

Võõbu tee-ehitusliku katselõigu geodeetilise monitooringu ja geotehnilise analüüsiga seotud uuringud

2015 – 2019. a. teostatud mõõtmiste geotehniline üldanalüüs



Tallinn 2019

**Võõbu tee-ehitusliku katselõigu geodeetilise monitooringu ja
geotehnilise analüüsiga seotud uuringud**

2015 – 2019. a. teostatud mõõtmiste geotehniline üldanalüüs

Tellij:

GRK Infra AS

Aadress: Ringtee 25, 50105 Tartu

Kontaktisik: Priit Paabo (e-post: priit@estroad.ee)

Teostaja:

Tallinna Tehnikaülikool (TalTech)

Ehituse ja Arhitektuuri instituudi teedehituse ja geodeesia uurimisrühm

Aadress: Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

Kontaktisik: Artu Ellmann (e-post: artu.ellmann@ttu.ee)

Uuringumeeskond:

Mattias Olep (Geolep OÜ) – aruande ja tehtud arvutuste autor;

Artu Ellmann (TalTech) – lepingu vastutav täitja, aruande kaasautor;

Sven Sillamäe (TalTech) – TalTech poolne projektijuht, aruande kaasautor;

OÜ Geotehnika Inseneribüroo G.I.B. – ehitusgeoloogilised uuringud.

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Katselõigu konstruktiivsed seksioonid.....	5
1.1 Teostatud geotehnilised uuringud.....	5
2. Geotehniliste andmete analüüs.....	7
2.1 Turba veesisalduse muutus	7
2.2 Turba dreanimata nihketugevuse C_u muutused	8
3. Vajumite monitooring	10
3.1 Mõõdetud ja arvutatud vajumite võrdlus.....	11
Järeldused	15
Aruande inglisekeelne versioon	16

Sissejuhatus

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida geotehniliste uuringute tulemusi, mis tehti 2015. – 2019. aastal riigiteel nr 2 Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa km 67,067 – 67,256 asuval katselõigul, mis ehitati aastal 2015. Käesolevas töös võrreldakse omavahel viie erineva konstruktsiooni ja varasemate ehitusgeoloogiliste uuringute või laborikatsete tulemusi. 0. sektsiooni konstruktsioon toetub tänu massivahetusele kandvale põhjale, mistõttu seda eraldi käesolevas raportis ei käsitleta.

Koostatud on katselõigu viie erineva konstruktsiooni ehitusgeoloogiline profiil koos veesisalduse graafikutega. Eraldi on analüüsitud turba omaduste ja kihipaksuse muutusi, võrreldud on mõõdetud ja arvutuslikke vajumeid. Analüüsiks on kasutatud ehitusgeoloogilisi andmed kui ka geodeetilisi mõõtmistulemusi.

Käesolevas raportis käsitletud tee konstruktsioonid, konstruktiivsed, geodeetilised ja ehitusgeoloogilised andmed põhinevad järgmistel lähteandmetel:

- 1 „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu lõik km 40,0 - 68,0“, OÜ Reaalprojekt töö nr GL14017, juuli 2014;
- 2 „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu katselõik km 67,067-67,256“, AS Geotehnika Inseneribroo G.I.B töö nr 2622, juuni 2015;
- 3 Reeperite aruanne katendini 10112015. TTÜ 2015;
- 4 Võõbu ülekoormuse eemaldamise järgsete deformatsioonide monitooringu aruanne, juuni 2018 TTÜ;
- 5 „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu katselõik km 67,067-67,256“, AS Geotehnika Inseneribroo G.I.B töö nr 2978, oktoober 2019.

1. Katselõigu konstruktiivsed sektsioonid

Katselõigu konstruktsioonid põhinevad sissejuhatuses loetletud raportitel ja lähteandmetel ning on 2019. aasta seisuga loetletud tabelis 1, millest nähtub, et konstruktsioon „0“ toetub tugevale pinnasele ja 1 – 5 asuvad keskmiselt 1,6 m paksuse kokkusurutud turbakihi peal. Algne turbakihi looduslik paksus enne konstruktsiooni ehitamist oli keskmiselt 3,0 m ehk katselõigu alla jääv turvas on kaotanud oma algsest kihipaksusest ligikaudu 50%.

Tabel 1. Konstruktsioonide tüübid ja mulde alla jääva kokkusurutud turba paksus 2019. a. sügisel. Lõikude orienteeruvad asukohad on kujutatud joonisel 1.

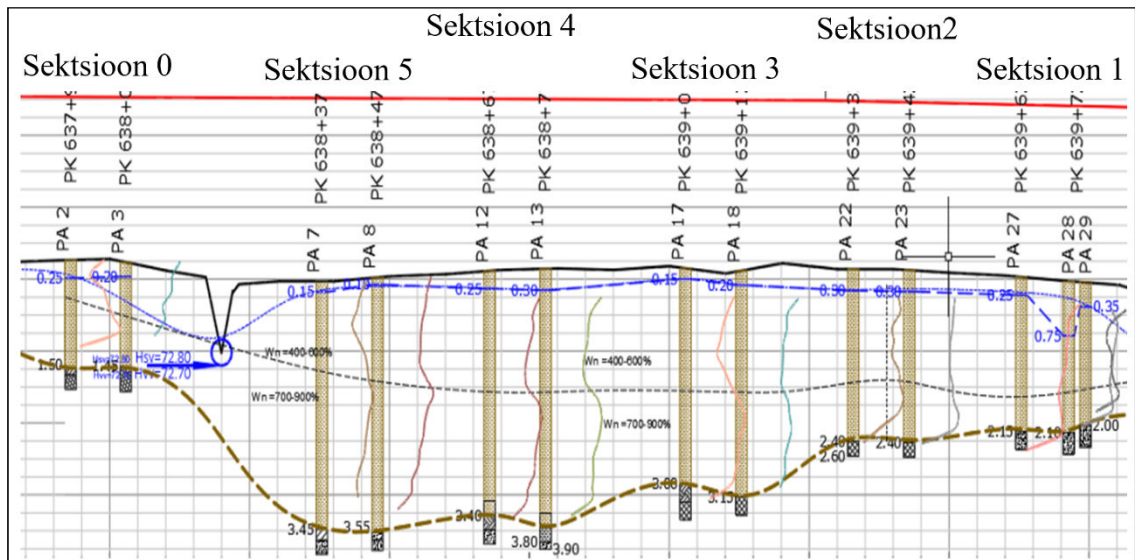
Sektsiooni nr	Konstruktsioon	Kokkusurutud turbakihi paksus (m)
Sektsioon 1	ühekordne geotekstiil	1,0
Sektsioon 2	kahekordne geotekstiil	1,25
Sektsioon 3	geokärg	1,7
Sektsioon 4	kergekruus	1,95
Sektsioon 5	EPS gefoam	1,95
Sektsioon 0	massivahetus	0



Joonis 1. 2015. aastal koostatud 3D mudel kombineerituna RPAS aerofotodega.

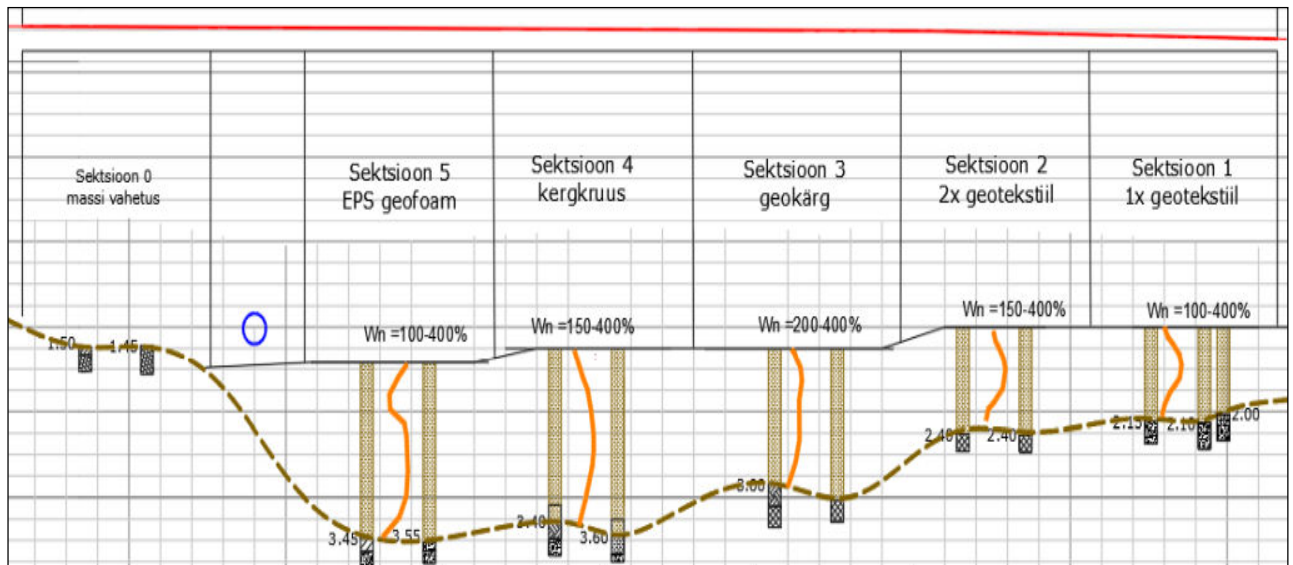
1.1 Teostatud geotehnilised uuringud

Katselõigul teostati enne ehituse algust, 17 – 19. juunil 2015. a. geotehnilised uuringud, mille käigus puuriti tigupuurimismeetodiga 13 puurauku 1,8...3,9 meetri sügavuseni. Samuti tehti igal katsesektsioonil üks tiivikkatse (kokku 6) 0,5 m mõõtesammuga ning turbast võeti 130 veesisalduse proovi. Uuringupunktide kokkuvõtte on esitatud joonisel 2.



Joonis 2. Turbakihtide jaotus loodusliku veesisalduse alusel enne katselõigu ehitamist.

Kuupäeval 09. ja 10. oktoober 2019. a. teostati katselõigul võrdlevad geotehnilised uuringud, mille käigus puuriti tigupuurimismeetodiga 10 puurauku (PA) 4,0...5,9 meetri sügavuseni teepinnast. Igas sektsioonis tehti kaks puurauku, üks mõlemal pool muldkeha servas, v.a. massivahetuse sektsioonis, kus on turvas eemaldatud. Puuraukudest võeti kokku 60 veesisalduse proovi. 2019. a. sügise ehitusgeoloogiline profiil on kujutatud joonisel 3.



Joonis 3. Turbakihtide veesisaldused pikiprofiilil 2019. aastal.

2. Geotehniliste andmete analüüs

2.1 Turba veesisalduse muutus

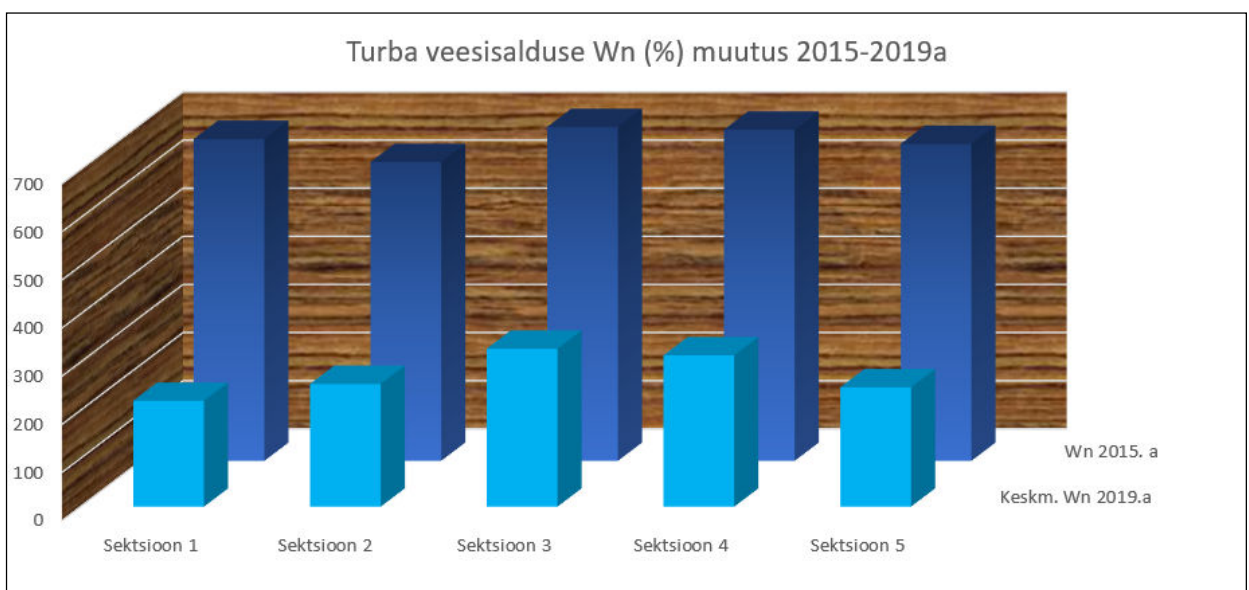
Turba omadused olenevad eelkõige selle tihedusest ja ka lagunemise astmest. Turba tihedust iseloomustavad hästi veesisalduse väärtused. Loodusliku, kokkusurumata turba kuivmahumass on suurusjärgus 200 kg/m^3 ja turbast ca 5x raskema vee (1000 kg/m^3) sisaldus protsendina turba omakaalust on alati kordades suurem, mistõttu on veesisalduse väärtuseks alati rohkem kui 100%.

2015. aasta mõõtmistel varieerusid veesisalduse määrad looduslikus turbas vahemikus ca 500 - 1000% (mujal Eestis on maksimumid ulatunud ka üle 2000%). Mida väiksem veesisaldus, seda tugevam turvas ja vastupidi. Kui näiteks 1000% veesisalduse juures olevale turbale muldkeha ehitamiseks vajatakse suhteliselt tugevat armeerivat geosünteti, siis 500% veesisalduse juures võib piisata ka vaid eraldavast geotekstiilist (tuleb märkida, et see sõltub mitmetest erinevatest teguritest, sh turbakihi paksusest ning muldkeha geometriast).

2019. aasta mõõtmistulemusest on näha, et veesisaldus on langenud ühtlaselt vahemikku 100 – 400% (joonis 4). Veesisaldus on kõikjal väiksem vahetult mulde all ja turbakihi alumises osas ning suurim kihi keskel. Sektsioonis 2 leiti kahe teepeenralt puuritud turbakihi põhja ehk saviliiva kihi pealispinna kõrguste erinevus 0,4 m [GIB raport 2019, PA9 ja 10], ehk turbakihi paksus varieerub seal ka muldkeha ristlõike osas, kuid mõõtmisandmete alusel ei ole see põhjutanud ebahütlasi vajumeid.

Tabelis 2 on esitatud turba veesisalduse muutused, millest nähtub, et suurim vähenemine (448,7%) on toimunud sektsioonis 1, kus oli looduslikult kõige õhem turbakiht. Sektsioonide 2 – 4 keskmise veesisalduse muutus jäi vahemikku 365,6 – 373,7 %. Sektsioonis 5 oli looduslikult kõige suurem turbakihi paksus, kuid pinnase keskmise veesisalduse muutus on olnud võrreldes kõrvalsektsiooniga kõrgem (410,7%), mida on võinud mõjutada kõrval asetsev trupp (joonis 2) tagades paremad vee äravoolu tingimused.

Kokkusurutud turba keskmine veesisaldus W_n on 2019. a. uuringule toetudes 273%. Enne ehitust tehtud mõõtmiste alusel 2015. a. juunis oli turba looduslik veesisaldus keskmiselt 666%.



Joonis 4. Turba veesisalduse (W_n) muutused ajas.

Tabel 2. Turba keskmise veesisalduse (W_n) muutused

	Keskm. W_n 2015. a. juunis %	Keskm. W_n 2019. a. oktoobris %	Muutus ajavahemikul %
Sektsioon 1 - geotekstiil	668,9	220,1	-448,7
Sektsioon 2 - 2x geotekstiil	620,9	255,0	-365,9
Sektsioon 3 - geokärg	693,9	328,3	-365,6
Sektsioon 4 - kergkruus	688,2	314,6	-373,7
Sektsioon 5 - EPS geofaam	658,7	248,1	-410,7

2.2 Turba dreanimata nihketugevuse C_u muutused

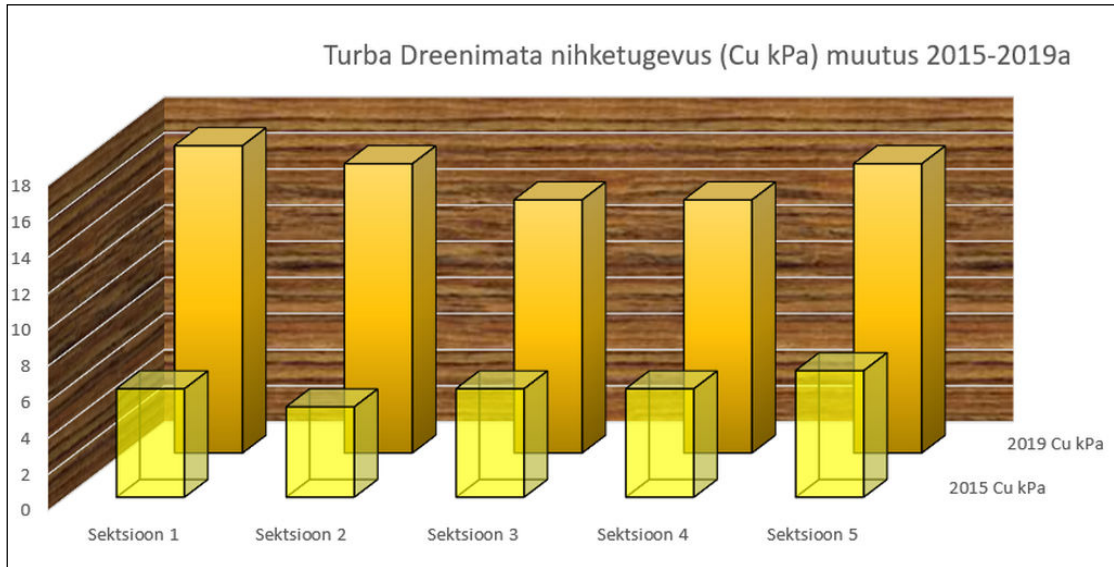
Turba nihketugevus on otsene seos selle veesisaldusega ehk mida rohkem vett, seda nõrgem ja mida vähem vett, seda tugevam turvas. GIBi 2015. ja 2019. a. raportites on välja toodud nii otseselt tiivikkatsete kaudu mõõdetud, kui ka veesisalduse W_n kaudu tuletatud dreanimata nihketugevus C_u .

Katselõigul on turba konsolideerumise kiirendamiseks mullet ülekoormusega koormatud nelja aasta jooksul. Ülekoormamine peab toimuma astmeliselt, et turba nihketugevus ei saaks ületatud. Vastasel juhul lükatakse turvas mulde alt külgedele laiali ja turvas ei tihene. Kuna veesisalduse mõõtmistulemused näitavad, et turba kihipaksus on vähenenud ca 2x, saab väita, et tihenemine toimus ilma turba nihketugevust ületamata.

Tabel 3. Turba keskmine nihketugevus sektsioonide kaupa

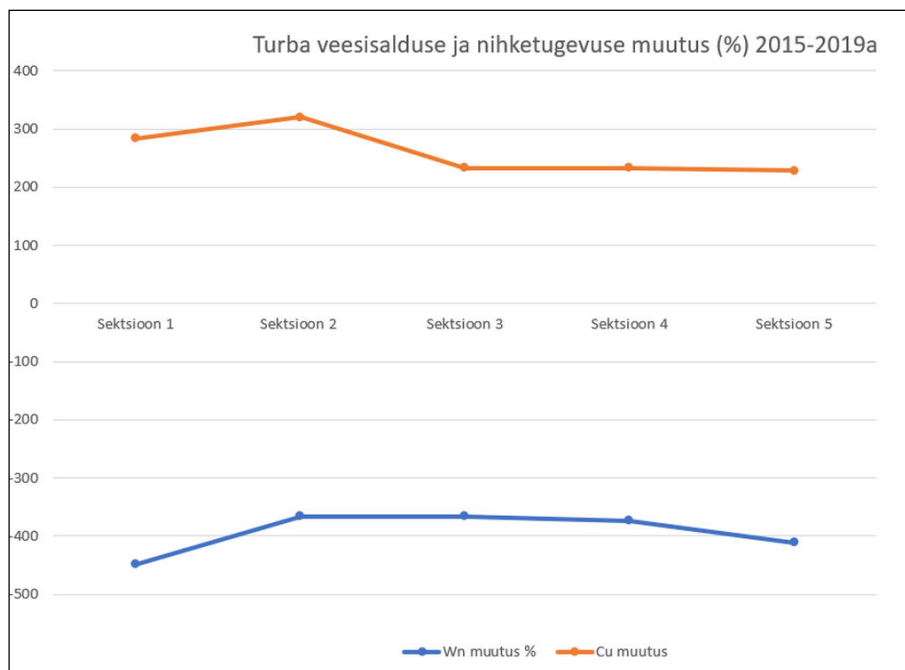
	Keskm. C_{uf} , kPa 2015. a. juunis	Keskm. C_{uf} , kPa 2019. a. oktoobris
Sektsioon 1 - geotekstiil	6,0	17,0
Sektsioon 2 - 2x geotekstiil	5,0	16,0
Sektsioon 3 - geokärg	6,0	14,0
Sektsioon 4 - kergkruus	6,0	14,0
Sektsioon 5 - EPS geofaam	7,0	16,0

Tabelist 3 ja jooniselt 5 nähtub, et nihketugevus on kasvanud 2,5 – 3x ning suurim muutus on toimunud kõige nõrgema turbaga sektsioonides. Samuti on nihketugevus tõusnud ühtlaselt sektsioonide paremas ja vasakus nõlvas.



Joonis 5. Turba dreenimata nihketugevuse C_u (kPa) muutused ajas.

Turba veesisaldus W_n on ülekoormatud muldkeha koormuse tagajärjel vähenenud ja dreenimata nihketugevus C_u omakorda kasvanud. Mõlemat on mõõdetud protsentides ja esitatud joonisel 6. Keskmiselt on veesisaldus vähenenud 400% ja nihketugevus kasvanud 270%. Suurimad muutused on toimunud sektsioonides 1 – 3, kus pole kasutatud kergmaterjale ehk mille koormus turbale on olnud suurem.

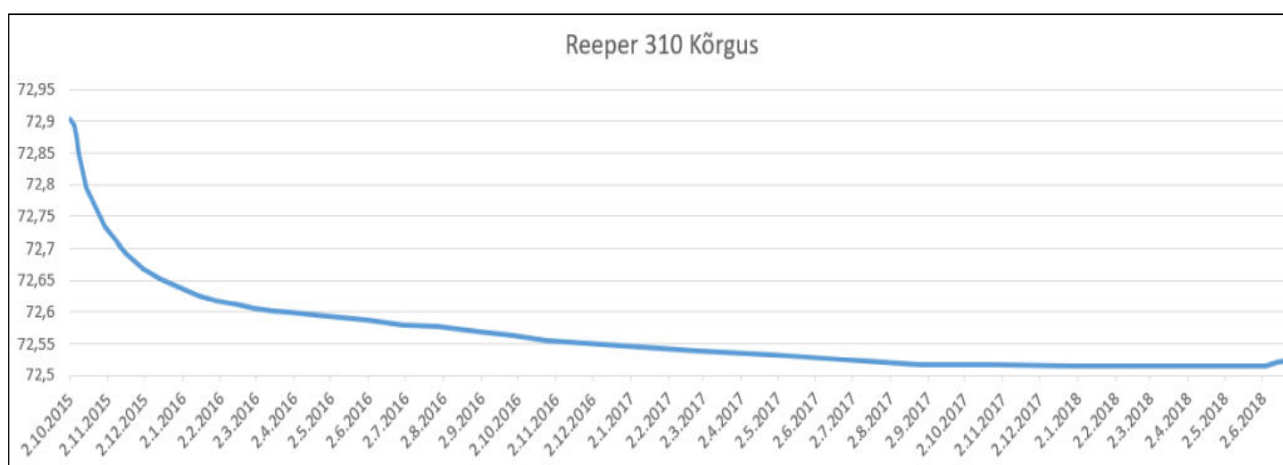


Joonis 6. Turba veesisalduse ja nihketugevuse muutuste võrdlus esitatuna protsentidena.

3. Vajumite monitooring

Kogu katselõik on olnud jätkuva geodeetilise jälgimise all alates selle ehituse algusest. Käesolevas analüüsis on vajumivaatluste lähteks 02.10.2015, s.t. päev, mil Võõbu katselõik pinnati. Järgneva analüüsi jaoks on esinduslikuks punktiks valitud katselõigu keskmise sektsiooni telje turbapinnal olev reeper nr 310, mille vajumigraafik on kujutatud joonisel 7. Kogu geodeetilise monitooringu kohta on Tallinna Tehnikaülikool (TalTech) koostanud mitu raportit, kus on täpsemalt välja toodud kõikide reeperite vajumid.

Turbapinna suurim mõõdetud vajum pärast ehituse lõppu 2015. a. oktoobrist kuni 2018. a. kevadeni oli 391 mm. Suurimad turbakihi vajumid toimusid juba ehituse ajal, näiteks vajus reeperi nr 310 asukohas turbapind ca 1200 mm. Pärast ülekoormuse eemaldamist juunis 2018 tekkis tagasikerge 9 mm, mis on joonise 7 graafiku lõpuosas nähtav väikese üleshüppena.

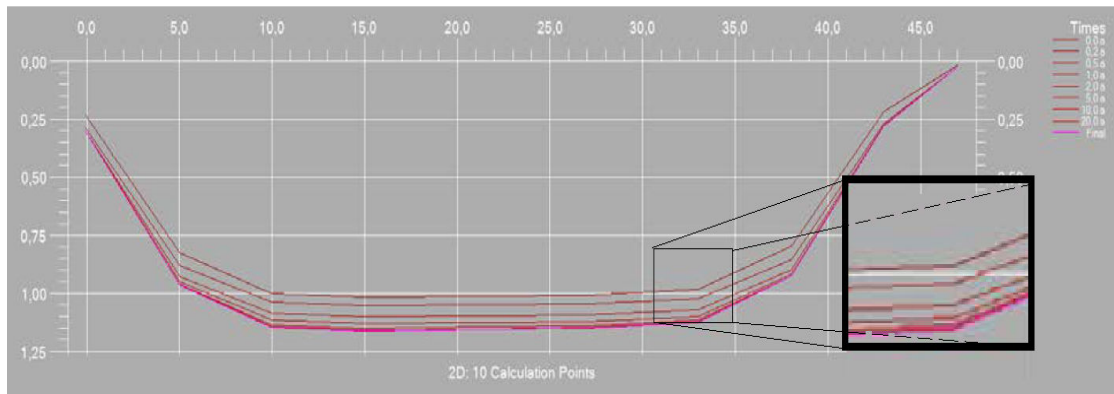


Joonis 7. Katselõigu vajum turbapinnal* (meetrit merepinnast) ajavahemikul oktoober 2015 kuni juuni 2018 a.

*Ajavahemikul 09.2016 – 02.2018 mõõtmisi ei toimunud ja esitatud väärtused on interpoleeritud lähtuvalt turba kompressioonikõverate üldisest kujust. Ehituse alguses oli turba absoluutkõrgus vahemikus 74.0...74.3 (Balti kõrgussüsteem 1977), keskmiselt ca 74,1 m. Reeperi 310 asukohas oli turbakihi algne kõrgus 74.3 m.

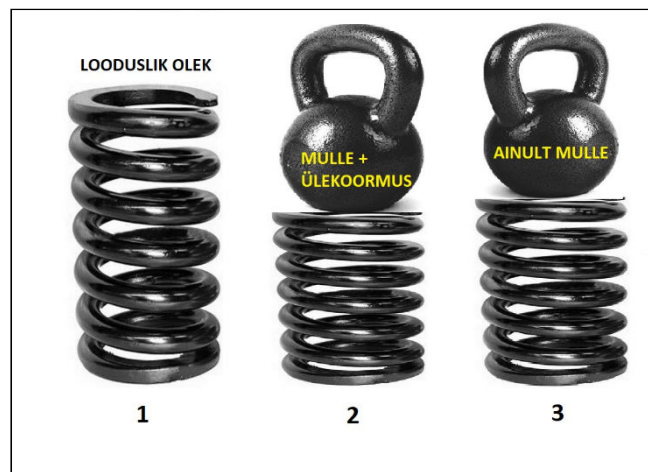
Arvutused, mille tulemust on kujutatud joonisel 8, näitavad, et vajumid aeglustavad ajas ning lähenevad nullile ehk tasakaalupunktile, mis on põhjustatud alumise turba tihenemisest ning tugevuse kasvust. Lõplike vajumiste toimumise protsess võtab aega kuni paarkümmend aastat, kuid 2018. aasta mõõtmistest saab järeldada, et järele jäänud vajumite suurusjärk on ca 20 mm järgneva umbes 15. aasta jooksul.

Tuleb rõhutada, et tehtud vajumiarvutused on hinnang ning pinnastega tegelemisel ei ole võimalik saavutada absoluutset täpsust. Tulevikus toimuvaid vajumeid mõjutab liikluskoormuse suurus ja ümbritseva looduse veesisalduse kõikumised, turba osas on eriti kriitiline veetaseme alanemine.



Joonis 8. Vajumisarvutuste tulemus, mille järgi vajumid vähenevad ajas logaritmiliselt.

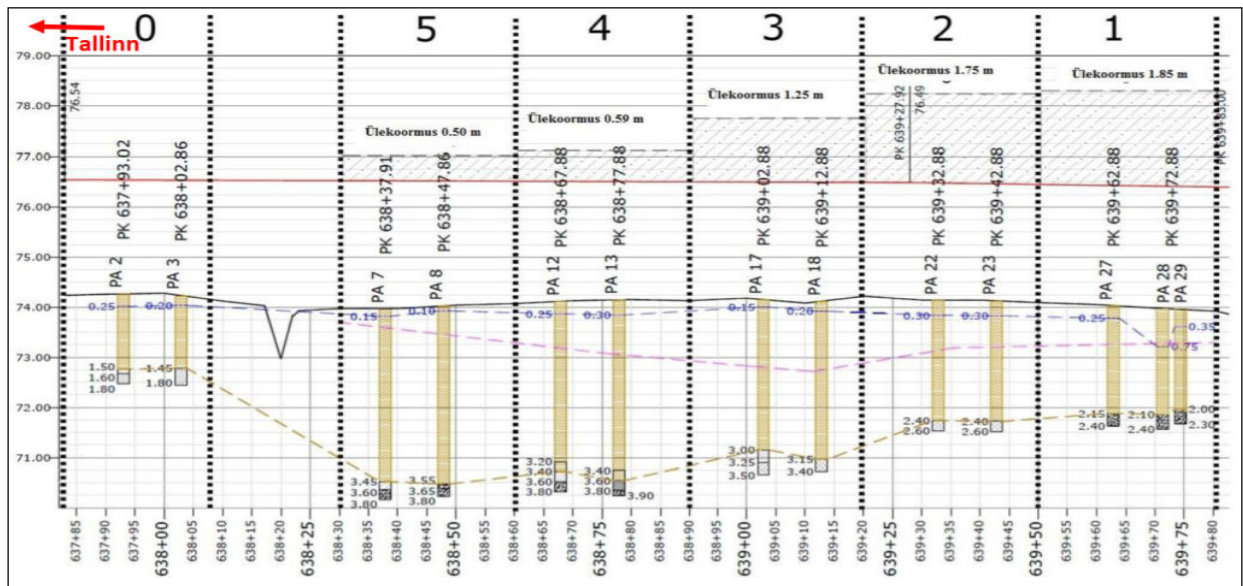
Turba tihenemist koormuse all ja väikest üleskerkimist pärast eelkoormuse eemaldamist ning taas tasakaalupunkti leidmist võib kujutada vedrumudelina joonisel 9.



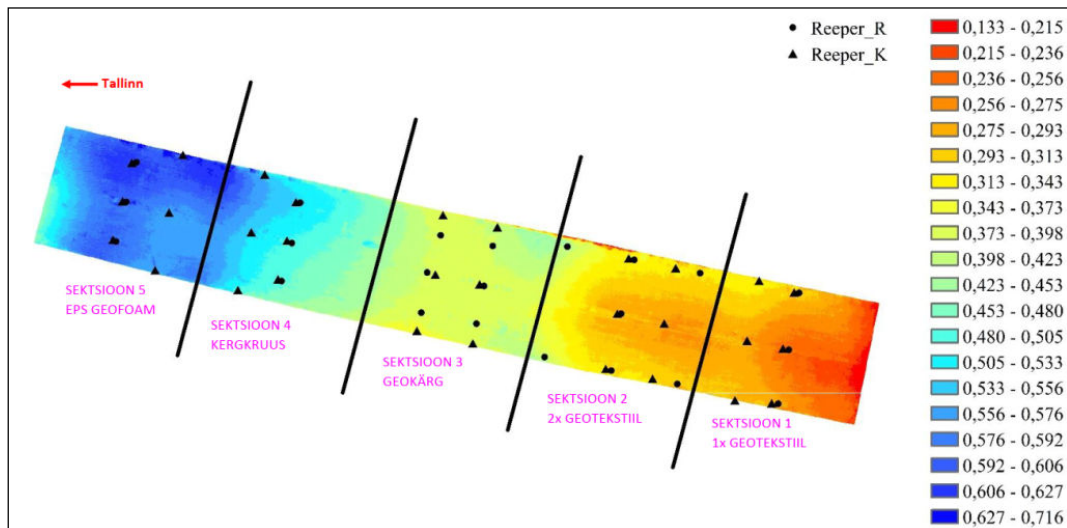
Joonis 9. Turba koormamise ja tihenemise vedrumudel.

3.1 Mõõdetud ja arvutatud vajumite võrdlus

Joonisel 10 on kujutatud ülekoormamise skeem ning joonisel 11 aruandes [Deformatsioonide monitooringu aruanne. TTÜ 2018] kokku võetud mõõdetud vajumid pärast mulde rajamist (seega on ehitusaegsed vajumid eelnevalt juba toimunud). Esitatud joonised annavad hea üldpildi vajumitest, mis toimusid ülekoormuse tingimustes, kuid kuna algsed vajumiarvutused (vt tabel 5) tehti looduslikule, koormusega veel koormamata turbapinnasele, ei ole tulemused 1:1 võrreldavad.



Joonis 10. Ülekoormamise skeem [Võõbu lõpparuanne 2016]



Joonis 11. Sektsioonide koguvajumid (m) perioodil 10.2015 – 06.2018. a [Deformatsioonide monitooringu aruanne. TTÜ 2018]

Koguvajumi paremaks võrdlemiseks on tabelis 4 toodud 2015. a. ehitusgeoloogiliste uuringute käigus fikseeritud ja 2019. a. mõõdetud turba paksuste keskmised väärtused katselõigu sektsioonide kaupa. Igast sektsioonist on 2015. ja 2019. a. puuritud 2 – 3 puurauku, millest on tabelis 4 toodud turba paksuste keskmised väärtused, mida on omavahel võrreldud. Tulemustest nähtub, et vajumite suurus on otseses sõltuvuses avaldatud koormusest ja turba paksusest.

Raskema konstruktsiooniga, kuid õhema turbakihi paksusega sektsioonid nr 1 ja 2 on vajunud protsentuaalselt kõige enam, kuni 50% turba algsest paksusest. Teiste sektsioonide vajumid on jäänud olenemata turba algsest paksusest (2,2 – 3,3 m) 40% lähedale.

Tabel 4. Turba keskmised paksused 2015. ja 2019. a. mõõtmiste alusel

Sektsiooni nr	Turba paksus, m (2015)*	Turba paksus, m (2019)	Koguvajum, m	Vajumi suurus %
1	1,9	1,0	0,9	47
2	2,2	1,25	0,95	43
3	2,85	1,7	1,15	40
4	3,2	1,95	1,25	39
5	3,3	1,95	1,35	41

*2015. a. mõõtmiste alusel esines turvas alates ca 20 cm sügavuselt mõõdetuna maapinnalt. Pinnaseveetase ulatus kuni maapinnani.

Aastal 2015 tehti vajumisarvutused kolmele sektsioonile, mis erinesid omavahel koormuse suuruse poolest (tulemused tabelis 5). Sarnase kaaluga sektsioonide 1 – 3 kohta oli võetud iseloomulikuks arvutuslikuks ristlõikeks sektsioon nr 2, teiseks kergkruusaga sektsioon nr 4 ja kolmandaks EPSiga sektsioon nr 5. Esimese kolme sektsiooni mulde materjali mahukaaluks arvestati 2000 kg/m³, neljanda sektsiooni kergkruusal 300 kg/m³ ja viienda EPSile 100 kg/m³.

Tabel 5. Arvutuslike ja mõõdetud vajumite võrdlustabel

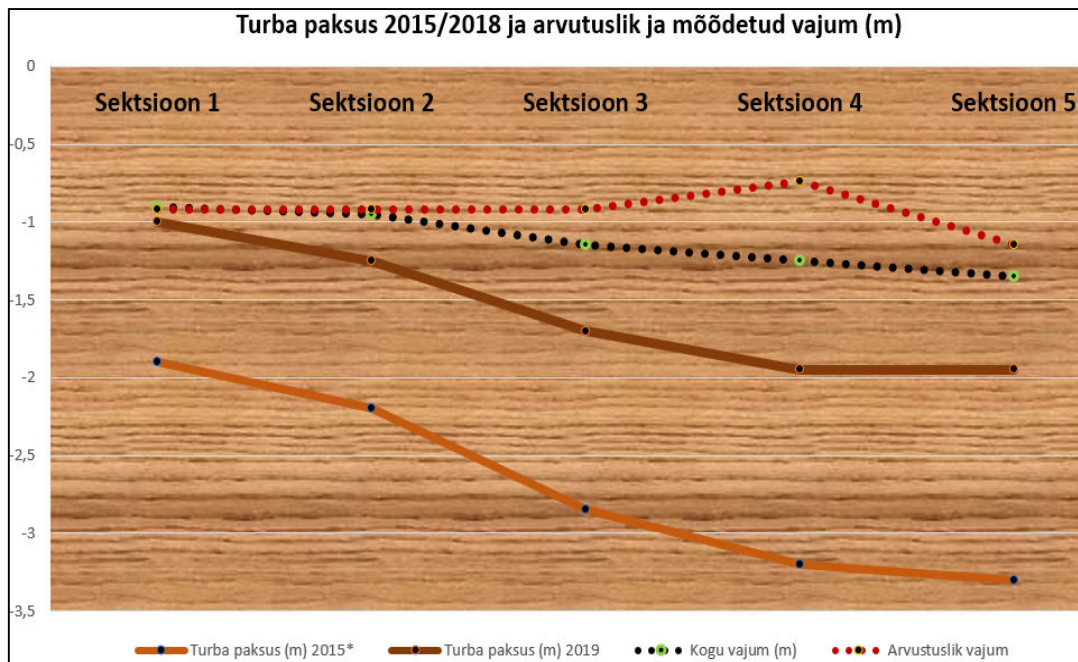
Sektsiooni nr	Arvutuslik vajum, m (2015)	Mõõdetud vajum, m (2019)	Arvutusliku ja mõõdetud vajumi erinevus %
1	0,92	0,95	-3,2
2			
3			
4	0,74	1,25	-40,8
5	1,15	1,35	-14,8
Keskmine erinevus %			-13,0

Tabelist 5 nähtub, et ilma kergmaterjalideta sektsioonide 1 – 3 (geotekstiilide ja -kärjega sektsioon) arvutuslikud ja mõõdetud vajumid on väga väikese erinevusega jäädes ca 3% piirsesse. Suurim erinevus ilmnes kergkruusaga sektsioonis, kus arvutuslikult saadi vajumiks tegelikult toimunust ca 40% väiksem väärtus. Viiendal ehk EPS konstruktsiooniga lõigul on tegelikult toimunud vajum arvutuslikust vajumist umbes 15% suurem.

Võttes arvesse turbakihtide kogupaksuse suure varieerumise, on vajumiarutuse täpsus 10 – 20% realistlik. Seega võib saadud keskmist erinevust ca 13% hinnata heaks. Esimeste lõikude väga suur täpsus viitab juhuslikult lõikude keskmisele väga sarnasele arvutusmodelile. Projekti alguses tehtud kergkonstruktsiooniga neljanda ja viienda sektsiooni vajumiarvutustes ei arvestatud eelkoormamisega, mida tegelikkuses siiski kasutati. Kergkonstruktsioonide ülekoormamise mõju võib hinnata ca 20% vajumi suurendamise suunas ehk ilma eelkoormuseta oleks erinevused tegelikult toimuva ja arvutusliku tulemuse vahel olnud ca +5% (sektsioon 5) ja -20% (sektsioon 4).

Joonisel 12 on näha vajumite korrelatsioon turba paksusega, millest järeldub, et looduslikus olekus pidevalt muutuva paksusega turba vajumid on sellega võrreldavalt ebaühtlased. Selle

kompenseerimiseks on käesoleva aruande koostamiseks tehtud mõõtmiste ja arvutuste alusel kulunud ca 5 aastat.



Joonis 12. Turba paksuse, arvutusliku ja mõõdetud vajumite võrdlus ajaperioodil aastatel 2015 – 2018.

Tabelist 5 nähtub, et neljanda ehk kergkruusa sektsiooni vajum on alahinnatud. Selle põhjuseid saaks paremini analüüsida võrreldes neljanda ja viienda lõigu arvutuslikke turba parameetreid tabelis 6. Kuna viienda sektsiooni (EPS) tulemused kattusid tegelike vajumitega paremini, siis oleks saanud neljanda sektsiooni (kergkruus) arvutustes tegelikule vajumile lähedasemaid tulemusi, kui turba poorsustegurile (e_0) ja kompressiooniindeksile (C_c) oleks valitud vähem konservatiivsed väärtused. Analüüsist nähtus, et ka EPSi lõigule valitud parameetrid olid võrreldes tegelike vajumitega liiga konservatiivsed.

Tabel 6. Turba arvutuslike parameetrite võrdlus sektsioonides 4 (kergkruus) ja 5 (EPS)

Sektsioon / Turba omadused	Kergkruus	EPS
1) Kompres. indeks C_c (x0,9)	2	5
1) Poorsus e_0 (x0,9)	6	11
Consolidation input	Constant c_v	Variable k
2) Kompres. indeks C_c (x0,9)	6	7
2) Poorsus e_0 (x0,9)	12	15
Consolidation input	Constant c_v	Variable k

Järeldused

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli analüüsida Võõbu katselõigul aastatel 2015 ja 2019 tehtud ehitusgeoloogiliste uuringute ning nende põhjal koostatud geotehniliste arvutuste ning samal ajavahemikul läbi viidud geodeetiliste mõõdistuste tulemusi. Analüüsi tulemuse järeldused on järgmised:

- 1) turvas on konsolideerunud ühtlaselt ja mulde stabiilsus on tagatud kõikides sektsioonides;
- 2) turba tugevus on eelkoormamise käigus tõusnud keskmiselt 3 korda (6 kuni 15 kPa);
- 3) turba veesisaldus on langenud keskmiselt 2 korda (666% kuni 273%);
- 4) turba vajum ülekoormamisest jääb kõikidel lõikudel vahemikku 40 – 50% algsest turba paksusest;
- 5) turba vajumitest on toimunud 99% ja edaspidine aastatepikkune ühtlane katselõigu vajum pärast asfaltkatte paigaldamist jääb ca 20 mm piiresse;
- 6) parim korrelatsioon arvutusliku ja mõõdetud vajumi vahel oli sektsioonidel 1 – 3, kus erinevus oli vaid 3%;
- 7) vajumisarvutused andsid võrreldes mõõdetud vajumist keskmiselt 13% väiksema tulemuse;
- 8) tulevikus tuleks sarnaste tööde puhul vajumeid geodeetiliselt monitoorida suurema järjepidevusega. Hetkel on mõõtmistes pooleteise aastane paus vahemikus aastatel 2016 kuni 2018;
- 9) turbale ehitatud erinevaid konstruktsioone katsetav Võõbu katselõik on täitnud oma eesmärgi ning kõikide konstruktsioonide alune turvas on hästi tihenenud, mistõttu see on sobilik kasutamiseks rajatava tee muldkehana.

Tuleb rõhutada, et saadud järeldused on tuletatud staatilise koormuse tingimustes ning katselõik ei ole saanud rohkem dünaamilist koormust, kui ehitusaegne tihendamine ja kasutamine. Igapäevaliiklusest tulenev lisakoormus ning tulevikus toimuvad võimalikud loodusliku veetaseme kõikumised on potentsiaalsed täiendavate (ebaühtlaste) vajumiste initsiaatoriteks, mille tegelikku toimumist ja ulatust näitab vaid aeg. Täiendavat riski ebaühtlasteks vajumisteks põhjustavad katselõigu sektsioonide suhteliselt lühikesed pikkused ning see, et sektsioonide vahele ei ole rajatud üleminekukiile.

Kuna teadaolevalt ei ole Võõbu katselõiguga sarnaselt ühes kohas samaaegselt katsetatud korraga nii mitmeid muldkeha konstruktiivseid lahendusi rajamaks teed nõrgale ja tugevalt kokkusurutavale pinnasele, soovitame teadustöö huvides jätta katselõik rajatava tee muldkehaks. Arvutused näitasid, et ohtu muldkeha stabiilsuse kadumisele ei esine, mistõttu ainsaks negatiivseks tagajärjeks saab olla tee tasasuse halvenemine ning asfaltkattesse pragude tekkimine, kuid ulatuses, mis ei mõjuta liiklusohutust.

Lõplikke järeldusi katselõikude sektsioonide sobivuse osas ning katselõigul katsetatud lahenduste kasutamise soovitamist nii Tartu maantee kui teiste suure liikluskoormusega raud- ja maanteedehitusel saab anda peale seda, kui katselõigule on paigaldatud teekatend ning kui seda on kasutatud igapäevase liikluse poolt. Hinnanguliselt on vajalike järelduste tegemiseks käesoleva lepingu ajaline periood (2019 – 15.11.2021) piisav.

Aruande inglisekeelne versioon

Table of Contents

Introduction18

 1. Constructional sections of test segment..... 19

 1.1 Completed geotechnical surveys20

 2. Geotechnical data analysis21

 2.1 Change of peats water content.....21

 2.2 Change of peats undrained cohesion Cu.....22

 3. Monitoring of the settlements25

 3.1 Comparison of measured and calculated settlements26

Conclusions31

Introduction

Aim of this report is to analyze results of geotechnical investigations which were carried out between years of 2015-2019 on test section of road No 2, Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa Kose – Võõbu km 67,067 to 67,256. The aim is to compare five different embankment constructions different geological surveys and laboratory tests. 0. section embankment rests on the bearing subsoil because of the mass replacement and it is not dealt in this report. Test section was built in 2015.

In report there are presented longitudinal profiles with water content curves. Also there are looked in detail the change of peat characteristics and settlements and compared between calculated and measured settlements

This report is based on following reports what have been made about same test section:

1. „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu lõik km 40,0 - 68,0“, OÜ Reaalprojekt töö nr GL14017, juuli 2014.
2. „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu katselõik km 67,067-67,256“, AS Geotehnika Inseneribroo G.I.B töö nr 2622, juuni 2015.
3. Reeperite aruanne katendini 10112015. TTÜ 2015
4. Võõbu ülekoormuse eemaldamise järgsete deformatsioonide monitooringu aruanne juuni 2018 TTÜ
5. Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu katselõik km 67,067-67,256“, AS Geotehnika Inseneribroo G.I.B töö nr 2978, oktoober 2019.
6. T2-Põhitee+Ardu-Võõbu+teelõigu+52,7-64,2+ehitus_vajumisvaatluste+tabel-30.10.2019

1. Constructional sections of test segment

Test sections pavement constructions are based on the reports described in preceding paragraph and are in year 2019 as it can be seen in following table:

Table 1: Structural construction types and remaining compressed peat thickness

N r	Pavement construction	Remaining peat thickness (m)
Section 1	Single Geo textile	1,0
Section 2	double geot textile	1,25
Section 3	geocell	1,7
Section 4	lightweight gravel LWA	1,95
Section 5	EPS geof foam	1,95
Section 0	mass replacement	0



Figure 1. 2015 Year 3D model combined with RPAS aerial photos.

From the table it can be seen that the structure 0 rests on bearing subsoil and sections 1-5 rest on peat with average thickness of 1,6m.

The original natural peat layer thickness before the construction and surcharge layers was in average 3,0m so the peat has lost about half of its original layer thickness.

1.1 Completed geotechnical surveys

The first geological investigations were carried out between 17 and 19 June before construction began. To investigate soil properties 13 boreholes were drilled up to 1.8 ... 3, 9 meters with auger drilling method. Also, vane test was carried out on every section (6 tests). Water content was measured after every 0,5m of depth and for that 130 probes were tested in laboratory.

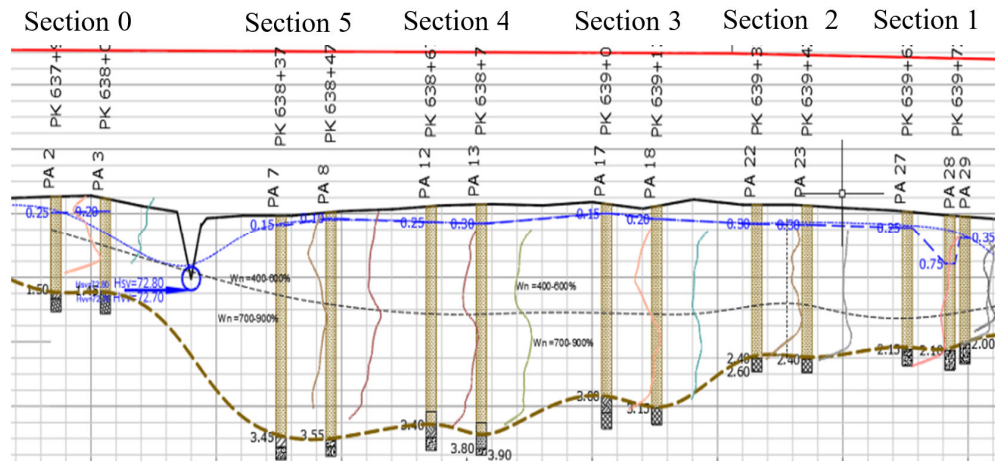


Figure 1: The distribution of the natural water content of peat layers before the construction of the test section.

Comparative studies were conducted 9 - 10. October to May 2019. To investigate geology 10 boreholes were drilled up to 4,0 ... 5,9 meters from embankment surface with auger drilling method. In every section 2 boreholes were drilled on both sides of the embankment. Section 0 with mass replacement was not drilled. A total of 60 water samples were taken from the boreholes.

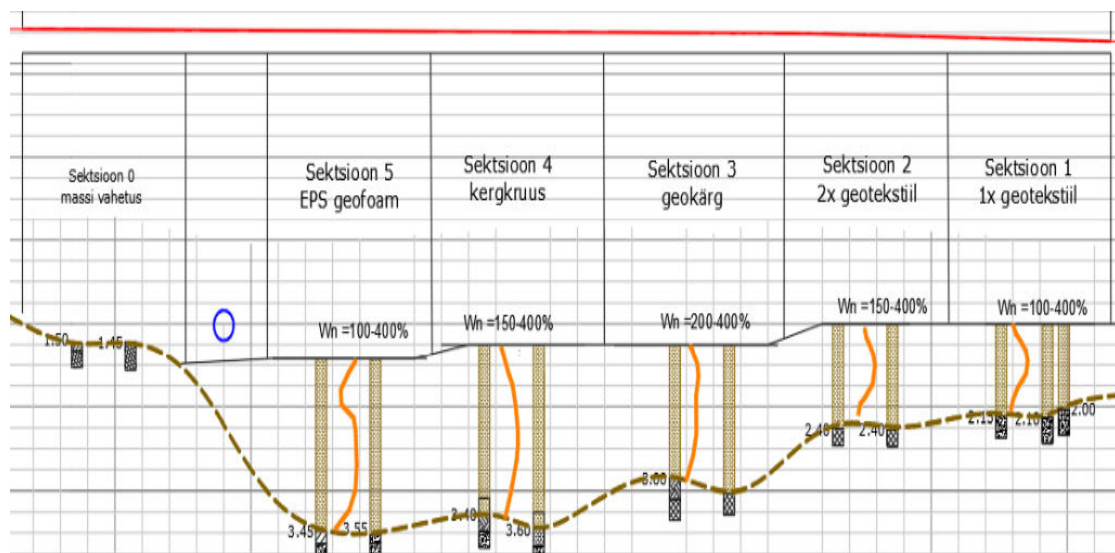


Figure 2 . Water content of peat layers on longitudinal profile in 2019.

2. Geotechnical data analysis

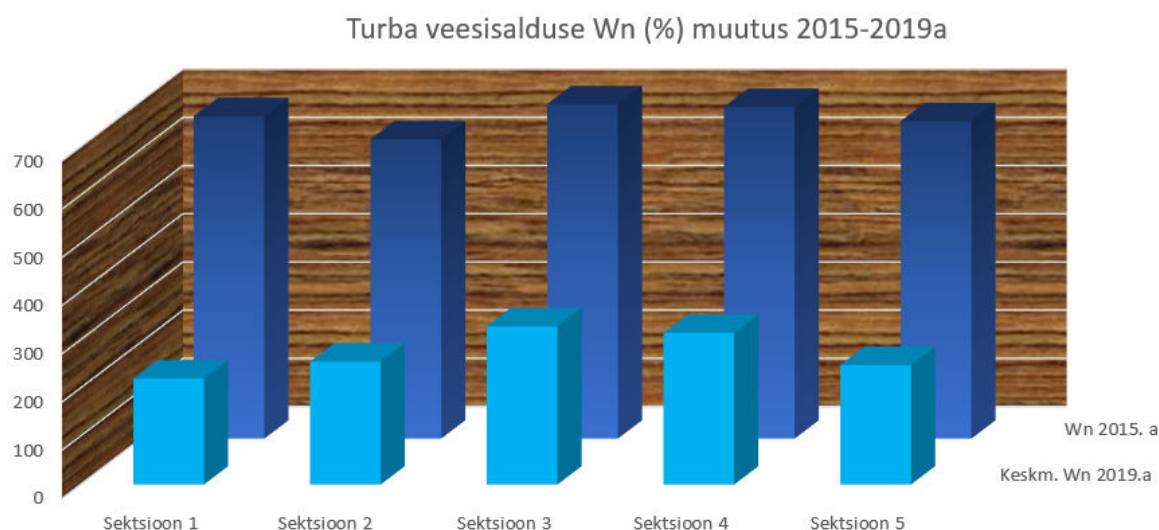
2.1 Change of peats water content

The load-bearing capacity of peat depends primarily on its density and also on the degree of decomposition. The density of peat can best be determined by assessing its water content. Natural uncompressed dry peat volume mass is about 0.2 t / m^3 and the water is 5 times heavier than the dry peat so water content in peat is always many times greater than 100%.

In 2015 measurements, the highest water content rates in natural peat were up to 1000% of the peat's own weight. Elsewhere in Estonia maximal water content of peat has reached even to 2000 %. Most dense peat layers had water content about 500 %. Such peat has already satisfactory bearing capacity (not good). Peat is also important for its fibrous structure, which acts as a weaker geosynthetic and has some tensile strength.

2019 measurement results show that the water content has fallen evenly to the range of 100 -400 %. Particularly in section 5 can be seen same water content patterns in smaller scale, as it was seen in natural state. Water content is everywhere smaller directly under the roadbed and in the lower part of peat. Larger values can be seen in middle of peat layer. Section 2 has (boreholes PA 9 and PA 10) 0,4m tilt from road shoulder to shoulder in subsoil surface under the peat. In 2015 there were no cross-sectional tilt found but at same time tilt is not reflected in the settlements.

Largest water content drop in peat layer was in first section (448.7%), where was naturally the thinnest layer of peat. The change in water content of sections 2 to 4 was similar (365.6% to 373.7%). 5. section had naturally the thickest layer of peat, but the water content drop was larger than in previous section (410.7%) This can be explained by the culvert what drained the section (see figure 1) .



Graph 1: Changes in peat water content Wn over time.

Table 2. Change in average water content of peat Wn (GIB 2019)

	Avg. Wn June 2015 %	Avg. Wn October 2019 %	Change in %
Section 1 - geotextile	668,9	220,1	-448,7
Section 2 - 2x geotextile	620,9	255,0	-365,9
Section 3 geocell	693,9	328,3	-365,6
Section 4 - light gravel LWA	688,2	314,6	-373,7
Section 5 - EPS Geof foam	658,7	248,1	-410,7

The average water content of compressed peat Wn is 273%. Before the construction of the test section in June 2015, the natural water content of the peat was in the average of 666%.

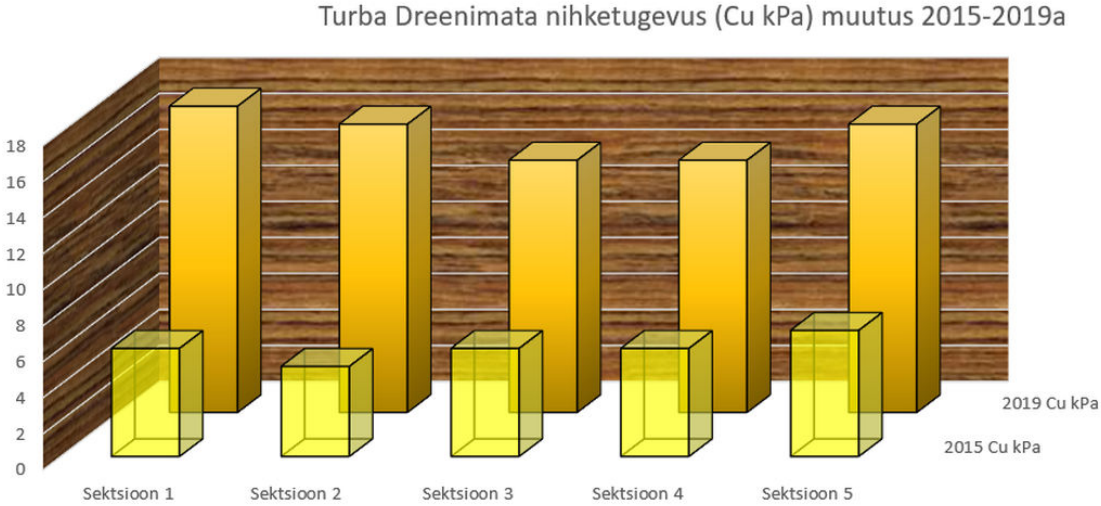
2.2 Change of peats undrained cohesion Cu

Peat shear strength has a direct link with the water content of the peat, that is, the adding water weakens peat and the reducing water strengthens the peat. In reports of GIB 2015 and 2019 there are results of direct measurement of Cu with vane test and Cu delivered from water content of the peat. For 4 years embankment was loaded with surcharge to speed up the compression of the peat. Doing so one must consider not to rise load too fast otherwise the peat original shear strength will fail, and peat will move to the sides of embankment without compaction of the peat.

Since the results of the water content measurement show that the peat has been compressed more than twice, it can be assumed that the compaction was carried out as intended without exceeding the shear strength of the peat.

Table 3 . Average shear strength of peat by sections

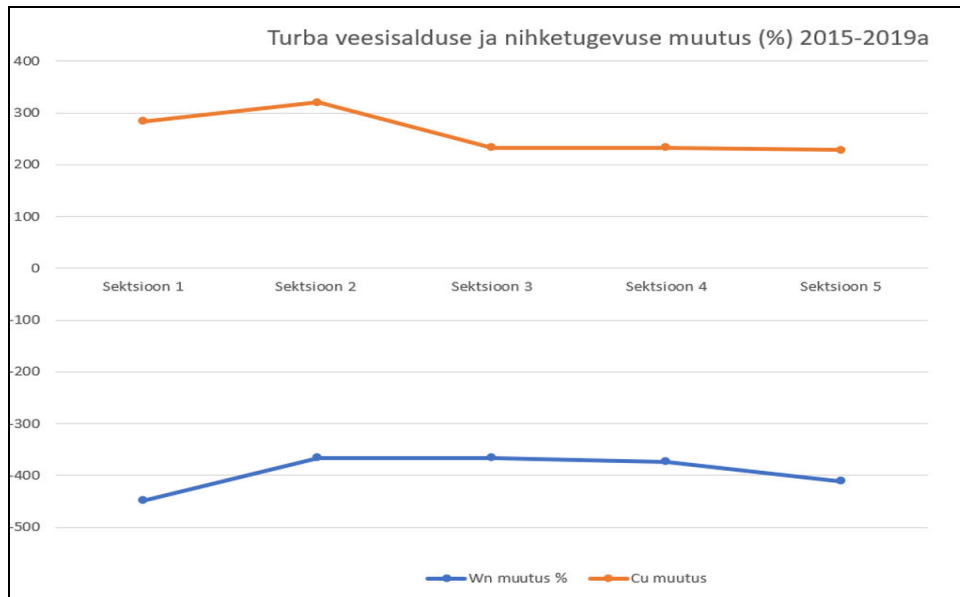
	Avg. Cuf kPa June 2015	Avg. Cuf kPa October 2019
Section 1 - geotextile	6,0	17,0
Section 2 - 2x geotextile	5,0	16,0
Section 3 geocell	6,0	14,0
Section 4 - light gravel LWA	6,0	14,0
Section 5 - EPS geofom	7,0	16,0



Graph 2: Changes in shear strength Cu (kPa) of peat over time

From the graphs and tables can be seen that the shear strength is increased by 2,5-3 times and the biggest change has been in the sections with the weakest of peat. Cu has risen equally also on both shoulders of the embankment (GIB 2019). In section 2, the ground under peat is at an angle of about 4 % but this has not affected the compaction process.

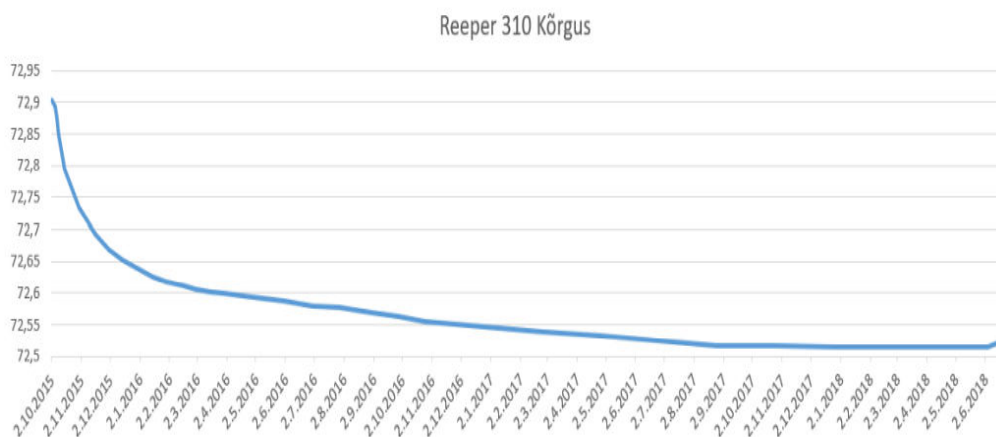
The water content W_n has decreased as a result of the compressive force in the peat and the Cu undrained shear strength has therefore risen. Both are measured in percentages and are plotted below:



Graph 3. Comparison of water content and the shear strength of the peat between 2015 to 2019. On average, water content has decreased by 400% and shear strength increased by 270%. The largest changes have occurred in the non-lightweight sections and thus heavier sections 1-3.

3. Monitoring of the settlements

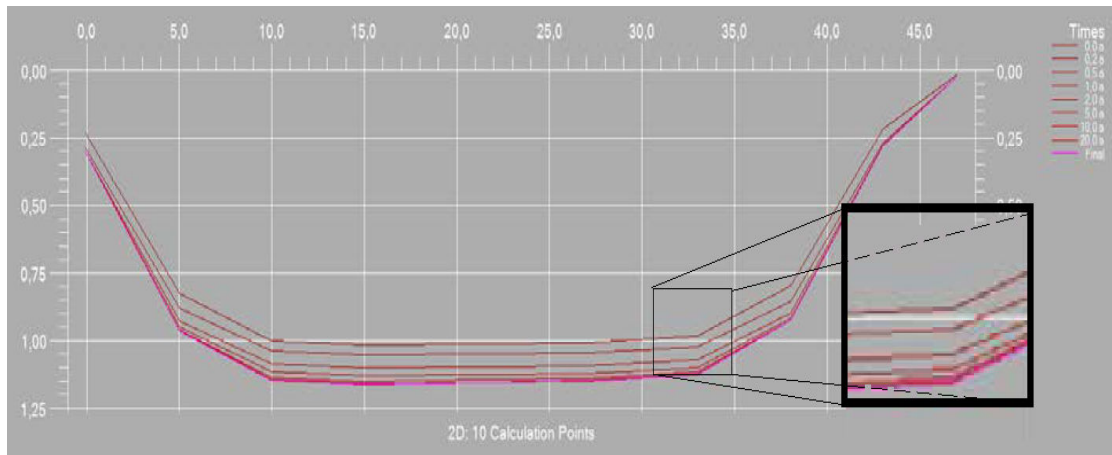
The entire test section has been under constant land survey tracking from the 02.10.2015 starting after building was complete. As representative point the test section is chosen in the middle section on the axis of road and on top of the peat layer: survey point nr 310 . About whole survey the Taltec (TTÜ) has made separate reports, where more detailed info can be seen.



Graph 4. Test sections settlement on the peat layer* (m – from sea level) during the period from 2015 to 2018 a.

* During the period 9.2016 - the second in 2018 there were no measurements and values are interpolated from average peat compression curve shape. At the beginning of the construction, the absolute height of the peat was 74.1m .

Settlements are slowing down during time passes and approach finally zero, what is also equilibrium point. This is due to the compaction and rise of strength of the peat under the embankment. Finally upraise strength of the peat equals to downward pressure coming from embankment weight. Such equalization and settlement slowing town process takes up to 20 years. Measurements from 2018 show that the remaining settlements are in range of 20 mm during the next 15 years.



Graph 5. Result of compression calculations. Compression movement decrease logarithmically over time.

Peat compaction under the load, small rise after removal of surcharge and reaching the equilibrium point can be visualized as spring model as it is shown on Figure 3.

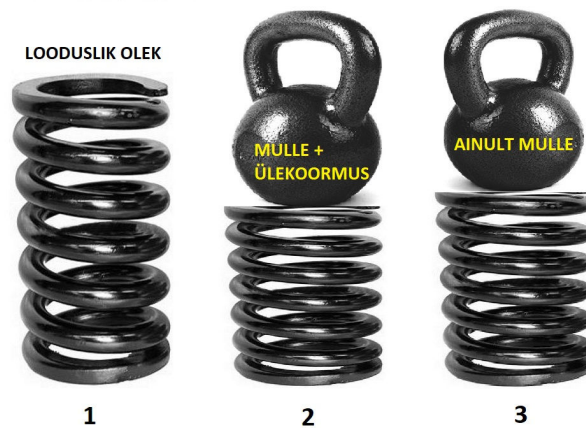


Figure 3. Spring model of peat loading and compaction. (1 natural stage, 2 embankment and surcharge load, 3 only embankment load).

3.1 Comparison of measured and calculated settlements

Figure 5 graph and whole indicated report represents settlements after embankment was built. Thus, the first settlement has occurred before the start of measuring. At the same time, figure gives a good overall picture of later settlements, but is not comparable to the original settlement calculations.

For better comparison of total settlements average thicknesses table was made, what uses data from geological investigations in 2015 and 2019. In every section was drilled in 2-3 points and average values have been presented in following table and compared between.

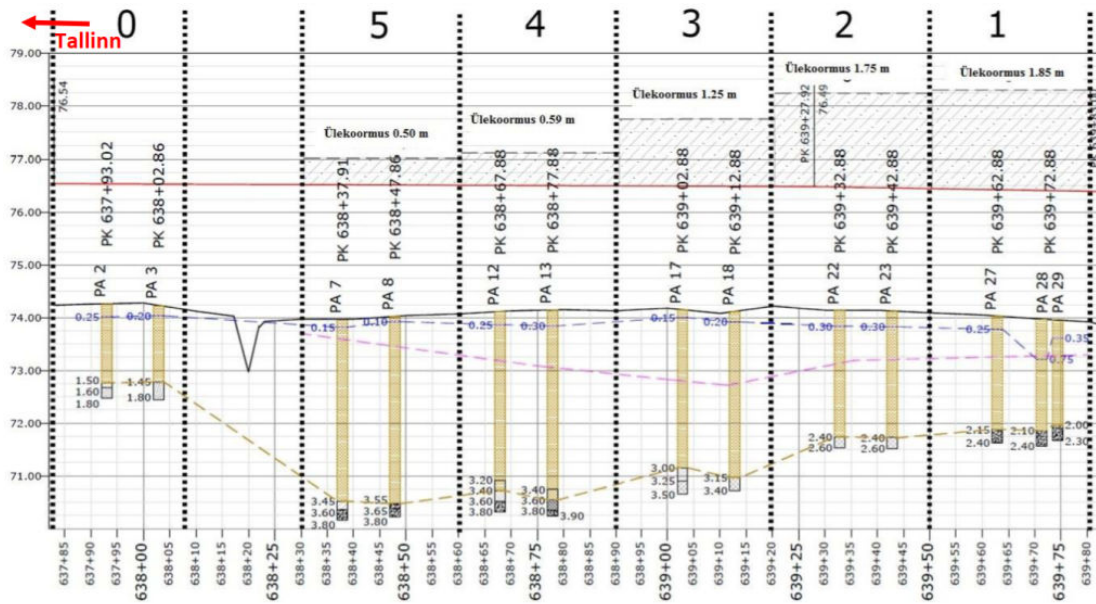


Figure 4. Surcharging scheme (Võõbu Final Report 2016).

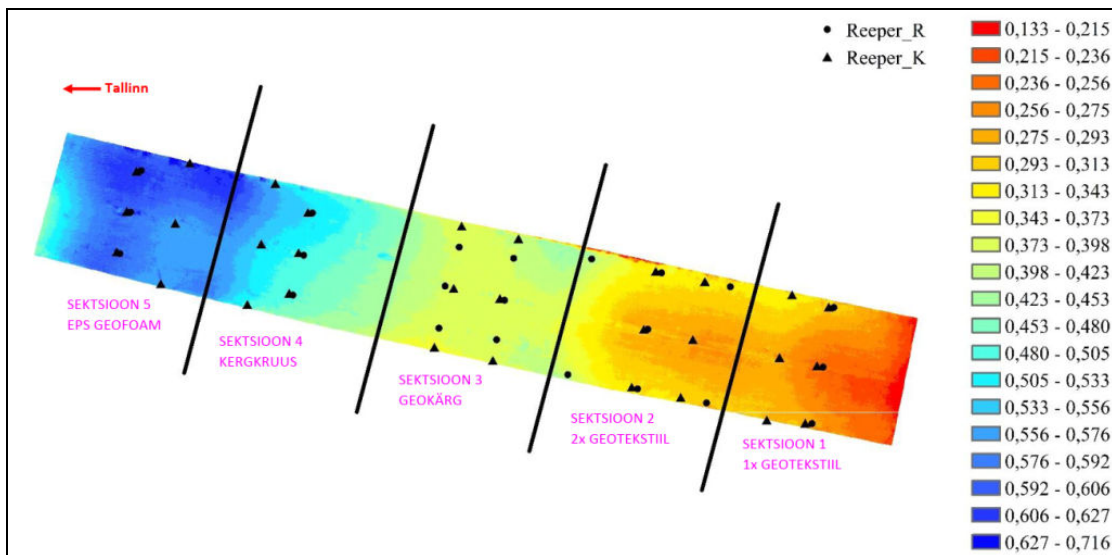


Figure 5. Total settlements of sections (m) 10.2015-06.2018 (Deformation Monitoring Report TT Ü 2018).

Table 4 represents the mean values and, for example, in section 2, the ground is at an incline of 40 cm perpendicular to the road axis. In addition, the ground below the peat falls in direction of road axes from section one to section five in length of 150 m - 1.5 meters in total. Settlements are in direct dependents on the size of the load and peat thickness.

The heavier construction sections on thinner peat section 1 and 2 have settled with highest percentage - up to 50% of the original thickness of the peat. Other sections settlements have remained in about 40% of peats original thickness, regardless of total thickness of the peat (2,2-3,3m).

Table 4. Average thicknesses of peat in 2015 and 2019

Section no	Peat thickness (m) 2015 *	Peat thickness (m) 2019	Total settlement m (m)	Settlements %
1	1,9	1,0	0,9	47
2	2,2	1,25	0,95	43
3	2,85	1,7	1,15	40
4	3,2	1,95	1,25	39
5	3,3	1,95	1,35	41

* In 2015 ground was covered with water and according to geological investigations peat started in depth of 20 cm

In 2015, calculations were made for three sections, which differed in their weight. For sections with similar weight 1-3 representative section 2 was chosen, for second chosen section was section 4 with LWA gravel and third section with EPS. Thirst three embankments bulk weight is 2000 kg/m^3 , a fourth section LWA 300 kg/m^3 and the EPS 100 kg/m^3 .

Table 5 shows that sections without mass reducing materials 1-3 (geotextiles and geocell section) calculated values and the measured settlement have very small difference, that remains within 3%. The biggest difference is in the LWA gravel section where the calculated settlement is 40% smaller than the actual one. In the fifth segment, or EPS, the actual settlement is 15% greater than the calculated one.

Table 5 : Comparison table between calculated and measured settlements

Section no	Calculated depreciation (m) 2015	Measured depression m (m) 2019	% Difference between calculated and measured error
1	0,92	0.95	- 3.2
2			
3			
4	0,74	1.25	- 40.8
5	1,15	1.35	- 14.8
Mean difference %			- 13,0

Taking account, a large variation of peat layer thickness realistic calculation accuracy is about 10-20% and the average value of 13% corresponds to the assumption. The first sections calculation had a very high degree of accuracy and this refers to coincidence of choosing good soil model.

The fourth and fifth sections mass reducing constructions calculations do not consider surcharging, but however surcharge has been used. Surcharge effect can be assumed in range of 20% increase in the settlements. So, without the preload difference between measured and calculated settlement would be 5% (fifth section) and 20% (fourth section). EPS section calculated settlement difference from measured settlement remains in assumed difference cap also without taking account surcharge.

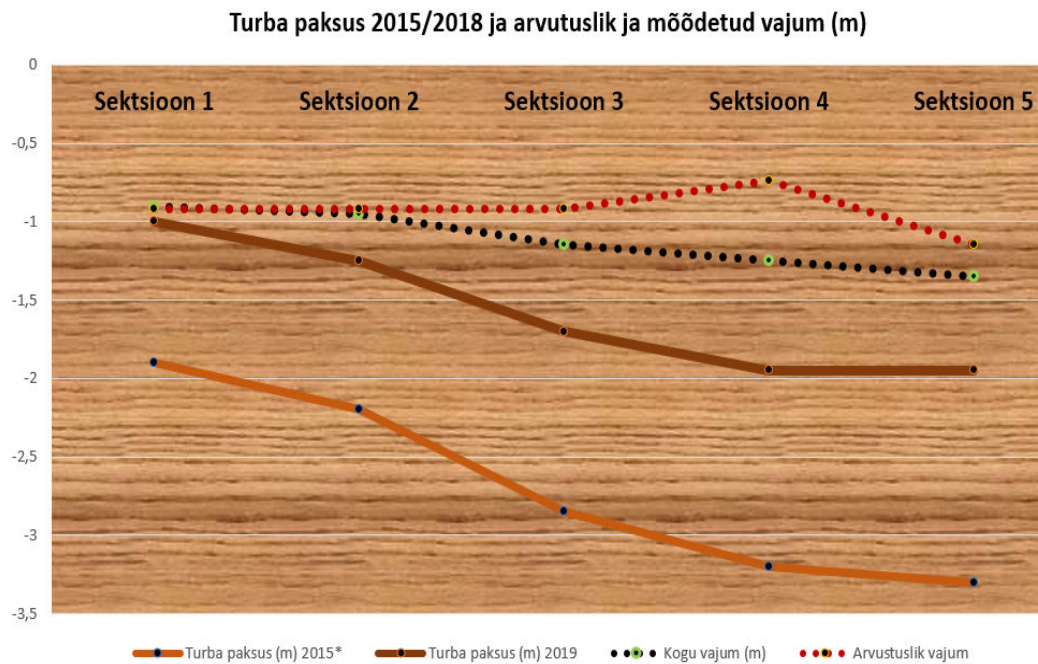


Figure 5. Change in peat thickness 2015-2018 and calculated and measured consolidation.

Figure 5 shows correlation between settlements and peat thickness. That is, at the peat in natural state has always variable thickness what reflects also in uneven consolidation of peat. To compensate uneven consolidation, there must be at least 5 years between the preloading and the construction of asphalt layers.

The fourth section with LWA calculated settlement is undervalued and its causes can be better analyzed and compared with EPS section peat parameters (table 6).

Table 6. Peat calculation parameters comparison, sections 4 and 5.

Section / Properties of peat	4.LWA gravel	5. EPS
1) Compression. index Cc (x0.9)	2	5
1) Porosity e0 (x0.9)	6	11
Consolidation input	Constant c v	Variable k
2) Compression. index Cc (x0.9)	6	7
2) Porosity e0 (x0.9)	12	15
Consolidation input	Constant c v	Variable k

As the results of the EPS section calculation had better correlation with actual settlements, then using same values for LWA section would improve LWA section calculation results correlation with measured settlements. LWA calculations used too conservative porosity and consolidation parameters and EPS results would have improved if same parameters would be even larger.

Conclusions

The aim of this study was to analyze Kose - Võõbu test section geological investigation results made in 2015 and 2019, the calculations made on basis of those reports and also the land survey results made continuously between those years. Results of analyzes have been presented in tables, graphs, drawings, and text. Main conclusions are following:

- 1) Peat is well consolidated (Figures 1 and 2) and the experimental section can be introduced as a highway section with current embankment structure.
- 2) Peat is consolidated evenly, and roadbed stability is good in all sections (Figure 5).
- 3) 99 % of peat settlements has already taken place and continuous compaction after asphalt layers are built during years to come will be in range of 20mm. (Graph s 4 and 5)
- 4) Peat strength has increased on average 3 times during preloading – 6 to 15kPa (graph 2 and table 3).
- 5) Peat water content has dropped an average of two times form 666% to 273% (Graph 1 and Table 2) .
- 6) Peat settlement during surcharge is in the range of 40-50% from original thickness on the all sections (Table 4).
- 7) The best correlation between calculated and measured settlements are on sections 1-3, where the difference was only 3% (Table 5).
- 8) Settlement calculations gave an average of 13 % smaller settlement than measured one (Table 5).
- 9) The settlements should be monitored more constantly, now there is 1,5 y cap in measurement data between 2016- 2018. Before building new constructional road layers new land survey points should be added to separate the new and old layers settlement.

Test section built on peat has proven its purpose and peat under all sections has been consolidated well. It can be concluded that test section can be used for constructed road embankment. It has to be emphasized that all conclusions were derived from statically loaded case and test section has not been loaded with dynamic traffic loading. It is important to monitor test section under traffic loading in order to recommend further usages of similar solutions in conjunction with high traffic volumes. Appropriate time for that is current study period (2019 – 15.11.2021).



2978

GEOTEHNILISED UURINGUD

**Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa
Kose - Võõbu katselõik km 67,067-67,256
Paide vald, Järvamaa**

Puurmeister

T.Zimovets

Autor

Kaarel Grünberg

Tallinn, 2019

SISUKORD

I Tekst

1. Üldosa
2. Geoloogiline ehitus ja pinnaseomadused
3. Puuraukude kirjeldused ja turba looduslik veesisaldus Wn
4. Uuringupunktide kataloog

II Lisad

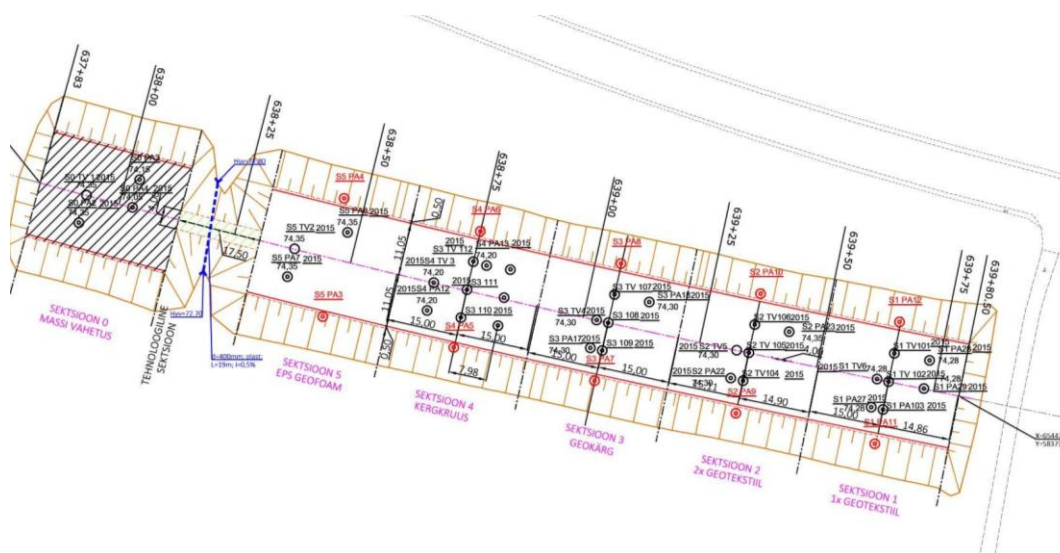
- Labori analüüside tulemused
- Puuraukude asendiplaan (Joonis 1.1)

1. ÜLDOSA

Asukoht ja ehitise iseloomustus

Uuritud katselõik paikneb Järvamaal Paide vallas riigimaantee nr 2 Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa km 67,067-67,256 läheduses ca 30m tee teljest paremal. Katselõik on jagatud erinevate konstruktsioonide kaupa 6 erinevaks u 30m pikaks sektsiooniks (sektsioonid 0 – 5). Konstruktsioonid jagunevad tüübilt kolme kategooriasse, massivahetus (sektsioon 0), kerg-konstruktsioonid (sektsioonid 4 ja 5) ning nn. ujuvad geotekstiiliga konstruktsioonid (sektsioonid 1-3).

Käesolevad uuringud on jätkuks katselõigul 2015. aastal teostatud uuringutele eesmärgiga hinnata turba omaduste muutust ajas katselõigu konstruktsioonide all.



Joonis 1. Katselõigu konstruktsioonide skeem

Tellijä

Uuringud tellis TalTech Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Teedeehituse ja geodeesia uurimisrühm, kontaktisik Sven Sillamäe.

Kasutatud raportid

- „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu lõik km 40,0 - 68,0“, OÜ Reaalprojekt töö nr GL14017, juuli 2014.
- „Mnt nr 2 Tallinn - Tartu - Võru – Luhamaa Kose - Võõbu katselõik km 67,067-67,256“, AS Geotehnika Inseneribroo G.I.B töö nr 2622, juuni 2015.

Uurimistöõde mahud

Välitööd tehti 09-10. oktoobris 2019 a. Geoloogilise ehituse uurimiseks puuriti 10 puurauku (PA) 4,0...5,9 meetri sügavuseni teepinnast puurmasinaga GM65 GTT tigupuurimismeetodiga läbimõõduga 110mm. Igas sektsioonis tehti 2 puurauku mõlemal

pool muldkeha servas, väljaarvatud massivahetuse sektsioonis, kust on turvas juba väljakaevatud. Puuraukudest võeti kokku 60 veesisalduse proovi, mida teimiti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse geotehnikalaboris. Saadud katseprotokollid on lisatud käesoleva köite koosseisu.

2015. aastal paigaldati igasse sektsiooni läbi teekonstruktsiooni spetsiaalsed torud tiivikkatsete teostamiseks. Torude otsi ei olnud enam konstruktsioonide peal näha ning nende seisukord oli teadmata, mistõttu teostati 3. sektsioonis kontrollkaevamised torude seisukorra hindamiseks. Kaevamiste käigus tiivikkatsete jaoks varasemalt paigaldatud torusid ei leitud ning tõenäoliselt eemaldati need ehituse käigus. Seetõttu polnud algselt planeeritud tiivikkatseid võimalik teostada ja turba omadused määrati tuginedes veesisaldusele.



Foto 2. Tiivikkatsete jaoks paigaldatud torude otsimine

Puuraukudes esinenud kihid kirjeldati, mõõdeti ja talletati hilisemaks töötluseks välipäevikusse. Samuti registreeriti puuraukudes esinenud pinnasevee tase.

Välitööde käigus paigaldati 1. sektsiooni muldkeha kõrvale ka 2 reeperit (RP), mis toetuvad aluspõhja lubjakivile. RP-1 paigaldati 4,7 m ja RP-2 4,5 m sügavusele maapinnast. RP-1 varraste kogupikkus on 5,0 m ja RP-2 4,66 m. Teostatud puuraukude ja paigaldatud reeperite asukohad on toodud puuraukude asendiplaanil (*joonis 1.1*).

Tööd teostasid puurmeister Tõnu Zimovets ja Uku Ostrat. Aruande koostas Kaarel Grünberg. Uuringute tegemisel ja aruande koostamisel on juhindatud MKM-i määrusele nr 32 „Ehitusgeoloogilistele uuringutele esitatavad nõuded“.

2. GEOLOOGILINE EHITUS JA PINNASEOMADUSED

Reljeef

Reljeefi üldine tõus on loodest kagu suunas (Koselt Võõbu poole). Vaadeldav katselõik kulgeb Kõrvemaa maastikul asetseval sool. Pindmise loodusliku kihina esineb katselõigul turvas ja muda. Turba ja muda lamamiks on tolmliidvad, fluvioglatsiaalsed liivad, saviliivad ning moreen (glatsiaalse tekkega pinnas).

Geoloogiline ehitus ja turba omadused

Kihid eraldati välja välitöödel saadud puurimistulemuste ja laborianalüüside andmete järgi. Pinnaste täpsemad kirjeldused ja lasumissügavused on toodud lõigul eelnevalt teostatud uuringutes.

Puuraukude kirjeldused on toodud raporti lõpus. Laborianalüüside tulemused on esitatud lisas.

Käesolevate uuringute käigus keskenduti katselõigu konstruktsioonide all oleva turba omaduste määramisele tuginedes pinnase veesisaldusele. Kõige suurem turbakihi keskmise veesisalduse muutus (448,7%) toimus 1. sektsioonis, mida võib põhjendada ka sellega, et antud piirkonnas oli looduslikult kõige õhem turbakiht. Sektsioonide 2 – 4 keskmise veesisalduse muutus jäi küllaltki sarnasesse suurusjärku (365,6 – 373,7 %). 5. sektsioonis oli looduslikult kõige suurem turba paksus, kuid pinnase keskmise veesisalduse muutus oli eelnevatest sektsioonidest suurem (410,7%). Vaadates 3. peatükis toodud pinnase veesisalduse graafikuid, siis 5. sektsioonis toimub järsem muutus just turbakihi ülemises osas, mida võib põhjendada sellega, et kõrval olev massivahetuse sektsioon mõjus antud lõigu pealmisele osale dreniivalt.

	Keskm. Wn 2015.a juunis %	Keskm. Wn 2019. a oktoobris %	Muutus ajavahemikul %
Sektsioon 1 - geotekstiil	668,9	220,1	-448,7
Sektsioon 2 - 2x geotekstiil	620,9	255,0	-365,9
Sektsioon 3- geokärg	693,9	328,3	-365,6
Sektsioon 4 - kergkruus	688,2	314,6	-373,7
Sektsioon 5 - EPS geofaam	658,7	248,1	-410,7

Tabel 1. Turba keskmise veesisalduse Wn muutus

Turba looduslik veesisaldus Wn jääb vahemikku 64,4...429,7%, 2015. a juunis enne katselõigu ehitust oli pinnase veesisaldus vahemikus 600...800%. Loodusliku veesisalduse ja puuraukude kirjelduste täpsemad graafikud on esitatud peatükis 3.

Graafikutelt on veesisalduse järgi eristatav kolm erinevat horisontaalset turba kihti, mille omadused on järgnevad:

- 1) Tugevalt konsolideerinud turvas veesisaldusega 100...200%

Dreenimata nihketugevus $C_{uf}= 19$ kPa

- 2) Keskmiselt konsolideerinud turvas veesisaldusega 200...300%

Dreenimata nihketugevus $C_{uf}= 16$ kPa

- 3) Vähem konsolideerinud turvas veesisaldusega 300...400%

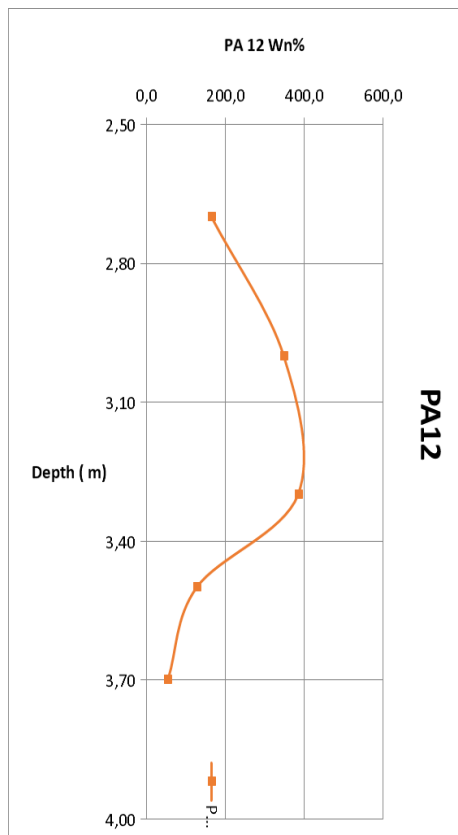
Dreenimata nihketugevus $C_{uf}= 14$ kPa

Keskmiised nihketugevused sektsioonide kaupa on toodud tabelis 2. Kuna antud uuringute käigus ei olnud võimalik tiivikkatseid teostada, siis on nihketugevuse väärtused antud vastavalt M. Metsa poolt koostatud üldistatud Eesti turvaste geotehniliste omaduste tabelile, mis on toodud M. Metsa TTÜ pinnasemehhaanika loengukonspektis.

	Keskm. Cuf kPa 2015. a juunis	Keskm. Cuf kPa 2019. a oktoobris
Sektsioon 1 - geotekstiil	6,0	17,0
Sektsioon 2 - 2x geotekstiil	5,0	16,0
Sektsioon 3- geokärg	6,0	14,0
Sektsioon 4 - kergkruus	6,0	14,0
Sektsioon 5 - EPS geofoaam	7,0	16,0

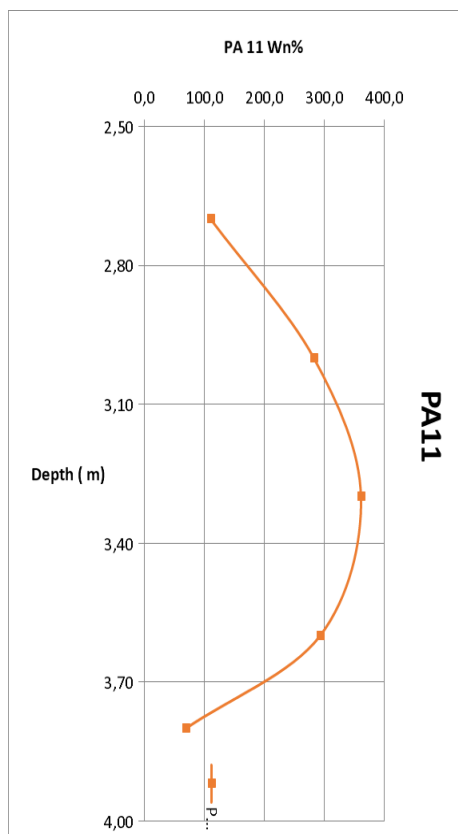
Tabel 2. Turba keskmine nihketugevus sektsioonide kaupa

3. PUURAUKUDE KIRJELDUSED JA TURBA LOODUSLIK VEESISALDUS W_n



PA - 12 – 1. sektsioon, vasak

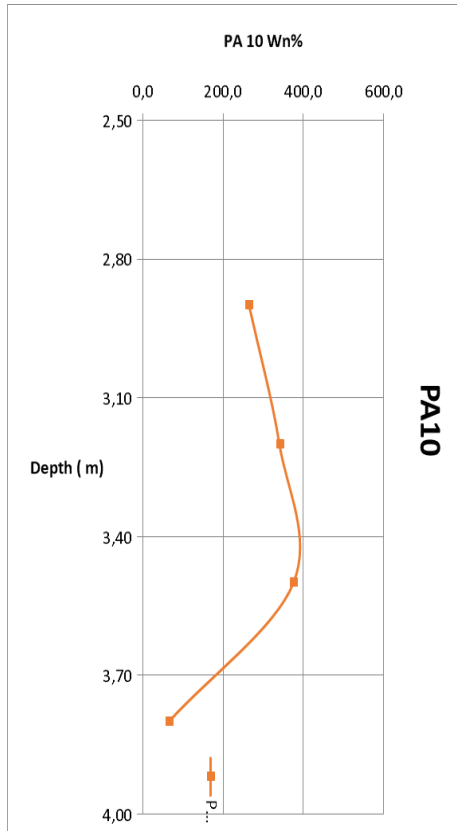
- 0.0 - 2.65 Täide
- 2.65 - 3.80 Turvas, alates 3,6 m mudane
- 3.80 - 4.00 Peenliiv, hall, tihe



PA - 11 – 1. sektsioon, parem

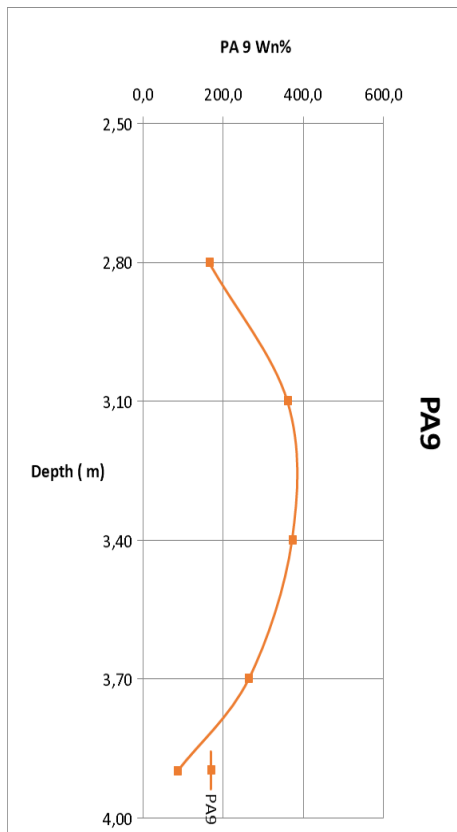
- 0.0 - 2.70 Täide
- 2.70 - 3.75 Turvas
- 3.75 - 3.90 Mudane turvas, hästilagunenud
- 3.90 - 5.00 Peenliiv, hall, kesktihe, veeküllastunud

Vesi 1.90



PA - 10 – 2. sektsioon, vasak

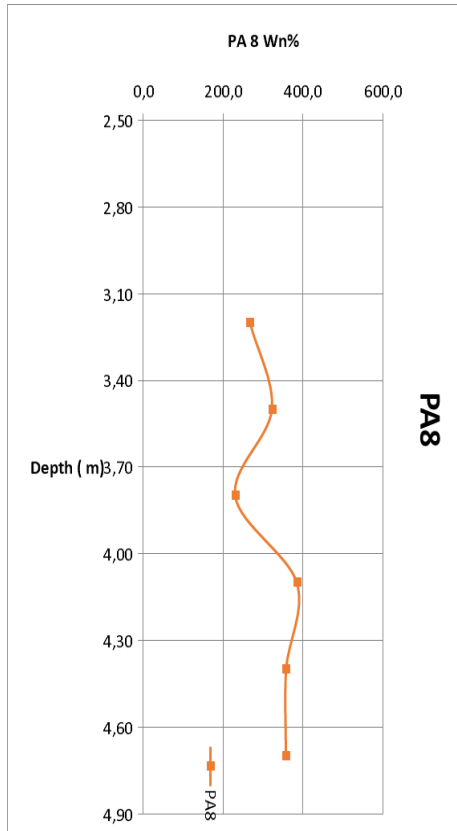
- 0.0 - 2.80 Täide
- 2.80 - 4.00 Turvas
- 4.00 - 4.30 Peenliiv, hall, tihe



PA - 9 – 2. sektsioon, parem

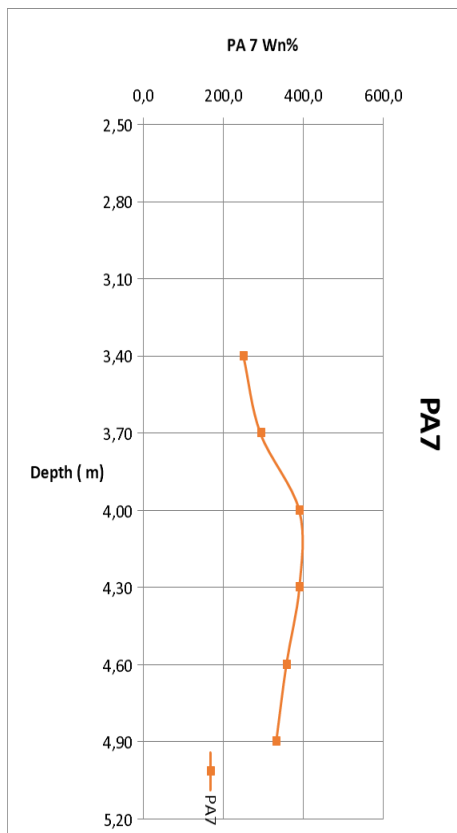
- 0.0 - 2.80 Täide
- 2.80 - 3.60 Turvas
- 3.60 - 4.00 Mudane turvas
- 4.00 - 4.20 Peenliiv, hall, tihe, veeküllastunud

Vesi 1.90



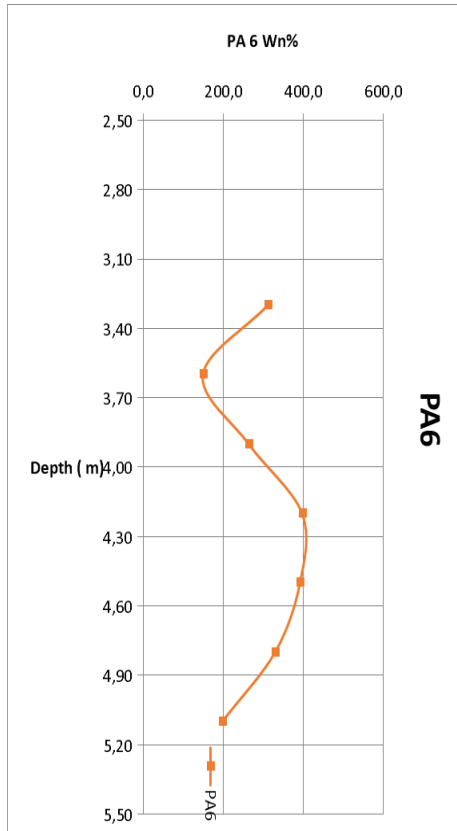
PA - 8 – 3. sektsioon, vasak

0.0 - 3.10 Täide
 3.10 - 4.80 Turvas
 4.80 - 5.00 Peenliiv, hall, tihe,
 veeküllastunud
 Vesi 0.25



PA - 7 – 3. sektsioon, parem

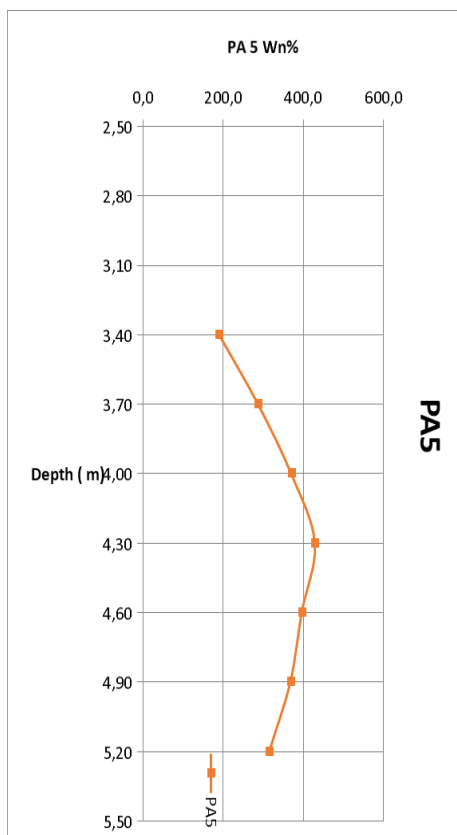
0.0 - 3.30 Täide
 3.30 - 4.50 Turvas
 4.50 - 5.00 Mudane
 hästilagunenud turvas,
 5.00 - 5.30 Peenliiv, hall, tihe,
 veeküllastunud
 Vesi 1.30



PA – 6 – 4. sektsioon, vasak

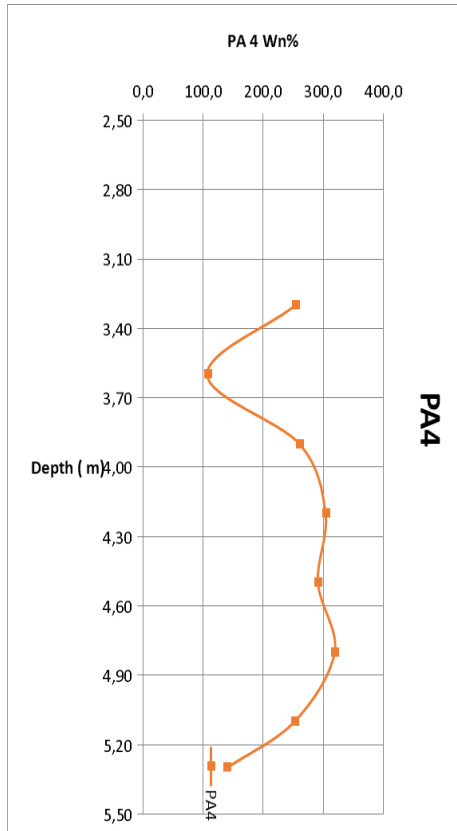
- 0.0 – 1.70 Täide
- 1.70 - 3.20 Kohev graanulitäide
- 3.20 - 5.20 Turvas
- 5.20 - 5.30 Savimöll, hall, pehmeplastne
- 5.30 – 5.50 Peenliiv, hall, kesktihe, veeküllastunud

- Vesi 1.20



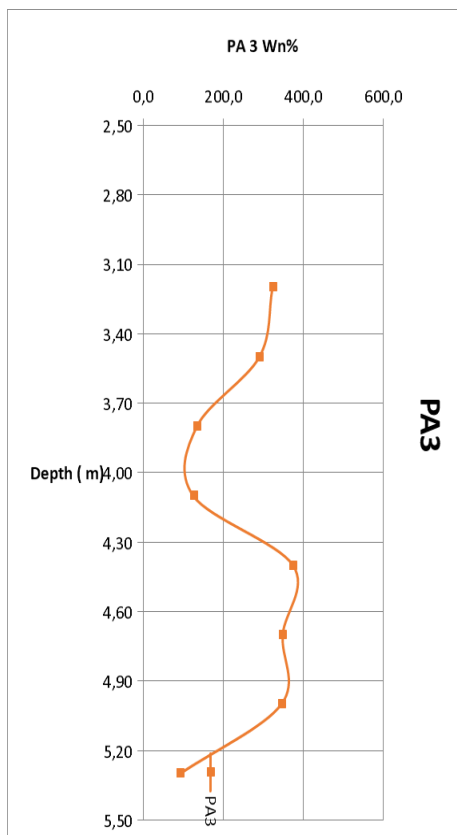
PA – 5 – 4. sektsioon, parem

- 0.0 – 2.40 Täide
- 2.40 - 3.40 Graanulitäide
- 3.40 - 4.60 Turvas
- 4.60 - 5.30 Turvas, mudane, hästilagunenud
- 5.30 - 5.60 Savimöll, hall, pehmeplastne, veeküllastunud
- 5.60 - 5.90 Peenliiv, hall, tihe, veeküllastunud



PA - 4 – 5. sektsioon, vasak

- 0.0 - 3.25 Täide
- 3.25 - 5.15 Turvas
- 5.15 - 5.30 Järvelubi
- 5.30 - 5.50 Peenliiv, hall, tihe, veeküllasutnud



PA - 3 – 5. sektsioon, parem

- 0.0 - 3.10 Täide
- 3.10 - 5.10 Turvas
- 5.10 - 5.30 Turvas järvelubjaga
- 5.30 - 5.50 Peenliiv, hall, tihe, veeküllastunud

4. UURINGUPUNKTIDE KATALOOG

PA	Sektsioon	X koordinaat	Y koordinaat
3	5	6544787.21	583602.73
4	5	6544811.94	583607.23
5	4	6544780.75	583630.17
6	4	6544805.06	583635.72
7	3	6544773.79	583659.65
8	3	6544798.30	583665.20
9	2	6544766.96	583689.27
10	2	6544791.97	583694.43
11	1	6544760.58	583718.35
12	1	6544786.10	583723.52

Tabel: 1 LOODUSLIK VEESISALDUS	Objekt: Kose-Vööbu katselõik	Teimiprotokoll: 19GB - 19
--	--	-------------------------------------

Labori nr.	PA nr.	Proov		Kiht	W _n %	Labori nr.	PA nr.	Proov		Kiht	W _n %	Labori nr.	PA nr.	Proov		Kiht	W _n %	
		Süga- vus m	Abs.kör- gus m					Süga- vus m	Abs.kör- gus m					Süga- vus m	Abs.kör- gus m			
1690	PA8	3.20			267.6	1711	"	5.10			252.7	1732	"	4.00			390.8	
1691	"	3.50			322.4	1712	"	5.30			140.1	1733	"	4.30			391.1	
1692	"	3.80			230.6	1713	PA6	3.30			311.8	1734	"	4.60			358.5	
1693	"	4.10			385.0	1714	"	3.60			149.8	1735	"	4.90			333.2	
1694	"	4.40			358.1	1715	"	3.90			264.4	1736	PA5	3.40			190.4	
1695	"	4.70			357.5	1716	"	4.20			397.9	1737	"	3.70			287.7	
1696	PA10	2.90			265.2	1717	"	4.50			392.6	1738	"	4.00			370.4	
1697	"	3.20			341.0	1718	"	4.80			330.4	1739	"	4.30			429.7	
1698	"	3.50			376.1	1719	"	5.10			198.3	1740	"	4.60			396.6	
1699	"	3.80			65.4	1720	PA11	2.70			111.0	1741	"	4.90			368.3	
1700	PA12	2.70			165.4	1721	"	3.00			283.1	1742	"	5.20			315.5	
1701	"	3.00			349.0	1722	"	3.30			361.7	1743	PA3	3.20			324.0	
1702	"	3.30			385.0	1723	"	3.60			293.6	1744	"	3.50			291.1	
1703	"	3.50			127.7	1724	"	3.80			70.0	1745	"	3.80			134.8	
1704	"	3.70			54.7	1725	PA9	2.80			164.7	1746	"	4.10			126.0	
1705	PA4	3.30			254.1	1726	"	3.10			361.1	1747	"	4.40			375.3	
1706	"	3.60			107.1	1727	"	3.40			372.5	1748	"	4.70			349.4	
1707	"	3.90			261.0	1728	"	3.70			264.1	1749	"	5.00			346.0	
1708	"	4.20			304.1	1729	"	3.90			85.0	1750	"	5.30			92.8	
1709	"	4.50			291.5	1730	PA7	3.40			251.2							
1710	"	4.80			319.4	1731	"	3.70			293.5	Proovid on toodud: 11.10.2019						