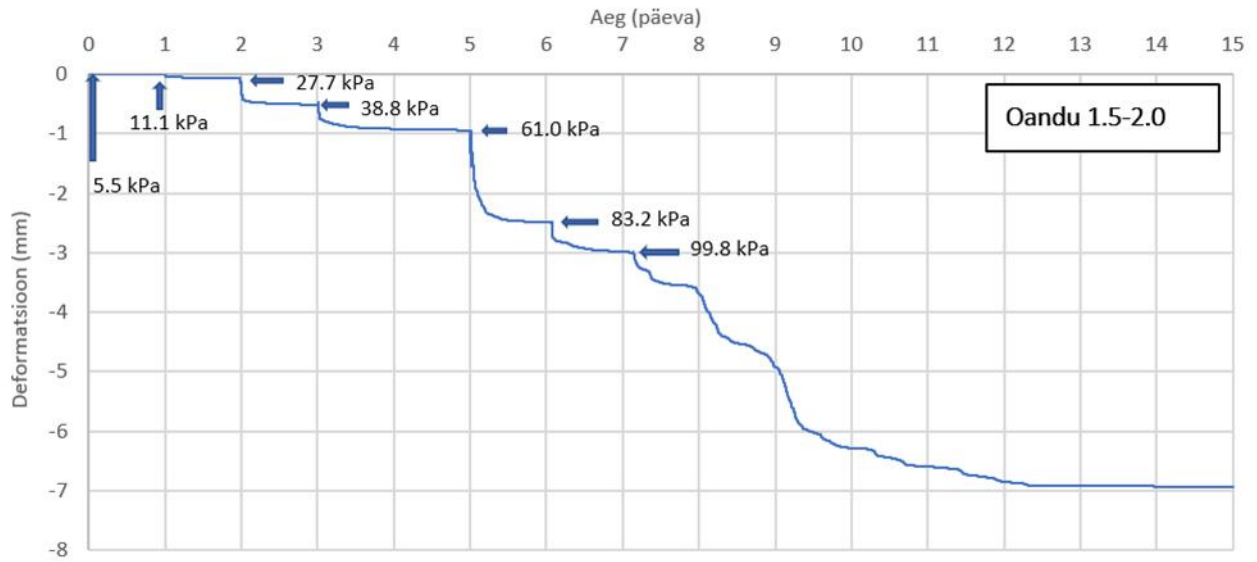
Wong, L., Hashim, R., & Ali, F. (2009). A Review on Hydraulic Conductivity and Compressibility of Peat. *Journal of Applied Sciences*, 9: 3207-3218. <https://doi.org/10.3923/jas.2009.3207.3218>

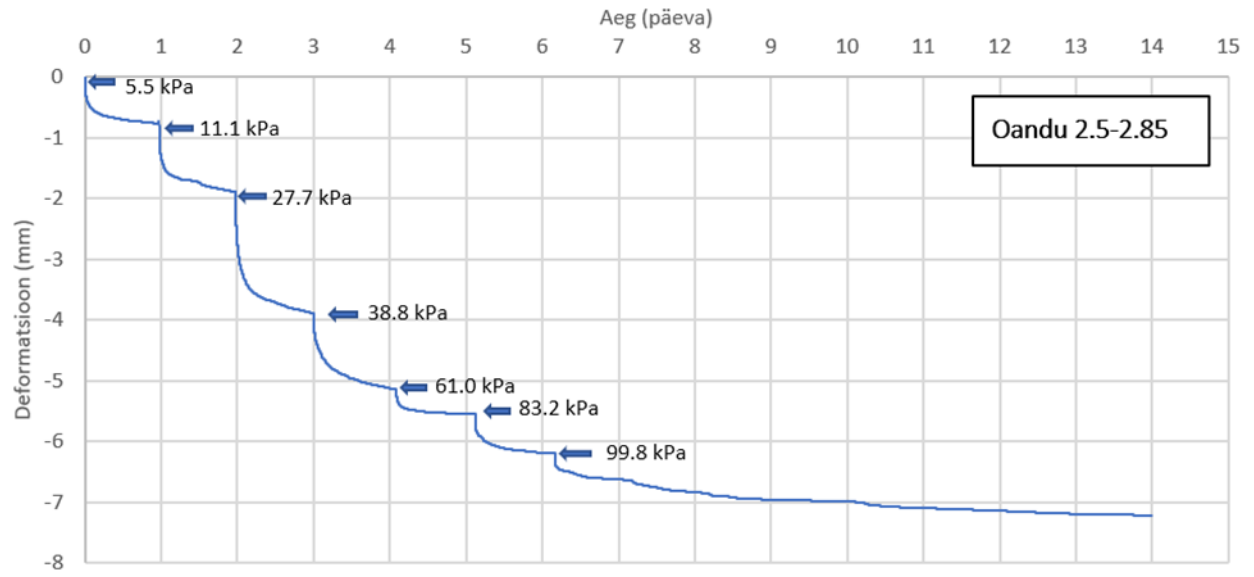
Yulindasari. (2006). Compressibility characteristics of fibrous peat soil (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).

# Lisad

**Lisa 1.** Proovide kompressioonikatsete graafikud: deformatsioon katseperioodi jooksul. Nooltega on näidatud koormuste lisamine. Proovil Oandu 0.5-1.0 esinesid tehnilised probleemid, mille tõttu on pinge 27.7 kPa ja 38.8 kPa lisandumisel nädatud ainult deformatsiooni lõppväärtus, katse käik ei salvestunud.







**Lisa 2.** Kolmel moel arvatud primaarse vajumi väärtused alakihtide kaupa muldkeha 1 m, 2 m ja 4 m paksuse korral. Roosa taustaga tähistatud lahtrites on vajumi väärtus ebarealistlik: see tuleb suurem, kui vajuva kihi paksus.

<b>Muldkeha paksus 1 m</b>					
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)			
		Labori järgi	Cc	Noto meetod	Kombineeritud meetod
A (0-1 m)	1	1.958		0.321	0.537
B (1-1.5 m)	0.5	0.977		0.176	0.269
C (1.5-2 m)	0.5	0.772		0.111	0.215
D (2-2.5 m)	0.5	0.308		0.103	0.204
E (2.5-3 m)	0.5	0.179		0.081	0.196
<b>Kokku</b>	<b>3.0</b>	<b>4.194</b>		<b>0.792</b>	<b>1.421</b>

<b>Muldkeha paksus 2 m</b>					
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)			
		Labori järgi	Cc	Noto meetod	Kombineeritud meetod
A (0-1 m)	1	2.1674		0.4417	0.6015
B (1-1.5 m)	0.5	1.1002		0.2376	0.3006
C (1.5-2 m)	0.5	0.8813		0.1634	0.2495
D (2-2.5 m)	0.5	0.3571		0.1532	0.2383
E (2.5-3 m)	0.5	0.2109		0.1243	0.2329
<b>Kokku</b>	<b>3.0</b>	<b>4.717</b>		<b>1.120</b>	<b>1.623</b>

<b>Muldkeha paksus 4 m</b>				
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)		
		Labori järgi	Cc	Noto meetod

A (0-1 m)	1	2.377	0.563	0.634
B (1-1.5 m)	0.5	1.223	0.297	0.317
C (1.5-2 m)	0.5	0.991	0.224	0.268
D (2-2.5 m)	0.5	0.407	0.213	0.257
E (2.5-3 m)	0.5	0.243	0.179	0.253
Kokku	<b>3.0</b>	<b>5.241</b>	<b>1.477</b>	<b>1.728</b>

**Lisa 3.** Laboriandmete ja Noto meetodi põhjal arvatatud sekundaarse vajumi väärtused alakihtide kaupa 0.5-, 1-, 2- ja 3 aasta kohta.

<b>Vajumise kestvus 6 kuud</b>			
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)	
		Labori järgi	Noto meetod
A (0-1 m)	1	0.163	0.051
B (1-1.5 m)	0.5	0.082	0.061
C (1.5-2 m)	0.5	0.054	0.040
D (2-2.5 m)	0.5	0.098	0.038
E (2.5-3 m)	0.5	0.076	0.033
Kokku	<b>3.0</b>	<b>0.473</b>	<b>0.223</b>

<b>Vajumise kestvus 1 aasta</b>			
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)	
		Labori järgi	Noto meetod
A (0-1 m)	1	0.197	0.081
B (1-1.5 m)	0.5	0.099	0.077
C (1.5-2 m)	0.5	0.066	0.051
D (2-2.5 m)	0.5	0.119	0.048
E (2.5-3 m)	0.5	0.093	0.042
Kokku	<b>3.0</b>	<b>0.575</b>	<b>0.299</b>

Vajumise kestvus 2 aastat			
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)	
		Labori järgi	Noto meetod
A (0-1 m)	1	0.232	0.110
B (1-1.5 m)	0.5	0.117	0.094
C (1.5-2 m)	0.5	0.079	0.062
D (2-2.5 m)	0.5	0.141	0.058
E (2.5-3 m)	0.5	0.109	0.051
Kokku	<b>3.0</b>	<b>0.677</b>	<b>0.375</b>

Vajumise kestvus 3 aastat			
Alakiht	Alakihi paksus (m)	Vajum (m)	
		Labori järgi	Noto meetod
A (0-1 m)	1	0.252	0.128
B (1-1.5 m)	0.5	0.127	0.103
C (1.5-2 m)	0.5	0.086	0.068
D (2-2.5 m)	0.5	0.154	0.064
E (2.5-3 m)	0.5	0.119	0.056
Kokku	<b>3.0</b>	<b>0.737</b>	<b>0.419</b>

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Eliisabet Põldver,

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „**Turba kompressiooniparameetrid ning vajumite hindamine Oandu soo näitel**”, mille juhendajad on Annette Talpsep ja Raul Paat, 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 litsentsiga CC BY NC ND 4.0, 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.

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

*Eliisabet Põldver*

**19.05.2023**