

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geoloogia osakond

Bakalaureusetöö geoloogias (12 EAP)

**Tartu piirkonna moreeni filtratsioonikoefitsiendi hindamine korrelatsioonist lõimise ja
füüsikaliste omadustega**

Brigitta Taling

Juhendaja: Annette Talpsep

Tartu 2025

Tartu piirkonna moreeni filtratsioonikoefitsiendi hindamine korrelatsioonist lõimise ja füüsikaliste omadustega

Valingvihmade esinemissagedus suureneb kliimamuutuste tagajärjel, seetõttu peavad linnad suuremate sademehulkadega kohanema ja leidma traditsioonilistele sademevee käitluse lahendustele alternatiive. Üks võimalus on sademevee immutamine pinnasesse, mille puhul on vaja muu hulgas teada pinnase filtratsiooniomadusi. Antud töös uuritakse Tartu piirkonna moreeni näitel, kas filtratsioonikoefitsienti saab arvutada korrelatsioonidest lõimisega, asendades sellega laborikatseid filtratsioonikoefitsiendi määramiseks. Proovid koguti Tartu linna ümbrusest. Laboris määrati filtratsioonikoefitsient alaneva veetasemega katses, füüsikalised omadused ja pinnase lõimis. Tulemuste analüüsimisel selgus, et empiirilised meetodid ei saa antud juhul asendada laborikatset.

Märksõnad: moreen, filtratsioonikoefitsient, korrelatsioonid

P470 Hüdrogeoloogia, geoplaneering ja ehitusgeoloogia

Estimation of the Hydraulic Conductivity of Till in the Tartu Region Based on Correlation with Soil Texture and Physical Properties

Due to climate change, the frequency of heavy rainfall events is increasing, requiring cities to adapt to higher volumes of precipitation and to seek alternatives to traditional stormwater management solutions. One option is the infiltration of stormwater into the soil, which requires, among other things, knowledge of the soil's filtration properties. This study investigates, using the example of till in the Tartu region, whether the filtration coefficient can be calculated based on correlations with soil texture, thereby replacing laboratory tests. Samples were collected from the vicinity of Tartu. In the laboratory, the hydraulic conductivity was determined using a falling head test, along with measurements of physical properties and soil texture. The analysis revealed that in this case, empirical methods cannot replace laboratory testing.

Keywords: till, hydraulic conductivity, correlations

P470 Hydrogeology, geographical and geological engineering

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1 Teoreetiline taust.....	6
1.2 Filtratsioonikoefitsient	6
1.3 Korrelatsioonid.....	7
2. Materjal ja meetodid	9
2.1 Proovide kogumine	9
2.2 Filtratsioonikoefitsiendi määramine.....	10
2.3 Füüsilised omadused	11
2.4 Lõimiseanalüüs.....	11
3. Tulemused ja arutelu.....	12
3.1 Lõimis ja füüsilised omadused	12
3.2 Filtratsioonikoefitsient	13
Kokkuvõte.....	16
Summary	17
Kasutatud allikad	18

Sissejuhatus

Inimkond elab sellisel ajastul, kus peab kohanema inimtekkeliste kliimamuutustega. Nendeks muutusteks ei ole ainult temperatuuri tõus, vaid ka ekstreemsed ilmastikuolud, näiteks kõrgem sademete intensiivsus. Sademete suurenemist mõjutab temperatuuri tõus, mille tagajärjel aurustumine suureneb ja tõuseb atmosfääri niiskus ja valingvihmade esinemine (Kuris *et al.*, 2021). *Representative Concentration Pathways* (RCP) raporti kohaselt suureneb aastatel 2041–2070 sademete koguhulk 10–14 % ja 2070–2100 juba 16–19 % (Kliimaministeerium, 2024). Linnad on kõige haavatamad, kuna need on tihedalt hoonestatud ja kaetud sillutistega ehk asfaltiga ja kõvaplaatidega, mis ei lase veel pinnasesse imbuda. Traditsiooniline lahendus on lahkvoolne sademeveekanaliseerimine, kus vesi juhitakse torudesse ja puhastatakse õlipüüduritega ning juhitakse suublasse. Selliste võrkude planeerimine ja rajamine on kulukas. Alternatiiviks võib kasutada looduspõhiseid lahendusi – immutamine, märgalad, rohekatused, veepiirkondi puhverdavad filterpeenrad, vett läbilaskvad sillutised ja rohekoridorid –, mis pakuvad soodsamat, keskkonnasõbralikumat ja inimkesksemat alternatiivi. Eelnenud loetelust on kõige lihtsam meetod immutamine. See sõltub otseselt pinnase omadustest ja põhjavee tasemest, samuti tuleb arvestada keskkonnapiirangutega ja mõjuga kõrvalasuvatele hoonetele ning rajatistele. (Mäger. T, Kulm. N, Kõnd. E., 2018)

Suur osa Tartu linna territooriumist jääb moreeni avamusalale. Moreen on liustikus tekkinud pinnas, mille materjal varieerub peentest saviosakestest kuni suurte rahnudeni. Osakeste varieeruv suurus tuleb sellest, et liustik purustas kivimeid jää ja aluspinna piirikihil ning hiljem transportis sorteerimata ja vähe kulutatud pinnast laiali (Mander.Ü, Liiber, Ü., 2014).

Tartu piirkonna moreeni koostis ja omadused on tugevalt mõjutatud Devoni liivakivist. Moreen on punakaspruun ning sisaldab rohkelt liiva. Moreeni paksus on tavaliselt 2 kuni 10 m, kuid mattunud ürgorgudes võib see ulatuda 15 kuni 100 m-ni. (Mäger. T, Kulm. N, Kõnd. E., 2018) Aruküla kihistu punakaspruun liivakivi ja seda kattev 2–10 m paksune moreen loovad paiguti head, paiguti keerukad tingimused vee imbumiseks. (Mäger. T, Kulm. N, Kõnd. E., 2018) Seetõttu on vaja uurida Tartu moreeni omadusi, et uute linnaosade planeerimisel arvesse võtta pinnaomadusi. Filtratsioonikoefitsient (K) on peamine tegur pinnase vee imutamise puhul. Üldjuhul ei mõõdata ehitusgeoloogiliste uuringute käigus filtratsioonikoefitsienti, kuna see on aeganõudev ja kulukas. Kuna probleem on levinud, on leitud meetodeid, mille puhul korrelatsioonid lõimisega võivad asendada laborikatseid. Enamus meetodid sobivad liivpinnastele, kuid Tartu moreen on liivasem kui tavaline moreen. Korrelatsioonid põhinevad

lõimise andmetele ja füüsilistele omadustele. Ehitusgeoloogia Andmekogu arhiivides on uuringute aruandeid, kus lõimis on määratud, see tähendab kui empiirilised meetodid sobivad asendada laborikatset, siis võib kasutada varasemaid andmeid.

Bakalaureusetöö eesmärk on uurida Tartu piirkonna moreeni filtratsioonikoefitsienti ja hinnata, kas korrelatsioon lõimisest on samaväärne laborikatsele. Töö kirjeldab Tartu linna moreeni omadusi ja uurib, kui põhjendatud on empiiriliste meetodite kasutamine filtratsioonikoefitsiendi määramiseks.

1 Teoreetiline taust

1.2 Filtratsioonikoefitsient

Filtratsioonikoefitsient on parameeter, mis väljendab ajaühikus läbi ühikulise vooluristlõike voolava vee hulka ühikulise hüdraulilise gradiendi korral. Koefitsiendi väärtus sõltub pinnase omadustest (poride suurus, asetus ja ühendatus), pinnase struktuurist ja pinna osakeste suurusest. Ühikuks on kas cm/s või m/s . (Coduto, 1999)

Filtratsioonikoefitsienti on võimalik määrata nii väli- kui ka laborikatsetega. Peamised laborikatsed on püsiva veetasemega katse ja alaneva veetasemega katse. Püsiva veetaseme katset tehakse permeameetris, mis koosneb anumast, kuhu pannakse pinnas, ja kahest vee mahutist. Pinnas veeküllastatakse ja vesi voolab püsiva voolamise tingimustes läbi pinnaseproovi. Katse käigus võetakse aega, kui palju on läbi pinnase vett voolanud – nende parameetrite kaudu leitakse vooluhulk (Q). Vooluhulga, anuma ristlõike pindala (A) ja hüdraulilise gradient (i) abil arvutatakse filtratsioonikoefitsiendi (K) väärtus. (Coduto, 1999)

$$Q = KiA \Rightarrow K = \frac{iA}{Q} \quad \text{Valem 1}$$

Alaneva veetasemega katse on võrdlemisi sarnane, kuid peamine erinevus on see, et vett ei lisata juurde ning mõõdetakse, kui kiiresti ja mis määral veetase alaneks. See katse on sobivam vett halvemini juhtivate pinnaste. Sarnaselt püsiva veetasemega katsele määratakse veehulk, aeg ja veetaseme muutused torus. Kuna hüdrauliline gradient ei ole konstante, ei saa kasutada Darcy seadust. Filtratsioonikoefitsiendi arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit, kus võetakse arvesse veetaseme muutust mõõdetud aja jooksul:

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \log_{10} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad \text{Valem 2}$$

a – veetoru ristlõike pindala

L – proovi kõrgus

A – proovi ristlõike pindala

t – aeg

h_1 – veetase alguses

h_2 – veetase lõpus

(Coduto, 1999)

1.3 Korrelatsioonid

Lisaks filtratsioonikoefitsiendi otsesele määramisele on võimalik kasutada korrelatsioone lõimise ja füüsikaliste omadustega. See on kiirem ja vähemkulukas viis. Laborikatsed on ajamahukad ja lõimiseanalüüs võtab ka aega, aga kuna Eesti on Ehitusgeoloogia andmekogus on olemas suur hulk varasemate tööde lõimiseanalüüse, siis saaks neid kasutada.

Filtratsioonikoefitsiendi hindamiseks saab kasutada Chapuisi poolt välja töötatud empiirilist valemit, mis seob filtratsioonikoefitsiendi pinnase lõimisega, täpsemalt efektiivdiameetriga (d_{10}) ja poorsusteguriga. Chapuis valem on järgmine (Chapuis, 2008):

$$K \left(\frac{m}{s} \right) = 2,4622 \left(\frac{d_{10}^2 e^3}{1+e} \right)^{0.7825} \quad \text{Valem 3}$$

Siinjuures tähistab d_{10} tera suurust, millest 10% proovi osakestest on väiksemad, e on poorsustegur ning 2,4622 on empiiriline konstant, mille väärtus sõltub pinnase liigist ja struktuurist. Valemit võib kasutada, kui väärtused jäävad vahemikku $0.003 \leq d_{10} \leq 3$ mm ja $0.3 \leq e \leq 1$. (Chapuis, 2008)

Teine käesolevas töös katsetatud meetod on Kozeny-Carmani valem (Chapuis, 2008):

$$\log(K) = 0,5 + \log \left(\frac{e^3}{D_R^2 S_s^2 (1+e)} \right) \quad \text{Valem 4}$$

e – poorsustegur

D_R – erimass

S_s – eripind

Kuigi meetod sobib kõike pinnaste, plastsete kui mitteplastsete puhul, kipub see peeneteraliste pinnaste puhul filtratsioonikoefitsiendi väärtust üle hindama. Oluline on tähele panna, et proovi eripinna (S_s) arvutamiseks peavad olema määratud ka savi ja aleuriidi täpsed sisaldused, ainult sõelanalüüsist ei piisa. (Chapuis, 2008) Eripinna (S_s) arvutamiseks on vaja osakeste läbimõõdu geomeetrilist keskmist (d_g), mis on pinnaseosakeste suurusjaotus logaritmilisel skaalal. Tervikvalem, mis Chapuis ja Légaré (1952) välja töid (valem 5), kus on eelnevalt leitud (valem 6) ja ($P_D - P_d$) on kuivmassi protsent ja geomeetrilise keskmise suhe. (Chapuis, 2008)

$$S_s = \frac{6}{p_d} \sum \frac{P_D - P_d}{d_g} \quad \text{Valem 5}$$

$$Ss = \frac{6}{Gs \times dkesk}$$

Valem 6

$$dg = \sqrt{D \times d}$$

Valem 7

2. Materjal ja meetodid

2.1 Proovide kogumine

Bakalaureusetöös on kasutatud moreeni proove, mis koguti Tartu linna äärest või linna lähiehitistest, potentsiaalsetelt kinnisvaraarenduste aladelt. Asukohavaliku tingimusteks oli, et moreen avaneks maapinnale võimalikult lähedal ja koht oleks kergesti ligipääsetav ning puuduks paks inimtekkeline täide. Alad valiti geoloogilise baaskaardi 1: 50 000 järgi.

Proovid koguti 25.03.2024 ja 30.-31.03.2024 välitööde käigus. Proovide kogumiseks tehti labidaga käsitsi kaevandid, keskmine kaevandi sügavus oli 65 cm. Mullakihi paksus oli vahemikus 0–49 cm. Täpsemalt näeb proovide asukohti Jooniselt 1. Tabelis 1 on välja toodud proovivõtu kohtade koordinaadid ja kirjeldused. Proovid võeti plastikust zip-kottidesse. Kuna moreen oli veeküllastumata ja pude, ei olnud võimalik monoliitseid proove võtta.



Joonis 1. Proovide võtmise asukohad (Aluskaart: Maa-amet, 2018).

Tabel 1. Uuritud proovipunktide asukohta ja moreeni kirjeldus Tartumaal. Koordinaadid on L-Est97 süsteemis.

Tähis	X	Y	Asukoht	Kirjeldus	Proovivõtu sügavus (m)	Moreeni kirjeldus
Täht	6475177	656337	Tähtvere küla, Tartu linn	Metsaserv, kuusemets	0,4-0,75 m	Väga liivane, kollakas kuni tume kollane, kohati mullane
Rav	6474445	656928	Ravila tn, Tartu linn	Põllumaa, liini all	Proovid võeti alajaama ehitussüveni dist välja kaevatud materjalist	Punakaspruun
Räni	6471517	654748	Räni alevik, Kambja vald, Tartu maakond	Maha jäetud talu, põlluserv	0,30- 0,55 m	Hallikaskollane
Rõõm	6474673	663175	Rõõmu küla, Luunja vald, Tartu maakond	Vana talu, ümberringi põld	0,49 – 0,71 m	Moreen punakas, ühtlane
Reo	6465860	657668	Reola küla, Kambja vald, Tartu maakond	Vana põld, tee servas	0,35 – 0,57m	0-22cm moreen punakaspruun 22-30cm moreeni üleminekukoht kollakat värvi
Soi	6470478	657708	Soinaste küla, Kambja vald, Tartu maakond	Heinamaa, raudtee kõrval, üksikud puud	0,3 – 0,67 m	0-27 cm moreen punane 27-30 cm üleminekukoht kollakas punakas

2.2 Filtratsioonikoefitsiendi määramine

Välitöödel kogutud proovidega tehti Tartu Ülikooli geoloogia osakonna laboris filtratsioonikoefitsiendi määramiseks alaneva veetasemega filtratsioonikatse. Ettevalmistamiseks segati proovimaterjal, et see oleks ühtlane. Igast asukohast kogutud proovist tehti kaks alamproovi (A ja B). Proov paigutati metallist rõngasse (diameeter 75 mm, kõrgus 35 mm), proovi tihendati kergelt kiht kihi haaval, proovi peale ja alla asetati poorsed

plaadid ja filterpaber. Proovid küllastati destilleeritud veega. Järgnevalt mõõdeti algne veetase prooviga ühendatud klaasist torus, seejärel avati kraan ja lasti veetasemel torus alaneda, mõõtes selleks kulunud aega. Katse lõpuks määrati veetase torus.

2.3 Füüsikalised omadused

Chapuisi ja Kozeny-Carmani meetodite kasutamiseks on vaja teada proovi poorsusteguri (e) väärtust. Poorsustegur on pooride ruumala ja tahke osa ruumala suhe. Poorsustegur sõltub ainult sellest, kui tihedalt on pinnaosakesed paigutatud – mida tihedamalt, seda väiksem on e väärtus. Poorsusteguri arvutamiseks on vaja kuivtihedust ja erimassi. Kuivtihedus (pd) on pinnase tahkete osakeste massi (M_s) ja kogumahu/ruumala (V) suhe. Erimass (G_s) on pinnaosakeste ehk tahke faasi massi ja ruumala suhe vee tihedusse (ühikuta). (Coduto, 1999) Antud töös erimassi laboris ei määratud, kuna see on ühte tüüpi pinnase puhul väga väikse varieeruvusega. Töös kasutati erimassi väärtusena 2,69 (Listra, 1987). Proovi kuivtiheduse leidmiseks mõõdeti proovikehade kõrgus filtratsioonikatses, kasutades nihikut. Seejärel kuivatati proovi ahjus 105 °C juures 24 tundi ja seejärel kaaluti.

$$e = \left(\frac{G_s}{pd}\right) - 1 \quad \text{Valem 5}$$

$$pd = \frac{M_s}{V} \quad \text{Valem 6}$$

2.4 Lõimiseanalüüs

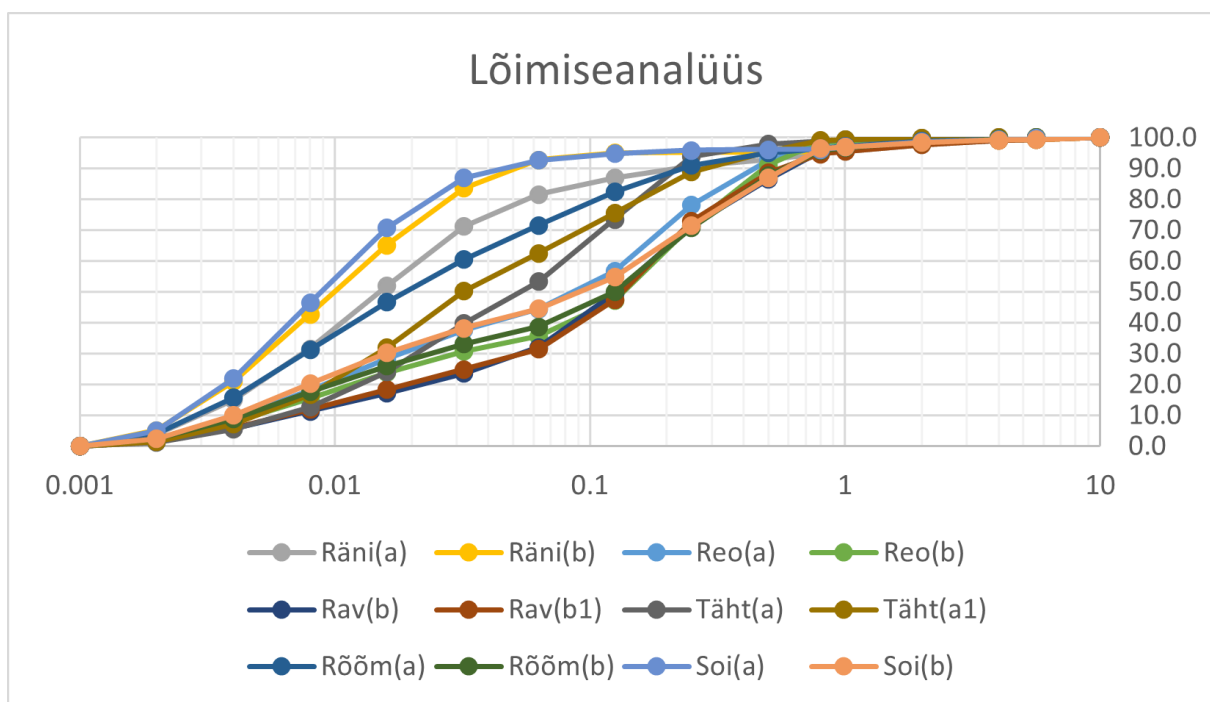
Lõimise määramiseks kasutati kombineeritud sõel- ja laserdifraktsioonianalüüsi. Jämedamate osakestega ($> 0,8$ mm) tehti sõelanalüüs. Sõelte suurused olid 10 mm, 5,6 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm ja 0,8 mm. Laserdifraktsioonianalüüsil määrati osakeste $< 0,8$ mm sisaldused. Peale kuivaproovi kaalumist toimus fraktsioonide eraldamine märgsõelumise teel. Proov oli sõelal ja samal ajal lisati vett selleks, et kokku kleepunud savi osakesed eraldada. Peale osakeste eraldumist pandi suuremad fraktsioonid ($> 0,8$ mm) ahju kuivama ja peale seda tehti sõelanalüüs. Peenemate ($< 0,8$ mm) osakestega tehti laserdifraktsioonanalüüs analüsaatoriga Malvern Mastersizer 3000 Hydro (+ EV wet dispersion unit). Analüüsi käigus kasutati destilleeritud vett ning ultraheli, et vältida osakeste kokkukleepumist.

3. Tulemused ja arutelu

3.1 Lõimis ja füüsilised omadused

Tabelis 2 on toodud proovide lõimiseanalüüsi koondtulemused fraktsioonide kaupa, samuti D10, D60 ja lõimiseteguri väärtused. Lõimisetegur (D60 ja D10 suhe) kirjeldab pinnase sorteeritust. Mida väiksem on lõimiseteguri väärtus, seda ühtlasema lõimisega on pinnas. Moreeni proovid on oodatult väga halvasti sorteeritud, välja arvatud proovid Räni (a, b) ja Soi(a). Saviosakeste (0,001-0,002) sisaldus jääb enamasti <5% ja peamiselt koosneb moreeni aleuriidist ehk möllist (0,002-0,06) ja liivast (0,06-2). Mölli on proovides 29,5% kuni 87%, liiva 7% kuni 67,6%. Kruusa (2-10) on kõige vähem, 1-3% ringis, Võib öelda, et savi ja kruusa sisaldused on kõikides proovides ühtlased, kuid aleuriidi ja liiva sisaldused varieeruvad kõige rohkem.

Joonisel 2 on toodud proovide lõimisekõverad. Lõimisekõverad paiknevad laias vahemikus see tähendab, et moreenid on oma vahel erinevad. Kuigi kõik proovid pärinevad samast linnast, siiski muutlikus eksisteerib.



Joonis 2. Tartu piirkonna moreeni lõimiseanalüüs.

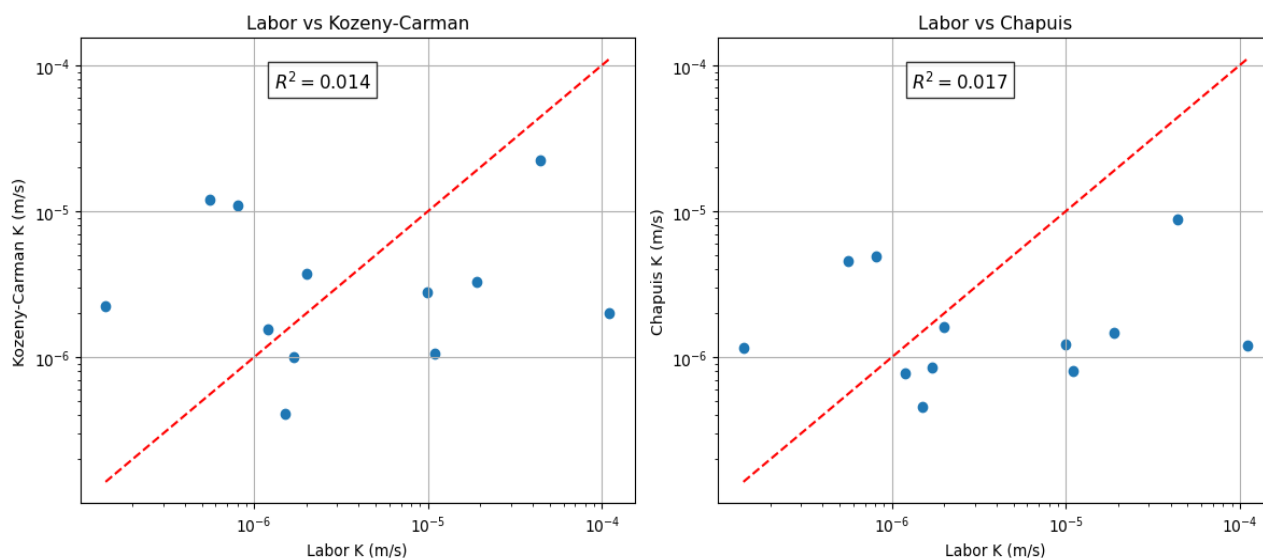
Tabel 2. Lõimiseanalüüsi koondtulemused ja füüsilised omadused. ρ_d – kuivtihedus, e – poorsustegur.

Tähis	D10	D60	Cu	savi (%)	aleuriiit (%)	liiv (%)	kruus (%)	ρ_d (g/cm ³)	e (-)
Räni_a	0,0031	0,023	7	4	77	16	3	1,60	0,69
Räni_b	0,0026	0,014	5	5	87	7	2	1,48	0,81
Reo_a	0,0044	0,144	33	2,5	41,5	54	2	1,57	0,71
Reo_b	0,0051	0,191	37	2	33	64	1	1,62	0,66
Rav_b	0,0070	0,185	26	1,6	30,4	67,6	2	1,45	0,86
Rav_b1	0,0067	0,186	28	1,5	29,5	66	3	1,85	0,46
Täht_a	0,0065	0,083	13	1,3	51,7	46	1	1,18	1,28
Täht_a1	0,0052	0,057	11	1,5	60,5	38,5	1	1,26	1,14
Rõõm_a	0,0030	0,032	10	4	67	27	2	1,45	0,86
Rõõm_b	0,0045	0,185	41	2	36	60	2	1,78	0,51
Soi_a	0,0026	0,012	5	5	87	7	1	1,68	0,60
Soi_b	0,0040	0,164	41	3	41	54	2	1,59	0,70

Füüsikalistest omadustest määrati kuivtihedus ja poorsustegur. Kuivtiheduse väärtused jäävad vahemikku 1,18–1,85 (g/cm³). Täht (a, b) olid natuke rohkem liivased võrreldes teistega, mistõttu on ka nende kuivtihedus suurem. Poorsusteguri väärtused jäävad vahemikku 0,46–0,86, vaid Täht (a, b) proovid olid suurema väärtusega. Mõneti kõrged väärtused viitavad asjaolule, et tegu on koheva moreeniga (Vilo, 1986).

3.2 Filtratsioonikoefitsient

Tabelis 4 on toodud laboris alaneva veetasemega katses mõõdetud filtratsioonikoefitsiendi väärtused, samuti kahe korrelatsioonivalemiga arvutatud väärtused. Laborikatse tulemused jäävad vahemikku 5,59E-07 - 1,08E-04 m/s. Chapuisi valemi järgi arvutatud väärtused jäävad vahemikku 7,98E-07 - 1,21E-06 m/s. Kozeny-Carmani arvutatud väärtused jäävad vahemikku 9,94E-07 – 1,10E-05 m/s. Laborikatse samast asukohast tehtud kaks katse seeria väärtused erinevad vähesel määral (ühe kümnendi võrra), mõnel on vahemik samaks jäänud. Empiirilistel meetoditel oli seda ainult ühel proovil.



Joonis 3. Labori katse, Kozeny–Carmani ja Chapuisi valemite põhjal hinnatud filtratsioonikoefitsiendi (K) väärtuste omavaheline võrdlus. Graafikul on kujutatud ka korrelatsioonikordaja (R^2), mis iseloomustab valemite tulemuste vastastikust sobivust.

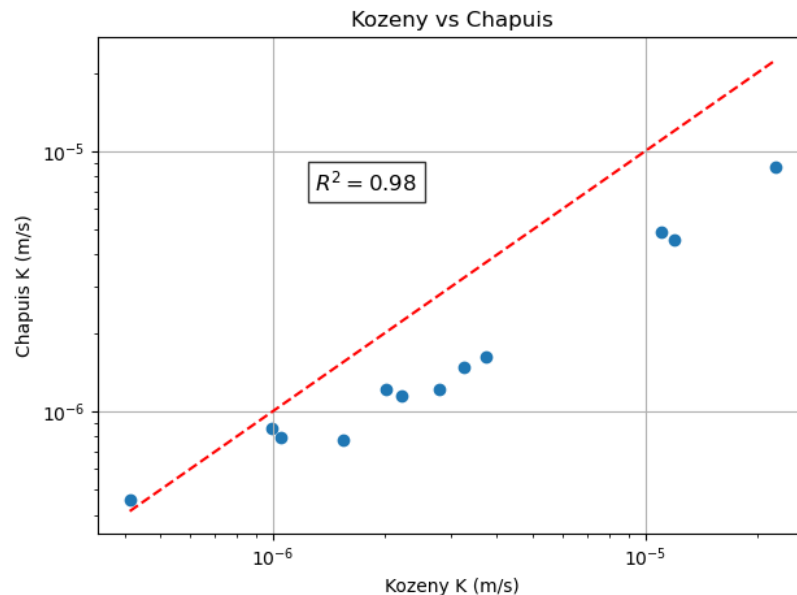
Tabel 4. Laboris määratud ja Chapuis ning Kozen-Carmani valemiga arvutatud filtratsioonikoefitsiendi väärtused.

	Laborikatse	Chapuis	Kozeny-Carman
ID	K (m/s)	K (m/s)	K (m/s)
Räni_a	1,13E-05	7,98E-07	1,05E-06
Räni_b	1,74E-06	8,58E-07	9,94E-07
Reo_a	1,95E-05	1,48E-06	3,26E-06
Reo_b	1,97E-06	1,62E-06	3,75E-06
Rav_b	5,59E-07	4,55E-06	1,20E-05
Rav_b1	1,38E-07	1,15E-06	2,22E-06
Täht_a	4,42E-05	8,73E-06	2,24E-05
Täht_a1	8,09E-07	4,91E-06	1,10E-05
Rõõm_a	1,08E-04	1,21E-06	2,01E-06
Rõõm_b	1,23E-06	7,80E-07	1,55E-06
Soi_a	1,48E-06	4,58E-07	4,13E-07
Soi_b	9,88E-06	1,22E-06	2,79E-06

Labori ja korrelatsioonidega arvutatud filtratsioonikoefitsiendi väärtused erinevad suurel määral (Joonis 3). Kozeny-Carman ja laboris määratud filtratsioonikoefitsiendi võrdluses oli

korrelatsioonikordaja väärtus $R^2 = 0,014$, Chapuisi korral $R^2 = 0,017$, mis tähendab, et seos puudub täielikult.

Samas läksid kahe meetodiga arvatud filtratsioonikoefitsiendi väärtused omavahel paremini kokku (Joonis 4).



Joonis 4. Kozeny–Carmani ja Chapuisi valemite põhjal hinnatud filtratsioonikoefitsiendi (K) väärtuste omavaheline võrdlus. Graafikul on kujutatud ka regressioonijoon ja korrelatsioonikordaja (R^2) mis iseloomustab valemite tulemuste vastastikust sobivust.

Tartu linna moreen on üsna liivane ning selle lõimis ja füüsikalised omadused vastavad valemite kriteeriumitele (poorsustegur, D10 väärtus), kuid sellegi poolest ei andnud arvutused usaldusväärseid tulemusi. Eelnevast võib järeldada, et ainult korrelatsiooni arvutustele ei saa põhineda ja empiirilised meetodid ei asendada moreeni filtratsioonikoefitsiendi määramist katsetega.

Valemite mitesobivus tuleneb ilmselt sellest, et moreeni peenosise (savi ja aleuriit) on üsna kõrge ja see arvatavasti mõjutab tulemusi. Lisaks võimalikud vead laborikatsete läbiviimisel ja proovi väikesed mõõtmed ei anna edasi maapinna sees oleva moreeni omadused. Üks võimalus, kuidas teha valemid kasutuskõlblikuks, on neid kalibreerida parandusteguriga, Acharya, Indra P. et al. (s.a.) nende töös tulemused ei kattunud laborikatsetega ning nad muutsid meetoditel konstandid ära. Sellist meetodit saab kasutada juhul tulemused kui on süstemaatiliselt suuremad või väiksemad. Antud töös tulemustel ei olnud süstemaatikat, tulemuste väärtused erinesid kaootiliselt.

Kokkuvõte

Valingvihmade sagedus ja käitlemist vajav sademevee kogus on aastate jooksul suurenenud, seetõttu ei vasta linnade sademevee käitlussüsteemid muutunud tingimustele. Olemasoleva sademevee kanalisatsioon ei ole suurema koormuse jaoks valmis. Asenduseks sobiks näiteks sademevee immutamise pinnasesse, kuid selleks on vaja teada pinnase omadusi, eelkõige filtratsioonikoefitsienti.

Käesolevas uurimistöös võrreldi alaneva veetasemega katse ja empiiriliste valemite (Chapuis ning Kozeny-Carmani valem) filtratsioonikoefitsiendi väärtuseid Tartu piirkonna moreenpinnase puhul. Varasemalt on välja toodud, et valemid sobisid hästi liivpinnaste puhul ja kuna vaatlusalune moreen on üsna liivane, uuriti töös, kas on võimalik laborikatset asendada empiiriliste meetoditega.

Antud töös koguti proovid Tartu linna läheduses, tehti laboris alaneva veetasemega katse filtratsioonikoefitsiendi määramiseks ja lõimiseanalüüs. Samuti määrati füüsikalised omadused, mida oli vaja Chapuisi ja Kozeny-Carmani meetodite jaoks. Tulemuste analüüsimisel võrreldi kolme meetodi filtratsioonikoefitsiendi väärtusi. Labori filtratsioonikoefitsiendi ja empiiriliste meetoditega leitud filtratsioonikoefitsiendi väärtused ei läinud kokku (korrelatsioonikordajad R^2 vastavalt 0,014 ja 0,017%).

Järeldusena võib öelda, et Tartu piirkonna moreeni puhul ei saa Chapuis ja Kozen-Carmani valemiteid reaalse katsete asemel kasutada.

Summary

Estimation of the Hydraulic Conductivity of Till in the Tartu Region Based on Correlation with Soil Texture and Physical Properties

Brigitta Taling

This bachelor's thesis investigates whether, in the case of till in the city of Tartu, it is possible to replace laboratory testing for determining the hydraulic conductivity with empirical methods based on soil texture and physical property data.

The first chapter provides an overview of the Tartu region and its till deposits. The local geology is described, including the stratigraphic position and depth of the till layers. The concept of hydraulic conductivity is introduced, along with the methods used for its determination. In this study, three approaches were applied to estimate hydraulic conductivity: a laboratory test known as the falling head test and two empirical methods based on soil texture and physical properties. According to the literature, the Chapuis and Kozeny-Carman equations perform well for sandy soils, and since the studied till is relatively sandy, there was reason to expect these formulas to be applicable.

The methodology section describes how the samples were collected and provides a detailed overview of the sampling and testing procedures. Samples were obtained manually by digging small pits with a shovel. In most cases, the till samples corresponded with the theoretical description—sandy and reddish-brown in color. In the falling head test, the sample was placed into a cylindrical ring and compacted. The sample was saturated with water, and at the end of the test, the drop in the water level was measured.

The results showed that the hydraulic conductivity values obtained from the laboratory test and the empirical equations had virtually no overlap, indicating that the Chapuis and Kozeny-Carman formulas cannot be used to estimate hydraulic conductivity in this case (with R^2 values of 0.014 and 0.017, respectively). However, a weak correlation was observed between the two empirical methods themselves, with an R^2 of 0.098.

Kasutatud allikad

- Hoover, F., Hopton, M. (2019). Developing a framework for stormwater management: leveraging ancillary benefits from urban greenspace. *Urban Ecosystems* (2019) 22:1139–1148, <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00890-6>
- Kliimaministeerium (2024). Kliimamuutuste olemus, <https://kliimaministeerium.ee/rohereform-kliima/kliimamuutused#prognoos> (Viimatud vaadatud 21.01.2024)
- Kuris. M., Mandre. G., Kuusemets. V., Mik. A., (2021). LOODUSLÄHEDASED SADEMEVEESÜSTEEMID: Eesti kliimasse sobivad sademeveelahendused. https://urbanstorm.viimsivald.ee/wp-content/uploads/2021/08/urbanstorm-teavik_EST_veebifail-1.pdf
- Mäger. T, Kulm. N, Kõnd. E. (2018). Sademevee säästliku käitlemise põhimõtted Tartu linnas (töö nr 2018-004). Kobras. https://www.integratedstormwater.eu/sites/www.integratedstormwater.eu/files/final_outputs/2018.04.30_sademevee_saastliku.pdf
- Fooladmand, H.R. (2011). *Estimating soil specific surface area using the summation of the number of spherical particles and geometric mean particle-size diameter* <https://doi.org/10.5897/AJAR11.199>
- Chapuis. R.P. (2008). *Predicting the Saturated Hydraulic Conductivity of Natural Soils* file:///C:/Users/brigi/Downloads/Chapuis%202008%20GN%20Predicting%20Ksat.pdf
- Acharya, I.P, Anubhav & Basudhar, P.K. (s.a.). *Predictive Models for Estimating the Coefficient of Permeability for Sands* <https://igs.org.in/storage/proceedings-uploads/TH1-31-170523082205.pdf#:~:text=sand,11>
- Coduto, D.P.(1999). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. New Jersey: Prentice-Hall
- Mander, Ü., Liiber, Ü.(2014).Üldmaateadus: õpik kõrgkoolidele. Tartu: Eesti loodusfoto
- Chapuis, R.P., & Légaré, P.P. (1992). A simple method for determining the surface area of fine aggregates and fillers in bituminous mixtures. In *Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance*, ASTM STP 1147: 177-186.
- Vilo, A. (1986). *Ehitusgeoloogia*. Tartu

Listra, E. (1987). *Nõrgad moreenpinnased. II köide*. Gosstroj Estonskoi SSR Gosudarstvennyi Institut Inzhenernyh Izyskanii <https://www.maaamet.ee/egf/index.php?lht=aru&id=23971>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Brigitta Taling,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose “**Tartu piirkonna moreeni filtratsioonikoefitsiendi hindamine korrelatsioonist lõimise ja füüsikaliste omadustega**”, mille juhendaja on Annette Talpsep, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. 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 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.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Brigitta Taling
26.05.2025