

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond
Geoloogia instituut



TALLINN – HELSINGI RAUDTEETUNNELI TUULUTUSŠAHTIDE RAJAMISE KONTSEPTUAALNE PROJEKT

Magistritöö

Üliõpilane: Boleslav Kruglik, 176658 YAEM
Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSc, Tallinna Tehnikaülikool, lektor
Õppekava: YAEM14/15 - Maa-teadused ja geotehnoloogia

Tallinn 2020

AUTORIDEKLARATSIOON

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Boleslav Kruglik

.....

[allkiri ja kuupäev]

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.
Juhendaja: Tõnu Tomberg

.....

[allkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.
Kaitsmiskomisjoni esimees: Olle Hints

.....

[allkiri ja kuupäev]



Töö ID	2045M	Õppekava kood	YAEM14/15
Üliõpilane	Boleslav Kruglik	Matrikli nr	
Töö liik	Magistritöö	Õppeaine kood	
Juhendaja	Tõnu Tomberg	Ülesanne kehtib kuni	31.08.2020
Töö pealkiri	Tallinn-Helsinki raudteetunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projekt		
Pealkiri ingl k	Conceptual project for ventilation shafts of the Tallinn-Helsinki railway tunnel		
Töö sisu põhipunktid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asukoha valik ja kirjeldus 2. Geoloogilised ja hüdro meteoroloogilised tingimused 3. Mäendustingimused 4. Tehissaare rajamine 5. Tuulutusšahtide rajamine 6. Majanduslikud küsimused 7. Keskkonnakaitse ja ohutuse küsimused 8. Kokkuvõte 		
Seotud teadusprojekt ja/või asutus			
Lisamärkused			
Esitamise kuupäev	1. juuni 2020	Kaitsmise kuupäev	11. juuni 2020

SISUKORD

SISUKORD	4
ANOTATSIOON	8
ABSTRACT	9
SISSEJUHATUS	10
1 ASUKOHT JA SELLE LÄHIÜMBRUSE KIRJELDUS.....	11
2 GEOLOOGILISED JA HÜDROMETEOROLOOGILISED TINGIMUSED	14
2.1 Geoloogilised tingimused.....	14
2.1.1 Kristalne aluskord.....	15
2.1.2 Ediacara kompleks.....	15
2.1.3 Ugandi kihistu.....	15
2.1.4 Prangli kihistu	16
2.2 Hüdrometeoroloogilised tingimused	17
2.2.1 Kliima.....	17
2.2.2 Tuul.....	17
2.2.3 Lainetused	18
2.2.4 Hoovus.....	18
2.2.5 Veetase.....	18
2.2.6 Jääolukord	19
3 MÄENDUSLIKUD TINGIMUSED.....	20
4 TEHISSAARE RAJAMINE	21
4.1 Ala suurus ja saare kuju plaanis	21
4.2 Saare kõrgus merepinnast.....	21
4.3 Kaldakindlustus tehissaarel.....	22
4.3.1 Ebastabiilsed nõlvad.....	22
4.3.2 Tugevdatud nõlvad.....	22
4.3.3 Lehtvaiadest seinad.....	24
4.3.4 Kessoonidest piire	25
4.4 Töö tüübid tehissaarte ehitamisel	25
3. Kessoonidest piirde jaoks.....	26

4.5	Ehitusemeetodid	26
4.6	Tehissaare ehituse tehnoloogia valik	27
4.7	Tehissaare rajamise töömaht	29
5	TUULUTUSŠAHTIDE RAJAMINE	31
5.1	Tuulutusšahtide läbindamise tehnoloogiad	31
5.1.1	Puur-lõhketööd	31
5.1.2	Läbinduskombainid	32
5.1.3	Kessoonläbindamine	33
5.1.4	Külmutamine	34
5.2	Tuulutusšahtide läbindamise tehnoloogiad valik.....	37
5.2.1	Lõhkamine	38
5.2.2	Koristamine ning laadimine.....	38
5.2.3	Tõste	38
5.2.4	Tuulutus.....	39
5.3	Šahtide asukoht ja parameetrid	40
5.3.1	Šahtide asukoht.....	40
5.3.2	Šahtide parameetrid.....	40
5.3.3	Šahtide seksioneerimine	41
5.4	Šahtide läbindamise tehnoloogia kirjeldus	41
5.4.1	Šahtide rajamise ettevalmistustööd	41
5.4.2	Tuulutusšahte läbindamise etapid	42
6	PÕHILISED OHUTUSNÕUDED	49
7	TEHISSAARE EHTUSEL TEKKIVATE KESKKONNAMUUTUSTE ISELOOM.....	51
8	SOOVITUSED UURINGUTE SUUNAMISEL	52
	KOKKUVÕTE	53
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	54
	LISAD	57
	Lisa 1. Lõhketööde arvutamise meetodika	57
	GRAAFILISED LISAD	60
	Graafiline lisa 1. Tehissaare asendiplaan	61
	Graafiline lisa 2. Geoloogiline läbilõige.....	62

Graafiline lisa 3. Bermi läbilõige	63
Graafiline lisa 4. Kessooni läbilõige.....	64
Graafiline lisa 5. Tehissaare 3D plaan	65
Graafiline lisa 6. Tehissaare skemaatiline läbilõige	66
Graafiline lisa 7. Tuulutussahtide seksioneerimine.....	67
Graafiline lisa 8. Tuulutussahtide krae läbilõige	68
Graafiline lisa 9. Tuulutussahtide läbinduskombaini näide	69
Graafiline lisa 10. Lõhkeaukude paiknemine külmutanud liivakivis	70
Graafiline lisa 11. Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel.....	71
Graafiline lisa 12. Tuulutussahtide läbilõige	72
Graafiline lisa 13. Tehissaare plaan	73
Graafiline lisa 14 FINEST tunnelitrass	74

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 Mere sügavus Tallinna madalal	12
Tabel 3.1 Läbindatav geoloogiline läbilõige ja arvutatud mäerõhud [9]	20
Tabel 4.1 FINEST tunneli läbindamise maht kihtide kaupa	28
Tabel 5.1 Külmutamise meetodi peamised parameetrid [18]	36
Tabel 5.2 Tuulutussahtide koordinaadid L-Est97 süsteemis.....	40
Tabel 6 Tuulutussahtide läbindamise maht	42
Tabel 7 Puur-lõhketööde parameetrid külmutanud liivakivis.....	47
Tabel 8 Puur-lõhketööde parameetrid aluskorras.....	48

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Tallinna madala asukoht [35]	11
Joonis 1.2 Tallinna madala tuletorn [2].....	12
Joonis 1.3 Tallinna madala 3D [35].....	13

Joonis 2.1: Lihtsustatud tunneli trassi geoloogiline läbilõige [35]	14
Joonis 2.2: Tuule tugevuse esinemise tõenäosus erinevatest suundadest [8]	17
Joonis 2.3 Voolused Läänemeres [34].	18
Joonis 2.4 Geoloogiline läbilõige	19
Joonis 4.1 Pinnasepump-süvendaja tööpõhimõte ja liikumisskeem [40]	22
Joonis 4.2 Lainemurdja raudbetoonist [33]	23
Joonis 4.3 Bermi läbilõige.....	24
Joonis 4.4 Kessoonidest piirded Hiina tehissaarel Shenzhong sillal [15]	25
Joonis 4.5 Avatava põhjaga praam [15]	27
Joonis 4.6 Kessooni läbilõike	28
Joonis 4.7 Tehissaare 3D mudel	29
Joonis 4.8 Tehhisaare läbilõige	30
Joonis 5.1 Läbinduskompleks SVM [36]	32
Joonis 5.2 Läbinduskompleks RBR [36]	33
Joonis 5.3 Soolalahusega maapinna külmutamise üldskeem [17].....	34
Joonis 5.4 Maapinna külmutamine vedela lämmastikuga kasutades vertikaalsete külmutustorude paigutust [17]	35
Joonis 5.5 FINEST tunneli projekteeritud läbilõige [31]	39
Joonis 5.6 Tuulutussahtide seksioneerimise näide.....	41
Joonis 5.7 Šahti läbindamise esimene etapp, krae läbilõige.....	43
Joonis 5.8: Vertikaalne läbinduskombain [36]	44
Joonis 5.9 Läbindusplatvorm [29]	45
Joonis 5.10 Lõhkeaukude paiknemine külmutanud liivakivis	46
Joonis 5.11 Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel	48

ABSTRACT

FINEST is a tunnel designed to connect Finland and Estonia using a railway system and it will be situated under the Gulf of Finland.

At the moment, all traffic flow comes through ferry freight and it increases every year. That is the main reason why idea of this tunnel is so important and why it is currently on high demand. Also, FINEST allows Finland to connect with West and Central Europe via Rail Baltic, if it is constructed.

Construction of the tunnel is planned to start from both sides (Finland and Estonia). Firstly, utility corridor will be built, it has a smaller diameter, so the construction will be quicker. It will be followed with 2 railway tunnels about 10 metres away from the corridor. It is planned that both ends will be connected in the middle of the Gulf of Finland.

With tunnel construction an artificial island must be considered along with the vertical ventilation shaft (215 m deep in the water and 10 m diameter). Island must be spacious enough for residential buildings (for workers), office buildings, where monitoring can be carried out. Also ventilation systems, diesel generators, first aid spot, helipad, road network and railway platforms. To accommodate all those facilities, area of the island has to be around 10 ha. To build such an island 1 020 000 m³ of filament will be required. Tallinna madala lighthouse is a great spot and can be used for artificial island construction.

In the framework of this master thesis a preliminary project is made for ventilation shaft construction, which will be built along with the island.

The aim of this master thesis is to offer technical solutions for artificial island and ventilation shaft construction including calculations of volume of work, construction materials and availability from the area.

SISSEJUHATUS

FINEST tunneli projekt on kõige ambitsioonikam tuleviku projekt. Igal aastal liiklusvoog Eesti ja Soome riigi vahel suureneb, mis muudab antud projekti majanduslikult kasumlikuks. Kui Rail Baltica raudtee trass valmib ning Kesk-Euroopa ja Ida-Euroopa raudtee ühendatakse, suureneb kauba liikumine mitmekordselt ning sadama koormus tõuseb. Raudteetunneli rajamine aitab leevendada kasvanud koormust. Tänapäevane ühendus Soomega on ilmastikust sõltuv. Tormid võivad segada praamide liikumist või panevad need üldse seisma. Laeva ühenduse katkedes katkeb ka transport ja kaupade vedu. Tunneli rajamine lahendaks sellised probleemid, sest kaupade ja inimeste liikumine ei sõltuks ilmastikust. Raudtee tunnel omaks olulist rolli Eesti riigi kaitsmises, sest kui keegi tahab blokeerida mereteed, toimub kaupade ja inimeste liikumine läbi tunneli.

Eesti riigis puudub kogemus selliste tunnelite ja tehissaarte ehituses. Eeskujuks tuleb võtta teiste välisriikide kogemus, sest sarnaseid objekte on maailmas juba ehitatud ja need on olnud kasutusel juba aastaid.

Selle magistritöö raames on vaja välja pakkuda tehnoloogilised võimalused tehissaare ehitamiseks ja sellel avanevate tuulutussähtide läbindamiseks. Magistritöö on jagatud kaheks osaks. Esimeses osas on lahti kirjutatud tehissaare ehituse võimalused Tallinna madalikul. Valitakse kõige sobilikum tehissaare ehituse tehnoloogia ja materjalide vajadus. Teine osa on tuulutussähtide läbindamistehnoloogia valik.

Magistritöö tulemusena saab esialgse ülevaate tehissaare ja tuulutussähti läbindamise kohta. Käesolevas töös saadud tulemusi - arvutusi ja tehnoloogilisi lahendusi, saab tulevikus kasutada järgnevate täpsemate projektide koostamisel.

1 ASUKOHT JA SELLE LÄHIÜMBRUSE KIRJELDUS

FINEST tunneli eelprojektis on raudtee tunneli trass projekteeritud läbi Tallinna madala. Tallinna madal asub Soome lahes, mis hõlmab 29,5 tuh km² suuruse maa-ala. Soome laht on oma mõõtmetelt keskmiselt 420 km pikk ja 70 km lai, maksimaalne lahe laius on 130 km. Soome lahe keskmine sügavus on 38 m ning kõige sügavam registreeritud punkt on 121 m.

Tallinna madala piirkond, mille kogupindala on 6,03 km² (vt Tabel 1.1), asub Eesti Vabariigi territoriaalmeres (vt Joonis 1.1, Graafilise lisa 1). Tallinna madala keskpunkt asub Aegna saarest ~14 km, Prangli saarest ~15 km ja Kuradimuna madalast ~9 km kaugusel. Lähim punkt mandril on Viimsi poolsaare tipp, mis jääb ligikaudu 15,9 km kaugusele. Muuga sadamasse on Tallinna madalalt ligikaudu 27 km. Tallinna madala minimaalne sügavus on orienteeruvalt 3,2 m.



Joonis 1.1 Tallinna madala asukoht [35]

Tabel 1.1 Mere sügavus Tallinna madalal

Nr	Mere sügavus (m)	Madala pindala (km ²)
1	50	6,03
2	20	2,45
3	10	0,44
4	5	0,03

Tallinna madalast on teada juba hansakaubanduse ajast, mil veeteede ristumiskohal asuv madal põhjustas palju probleeme. Tallinna madalat on mainitud 1695. aastal Läänemere atlases, mille autoriks on Petter Gedda. Peeter I käsul paigaldati 1718. aastal Tallinna madalale hoiatav märk. Hilisematel aastatel kasutati madala hoiatusena erinevaid tulelaevasid ning tulepoid [2].

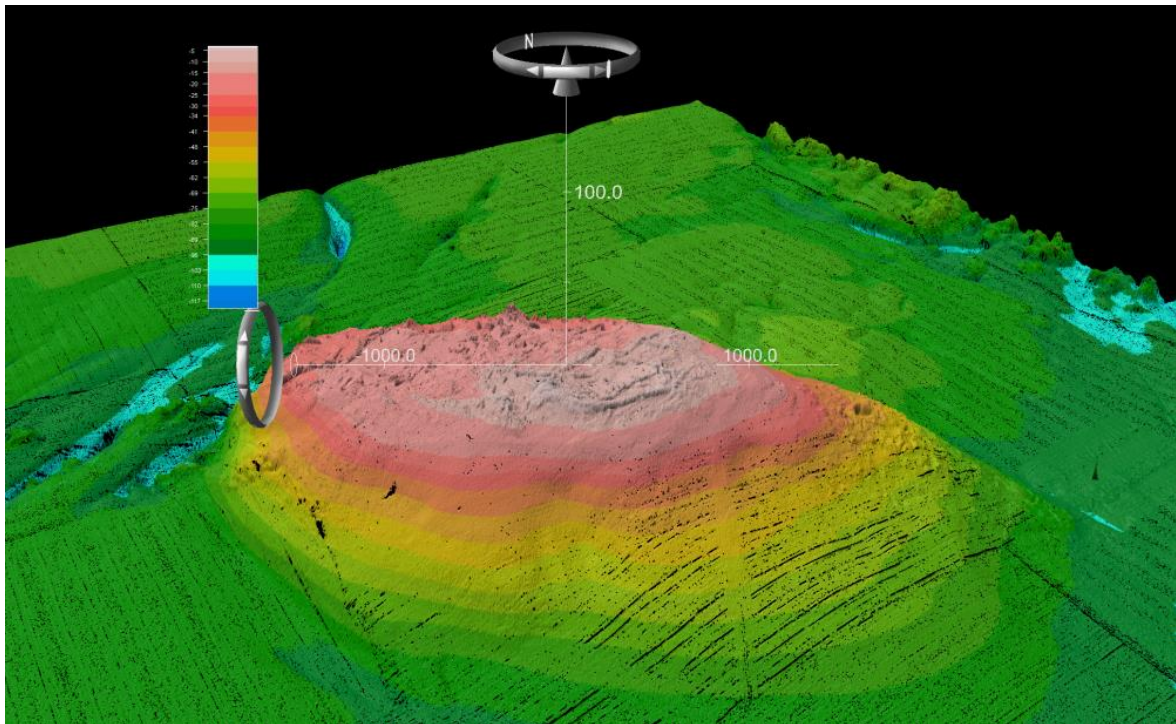


Joonis 1.2 Tallinna madala tuletorn [2]

Tänapäeval asub selles punktis Tallinna madala tuletorn (vt Joonis 1.2), mis hoiatab Soome lahel liiklejaid ning Tallinna lahest väljuvaid laevu ohtliku madala eest. Alljärgneval joonisel on toodud Tallinna madala 3D mudel, mis on tehtud Eesti Geoloogiateenistus poolt 2016. aastal uurimislaevaga Geomari (vt Joonis 1.3) [3].

Tallinnamadala tuletorni iseloomustavad parameetrid on järgmised:

- koordinaadid: X:6619665,40 Y:5411174,69;
- kõrgus jalamist 31 m;
- tule kõrgus merepinnast 29 m;
- nähtavuskaugus 18,5 km.

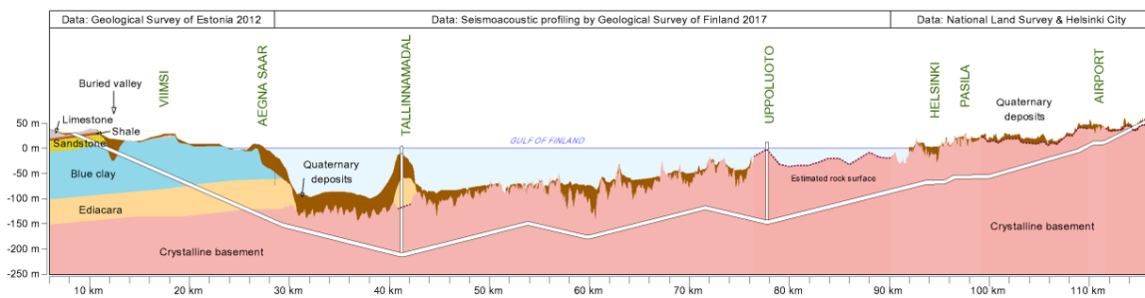


Joonis 1.3 Tallinna madala 3D [35].

2 GEOLOOGILISED JA HÜDROMETEOROLOOGILISED TINGIMUSED

2.1 Geoloogilised tingimused

Tallinna madala tuuma moodustavad liustikusetted (moreen). Täpsed geoloogilised andmed Tallinna madala ehituse kohta puuduvad, sest piirkonnas pole läbi viidud geoloogilisi uuringuid, mis ulatuksid pinnakattest sügavamale. Tallinna madala ümbrust on uuritud geoloogilise kaardistamise käigus ning seisreaktiivse sondeerimise tulemuste põhjal esitati madala geoloogilise ehituse kirjeldus. Kristalse aluskorra peal lasub voore laadne moodustis, mille tuuma moodustavad varasemate mandrijäätmiste, Ugandi ja Prangli kihistu setted. Need on kaetud viimase jääaja Järva kihistu moreeniga. 13 - 18 m sügavusel asendub kulutus- ja kuhjeala kulutusnõlvaga. Seda katab õhuke 1–5 cm paksune liiva või kruusa kiht. Kulutusnõlva jalamil esineb aleuriiti. Madalast loodesse jääb 10–30 m sügavune vagumus, mille tekkiminst on mõjutanud põhjalähedane hoovus. Tallinna madala piirkonna geoloogilise ehituse kujunemisel omab olulist osa piirkonna hüdrodünaamilised protsessid, millele viitab jäänuksetete laialdane levik. Madalal ja selle lähimbruses peeneteraliste settete ja jäänuksetete kiht praktiliselt puuduvad. Jäänuksetete kiht kaitseb madalat edaspidi tugeva lainetuse poolt tekitatud kulutuse eest. Antud piirkonnas on pinnakattes olevat moreeni kulutatud pika aja vältel. Liustikusetetel esineb suuri rändrahnede, munakaid ja veeriseid [4].



Joonis 2.1: Lihtsustatud tunneli trassi geoloogiline läbilõige [35]

2.1.1 Kristalne aluskord

Kristalse aluskorra pealispind lasub alal 100–160 m sügavusel ja see laskub, välja arvatud mõningad erandid Naissaare massiivi lõunapiiril, lõuna suunas 2–3 m/km kohta. Ala lauskurrutatud kristalne aluskord, mis on esindatud migmatiidistunud moondekivimitega, kuulub Jägala kompleksi [5].

Aluskorra kivimid on pindmises osas 1–20 m ulatuses murenenud – pindmine murenemiskoorik. Selle paksus sõltub aluskorra kivimite mineraalsest koostisest ja ka nende lõhelisusest. Esialgne murenemiskoorik on osaliselt erosiooni käigus kulutatud õhemaks. Kulutuse ulatusele viitab murenemiskooriku tsonaalsus. Läbilõigetes, kus on säilinud murenemiskooriku kõik 3 tsooni (ülalt alla): III ehk pude murenemiskoorik, II ehk savikas murenemiskoorik ja I – vähe murenenud kivimid, on see enam-vähem täielikult säilinud. Mida sügavam erosioonilõige, seda vähem on läbilõikes säilinud tugevamini murenenud kivimeid [5].

2.1.2 Ediacara kompleks

Ediacara kompleksi Kotlini lademesse kuuluvad purdkivimid (liivakivid, aleuroliidid, savid) lasuvad transgressiivselt, aluskorra murenemiskoorikul kirdesse түseneva 40–60 m paksuse lasundina. Gdovi ja Voronka kihistu ei ole alal teineteisest enam selgelt eristatavad ja seetõttu vaadeldaks alal Vendi ühtsena Kroodi kihistu koosseisus. Kroodi kihistu koosneb pisi- kuni keskterisest, nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud kollakashallist liivakivist, milles erinevatel tasemetel (põhiliselt kihistu ülaosas) esineb kirjuvärvilise (punakaspruun kollakate ja rohekashallide laikudega) õhukesi (alla 1 m) savika aleuroliidi vahekihte. Kihistu alumisel piiril on kohati kuni 1 m paksune, jämeterisest nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud liivakivist, graveliidist või peenkonglomeraadist koosneva basaalkonglomeraadi kiht [6].

2.1.3 Ugandi kihistu

Saale (Kesk-Vene) jäätumisele vastavasse Ugandi kihistusse (QIIug) loetakse tinglikult kõik viimasest jäävaheajast vanemad pinnakatte setted. Kihistu setted, mis on osalt mandriliustiku, osalt liustikualuste vooluvete kujundatud, levivad tänapäevases reljeefis saarte ja veealuste kõrgendikena väljenduvate suurvoorte tuumades allpool 50–70 m abs tasemel. Naissaare puuraugus on neid kirjeldatud 59,5 m abs tasemest allpool [6].

Ugandi kihistu moreen lasub vahetult aluskorra kivimitel ja (gIIug) on Naissaare puuraugus 123,5 m paksune. Moreen on pruunikashall kuni pruun ja väga tihe. Jämepurru sisaldus moreenis on tavaliselt 15–20% ja see koosneb 100% ulatuses suhteliselt hästi ümardunud kristalsete kivimite kruusast ja veeristest. Ugandi kihistu liustikujõelised setted (fIIIug) on samas esindatud 40,6 m paksuse, keskmiselt kuni hästi ümardunud kristalseid veeriseid sisaldava punakaspruuni kruusliivaga, mida katavad omakorda Järva kihistu moreenid [6].

Jääjärvelised glatsiolakustrilised või limnoglatsiaalsed Ugandi kihistu setted (lgIIug) on esindatud 1,5 m paksuse moreenide vahelise peenliiva kihiga [6].

2.1.4 Prangli kihistu

Prangli kihistu (QIIIpr) Mikulini jäävaheajale vastavaid Eemi mere setteid ei ole leitud uuritaval alal. Viimase, Weichseli (Valdai, Würm) jäätumise setted on Eestis jagatud kolmeks: peamiselt liustikuliste setetega esindatud Alam-Järva (Valgjärve), ja Ülem-Järva (Võrtsjärve) alamkihistuks, mida eraldab interstadiaalse iseloomuga Kesk-Järva (Savala) alamkihistu. Alam-Järva alamkihistu alumises osas, Eemi jäävaheaja ja Valgjärve glatsiaalsete setete vahel eristatakse pindalaliselt vähelevinud Kelnase kihistu periglatsiaalseid setteid [6].

Alam-Järva alamkihistu Kelnase kihistiku peeneteralisi setteid ei ole alal leitud. Et seni pole Põhja-Eestis Kesk-Weichseli ealiste setete esinemist tõestatud, loetakse võimalikud Kesk-Järva glatsiaalsed setted tinglikult Ülem-Järva alamkihistikku. Ülem-Järva alamkihistusse (QIIIjr3) kuuluvad kõik viimase maksimaalse jäätumisega seotud setted. Alamkihistu on esindatud liustikuliste, liustikujõeliste ning jääjärveliste setetega, nende paksus Naissaarel on 60 m ja Aegnal 31 m [6].

Vanuse järgi on viimase jäätumise moreene (gIIIjr3) raske liigestada, siis pindalalise leviku ning sellest tingitud lähtekivimite litoloogilis-mineraloogiliste iseärasuste järgi kuuluvad kõik ala moreenid klindiesise ehk rannikumadaliku moreenide hulka. Rannikumadaliku moreeni (gIIIjr3) paksus on valdavalt alla 20 m. Moreen paljandub vähe ja on enamasti kaetud nooremate mereliste setetega. Moreeni eripära on seotud sellega, et see pärineb Kambriumi ja Vendi settekivimite või aluskorra avamusalalt, kus karbonaatkivimid puuduvad. Moreen on sinakas- või rohekashall, küllalt savikas ning samas üsna vähese jämepurdse materjali sisaldusega. Kõige iseloomulikum on selle moreeni kivimiline koostis, milles kristalset materjali on tavaliselt üle 70 – 95%, seejuures happelisi kivimeid on 70 – 90%. Vähesel määral esineb suhteliselt pehmet aleuroliiti ja liivakive, veelgi harvem savisid [6].

Liustikuliste setetega on seotud alal leiduvad rändrahnud. Suuri rahne ja kivikülve on Viimsi poolsaare põhjaosas, Naissaarel ja Aegna saarel. Hiidrahnudest väärivad äramäkimist Põlendikukivi (310 m³), Lehtmetsa (170 m³) ja Männikukivi (120 m³) Naissaarel; kolm Lemmikneeme hiidrahn Aegna saarel (275 m³, 170 m³, 100 m³); Maisiniidi (397 m³) ja Pärnamäe (284 m³) hiidrahn Viimsi poolsaarel; Taari hiidrahn (264 m³) Rannamõisas; Männiku (238 m³), Rahumäe (135 m³) ja Merivälja hiidrahn (120 m³) Tallinnas. Kui kaugemale akvatooriumil taandus Pandivere liustiku serv enne Palivere pealetungi ning kas ja milline Prangli saare moreenikihtidest neile vastab, pole täpselt teada. Pandivere ja Palivere staadiumi moreenideks võivad osutuda varemalt Valgjärve ja Võrtsjärve alamkihistikesse loetud moreenid [6].

Viimase jäätumisega seotud liustikujõelised ehk glatsiofluviaalsed setted (fIIIjr3) alal iseseisvaid pinnavorme ei moodusta. Glatsiofluviaalsed eriteralised liivad- ja kruusliivad esinevad moreenisistest vahekihtidena. Aegna saarel lasub 10 m paksune veeristega kruusliiva kiht otse mereliste setete alla mattunud moreeni peal [6].

Jääjärvelised (glatsiolakustrilised või limnoglatsiaalsed) setted (lgIIIjr3) alal üldiselt maapinnal ei avane, kuid Naissarel paljanduvad need 8 m kõrguses Saviranna kaldaastangus 1,5 m paksuse merelise liivakihi all. Jääjärvelised setted on siin esindatud halli, ebaselge kihilisusega savika mölliga [6].

2.2 Hüdrometeoroloogilised tingimused

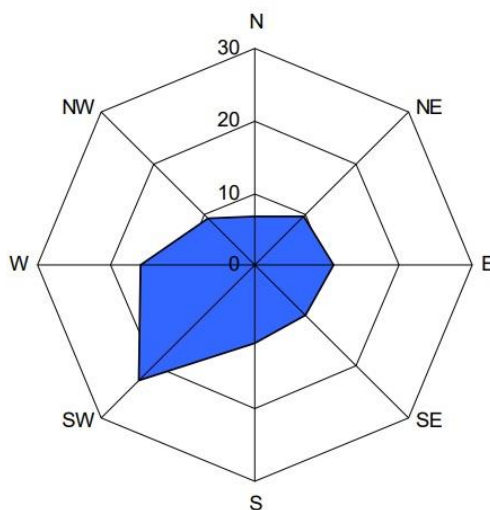
2.2.1 Kliima

Tallinna madala piirkonnas on merelise kliima tunnused – võrreldes sisemaaga on sügis soojem, talveilmad pehmemad, hilisem jahe kevad, tugevad tuuled, päikseliste päevade rohkus ning sademete vähesus. Õhu niiskus on mere ääres soojal ajal suurem võrreldes sisemaaga, pilvisem ja tihedamad vihmajärgid. Kõige külmem kuu on jaanuar ja veebruar, kõige soojem juuli [7].

2.2.2 Tuul

Talvel on piirkonnas valdavalt lääne- ja edelatuuled, suvel põhja - ja loodetuuled. Keskmine tuulekiirus septembrist märtsini on 6 - 9 m/s, aprillist augustini 4 - 7 m/s. Tervikuna võib 1 kuni 10 päeval kuus olla tuule tugevus 15 m/s. Torme esineb kõige rohkem oktoobrist kuni jaanuarini, suvel ja kevadel tormide aktiivsus väheneb [7].

Aasta jooksul esineb kõige rohkem suvekuudel läänest puhuvaid tuuli (vt Joonis 2.2), teistel aastaegadel lõuna- ja edelatuuli [7].



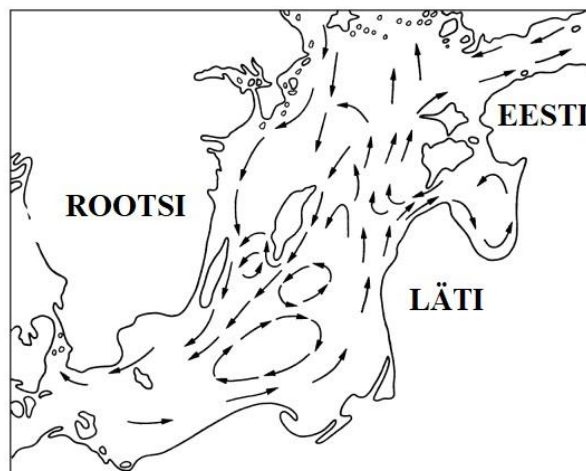
Joonis 2.2: Tuule tugevuse esinemise tõenäosus erinevatest suundadest [8]

2.2.3 Lainetused

Soome lahe avamerel esineb harva lainetust kõrgusega üle 4,5 m ja pikkusega 60 - 80 m, keskmine lainetuse kõrgus on 3 - 3,5 m ja pikkus 40 - 50 m. Laine kõrgus suureneb 20 – 30% liginemisel rannale, pikkus väheneb 30 - 40% ja teravus kasvab kuni 20%. Avatud, paraja sügavusega ranna ligiduses, on lainetuse iseloom nagu avamerel. Lahtedes sõltub lainetus kohalikest tingimustest [7].

2.2.4 Hoovus

Keskmine hoovuse kiirus mõõtmistulemuste põhjal on kuni 10 cm/s ja väiksem vähese tuule tõttu juuli keskpaigast augusti lõpuni. Hoovuste kiirused on suuremad lahe põhjaosas, üksiku sündmusena registreeriti maksimaalseks hoovuse kiiruseks 50 cm/s. Voolamised Tallinna lahe ülemises ja alumises kihis on peaaegu vastupidised vastavalt WSW ja NE suundadele. Ülemises kihis on voolamine küllaltki stabiilne ja püsiv. Alumises kihis domineerivad lühiajalised kõikumised. Tallinna lahe idapoolses lõpuosas oli voolamine peamiselt põhja suunas ja vähese muutlikkusega (vt Joonis 2.3), mis on otseselt mõjutatud merepõhja topograafiast ja rannajoone orientatsioonist [8].



Joonis 2.3 Voolused Läänemeres [40].

2.2.5 Veetase

Veetase Soome lahe veeseis on tavalisest kõrgem lääne ja edela tuultega. Tallinna lahe veetaseme muutumise andmed ja statistika põhineb perioodil 1842-1975. a, mille tulemused on vastavuses Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudiga. Vastavalt nendele tulemustele ületab kõrge veetase 124 cm ja madal veetase -95 cm piiri keskmiselt korra iga 100 aasta tagant – seega on veetaseme ekstreemne tõus Tallinna lahes suhteliselt harva esinev sündmus. Veetaseme muutumine loodetest on vähemärgatav, kõikumised on peamiselt põhjustatud õhurõhu ja tuulte mõjust. Maksimaalne mõõtmisperioodil registreeritud veetase Tallinna lahel oli +124 cm ja see kestis üle tunni aja ning minimaalne veetase oli -95 cm, mis kestis üle kümne tunni. Tallinna lahe

veetase on üldiselt madalam hilistalvel ja kevadel ning alates juulist, sügisel ja talvekuudel on veetase üle nulltaseme [8].

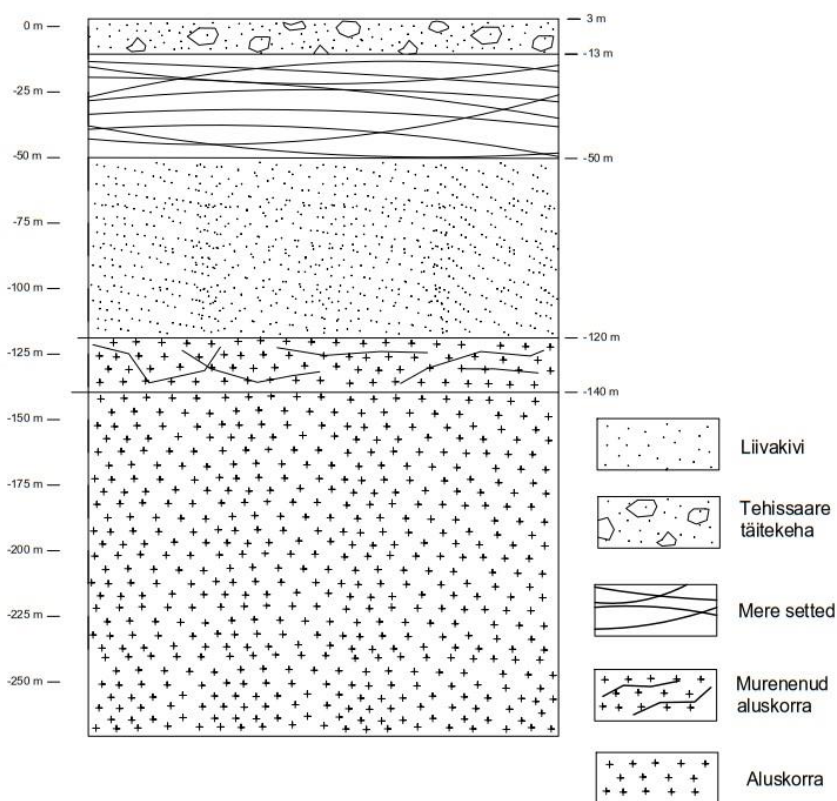
2.2.6 Jääolukord

Andmed jäätingimuste kohta Soome lahel ulatuvad aastasse 1920. Uuritud on lahe üldist kaetust jääga, kestvust, jääkatte paksust jne. Jäätingimused sõltuvad palju konkreetsest merealast ja talvede ilmastikutingimustest [8].

Üldiselt on Tallinna laht jääga kaetud igal aastal, kuid viimaste aastakümnete talvekuud on olnud pehmed ning seetõttu on jää välja kujunenud ainult rannajoone lähedal ja merejäät on muutunud suhteliselt harvaesinevaks [8].

Keskmiselt on laht jääga kaetud üheksandal päeval pärast esimese jää tekkimist. Maksimaalne jää paksus, milleks oli 73 cm, on Tallinna lahel registreeritud 1939-40 aasta talvel ning seda talve iseloomustavad ekstreemselt madalad temperatuurid [8].

Keskmine Tallinna lahe jääga kaetuse periood kestab ajavahemikus jaanuarist aprillini 70-80 päeva, maksimaalne periood on olnud 150 päeva. Jääkatte keskmine paksus jääkatteperioodi jooksul on 35 cm ja maksimaalne on olnud 73 cm. Jääkate hakkab murduma keskmiselt märtsi lõpus või aprilli alguses ja laht on jäävaba hiljemalt mai keskpaigaks. [8]



Joonis 2.4 Geoloogiline läbilõige

3 MÄENDUSLIKUD TINGIMUSED

Mäendustingimused on keerulised. Tehissaare ehituse etapil mängib suurt rolli meteoroloogilised tingimused, mida ei saa pikaajaliselt ette ennustada. Kõik täitmis- ja ehitustööd ning materjalide logistika sõltub ilmastikust.

Tuulutusšahtide läbindamis tuleb läbindada mitu erinevate füüsikalisi-mehaaniliste omadustega kihti (vt Tabel 3.1) – tihendatud tehissaare südamik, settekivimite kompleks, murenenud kristalne aluskord ja aluskorra kivimid sügavuseni kuni 215 m (vt Joonis 2.4, Graafiline lisa 2). Läbindada tuleb suure vee-erituvusega survelisi veekihte, peamiselt Ediacara liivakivides, kuid ka murenenud kristalliinses aluskorras. Seejuures on Ediacara liivakivide ehitus väga ebakorrapärase. Leidub nii tsementeerunud liivakivide osasid kui ka pudedaid veega segunenud alasid. Läbindamisel on oluline tagada kvaliteetne tööde teostamine, et erinevad veehorisondid oleksid peale tunneli šahtide rajamist teineteisest isoleeritud ja ei toimuks segunemist erinevate veekihtide vahel. Samuti tuleb vältida veekihtide reostamist, kuna veekihid on piirkonnas kasutusel ühisveevarustuse allikana [9].

Suure lasumissügavuse tõttu, tuleb läbindamisel arvestada suure mäerõhu ja kõrge temperatuuriga. Eestis geotermiline gradient on alla 30 C°/km kohta [10].

Tabel 3.1 Läbindatav geoloogiline läbilõige ja arvatud mäerõhud [9]

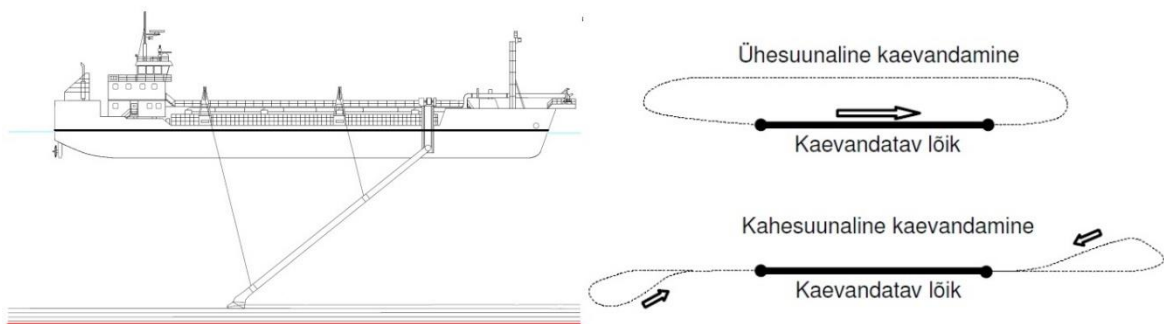
Kiht	Paksus	Mahumass		Mäerõhk		
	m	kg/m ³		MPa		
		Min	Max	Min	Max	Max suurenevalt
Kvaternari setted	8,6	1500	2200	0,126	0,185	0,19
Tiskre kihistu	7,4	1950	2100	0,141	0,152	0,34
Lükati kihistu	17,0	1900	2000	0,317	0,333	0,67
Sinisavi	41,1	2300	2400	0,926	0,967	1,64
Sämi	27,3	2250	2350	0,602	0,629	2,27
Ediacara	57,1	2000	2300	1,119	1,287	5,25
Murenenud kristalne aluskord	20,0	2000	2600	0,392	0,510	5,76
Rabakivigraniit	15,0	2650	2650	0,390	0,390	6,15
			Kokku	5,713	6,152	

4.3 Kaldakindlustus tehissaarel

Kuna projekteeritav tehisaare asukoht on Soome lahe akvatooriumil, siis selle rannajoon tuleb kaitsta lainetuse ja jää purustava mõju eest. Tehisaar tuleb lääneosas ümbritseda kaldakindlustuse rajatistega. Kaldakindlustus on eriti oluline, kuna see võtab esimeses järjekorras vastu lainetuse ja jää mõjud. [8] Tehisaare kasutuse periood sõltub kaldakindlustusest, mida tugevam see on, seda kauem püsib saarekeha stabiilsena ja ohutu kasutamisel. Võimalik on ehitada erineva kaldatüübiga tehisaari – ebastabiilsete nõlvadega, tugevdatud nõlvadega, lehtvaiadest seintega ja kessonidest piiretega.

4.3.1 Ebastabiilsed nõlvad

Sellised saared pestakse tavaliselt hüdro mehhaniseerimise meetodil liivast välja. Pinnasepumpsüvendaja (vt Joonis 4.1) sõidab tööpiirkonda, tööpiirkonnas lastakse vette torustik, mille otsas on süvenduspea. Vee survesüsteemi abiga löikab ning kulutab süvenduspea pinnasekihti ning pumpab selle läbi torustiku settebasseini [4]. Kallakute kalle on sügavusvahemikus 1: 8-1: 20. Õrn nõlv, kaitstes jää, liigsete lainete ja erosiooni mõjul ülemised struktuurid järk-järgult kaovad. Aja jooksul on vaja puhvertsooni mullamaterjali kogust täiendada. Seetõttu kasutatakse seda lahendust veetalade madalatel või kaitsealadel, kus eeldatakse materjali üsna madalat korduvtäitmise sagedust ja uurimusliku puurimise jaoks piisavat lühikest kasutusiga.



Joonis 4.1 Pinnasepump-süvendaja tööpõhimõte ja liikumisskeem [40]

4.3.2 Tugevdatud nõlvad

Nõlvade tugevdamine saavutatakse mitmesuguste kaitsekatete abil, mis püsivad lainete ja jääga kokkupuutel stabiilsed. Erinevad kaitsekatte tüübid on toodud järgnevalt:

- Liiva ja kruusaga täidetud sünteetilised kotid – antud meetod sobib rohkem sooja kliimaga piirkondadesse, sest talvel võib jää vigastada kotte ja vesi kannab kottide sisu laiali. Sellisel juhul ei ole tehisaare täidetud massiiv kaitstud ja kaob tehisaare stabiilsus [13].
- Üksteise külge kinnitatud raudbetoonist matid - raudbetoon matid on kalda kindlustamise meetod, mis on suure vastupidavusega. Samas on selle meetodi puhul materjali kulutused

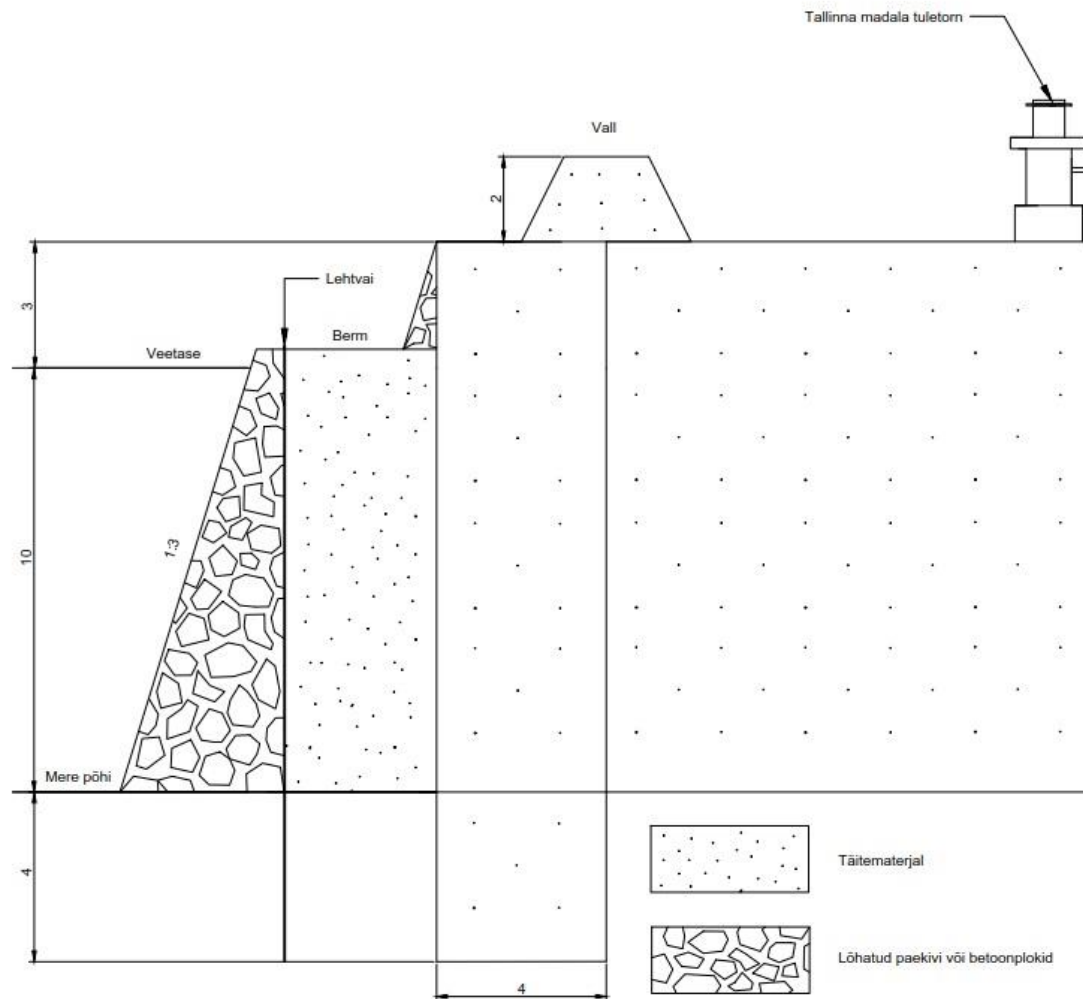
kõige suuremad. Tehissaare nõlvad tuleb teha suurema nurgaga ja selleks kasutatakse rohkem materjali [13].

- Kividega kontuurimine - see meetod seisneb selles, et tehissaare nõlvad täidetakse suurte kividega või raudbetoonist formeeritud lainemurdjatega (vt Joonis 4.2). Selline meetod kaitseb hästi tehissaare südamikku ja ei vaja suurt paigaldamise täpsust. Kivid või raudbetoonelemendid kallutatakse laevaga vette ja nende tühimikes võivad elada erinevad organismid ja kujuneda oma floora ja fauna [13].

Tavaliselt rajatakse tugevdatud nõlvad nõlvusega 1 : 3. Sageli rakendatakse abimeetmena veealust või veepealiste bermide rajamist (vt Joonis 4.3, Graafiline lisa 3), mis aitab vastu võtta esialgse lainete ja jää negatiivse mõju. Berm on kitsas tasandatud maariba, mis lahutab kahte eri kõrgusega ala, näiteks vee alune ja veepealne nõlva kontuuri [14].



Joonis 4.2 Lainemurdja raudbetoonist [33]



Joonis 4.3 Bermi läbilõige

4.3.3 Lehtvaiadest seinad

Tööpinna vajaliku kõrguse tagamiseks tehissaare merepõhja kohal, saab kasutada terasest vaiasid, millega kontuuritakse tehissaare täidetav osa. Neid kasutatakse sageli ehituseks. Terasvaiad saab täiendavalt omavahel ühendada, et tagada suurem stabiilsus. Saart ümbritsevat lehtteraskonstruktsiooni saab kasutada ankurdatud või ankurdamata vertikaalsete seinte kujul.

Lehtvaiad on ajutine meetod ja pikkajalistel projektidel vajavad need täiendavaid kinnitusi. Täitematerjali suur rõhk, millest moodustatakse tehissaare keha, võib vigastada lehtvaiadest seinatäitmise ajal.

4.3.4 Kessoonidest piire

Kessoonid toodetakse metallist või raudbetoonist ja võivad olla erinevates vormides. Ringkujulised vormid hoiavad survet nii sees kui ka väljas. Hüdrovasaraga pressitakse need mere põhja, vajadusel kuni kõva pinnaseni läbi mere muda (vt Joonis 4.4). Need asetatakse üksteise järgi kuni moodustatakse vajalik kontuur. Nende vahel võib panna hüdroisoleerivaid aineid või vahendeid, mis teevad tehissaare südamiku veekindlaks. Seejärel võib vajadusel vee välja pumbata ja teostada ehitustöid, kessoonid täidetakse täitematerjalidega ja saare piirjoon on stabiilne ja vastupidav mere lainetele.



Joonis 4.4 Kessoonidest piirded Hiina tehissaarel Shenzhong sillal [15]

4.4 Töö tüübid tehissaarte ehitamisel

Tehissaarte ehitamine koosneb järgmistest tööde etappidest:

- Täitematerjalide tarnimine (liiv, kruus, kivide segud ja kivid) ehitusplatsile.
- Kai ehitamine materjalide vastuvõtmiseks, tehniliste ja abilaevade sildumiseks.
- Tehissaare südamiku täitmine (tavaliselt tehakse tööd kahes etapis - esimeses etapis kuni õhe meetri kõrgusele veetasemest, teises etapis kogu kõrgusele).
- Tehissaare südamiku tihendamine.
- Nõlvade kontuuri ehitamine.
- Tehissaare veealuse osa kaitse erosiooni eest.

Sõltuvalt nõlvade kontuurkonstruktsioonide tüübist viiakse läbi järgmised tööd:

1. Nõlva konstruktsioonide jaoks:
 - nõlvade tasandamine;
 - filterriide paigaldamine mattide või kottide alla;
2. nõlvade kindlustamine – betooniga, kividega jne. Lehtvaia seinte jaoks:
 - terasvaiade rammimine pinnasese;
 - ankurdamine (välja arvatud konsoolideta ankrusein);
 - saare südamikku täitmine materjaliga.
3. Kessoonidest piirde jaoks:
 - kessoonide aluse merepõhja tasandamine (vajadusel);
 - transport ja paigaldus;
 - sektsioonide täitmine liiva- ja kivimaterjaliga.

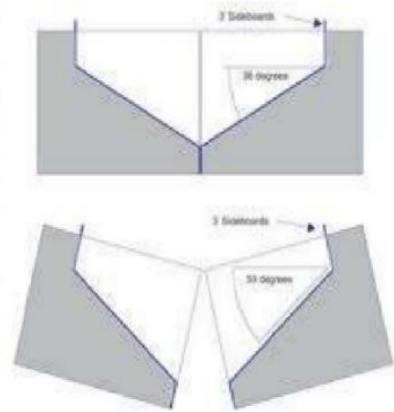
4.5 Ehitusemeetodid

Kõige olulisemat rolli tehissaare ehitusel mängib materjalide transpordi võimalused saarele. Transpordivõimalused määrab ehituseplatsil mere sügavus ja kaugus mandrist.

- täitematerjalide kohale vedamine laevaga või bargasiga, kui mere sügavus on üle 4 meetri;
- maanteetransport talvel jääteel (rannikust kuni 10 km kaugusel);
- hüdrotransport ujuva või põhjaga torujuhtme kaudu veealustest karjäärdest (sobiva pinnasega veealuste karjäärde olemasolul).

Tehissaare pinnasesüdamikku moodustamise meetodid:

- alumiste kihtide täitmine avatava põhjaga praamidega (vt Joonis 4.5), täitmise kõrgus sõltub praamide tehnilistest parameetritest;
- pinnasematerjal võetakse praamidelt (või veealustest karjäärdest) ja transportitakse ekskavaatoriga, konveieriga vms saare kehasse;



Joonis 4.5 Avatava põhjaga praam [15]

- pargastelt (või veealuste karjääridest) mahalaadimine pinnasepump-süvendajaga saare kehasse.

Ehituse algfaasis teostatakse tööd vee seest ja seejärel, kui pinnas jõuab veetasemest kõrgemale, siis kuival maapinnal. Sellisest tingimustes töötades on tehniliste vahendite kasutamisel võimalikud järgmised variandid:

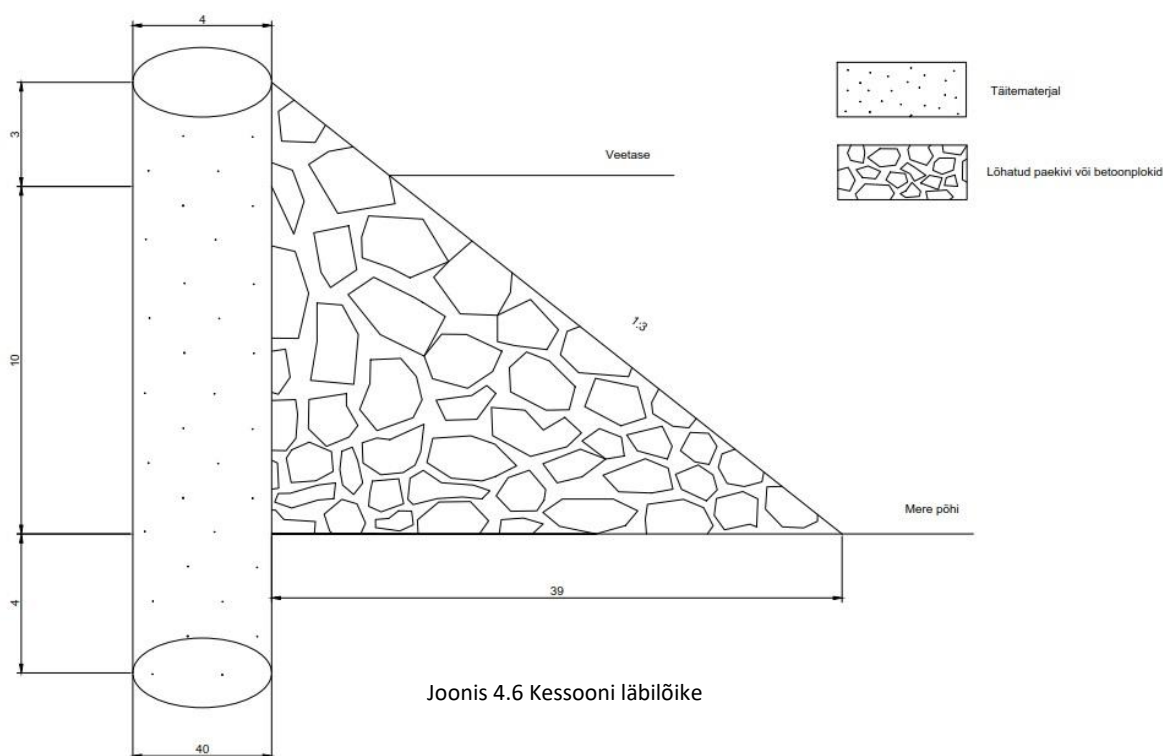
- ujuvkraana;
- kraanaga varustatud ehitusplatvorm;
- praamid, millele on paigaldatud kraanad ja ekskavaatorid.

Pärast saare keha täitmist veetasemest kõrgemale, saab kasutada peaaegu kõiki ranniku ehituses kasutatavaid tehnilisi vahendeid.

4.6 Tehissaare ehituse tehnoloogia valik

Tallinn – Helsinki tunneli tuulutusšahtide tehissaare ehitusel on kõige mõistlikum kasutada kõrge vastupidavusega kindlaid konstruktsioone. Tehissaar on planeeritud pikaajaliseks kasutamiseks, minimaalselt 100 aastat. Kasutame kessoonid (vt Joonis 4.6, Graafiline lisa 4) koos kivide kontuuriga, mis kaitsevad täitematerjalist saare südamikku. Läänepool võib jäämaterjalist üles ehitada ka bermi.

Enne kessooni paigaldamist, tuleb ette valmistada merepõhi. Kessoonid valmistatakse mandril ja transporditakse ujukraanaga kohale ning paigaldatakse mere põhja vajalikele punktidele üks- teise järjel, millist moodustub tehisare kontuur.



Joonis 4.6 Kessooni läbilõike

Peale kessoonide paigaldust need täidetakse täitematerjalidega laevast või bargast, konveierite või ekskavaatori abil. Võimalus on kasutada ka pinnasesüvendus laevasid, kuna lähedal mere põhjas asuvad on liiva varud, näiteks Kuradimuna madalikul.

Tabel 4.1 FINEST tunneli läbindamise maht kihtide kaupa

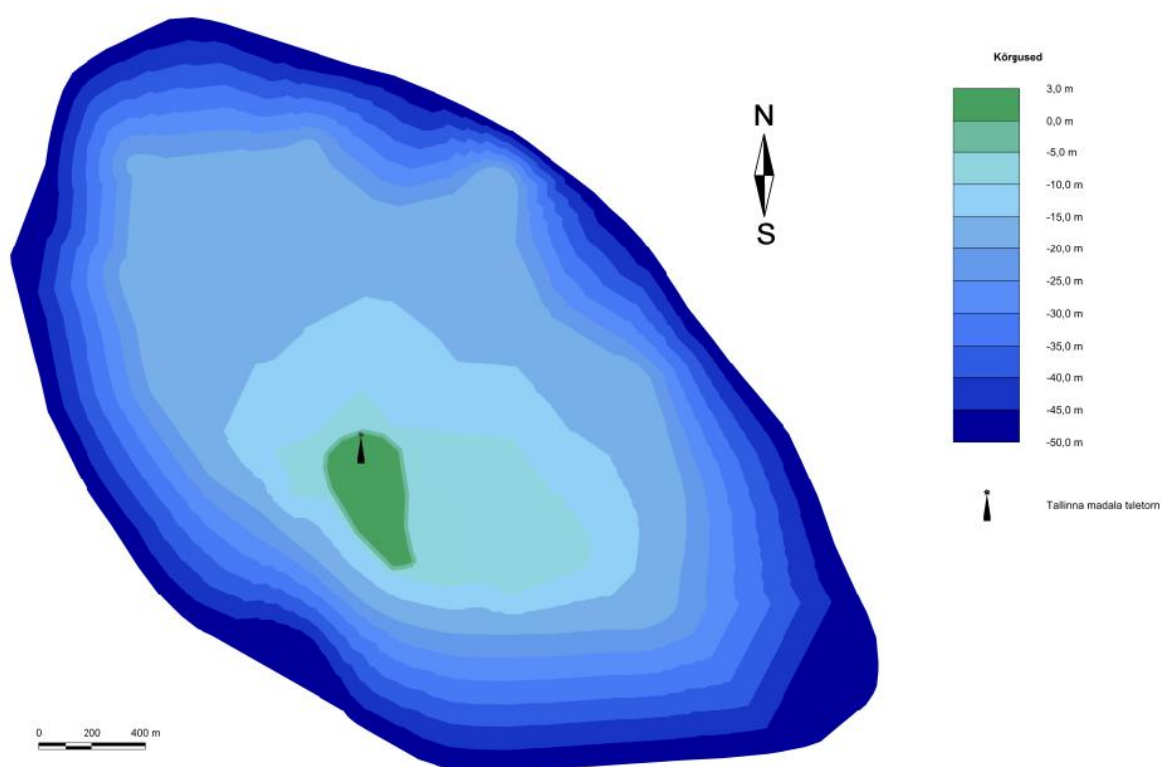
		Kogus, tk	Pindala, m ²	Pikkus, m	Läbindamismaht, m ³
Tiskre liivakivi	Raudteetunnel	2	50,24	2330	234 118
	Hooldustunnel	1	28,26		65 846
Sinisavi	Raudteetunnel	2	50,24	4280	430 054
	Hooldustunnel	1	28,26		120 953
Ediacara kompleks	Raudteetunnel	2	50,24	6440	647 091
	Hooldustunnel	1	28,26		181 994
Murenemiskoorik	Raudteetunnel	2	50,24	4050	406 944
	Hooldustunnel	1	28,26		114 453
Aluskord	Raudteetunnel	2	50,24	1920	192 922
	Hooldustunnel	1	28,26		54 259
			Kokku	19020	2 448 635

Samal ajal tuleb täita nõlvad suurte kivi- või raudbetoonükidega kaldenurgaga 1 : 3, kasutades selleks kraanat, mis asub laeval. Täitematerjalideks võib kasutada Tallinn – Helsinki tunneli rajamisel tekkinud jääkmaterjal, mis transporditakse kohale läbi Muuga sadama. Raudtee abil transporditakse materjal läbi tunneli Muuga sadamase ja sealt laevaga tehissaarele.

Tunneli projekti järgi läbindatakse kaks raudteetunnelit diameetriga 10 m ja hooldustunnel läbimõõduga 8 m. Eesti poolt tuleb kokku läbindada 19 020 meetrit tundeid, mille läbindamisel tekib 2 448 tuhat m³ materjali. Läbindamise mahud kihtide kaupa on toodud tabelis (vt Tabel 4.1) [5].

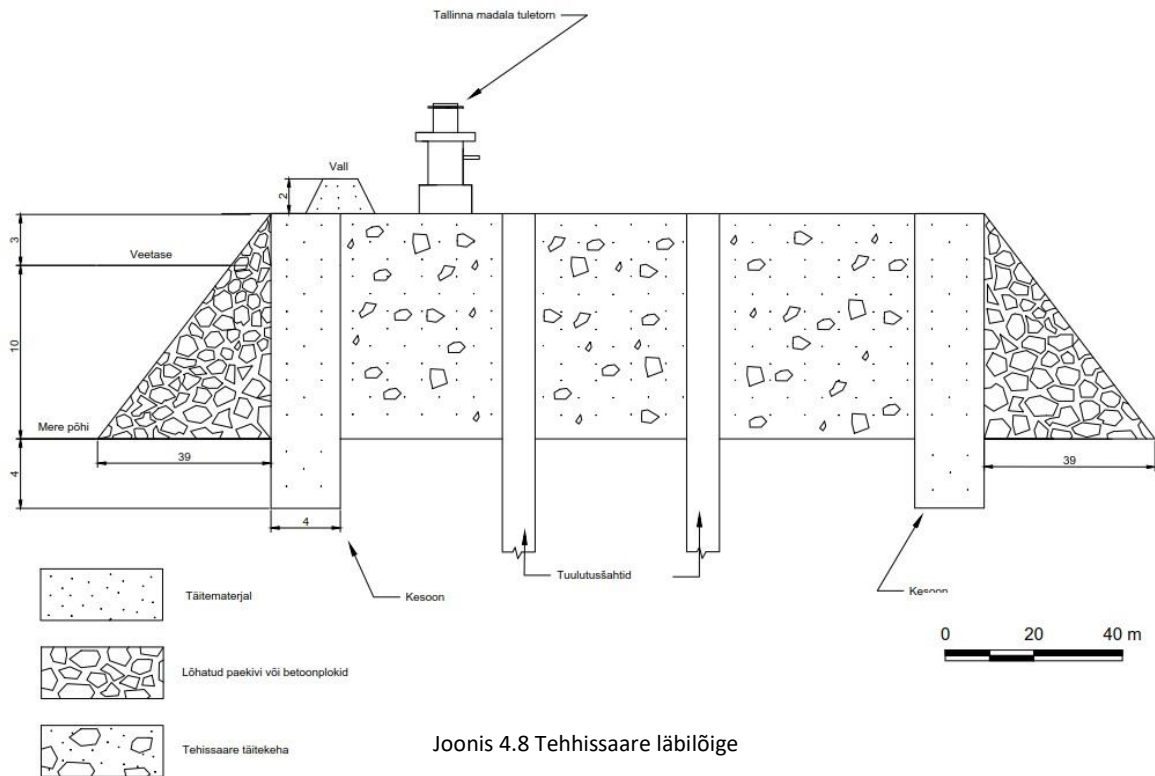
4.7 Tehissaare rajamise töömaht

Tehissaare pindala tuleb orienteeruvalt 100 000 m² ja keskmine kõrgus üle merepinna on 3 m. Tehissaare täitmise maht on 1 020 tuhat m³, mis saadi mudelarvutuse käigus. Tehissaare mahu määramiseks koostati merepõhja ja merepõhja rajatava tehissaare 3D mudelid. Arvutused on tehtud triangulatsiooni interpoleerimise meetodiga (vt Joonis 4.7, Graafiline lisa 5). Kuna tuulte ja lainete suund on valdavalt läänest ja edelast, on mõistlik teha vall tehissaarele sellesse suunda, et takistada vee tungimist saarele.



Joonis 4.7 Tehissaare 3D mudel

Tehissaare projekteerimisel tuleb arvestada ka iga aastast mereveetaseme tõusu, keskmiselt on see 3,4 mm aastas. Meretaseme kasvu dünaamika näitab, et see kasv suureneb ja projekti koostamisel tuleb seda arvestada. Tehissaare kasutusaeg on 100 aastat, seega tuleb kõrgusele juurde arvestada 1 m, kuna kliima muutmisel võivad muutuda ka tormide tugevused ja lainete kõrgused.



Joonis 4.8 Tehissaare läbilõige

Mudeli järgi tehissaare perimeeter tuleb 1320 meetrit. Selleks tuleb ette valmistada 330 kessooni ja täita neid 56 tuh m³ täitematerjaliga. Peale paigaldust toimub kessoonide täitmine. Kessoonid moodustavad saare välispiiri (vt Joonis 4.8, Graafiline lisa 6).

5 TUULUTUSŠAHTIDE RAJAMINE

5.1 Tuulutussähtide läbindamise tehnoloogiad

Tuulutussähtide läbindamine koosneb erinevatest tööde etappidest ja selle ehitustöid teostatakse teatud kindlas järjekorras. Tööde etapid on materjalide kohale tarnimine, kommunikatsioonide paigaldamine, tehnoloogilise osa ja sähti krae ehitamine, läbinduskombaini montaaž sähti kraes, sähtide läbindamine, sähti toestamine.

Tuulutussähti ehitust iseloomustab suur töömaht ja -keerukus. Selle põhjuseks on peamiselt järgmised tingimused:

- läbindamine kitsasdes tingimustes;
- sähti riputatud seadme kasutamise vajadus ja selle tihe liikumine seal;
- pinnasevee liikumine;
- sähti sügavus;
- sähti läbimõõt;
- toestiku paksus.

5.1.1 Puur-lõhketööd

Puur-lõhketöid peetakse kõige traditsioonilisemaks tunnelite rajamis meetodiks ning sähtide läbindamisel on olnud kasutusel juba pikka aega. Läbindamine viiakse läbi tsüklitena, mis koosneb erinevatest etappidest. Puur-lõhketööde töötsükkel on järgmine:

- lõhkeaukude puurimine;
- lõhkeaukude laadimine lõhkeainega;
- lõhkamine;
- tuulutamine
- lõhatud materjalide koristamine;
- lõhatud materjali tõstmine maapinnale;
- toestamine;
- abitööd

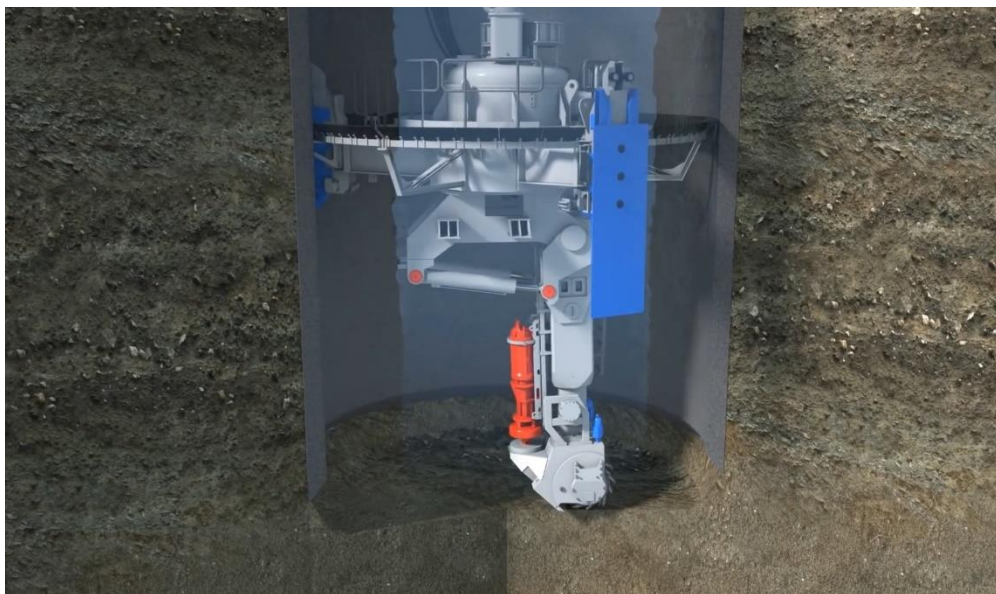
Paralleelselt puur-lõhketööde peamiste protsessidega teostatakse mitmesuguseid abitöid. Läbindamise ajal tuulutussähti sügavus suureneb ja paralleelselt läbindamisega tuleb pikendada elektri- ja sidekaableid. Samuti tuleb tegeleda veekõrvalduse ja tuulutusega.

5.1.2 Läbinduskombainid

Šahti läbinduskombainid töötavad konstantselt ja kombain teostab ka kõik teised vajalikud abitööd alates materjali tõstmisest maapinnale kuni toestamiseni. Läbinduskombaine on mitmeid erinevaid tüüpe ja neid saab kasutada erinevates mäendustingimustes. Nende ohutus ja efektiivsus on võrreldes traditsiooniliste meetoditega kõrgem, kuid selle tõttu on need ka kallimad. Erinevad kombainid töötavad erinevatel tööpõhimõtetel. Antud projektis on võimalik kasutada erinevaid läbindamise tehnoloogiaid, mis puurivad nii alt ülese kui ka klassikaliselt ülevalt alla, siis lõplik kombaini valik nõuab detailsemat analüüsi.

5.1.2.1 Läbinduskombainid töösuunaga ülevalt-alla

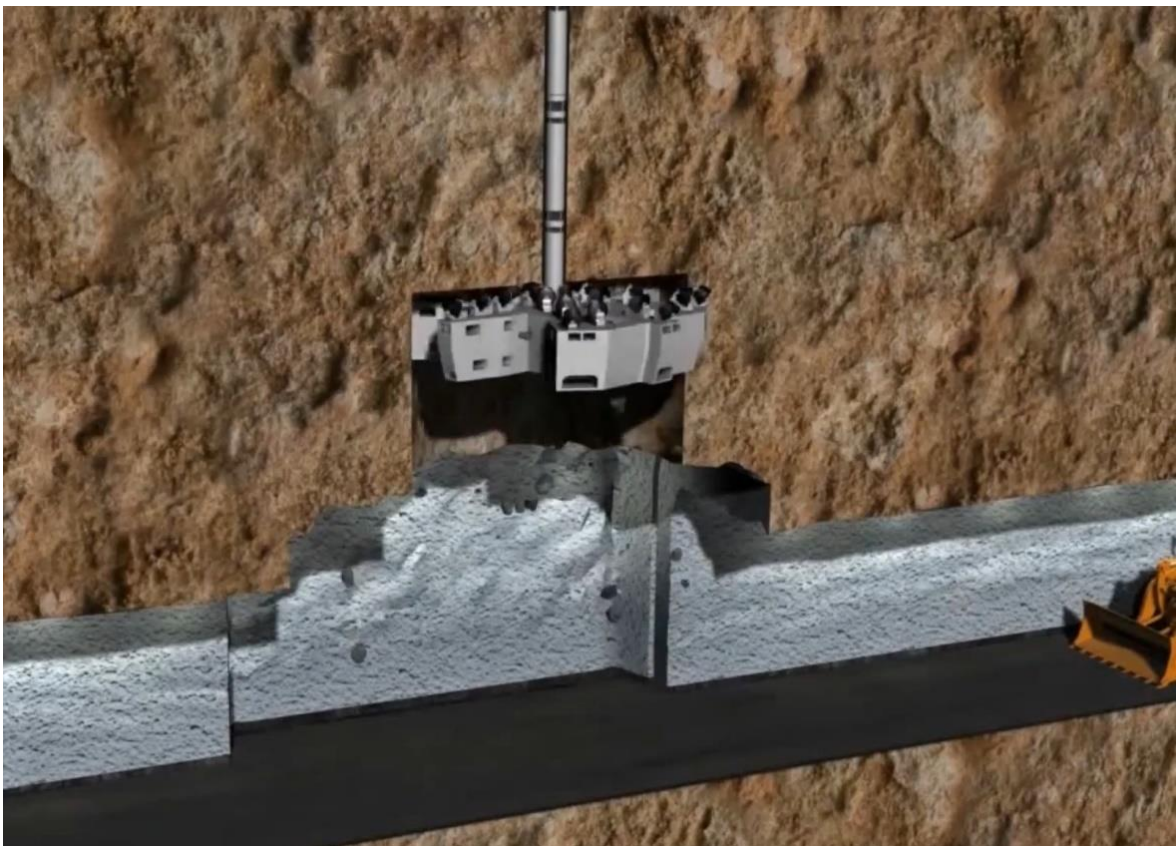
Läbinduskombain, mille läbindamise suund on ülevalt alla, on palju erinevaid variante, näiteks Herrenknechti läbinduskombain SVM (vt Joonis 5.1). Läbinduskombain freesib pinnasematerjali ja paralleelselt läbindamisega tõstetakse väljatud materjal ülesse. Samaaegselt toimub ka toestamine ülemiselt platvormilt koos kommunikatsioonide paigaldusega. Läbindussüsteemil on kõrge ohutustase, kuna kombaini kasutamine on inimestele turvaline – puuduvad puur-lõhketööd ning inimfaktor tööõnnetusteks on viidud miinimumini [16].



Joonis 5.1 Läbinduskompleks SVM [40]

5.1.2.2 Läbinduskombainid töösuunaga alt-ülesse

Projektis on võimalik kasutada ka RBR ehk tõsupuurimise tehnoloogiat (vt Joonis 5.2), mis puurib alt ülesse. Tõsupuurimisel puuritakse esmalt ülevalt alla pilootpuurauk, mille jõudmisel kaeveõõnde asendatakse pilootpuurpea tõsupuurimise agregaadiga. Maapinnal paiknev tõsupuurimise agregaat tõmbab kombaini maapinna suunas samal ajal seda ringi ajades. Antud lahendus toimub, kui on olemas enne maa-alune kaeveõõs, sest vastasel korral puudub võimalus puuragregaadi kasutamiseks. Antud tehnoloogia võeti kasutusele Estonia kaevanduses tuulutusšurfide puurimiseks ning see on hetkel juurutamisel. Taoline tehnoloogia anna suure täpsuse šurfi asukoha positsioneerimisel ning annab võimaluse tõsupuurimisel korrigeerida läbindamise suunda.



Joonis 5.2 Läbinduskompleks RBR [40]

5.1.3 Kessoonläbindamine

Kessoonläbindamist kasutatakse ebastabiilsetes ja veega küllastunud pinnastes, kus töökaeveõõnetest tõrjutakse sururõhu abil vesi välja. Kasutatakse tsiviilehituses vundamentide, sildade ja vesiehitiste rajamisel [16].

Tavaliselt kasutatakse kessoonlähendamise meetodit ehitustöödel kui peab läbi jõesängi ehitama. Selle meetodiga saab lähendada liikuvates kivimites sügavamale kui vaiadega toestades. Meetodi saab jagada kolme alamklassi:

1. trummellähendamine;
2. jõuga surumisega lähendamine;
3. pneumaatiline kessoonlähendamine [17].

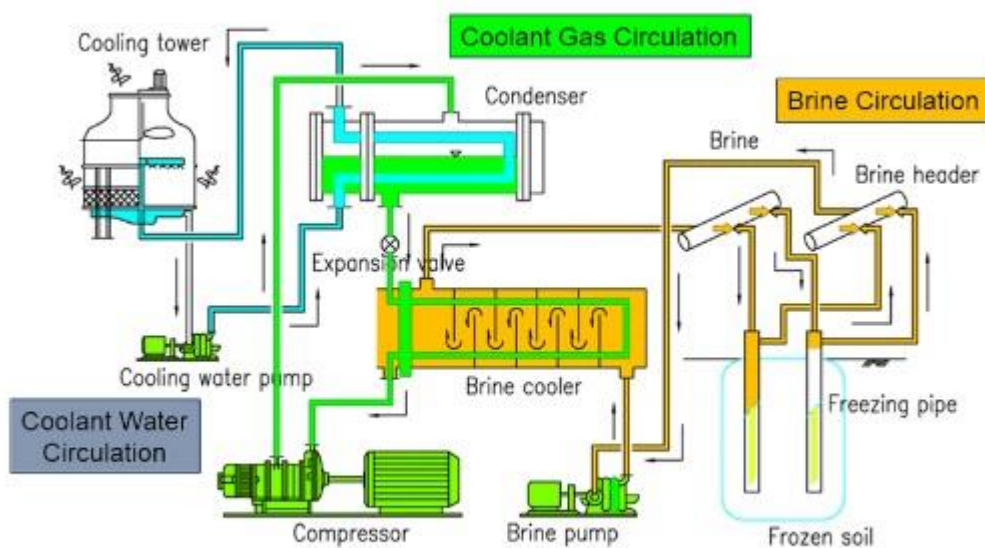
5.1.4 Kälmutamine

Maapinna kälmutamise tehnoloogia on geotehniline meetod, mis on leidnud laialdaselt kasutust ning mida kasutatakse tunneli stabiliseerimiseks, lähendamisel nõrku pinnaseid ja kivimikihte, mis on veega küllastunud. Maapinna kälmutamist kasutatakse sageli allmaarajatiste ehitamisel. Kälmutamise abil luuakse pinnasest monoliitne tervik. Kälmutamine aitab esmasel tunneli toestamisel ning takistada lähendamise ajal vee sissevoolu tunnelisse [18].

Maapinna kälmutamist kasutatakse laialdaselt erinevate allmaarajatiste rajamisel, millest sügavaimad on olnud kuni 900 meetrit. Meetod on jagatud kaheks – soolalahusega kälmutamine ja soolalahuseta kälmutamiseks. Soolalahuseta kälmutamisel kasutatakse kälmutamiseks madala sulamistemperatuuriga ained [18].

Kälmutamine soolalahusega

Kõige enam on leidnud kasutust soolalahusega maapinna kälmutamise meetod, sest see on teiste meetodiga võrreldes kordades odavam. Soolalahuse kälmutamiseks kälmutusjaamas kasutatakse ammooniumi või freooni ning lastakse kälmutus torudesse ringlusesse. Soolalahuse keskmine



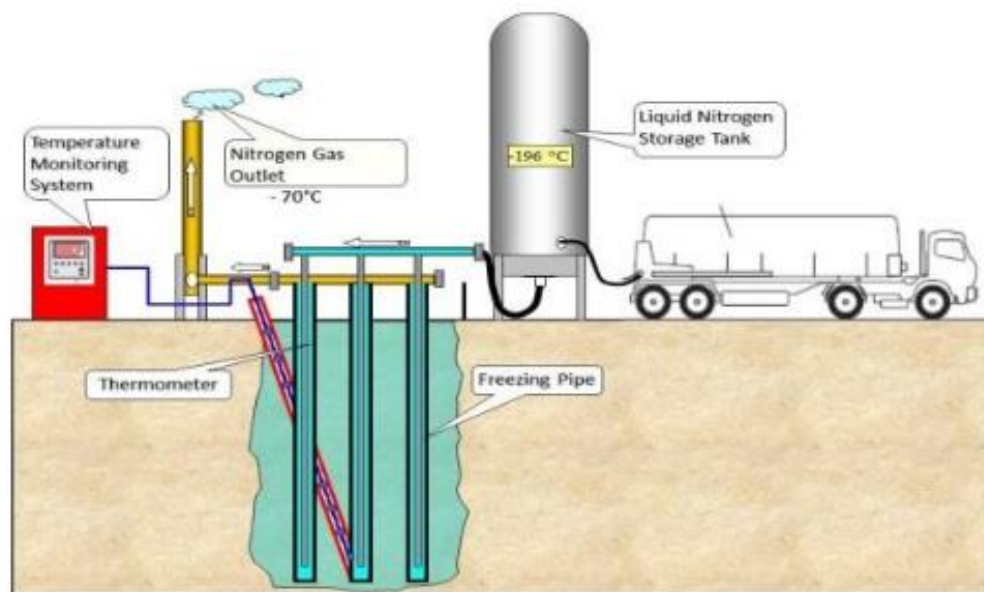
Joonis 5.3 Soolalahusega maapinna kälmutamise üldskeem [18]

külmutamis temperatuur on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ümber, võimalik on lahus külmutada ka kuni $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Külmutamise protsess on esitatud joonisel (vt Joonis 5.3). Peamine lahus, mida kasutatakse on kaltsiumkloriid (CaCl_2), kasutakse ka orgaanilisi lahuseid, näiteks propüleenglükool. Külmutusjaamad võivad olla nii mobiilsed kui ka statsionaarsed [18].

Kuigi antud meetod on leidnud kõige laialdasemalt kasutust, kaasneb sellega ka mõningaid miinuseid. Esimeseks miinuseks on soolalahusega külmutamisel mahukad eeltööd. Lisaks toimub külmutamise protsess aeglasemalt, mistõttu on kogu protsess ajamahukas. Samuti kaasneb oht, et torude lõhkemise korral lahuses leiduv sool sulatab pinnase kiirelt üles, mis võib kaasa tuua ohu nii inimestele kui ka masinatele [18].

Soolalahusega külmutamine

Külmutamiseks on võimalik kasutada ka erinevaid ained, mis aurustuvad otse pinnasesse seda külmutades. Peamised jahutavad ained on lämmastik, ammoonium, süsinkdioksiid jne, millest kõige enam leiab kasutust vedel lämmastik ($\text{N}_2(\text{v})$). Esimesed külmutamised kasutasid vedelat lämmastikku toimusid 1962. a Prantsusmaal. Lämmastiku kasutatakse laialdaselt maa-aluste üleujutuste kõrvaldamiseks, sest külmutamise kiirus on oluliselt lühem kui soolalahusega külmutamisel. Külmutamise tehnoloogiline skeem (vt Joonis 5.4) toimub lämmastiku juhtimisel külmutamistorudesse, kus ta aurustub ja külmutab maapinna. Aurustunud lämmastik liigub läbi maapinna tagasi atmosfääri [18].



Joonis 5.4 Maapinna külmutamine vedela lämmastikuga kasutades vertikaalsete külmutustorude paigutust [18]

Vedela lämmastikuga külmutamisel on võrreldes soolalahusega külmutamisel, mitmeid eeliseid. Suurimaks eelis on külmutamise kiirus. Vedela lämmastikuga külmutamisel saavutatakse vajalik tulemus 4 - 6 korda kiiremini. Samuti pole vaja kasutada külmutusjaama ja täiendavalt pumpasid, mis lämmastiku ringi pumpaks. Samuti on lämmastiku eeliseks on , et see pole plahvatusohtlik ega mürgine. Kuigi vedela lämmastiku kasutamisel on olulisi eeliseid, ei kasutata seda väga tihti, sest vedel lämmastik on kõrge hinna ja kuluga. Samuti on raske modelleerida täpseid seina paksuseid ja kontuure, sest külmutamise täpsus on vedela lämmastiku puhul väiksem kui soolalahusega külmutamisel. Kahe erineva meetodi võrdlemiseks koostas tabeli (vt Tabel 5.1), milles on näha meetodite peamised parameetrit, mida külmutamise projekteerimisel tuleb arvestada [18].

Külmutamise etapid:

- külmutustorude paigaldamine;
- külmutuslahuse ringlemine, mille tulemusel pinnas jäätub;
- šahti läbindamine;
- pinnase ülessulatamine külmutustorudes.

Tabel 5.1 Külmutamise meetodi peamised parameetrid [18]

	Soolalahusega külmutamine	Soolalahuseta külmutamine	
		Vedel lämmastik	Süsinikdioksiid
Elektri vajadus	+	-	-
Külmutusjaam	+	-	-
Tsirkulatsiooni pumbad	+	-	-
Külmutamise süsteem	Ringlus	Aurustumine	Aurustumine
Külmutusaine olek	Vedelik	Vedelik/Aur	Vedelik/Aur
Minimaalne temperatuur, °C	-55	-196	-78,9
Jahutusaine taaskasutus	+	-	-
Kontrollitav	+	+	+
Külmutatud maapinna juhtimine	Juhitav	Raskesti juhitav	Juhitav
Külmutamise kiirus	Aeglane	Kiire	Keskmine

5.1.4.1 Puuraukude puurimine ja vooderdamine

Üheks võimaluseks on ca 150 mm diameetriga puuraukude kasutamine, mis puuritakse ümber rajatava šahti. Puuraukud manteldatakse terastorudega puuraukude kokkuvarisemise kaitseks [16].

5.1.4.2 Jääsammaste moodustamine ja säilitamine

Külmutuslahus, mille temperatuur on ca 20 °C pumbatakse puurakudesse. Külmutuslahusena kasutatakse ammoniaak jahutussegu, mis on pidevas ringluses. Tsükkel peab toimuma nii kaua kuniks külmutamine on vajalik [16].

Külmutusprotsessi teostamiseks peab maapinnal olema tehno kompleks, mis sisaldab:

- ammoniaagi kompressorit;
- pumbad külmutuslahuse ja vee ringluseks;
- torustik vee, külmutuslahuse ja ammoniaagi ringluseks.

Ümber šahti paiknevate puuraukude külmutamise protsess toimub üheaegselt, jäätumine toimub aeglaselt ümber iga puurauku kuniks lõpuks moodustub külmunud sein ümber šahti. Jäätumise kiirus sõltub oluliselt geoloogilistest, mäetehnilistest ja meteoroloogilistest tingimustest, kuid võib võtta aega 2-6 kuud. Külmutamise puhul toetutakse varasemale praktikale, valemid selle arvutamiseks puuduvad [16].

5.1.4.3 Läbindamine

Šahtide läbindamine toimub eelnevalt (vt peatükk 5.1.1) kirjeldatud meetoditega ehk šahti läbindamine ei erine klassikalistest šahti läbindamise tehnoloogiatest. Oluline on paigaldada kvaliteetne ja tõhus hüdroisolatsiooni koht torustiku ja kivimimassiivi vahel

5.1.4.4 Jääseina sulatamine

Šahti valmimisel tuleb jäätunud kivimid ümber šahti üles sulatada ning selleks asendatakse külmumislahus kuuma lahusega, mis pannakse ringlema rajatud puurakudesse [17]. Võib ka piirduda loomuliku ülessulamisega.

5.2 Tuulutusšahtide läbindamise tehnoloogiad valik

Läbindamis tehnoloogia valikul on kõige mõistlikum kasutada kombineeritud läbindamist. Meresette läbindamisel tuleb kasutada läbinduskombaine, kuna meresetted koosnevad liivast, kruusast ja aleuriidist. Traditsioonilist puur-lõhketööde meetodit saab hakata kasutama alates Ediacara kihist koos külmutamisega. Aluskorra läbindusel jätkatakse puur-lõhketöödega ilma külmutamiseta kuni tuulutusšahtide lõpuni (kuni raudteetunnelini) [16].

5.2.1 Lõhkamine

Läbindamise ajal on šahti põhjad tavaliselt vett täis, mis nõuab veekindla nitroglütseriinil põhineva lõhkeaine kasutamist. Vee ning liiva-savi segu saab kasutada topismaterjalina. Lõhkevõrk tehakse paralleelühendustega, et ühendada detonaatorid tööes ning see on omakorda ühendatud lõhkekaabliga šahtis, mis on veetud maapinnale. Esi lõhatakse pärast ettevaatusabinõude kontrollimist [17]. Alumiiniumil põhinevaid vesigeel lõhkeaineid ja kõrgsageduslikke elektromagnetilisi initsiaaldetonaatoreid on edukalt kasutatud Põhja-Aafrika šahtides ning nende head omadused on:

- keskkonna tingimuste seisukohalt vähene nitraatgaaside eraldus;
- tõestatud ohutus, parema löögitudlikkuse karakteristikud ja immuunsus uitvoolule;
- lahtiste detonaatorite kasutamise lihtsus ja lõhkeskeemi toroidide ühendamise lihtsus;
- esialgsed katsed on näidanud majanduslikke eeliseid.

Lõhkaine kasutatakse dünaamiiti, emulsioonlõhkeainet ja NONEL detonaatoreid [17].

5.2.2 Koristamine ning laadimine

Koristamine on lõhatud materjali laadimine, et see eemaldada tööest. Laadimisseadme paigaldamine on aeganõudev tegevus piiratud ruumi tõttu ning moodustab 50 - 60% läbindamise ajast. Materjali kuhjamise tootlikkus sõltub kivimi fraktsioonist, tõste sügavusest, šahti läbilõikest ning vee juurdevoolust. Erinevad laadimisseadmed on:

- Laadurid - kahe vastastikuse kopaga laadur;
- hüdraulilised ekskavaatorid;
- skreeperid – kasutatakse suure läbimõõduga šahtides.

Põhja-Aafrika kaevandustes kasutatakse 6 – 8 meetrise läbimõõduga šahtides 0,56 m³ kopamahuga greifereid ning 0,85 m³ kopamahuga greifereid suuremates šahtides. Väga väikestes šahtides toimub laadimine käsitsi, mis on aga kulukas, vähekasutatav ja ebapopulaarne tänapäeval ning läbindamisel võetakse eesmärgiks kasutada šahti läbimõõtu, mille korral oleks võimalik kasutada mehhaniseeritud masinaid [17].

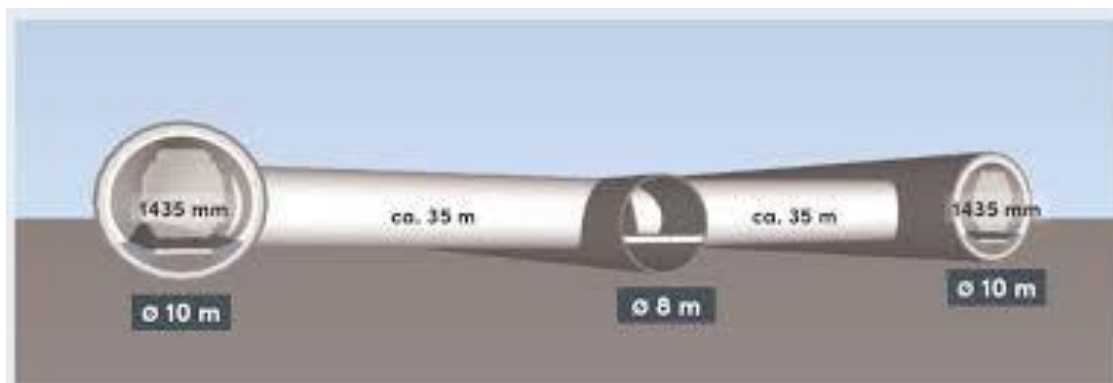
5.2.3 Tõste

Tööliste, materjali ja aherkivimi tõsteks-langetuseks on kaks meetodit: kasutada ajutist tõstet, tõstetorni ja teisi lisaseadmeid või paigaldada püstitõsteseade ja selle lisaseadmed. Enamasti on esimene variant eelistatum. Seda enam kui läbindamistööd on tellitud teiselt ettevõttelt ning läbindustööde lõppedes kaevanduse omanikul pole kohustust seadmete hooldamiseks. Tõste operatsiooni seadmed: tõstetorn koos rihmratastega – kaks rihmratast on mõeldud läbindamistoobrite üles kerimiseks ning ülejäänud kaks tellingute, sh töötasandi üles kerimiseks. Ajam – võimaldab tellingu köitel töötada juhtköitena toobri sujuval liikumisel šahti tipust

töötasandini šahtis. Alumine lõõtsuks – et katta šahti ülemist otsa. Ülemine lõõtsuks koos toobri tühjendamise seadmega – aherkivimi mahalaadimiseks. Toobrid – osad toobrid hoitakse vabana, et kiirendada aherkivimi laadimist, tööliste, materjali allalaskmiseks ning mõnikord ka vee tõstmiseks. Töötasand või telling – tavaliselt mitmeotstarbeline tekk šahti vooderdamiseks, toetuseks ja teisteks kiirelt tehtavate tööde jaoks. Lisaks õhutorustik, suruõhu- ja veeliinid, kaablid jne on vajalikud töö teostamiseks [17].

5.2.4 Tuulutus

Värske õhk on läbindusees tagatud jäiga ja elastse ventilaatori toruga, mis on paigaldatud maapinnale šahti kõrvale. Jäik ventilatsioonitoru lõpeb vähemalt 6 m kõrgemal šahti põhjast kahjustuste vältimiseks lõhkamisel. Värske õhu läbindamisette toimetamiseks liidetakse elastne purjeriided ventilatsioonitoru jäigaga. Kogu šaht toimib läbitöötatud õhu tagastajana. Läbindamisel kasutatakse maapinnale paigaldatud vastupöörlevat ventilaatorit. See lülitatakse sisse vahetult pärast lõhkamist, et puhastada õhk heitgaasidest ning kui gaasid on eraldatud, lülitatakse see uuesti ventilaatori režiimi [17].



Joonis 5.5 FINEST tunneli projekteeritud läbilõige [19]

5.3 Šahtide asukoht ja parameetrid

5.3.1 Šahtide asukoht

Šahtide rajamine toimub tehissaare territooriumil. Tehissaar asub Tallinna madalal Balti mere akvatooriumil Soome lahes, Viimsi poolsaare lähedal ~16 km kaugusel kõige lähemast punktist mandril. Arvestades FINEST tunneli projekti (vt Joonis 5.5 FINEST tunneli projekteeritud läbilõige), peavad tuulutusšahtid keskpunktid olema 88 meetri kaugusel üksteisest. Tuulutusšahat nr.1 koordinaadid on X: 6619616,64 Y: 541149,20 ja tuulutusšahat nr.2 koordinaadid on X: 6619616,64.Y: 541242,03, mis on toodud tabelis (vt Tabel 5.2). Töö raames tuleb läbindada kaks tuulutusšahati, kummalegi raudteetunnelile. Mõlema šahati sügavus on 215 meetri, sest sellel sügavusel asuvad sellel punktil Tallinn – Helsinki tunnelid. See on kõige sügavam koht kogu tunneli pikkusel.

Tabel 5.2 Tuulutussahtide koordinaadid L-Est97 süsteemis

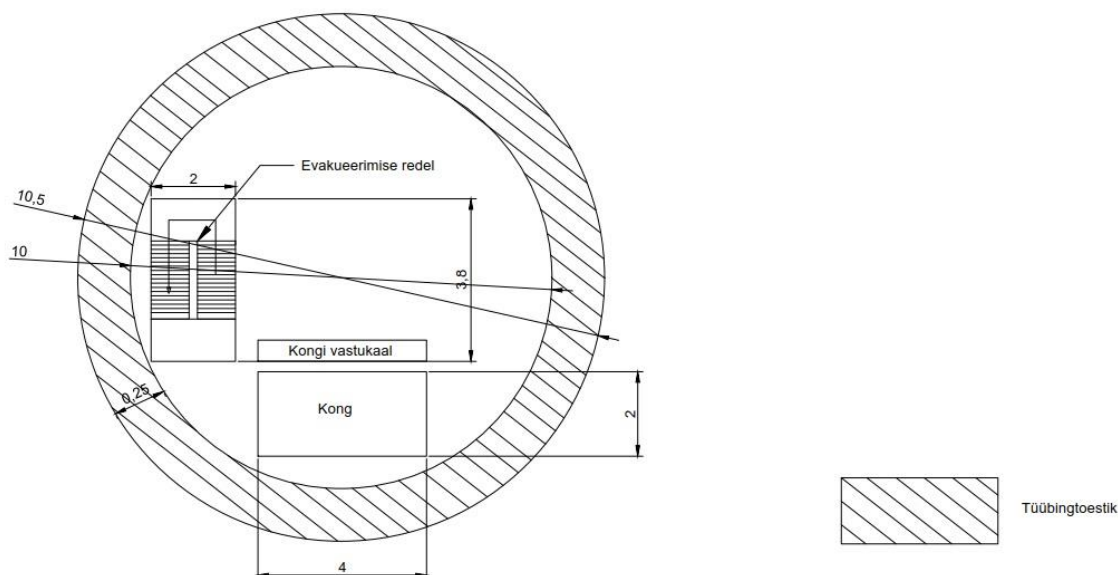
	X	Y
Tehissaare keskpunkt	6619534.22	541183.85
Tallinna madala tuletorn	6619665.24	541175.06
Tuulutusšahat nr.1	6619616,64	541149,20
Tuulutusšahat nr.2	6619616,64	541242,03

5.3.2 Šahtide parameetrid

Šahtide läbimõõdu valimisel peab arvestame erinevad faktoreid. Tuulutusšahat tuleb rajada ringkujulise ristlõikega, sest õhu liikumine on sellisel juhul kõike väikse takistus. Lisaks hoiavad ringkujulised šahtid paremini horisontaalseid pingeid. Tuulutusšahat tuleb rajada läbimõõduga 10 m. Läbimõõd peab vastama vajalikule õhu hulgale tunnelis ja õhu takistusele rongide liikluse ajal. Tuulutusšahatide sügavus 215 meetrit kuni raudteetunnelini. Toestiku paksus kuni aluskorrani on 25 cm koos hüdroisolatsiooniga ja aluskorras paksusega 20 cm.

5.3.3 Šahtide seksioneerimine

Kuna tuulutusšaht rajatakse raudteetunneli jaoks, mis asub merelahe all, siis on mõistlik paigaldada tuulutusšahti kong hooldustööde teostamiseks või ekstreemolukorral evakuatsioonide jaoks. Seina külge tuleb kinnitada redel, mis on kasutusel tunneli hooldusel ja evakueerimiseks õnnetusjuhtumi korral (vt Joonis 5.6, Graafiline lisa 7).



Joonis 5.6 Tuulutusšahtide seksioneerimise näide

5.4 Šahtide läbindamise tehnoloogia kirjeldus

5.4.1 Šahtide rajamise ettevalmistustööd

Enne šahtide läbindamist tuleb alustada ettevalmistustöödega. Tehissaare ehituse raames, on suur ettevalmistustöö juba tehtud. Saarel peab olema ülesehitatud kai, materjalide ja tehnika toomiseks. Tuleb rajada sissepääsuteed, elektri ja vee varustus, samuti ajutine ventilatsioon, sidekaablid ja telefonivõrgud.

Tuleb määrata, kas täitematerjal, millest tehisaar on ehitatud, on piisavalt tihendatud ja stabiliseeritud. Seega tuleb aja jooksul jälgida saare pinna muutusi. Kui on selge, et tehisaare pindala on stabiilne ja nõlvad vastupidavad mere tormidele ja laine erosioonile, tuleb ehitusplats ette valmistada. Ehitada teed ja hooned - kontor ning töötajate majutuse jaoks. Kõige sobilikum on PVC-hallid kuna ta on kerge ja kiiresti monteeritav. Märkida maha kõikide kommunikatsioonide ja ehitusobjektide asukohad ehitusplatsil.

Kui koordinaatide järgi on kõik punktid välja märgitud ja tehissaare pind on stabiliseerunud, siis tuleb alustada šahtide läbindustöödega.

5.4.2 Tuulutusšahte läbindamise etapid

Jagame tuulutusšahtide läbindamis erinevateks etappideks (vt Tabel 6) vastavalt geoloogilisele tingimusele:

1. Tehissaare südamiku läbindamine (+3 m kuni -10 m) 13 m
2. Meresette läbindamine (-10 m kuni – 50 m) 40 m
3. Ediacara liivakivi läbindamine (-50 m kuni – 120 m) 70 m
4. Murenenud kristalne aluskord (-120 m kuni -140 m) 20 m
5. Aluskorra läbindamine (-140 kuni – 215 m) 75 m

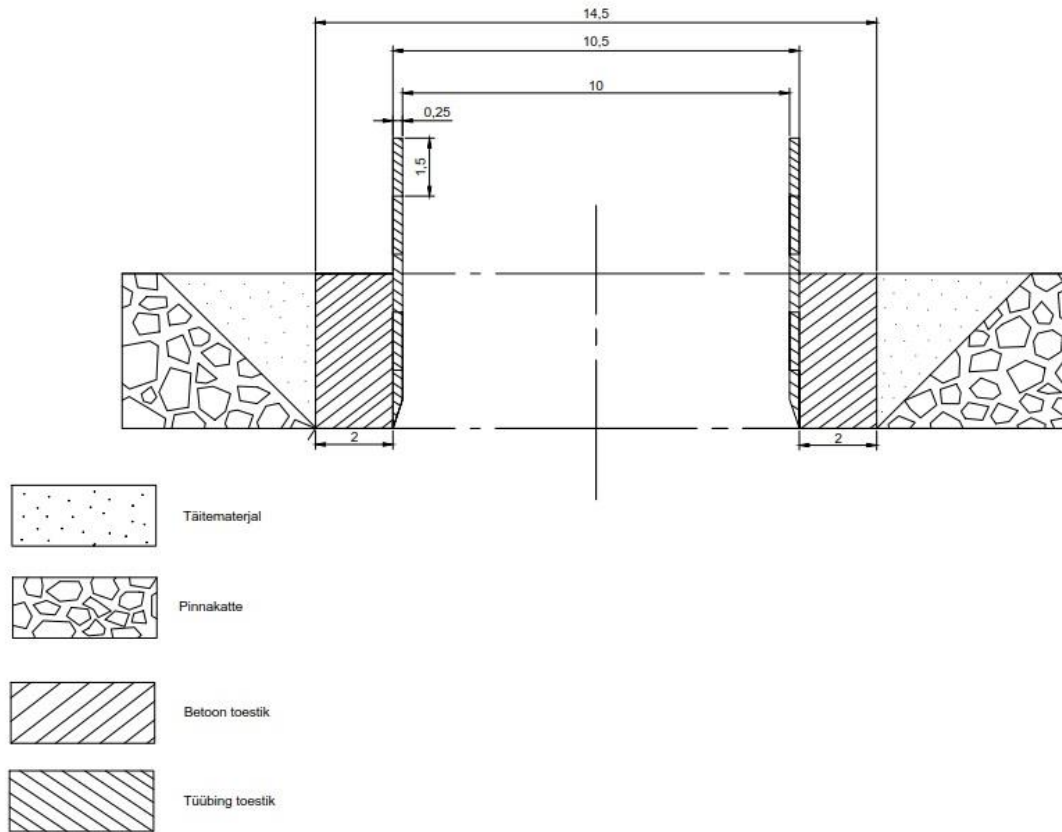
Tabel 6 Tuulutusšahtide läbindamise maht

Kiht	Paksus	Läbimõõt	Toestiku paksus	Läbindada		Maht
	m	m	m	m	m ²	m ³
Tehissaare keha	13	10	0,25	10,5	87	1126
Mere setted	40	10	0,25	10,5	87	3464
Ediacara liivakivi	70	10	0,25	10,5	87	6061
Murenenud kristalne aluskord	20	10	0,25	10,5	88	1752
Aluskord	75	10	0,2	10,4	85	6371
Kokku:	218					18774
Koos teise šahtiga	436					37547

5.4.2.1 Läbindamise esimene etapp

Esimeses etapis tuleb läbindada tehissaare täitematerjalis. Selles etapis teostatakse läbindamine ekskavaatoriga. Läbindatakse 4 meetriline kiht, rajatud šahti suue ehk maapealne osa armeeritakse ja betoneeritakse (vt Joonis 5.7, Graafilise lisa 8) betoon ringiga. Esmalt rajatakse betoneeritud šahti krae ja seejärel paigaldatakse metall teraga ring millele peale paigaldatakse tüübingtoestik. Nende peale monteeritakse läbinduskombaini kinnitused kuhu edasi paigaldatakse läbindusplatvorm. Läbinduskombain on kinnitatud trossidega kraana külge.

Peale monteerimist, šaht täidetakse veega ja läbinduskombain hakkab tööle. Tööprotsessi juhtimine toimub ülevalt ehitusplatsilt. Rootor kombaini otsik keerleb ringi 360 kraadi ja raimab esialgselt tehissaare täitematerjali keha, umbes 5 meetrit kuni meresetteni. Tehissaare lähedal meres monteeritakse lehtvaiadega settebassein, kuhu pumbatakse meresette ja vee segu. Mõistlikon rajada settebassein lääne poole, mis tõstab merepinda ja töötab nagu lainemurdja tormide ajal.

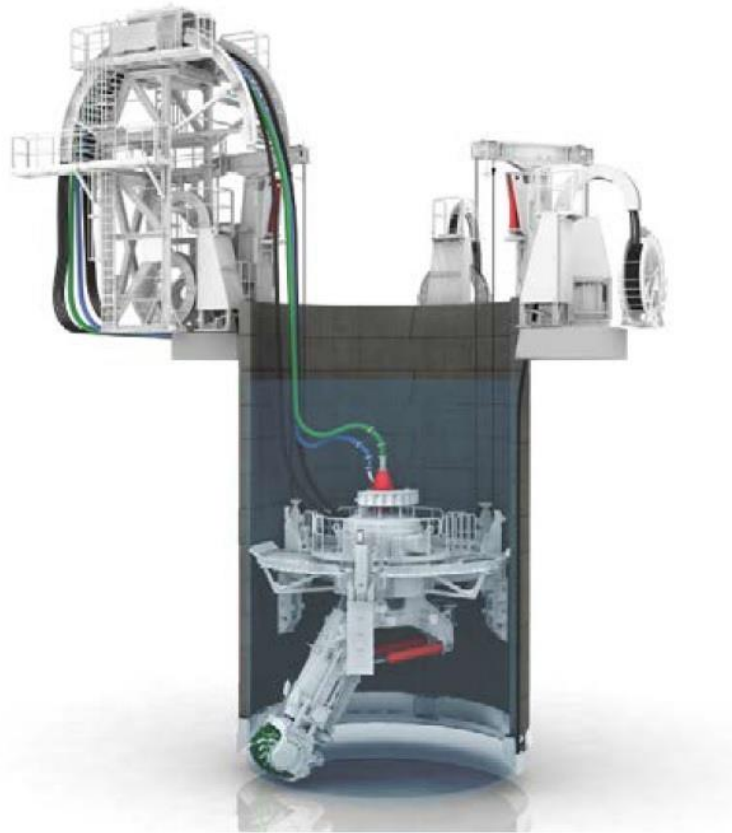


Joonis 5.7 Šahti läbindamise esimene etapp, krae läbilõige

5.4.2.2 Läbindamise teine etapp

Teises etapis läbindatakse meresetted, kihipaksusega umbes 44 meetrit. Läbindamine toimub samamoodi nagu esimesel etapil läbinduskombainiga (vt Joonis 5.8, Graafiline lisa 9). Läbinduskombainiga tuleb läbindada šaht läbimõõduga 10,5 meetrit. Keskmine läbinduskiirus 3

meetrit vahetuses. Läbindamise maht ühe tuulutussähti rajamisel on 3464 m³. Ehitusplatsil monteeritakse toestik ja hüdraulilise tungraua abil liigub alla kui tekib vaba ruumi.



Joonis 5.8: Vertikaalne läbinduskombain [40]

5.4.2.3 Läbindamise kolmas etapp

Kolmandas etapis läbindatakse Ediacara settekivimid umbes 70 meetri ulatuses, mis on veepidemeks, aluskorra koorikuni. Esialgelt tuleb proovida kasutada sama meetod, mis teisel etapil. Juhul kui kivimi omadused muutuvad ja läbinduskombain ei saa läbindada või läbinduskiirus ei vasta nõuetele, siis tuleb läbindustehnoloogia muuta. Tänu paigaldatud hüdroisolatsioonitoestikule, vee sissevoolu ei tohiks olla, šaht pumbatakse kuivaks ja demonteerime läbinduskombaini, mis võib alustada järgmise šahti läbindamisega. Edasi kasutatakse selles etapis läbindamist mitmekorruselise läbindusplatvormiga (vt Joonis 5.9), mille küljes on viie manipulaatoriga puurmasin, lõhkeaukude läbimõõduks on 45 mm ja kasutatakse löökpuurimist. Lõhatud materjali laadimiseks kasutatakse greiferkoppa, mida saab juhtida ka maapinnalt, et suurendada tootlikkust. Ediacara kompleksi läbindamisel tuleb kasutada külmutusmeetodit [16]. Ediacara kihis tuleb kasutada külmutamist soolalahuse abil või vedela lämmastikuga.



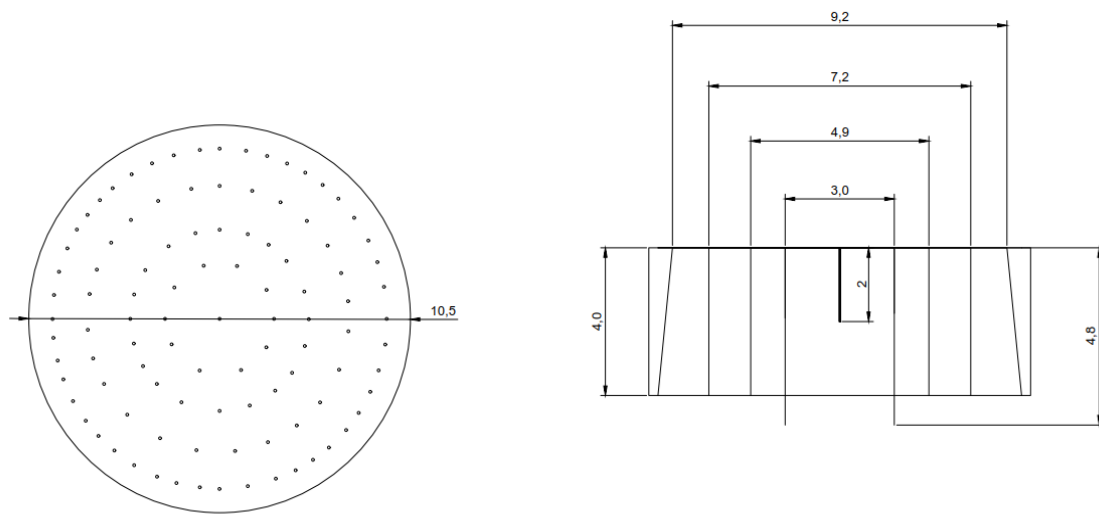
Joonis 5.9 Läbindusplatvorm [29]

Lõhkamiseks kasutatakse padrundatud dünaamiiti, laengute initsieerimiseks programmeeritavaid elektrilisi detonaatoreid ja kõik lõhkeaugud initsieeritakse suudme poolt. Lõhketööde parameetrid meresette kihtides on toodud alljärgnevas tabelis (vt Tabel 7) ja lõhkeaukude paiknemine alljärgneval joonisel (vt Joonis 5.10, Graafilise lisa 10) [16].

Peale lõhkamist peavad lõhkajad veenduma, et ei tekkinud tõrget ja kõik laengud on plahvatanud. Selleks saab kasutada suure kaadrisagedusega kaameraid, mille abil saab eemalt hinnata lõhketööde kvaliteeti. Saadud videomaterjali ja katselõhkamise põhjal on võimalik lõhketööde projekti täpsustada [16].

Läbindamisel on tuulutamine tagatud jäiga või elastse tuulutustoruga. Lõhkamise ajal tuleb elastne toru kõrgemale tõsta, et lõhketööd ei vigastaks torusid. Peale lõhkamist saab lõhatud materjali laadimist alustada koheselt, sest tõstetoobrite ja greiferi tööd saab eemalt juhtida. Kui tekib ülegabariidilisi kive, siis saab neid järelpurustada eraldi laengutega või kasutada muid meetodeid.

Kui lõhketööde järgselt on šaht tuulutatud, siis alustatakse läbindusplatvormil toestiku paigaldamist. Toestik paigaldatakse kohe peale lõhatud materjali laadimist ja ajutist toestiku ei kasutata. Kui seina püsivuse tõttu tuleb koheselt toestada, siis tüübingute kaitsmiseks saab kasutada kummist matte. Kui seina püsivus probleeme ei põhjusta, siis toestamine on eest paari tsüklilise viivitusega. Toestiku paksuseks on 25 cm ning tüübingud kinnitatakse poltidega, tüübingutel olevate tihenditega saavutatakse koheselt veekindlus. Tüübingute allavajumise vältimiseks paigaldatakse ankrud ümbritsevasse kivimitesse.



Joonis 5.10 Lõhkeaukude paiknemine külmutanud liivakivis

Tabel 7 Puur-lõhketööde parameetrid külmutanud liivakivis

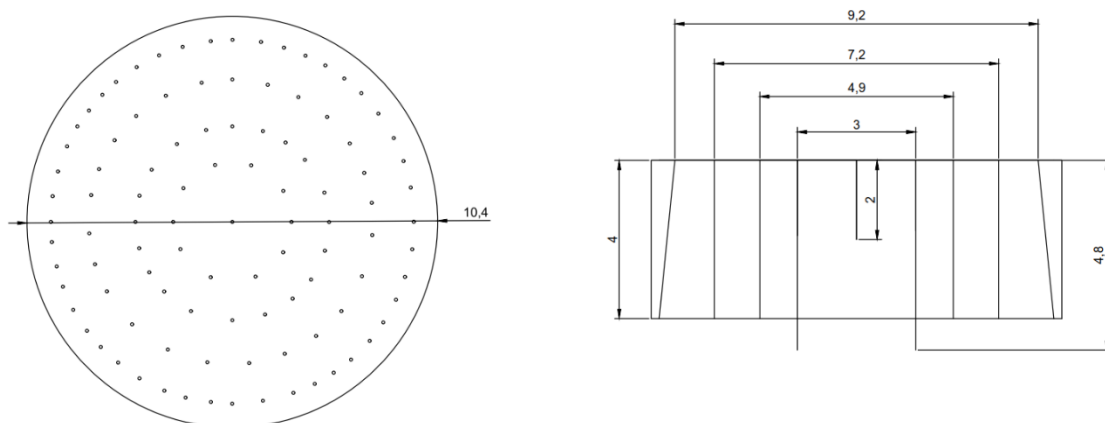
Parameeter	Suurus
Kaeveõõne läbimõõt, m	6
Lõhkeaugu pikkus, m	10,5
Ee edasinihke samm, m	2,55
Ee ristlõike pindala, m ²	86,59
Korraga lõhatava kivimi maht, m ³	220,80
Suletustegur k _s	0,97
Laengute arv ee lõhkamiseks	227,40
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n*	20,00
Algmurde puuraukude pikkus, m	3,6
Algmurde mass (6 padrunit), kg	3
Algmurde topise pikkus, m	0,84
Raima- ja kontuurlaengute mass (5 padrunit), kg	2,5
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,70
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	579
Padrunite arv	1157
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	579
Puurtööde maht, m	694
Puurtööde erimaht, m/m ³	3,14

5.4.2.4 Neljas etapp

Neljandas etapis läbindatakse aluskorra kiht paksusega 95 meetrit kuni raudteetunnelini. Selle etapi võime jagada kahega, kus esialgselt läbindame murenenud aluskorra paksusega umbes 20 meetrit, kus läbindustehnoloogia on täpselt sama nagu eelmisel etapil. Edasi šahti läbimõõtu vähendatakse 10,4 meetrini, kuna aluskorras tüübingute kasutamine pole enam otstarbekas. Šahti seinad toestatakse ankrutega ning kaetakse 20 cm paksuse pritsbetoonikihiga. Lõhelistes kohtades võib kasutada ka armeeringut stabiilsuse suurendamiseks. Muus osas on läbindamise tehnoloogia eelnevate etappidega sarnane. Erinevad ainult puur-lõhketööd, mille parameetrid on toodud alljärgnevas tabelis (vt Tabel 8) ja joonisel (vt Joonis 5.11, Graafiline lisa 11) [16]. Lõhatakse kahes osas, esmalt koonus algmurde lõhkeaugud hetklõhkamisega ja selle järgneb raimalaengute lõhkamine järgmises viiteseerias spiraalselt. Sellise tehnoloogia korral saavutatakse stabiilne, pritsbetooniga kindlustatud šahti sein [16].

Tabel 8 Puur-lõhketööde parameetrid aluskorras

Parameeter	Suurus
Kaeveõõne läbimõõt, m	10,4
Lõhkeaugu pikkus, m	2,0
Ee edasinihke samm, m	1,7
Ee ristlõike pindala, m ²	84,95
Korraga lõhatava kivimi maht, m ³	144,41
Suletustegur k_s	0,65
Laengute arv ee lõhkamiseks	150
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n^*	20
Algmurde puuraukude pikkus, m	2,4
Algmurde mass (6 padrunit), kg	2,0
Algmurde topise pikkus, m	1,08
Raima- ja kontuurlaengute mass (5 padrunit), kg	1,5
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,9
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	235
Padrunite arv	941
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	1,63
Puurtööde maht, m	308
Puurtööde erimaht, m/m ³	2,13



Joonis 5.11 Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel

6 PÕHILISED OHUTUSNÕUDED

Šahti rajamisel ja selle abitööde teostamisel tuleb lähtuda Eesti Vabariigis kehtivates õigusaktidest ning nendes kehtestatud ohutusnõuetest. Tööpiirkonnas tuleb tagada töötavate inimeste ohutud töötingimused ja töövahendid. Keelatud on töötada tehniliselt mitte korras või keskkonda üle normatiivi saastaval masinal, seadmel või veokil.

Ohutusnõuded allmaakaevetööde rajamisel ja seal töötamisel on kehtestatud Maapõueseaduses (RT I, 21.12.2019,11), määruses Maavarade kaevandamisele esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded (RT I, 17.10.2019, 5), Töötervishoiu ja tööohutuse seaduses (RT I, 13.03.2019, 117), Seadme ohutuse seaduses (RT I, 13.03.2019, 153) ja Tuleohutuse seaduses (RT I, 12.12.2018, 71) sätestatule.

1. Töökohal peavad olema esmaabivahendid kergesti kättesaadaval kõigile koos piisava hulga sidumisvahendite ja muu vajalikuga. Esmaabivahendite arv peab olema proportsioonis võrrelda töötajate arvu ja töötingimustest. Peab olema komplekteeritud ja varustatud esmaabi ruum, kus vajadusel saab esmaabi anda ja arsti saabumine. Kõik töötajad peavad olema instrueerinud esmaabivahendite ja esmaabiruumide asukohad [19].
2. Tööandja peab määrama töötajatele hulgast vähemalt ühe esmaabiandja kes on käinud koolitusele ja said tõendi. Peab olema määranud isik kes võttes arvesse töötajate arvu. Esmaabiandja peab vastama et arvestuse pidamise kord peab tagama, et igal ajal oleks võimalik tuvastada kõik allmaakaevetöös viibivad isikud [19].
3. Seadet mis kasutatakse peavad olema kasutatud otstarbel ja viisil, peavad olema töökorras ja ilma vigastusi. Kasutaja peab saama seade kasutuse koolitused. Seade kasutamine peab olema peatatud, kui ilmned vahetu oht [20].
4. Ventilatsioon on väga tähtis tuulutusšahtide läbindamisel, kuna töö on raskendatud töötingimustega. Töö käib kitsas olukorras ja suurel sügavusel. Töötamiskohta tuleb tagada küllaldane õhuvahetus ajalisel ventilatsiooni turuga. Värske õhu kogus peab olema arvutanud vastavalt töötajate arvu. Peavad olema ka arvutanud tolmu ja plahvatuse gaasi sisaldus. Kasutatud ventilatsiooni seaded tuleb hoida töökorras ja hooldada. Kui tekib tervise kahju tuleb tööplats inimesest vabastada ja korralikult puhastada. Ventilatsioonisüsteem peab olema varustatud automaatse kontrollisüsteemiga, mis teavitab igast rikkest, kui teavitamine on vajalik töötajate tervise tagamiseks [21].

5. Tuleohutuse tagamine tuleb iga töötaja järgima ja tagama ohutu evakuatsiooni. Tuletekkimisel tuleb kohe teavitama ja tagama ohutu evakuatsiooni. Tööandja peab tutvustama töötajat tuleohutusnõuetega ja määrata evakueerimis suund mis on kõige lähen tema töökohast, samuti tuleohutus seaded peavad olema töökorras ja ligipääs peab olema avatud [22].

7 TEHISSAARE E HITUSEL TEKKIVATE KESKKONNAMUUTUSTE ISELOOM

Tehissaare ehitamisega kaasneb meresügavuse muutumine, millest tulenevalt võib toimuda lokaalne hoovuse kiiruse vähenemine. Sõltuvalt kujunevast merepõhja reljeefist ja veesügavusest piirkonnas, võib litodünaamilisi protsesse mõjutada rohkem kas lainetus või hoovused. Võimalik on koostada mudelid, mis iseloomustavad hoovuste ja lainetusega kaasnevaid protsesse ning nende abil on võimalik ligikaudselt määrata setete kuulutust, transporti ja kuhjumist ühes või teises mereosas [4].

Tehissaare ehitamisel vähenev vee sügavus võib mõjutada lainetuse režiimi. Mõju suurus sõltub muutustest põhjareljeefis. Mida ebaühtlasem reljeef kaevandamise käigus tekib, seda suurem on tõenäosus ka lainetuse režiimi muutusteks [4].

Tehissaare ehitusel tekkinud heljum levib tööde piirkonnas sõltuvalt hüdrometeoroloogilistest tingimustest. Palju merepõhjas elavaid selgrootuid on tundlikud suure heljumi kontsentratsiooni suhtes. Tehissaare ehitamine mõjutab oluliselt põhjaelustiku seisundit nii saare piires kui ka selle ümbruses, saare piires merepõhja elustik hävineb. Mõju kaladele võib väljenduda otseselt kalade hukkumises kui ka kalastiku üldseisundi halvenemises. Kaudselt võib mõju avalduda koelmute hävimises ja toidubaasi kahanemises. Tallinna madal piirkond kalakoelmuid aga ei esine [4].

8 SOOVITUSED UURINGUTE SUUNAMISEL

Seniste uuringute põhjal on väga vähe teada tegelikust geoloogilisest ehitusest. Käesoleval ajal, olemasolevatest andmetest on alles ainult 2016. aastal tehtud uuringud, mis tehti sonariga laevast, läbilõiked on koostanud sonari andmete baasil ja ühtegi puurauku kohapeal ei ole tehtud. Enne tuulutusšahtide läbindamist, tuleb alustada olemasolevate andmete töötlemisest tänapäeva tehnilisi võimalusi ära kasutades. Nende andmete põhjal saaks täpsemalt suunata geofüüsikalisi uuringuid ja alles siis välja valitud asukohtades puurida uued geoloogilise uuringu puuraugud [16].

KOKKUVÕTE

Tehissaare asukoht on valitud vastavalt FINEST tunneli trassi järgi. Kuna tunnel trass on planeeritud Tallinna madala alt läbi, on see koht ideaalne tehissaarte ehitamiseks. Täitematerjalide kulu on väiksem, sest meri sügavus on looduslikult kõrgem. Magistritöös on toodud erinevad võimalikud variandid tehissaare ehituseks. Saare rajamiseks on valitud kõige kulukam, samas aga kõige kindlam ja vastupidavam variant – kessoonidest piirdega tehissaar. Tehissaare ehitus võtab võrdlemisi kaua aega kuna täitematerjalide tihendamine ja stabiliseerimine on pikk protsess. Enne tuulutusšahtide läbindamist, tuleb selgeks teha saare stabiilsus ja vastupidavus mere lainetele, hoovustele ja jääle. Täitematerjalide saadavus ei tekita probleemi, kuna võimalik on kasutada FINEST tunneli läbindamisel tekkivat materjali ja transportida see läbi olemasoleva Muuga sadama vajalikku kohta. Samuti võib läbi viia uuringuid ja kasutada liivavarusid Tallinna madala ümber, näiteks Kuradimuna madalal on uuritud liiva varusid. Pinnasepump-süvendi laevaga on see võimalik kasutada tehissaare ehituseks.

Tuulutusšahtide läbindamine on samuti suur ja mahukas töö. Magistritöös on toodud erinevad variandid šahtide läbindamiseks ning kasutatavad seadmed. Meresette kihtides läbindamiseks on kõige mõistlikum kasutada läbinduskombaini. Läbindamine Ediacara kihtides on keeruline ning esialgselt võib proovida läbindamist kombainiga ja kui läbindamise tingimused ei vasta vajadusele, tuleb läbindada puur-lõhketöödega kuni šahtide lõpuni.

Tallinna madalal ei ole teostanud põhjalikke geoloogilisi uuringuid. Tulevikus tuleb läbi viia täiendavad uuringud ja selgeks teha, mida meresetted endast täpselt kujutavad. Selleks on vaja teha põhjalik puurimine. Samuti võib Soome lahes leida sõdadest jäänud lahingumooni. Tulenevalt eelnevast, tuleb Tallinna madala piirkond enne geoloogilisi uuringuid ja ehitust põhjalikult uurida ning vajadusel lõhkeained demineerida, et vältida võimalikke ootamatuid plahvatusi või lõhkeainete leidmist ehituse käigus, mis võib ajutiselt tööd peatada.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Tallinna ja Helsingi vaheline tunnel,“ Wikepeedia, Detsember 2018. [Võrgumaterjal]. Available: https://et.wikipedia.org/wiki/Tallinna_ja_Helsingi_vaheline_tunnel. [Kasutatud 8 03 2020].
- [2] „Tallinna madala tuletorn,“ Eesti tuletorni selts, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.etts.ee/EE/tuletornid/tuletornide-nimekiri/pohja-est/200-tallinnamadala-tuletorn>. [Kasutatud 16 02 2020].
- [3] O. I. K. N. Kimmo Alvi, „Geo-Blog: New survey of the Helsinki–Tallinn railway tunnel route,“ 10 märts 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://geokatse.gtk.fi/2017/03/10/english-science-blog-new-survey-of-the-helsinki-tallinn-railway-tunnel-route/>. [Kasutatud 15 04 2020].
- [4] J. K. V. K. I. D. Andres Kask, Kuradimuna madala liivalasundi geoloogiline uuring, Tallinn, 2005.
- [5] A. Strazdin, *Tallinn-Helsingi tunneli Eesti poolse portaali läbindamise tehnoloogia valik*, Tallinn, 2019.
- [6] Baaskaardi Tallinna(6334) ja Rohuneeme (7312) lehe geoloogilisegeofüüsikalise kaardikomplekti koostamine ja digitaalse andmebaasi loomine., TALLINN: Eesti Geoloogiakeskus, 2003.
- [7] J. R. RAUDSEP, BALTI MERE ŠELFIALA GEOLOOGILINE KAARDISTAMINE MÕÕTKAVAS 1:200000 LEHTEDEL 0-34-VI, 0-34-XII, 0-35I,II, TALLINN: Eesti geoloogiakeskus, 1994.
- [8] Tallinna Paljassaare tehissaarede detailplaneeringu keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne, Tallinn: Corson OÜ, 2012.
- [9] K. Rebane, Tallinn-Helsingi tunneli suur-lõhketööde parameetrite väljatöötamine läbindamiseks Ediacara liivakivides, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2018.
- [10] A. Soesoo, 1. Ülevaade Eesti geotermilisest, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2012.
- [11] „Tehissaar,“ Wikepeedia, 17 Juuni 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Tehissaar>. [Kasutatud 20 04 2020].
- [12] A. Erg, „Märt Sults rõõmustab tehisaarte detailplaneerigu kehtestamise üle: ütleme niimoodi, et nüüd algab pulmainsa töö,“ *Õhtuleht*, 14 juuni 2018.

- [13] K.B.Gorbunova, Magistri töö: Täitematerjalidest tehissaared Jamaali akvatooriumis, Peterburi, 2015.
- [14] „Berm,“ Wikipedia, detsember 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Berm>. [Kasutatud 20 04 2020].
- [15] „<https://hi-news.ru/eto-interesno/v-shotlandii-nashli-samye-starye-iskusstvennye-ostrova.html>,“ [Võrgumaterjal].
- [16] S. Kanter, Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2017.
- [17] V. Väizene, „Maardu graniidikaevanduse püstšahti,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2010.
- [18] A. Strazdin, Tallinn-Helsinki Eestipoolse portaali maapinna külmutamisprojekt, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2020.
- [19] „FINEST TUNNELI KESKKONNAMÕJU HINDAMISE PROGRAMM,“ Pöyry FINLAND OY, DETSEMBER 2018. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.envir.ee/sites/default/files/soome_riigisisene_kmh_programm_eesti.pdf. [Kasutatud 5 04 2020].
- [20] „Töötervishoiu ja tööohutuse seadus,“ Riigiteataja, 06 12 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019177>. [Kasutatud 16 05 2020].
- [21] „Seadme ohutuse seadus,“ Riigiteataja, 12 12 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019153>. [Kasutatud 16 05 2020].
- [22] „Maavarade kaevandamisele esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded1,“ Riigiteataja, 08 04 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/117102019005>. [Kasutatud 16 05 2020].
- [23] „Tuleohutuse seadus,“ Riigiteataja, 25 03 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/112122018071>. [Kasutatud 16 05 2020].
- [24] T. Tomberg, „Vertikaalkaevetööde läbindamine, Allmaakaevandamise konspekt,“ Tallinn, 2015.
- [25] „<https://zen.yandex.ru/media/utilizaciya/sozdannyi-iz-musora-raiskii-ostrov-semakau-5d486c7e80879d00ada6a71f>,“ [Võrgumaterjal].
- [26] L. tätmine, „<http://ttcec.by/molnye-zagruzchiki-sudov/>,“ [Võrgumaterjal].

- [27] P. s. tühistamine, „<https://www.nieuwsbladtransport.nl/bedrijfsnieuws/2017/07/19/megaklus-voor-van-oord-in-dubai/?gdpr=accept>,“ [Võrgumaterjal].
- [28] Helikopter, „https://ru.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland_AW139,“ [Võrgumaterjal].
- [29] T. Tomberg, „Vertikaalkaevetööde läbindamine ja toestamine,“ Tallinn, 2020.
- [30] „Balti mere,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://tapemark.narod.ru/more/09.html>.
- [31] „Lainemurdja,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://favoritgbi.ru/product/t-20/>.
- [32] A. group, „FINEST LINK TUNNEL PROJECT: GEOLOGICAL ASPECTS AND VERTICAL TUNNEL ALIGNMENT,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://amberggroup.com/news-events/news/finest-link-tunnel-project-geological-aspects-and-vertical-tunnel-alignment/>.
- [33] M. H. Uno Laur, Mere keele nõukoja.
- [34] „Herrenknecht koduleht,“ Herrenknecht, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.herrenknecht.com/en/products/mining/>. [Kasutatud 18 04 2020].
- [35] „Ilmateenistus,“ Riigi ilmateenistus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/ilmajutud/merevee-temperatuur-tallinna-lahes/>. [Kasutatud 8 03 2020].
- [36] „Lainemurdja,“ FavoritGBI, [Võrgumaterjal]. Available: <https://favoritgbi.ru/product/t-20/>. [Kasutatud 3 04 2020].
- [37] „Shenzhing silla ehituse projekt,“ russian.people.cn, [Võrgumaterjal]. Available: <http://russian.people.com.cn/n3/2017/0920/c31516-9271185.html>. [Kasutatud 17 05 2020].
- [38] Eesti sisemeres asuva Letipea liivamaardla kaevandamisega kaasneva keskkonnamõju hindamise programm, Tallinn: Steiger, OÜ Inseneribüroo, 2015.
- [39] E. Reinsalu, Mäemajandus, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2008.
- [40] „USSR merid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://tapemark.narod.ru/more/09.html>. [Kasutatud 25 03 2020].

LISAD

Lisa 1. Lõhketööde arvutamise meetodika

Kaeveõõnte läbindamine ühe vaba pinnaga lõhkamisel [23].

Ee edasinihke samm, m:

$$L_b = l_d \eta$$

l_d – lõhkeaugu sügavus, m

η – lõhkeaugu kasutegur

Korruga lõhatava kivimi maht, m³:

$$V = AL_b$$

A – ee ristlõike pindala, m²

Suletustegur:

$$k_s = \frac{3 \times l_d}{\sqrt{A}}$$

Lõhkeaine erikulu, kg/m³:

$$q = q_1 k_1 k_s K_p$$

q_1 – lõhkeaine erikulu, kg/m³

k_1 – kivimi struktuuritegur

K_p – lõhkeaine parandustegur

Lõhkamiseks vajalik lõhkeaine kogus, kg:

$$Q = qV$$

Laengu keskmine mass ühes lõhkeaugus, kg:

$$Q_l = q_l l_d k_t$$

q_l – laengu jaotatud mass, kg/m

k_t – lõhkeaugu täitetegur

Laengute arv ee lõhkamiseks:

$$n = \frac{Q}{Q_l}$$

Lõhkeaine tegelik kulu, kg:

$$Q_{tegelik} = nQ_l + (n - n^*)Q_l$$

n^* - algmurde lõhkeaukude arv

Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m³:

$$q_{tegelik} = \frac{Q}{V}$$

Puurtööde maht, m:

$$PT = n^*l_{algm} + (n - n^*)l_d$$

l_{algm} – algmurde lõhkeaukude pikkus, m

Puurtööde erimaht, m/m³:

$$pt = \frac{PT}{V}$$

Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina, Boleslav Kruglik (sünnikuupäev: 18.04.1988)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose – Tallinn – Helsingi raudteetunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projekt, mille juhendaja on Tõnu Tomberg,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

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

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (allkiri)

11.06.2020 (kuupäev)

GRAAFILISED LISAD

Graafiline lisa 1. Tehissaare asendiplaan

Graafiline lisa 2. Geoloogiline läbilõige

Graafiline lisa 3. Bermi läbilõige

Graafiline lisa 4. Kessooni läbilõige

Graafiline lisa 5. Tehissaare 3D plaan

Graafiline lisa 6. Tehissaare skemaatiline läbilõige

Graafiline lisa 7. Tuulutussahtide seksioneerimine

Graafiline lisa 8. Tuulutussahtide krae läbilõige

Graafiline lisa 9. Tuulutussahtide läbinduskombaini näide

Graafiline lisa 10. Lõhkeaukude paiknemine külmutanud liivakivis

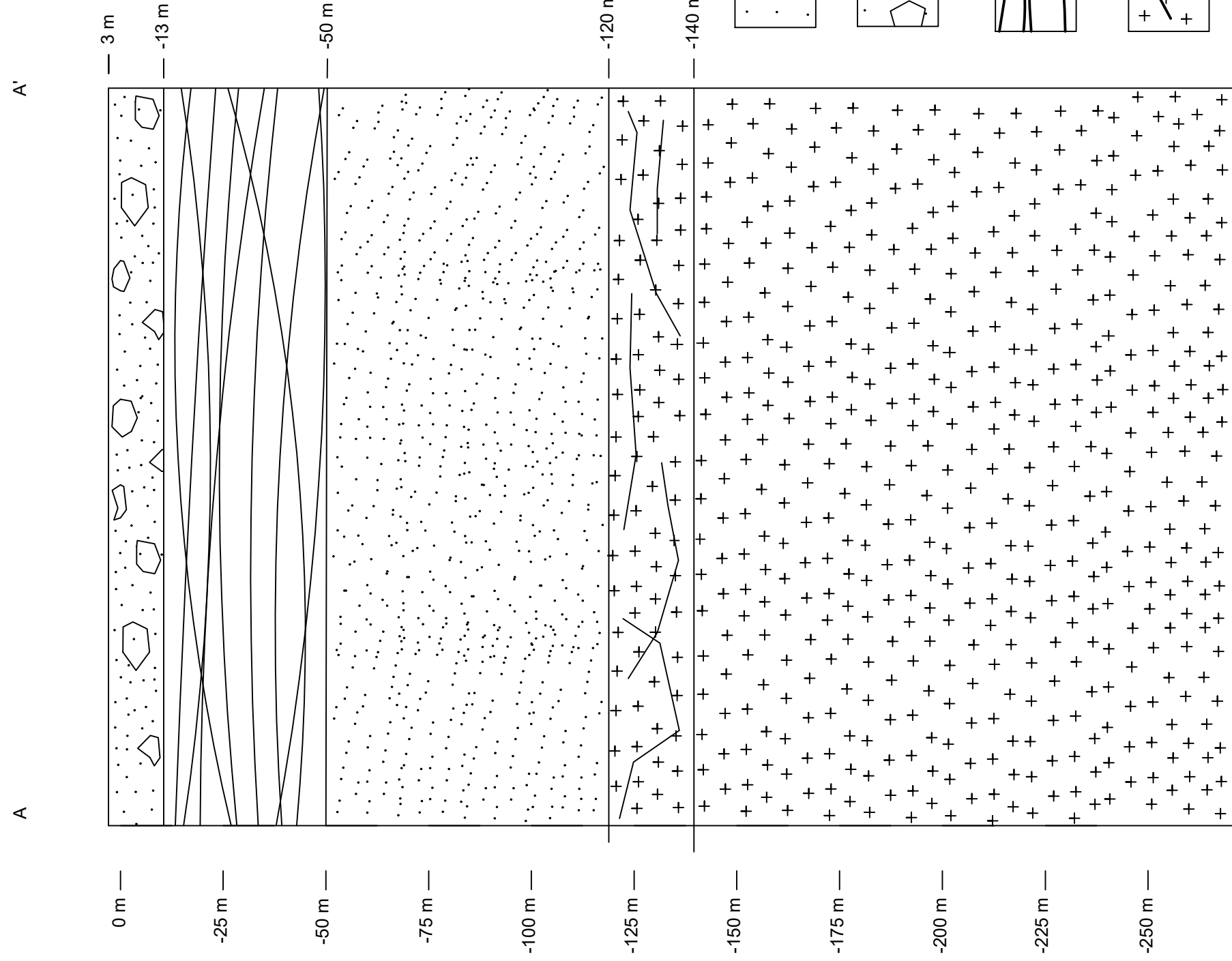
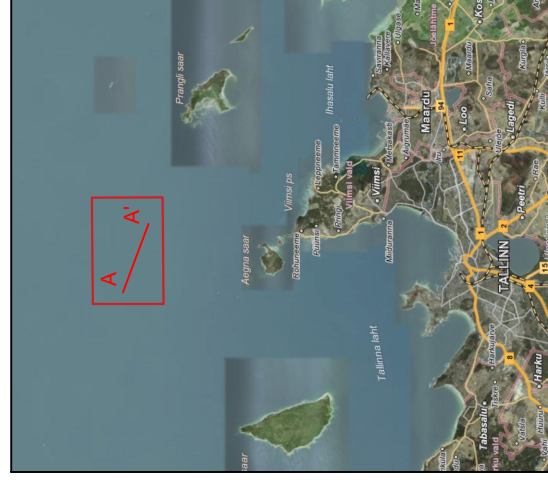
Graafiline lisa 11. Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel

Graafiline lisa 12. Tuulutussahtide läbilõige

Graafiline lisa 13. Tehissaare plaan


Graafiline lisa 14. FINEST tunnelitrass

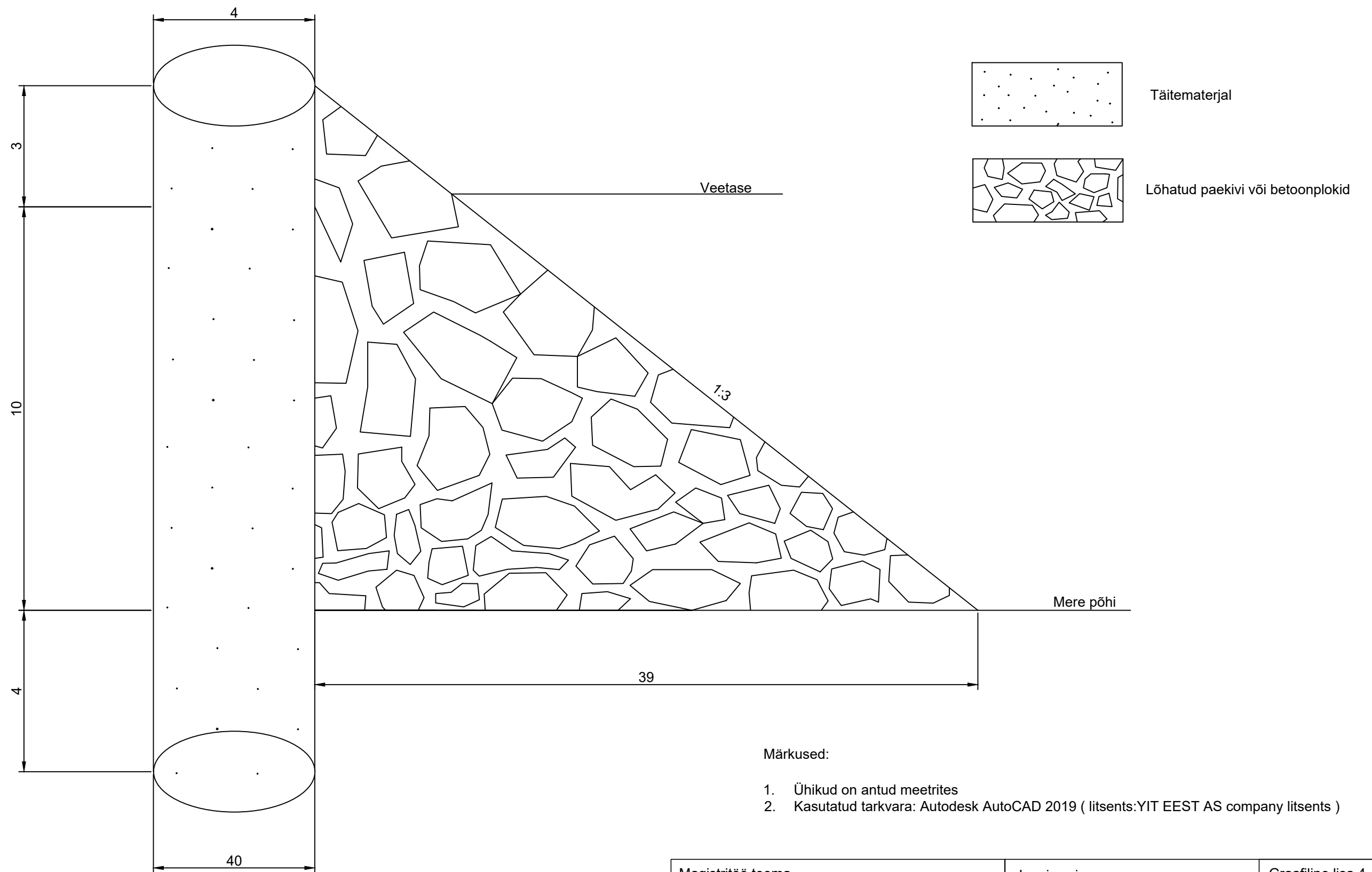
ASENDIPLAAN
M 1:200 000



Märkused:


1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

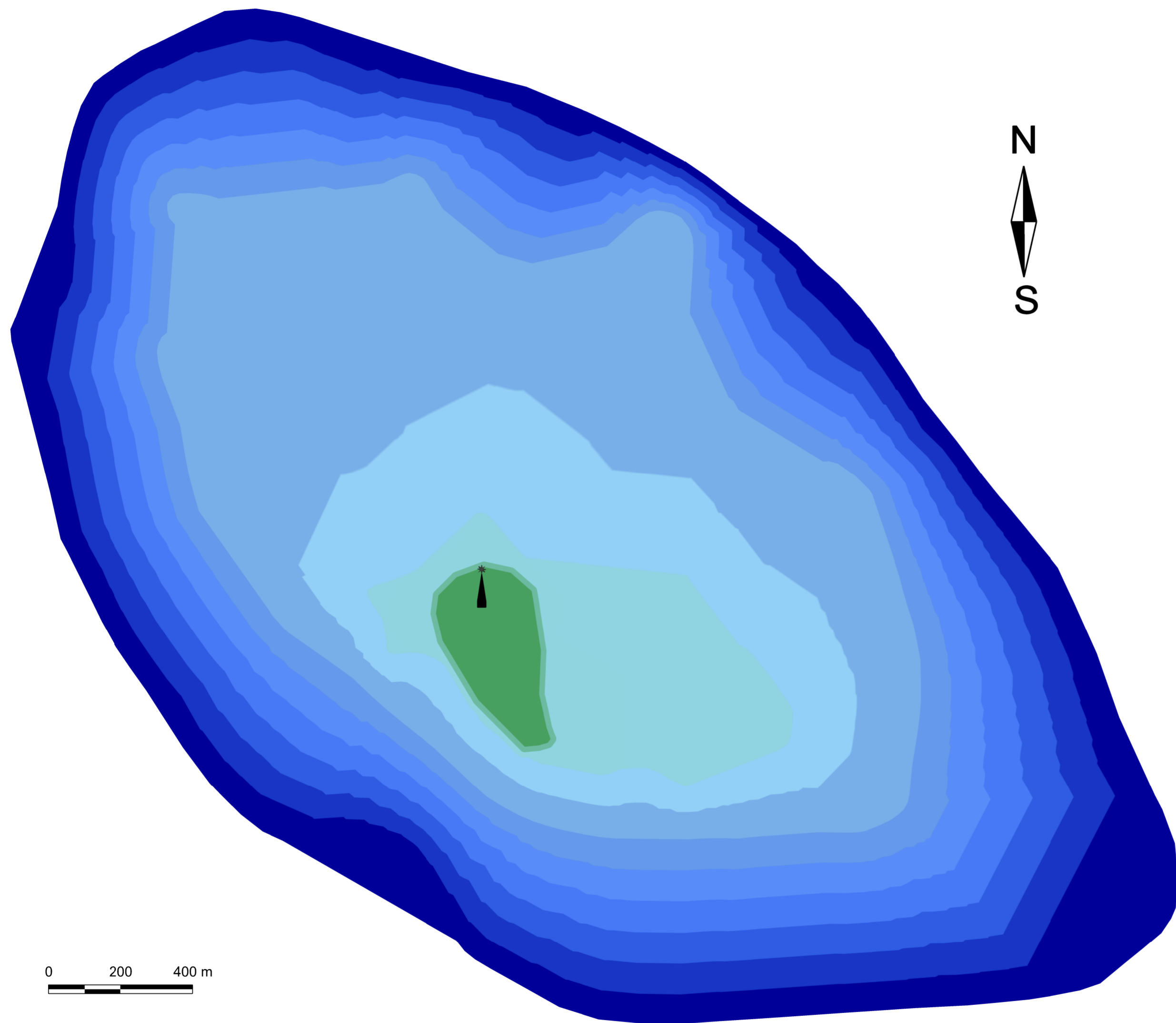
Magistritöö teema Tallinn - Helsingi raudtunneli tuulutusahvide rajamise konseptuaalne projek	Joonise sisu	Graafiline lisa 2
	Geoloogiline läbiõige Möötkava 1 : 1 000	
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja	Kuupäev 02.06.2020



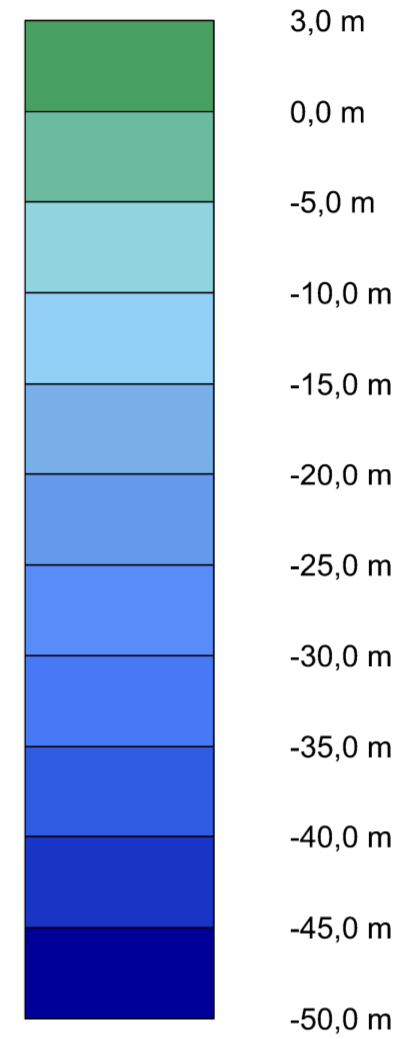
Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 4
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projek	Kessooni läbilõige	Möötkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



Kõrgused



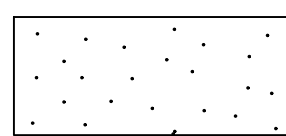
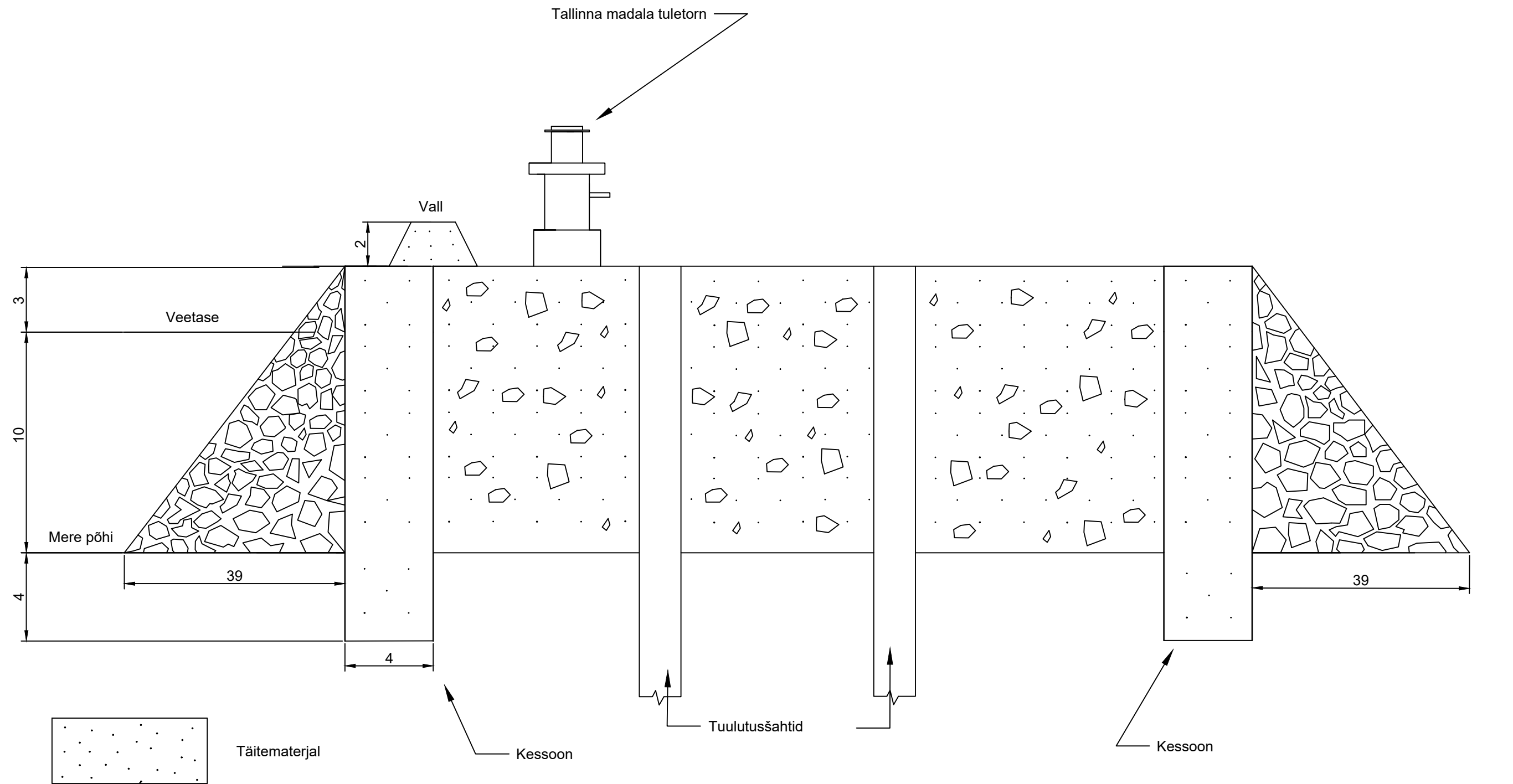
Tallinna madala tuletorn



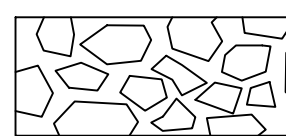
Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents: YIT EESTI AS company litsents).

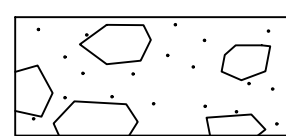
Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 5
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise konseptuaalne projek	Tehissaare 3D mudel	Mõõtkava 1 : 10 000
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas	Boleslav Kruglik
	Juhendaja	Tõnu Tomberg
		Matrikli nr 176658YAEM
		Kuupäev 28.05.2020



Täitematerjal



Lõhatud paekivi või betoonplokid



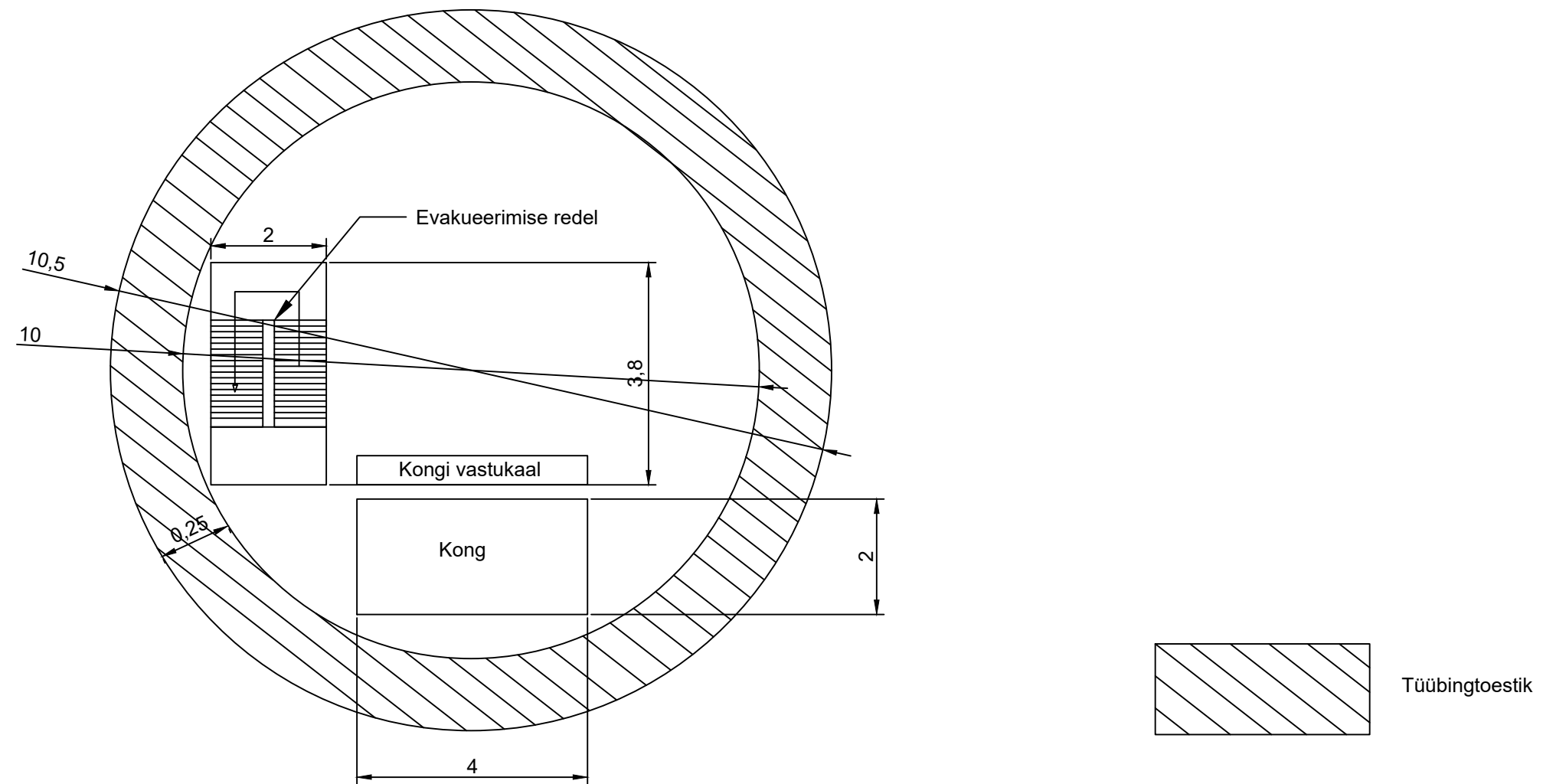
Tehissaare täitekeha



Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

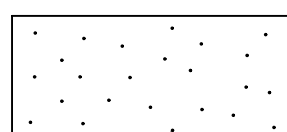
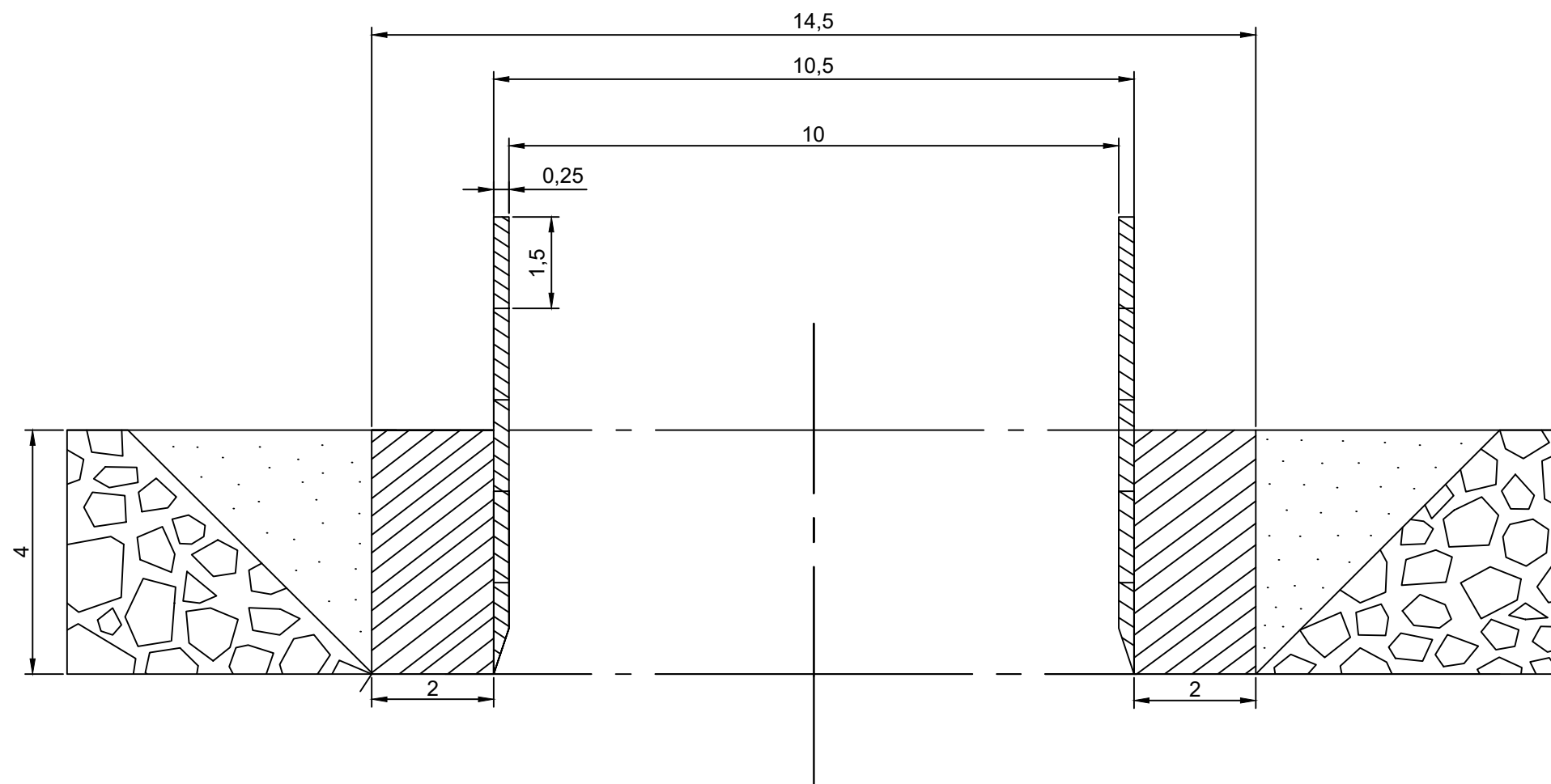
Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 6
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projek	Tehissaare skemaatiline läbilõige	Mõõtkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

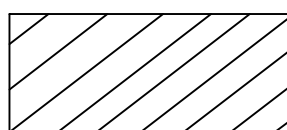
Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 7
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projek	Tuulutusšahtide seksioneerimine	Möötkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



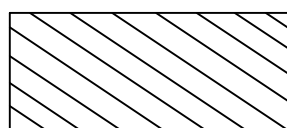
Täitematerjal



Pinnakate



Betoontoestik

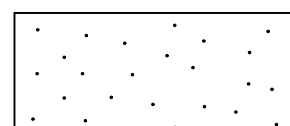
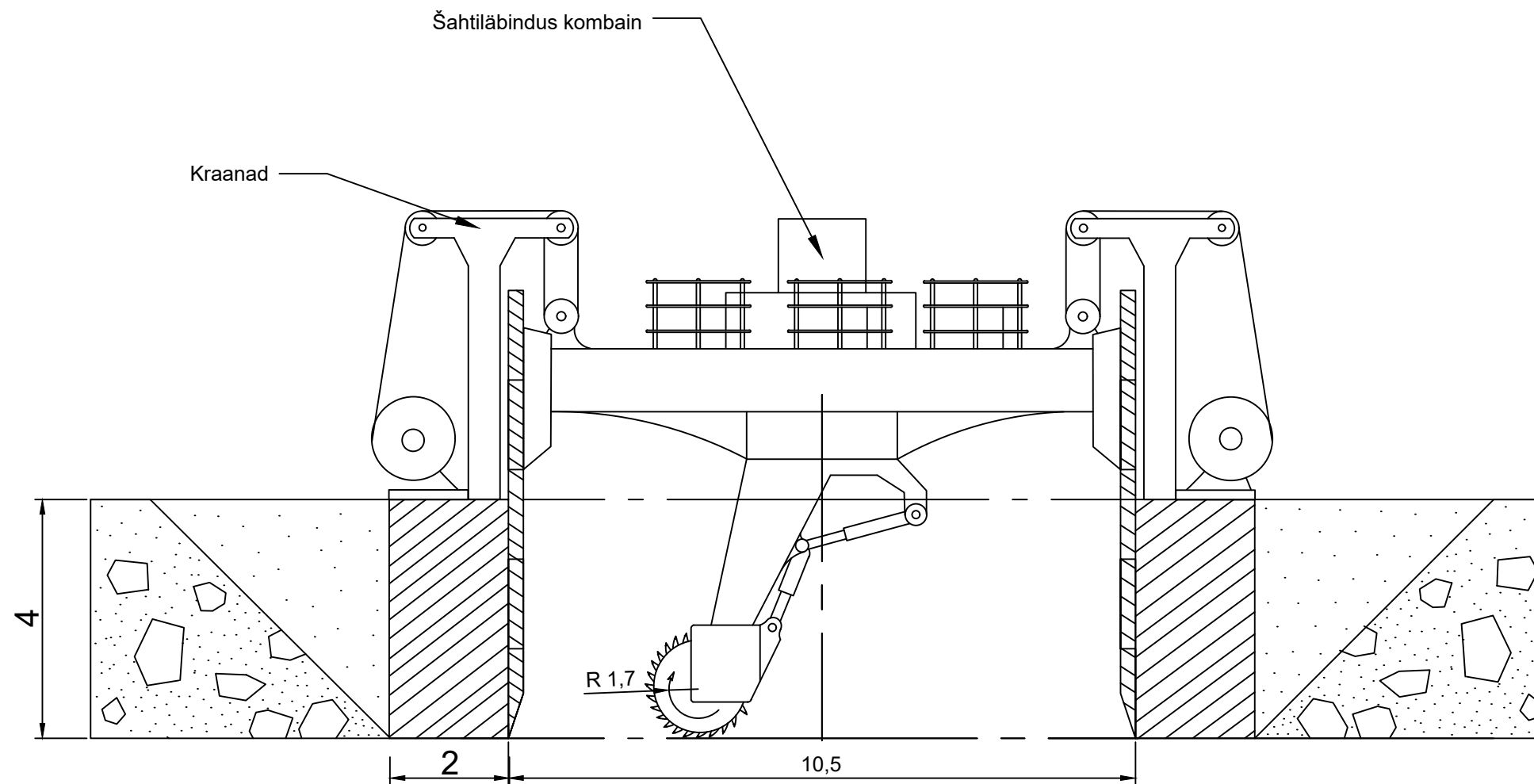


Tüübingtoestik

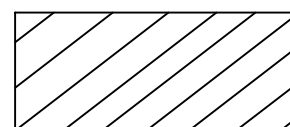
Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 8
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projek	Tuulutusšahti krae läbilõige	Mõõtkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



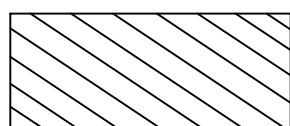
Täitematerjal



Betoontoestik



Pinnakate

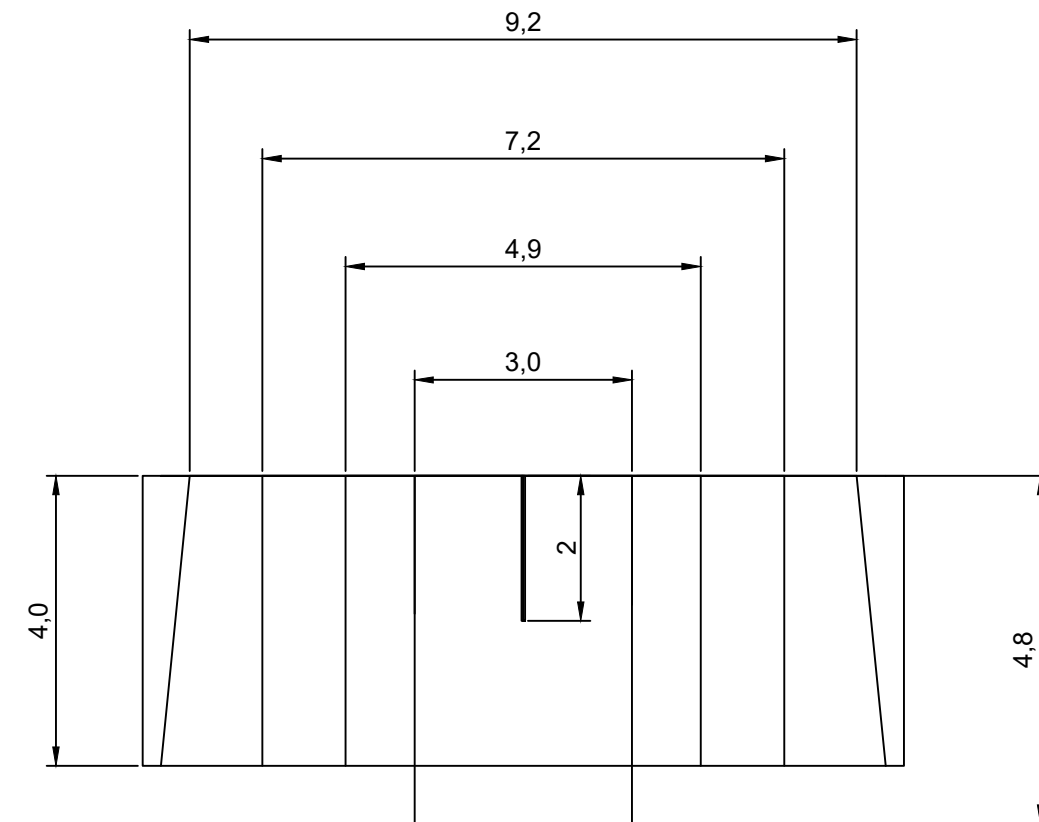
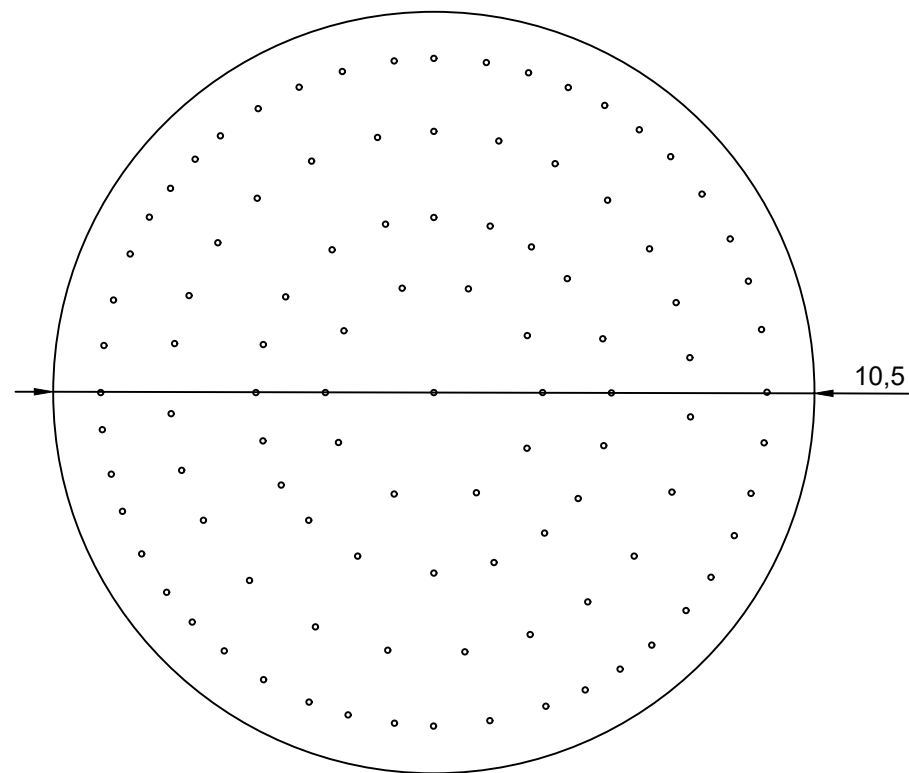


Tüübingtoestik

Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

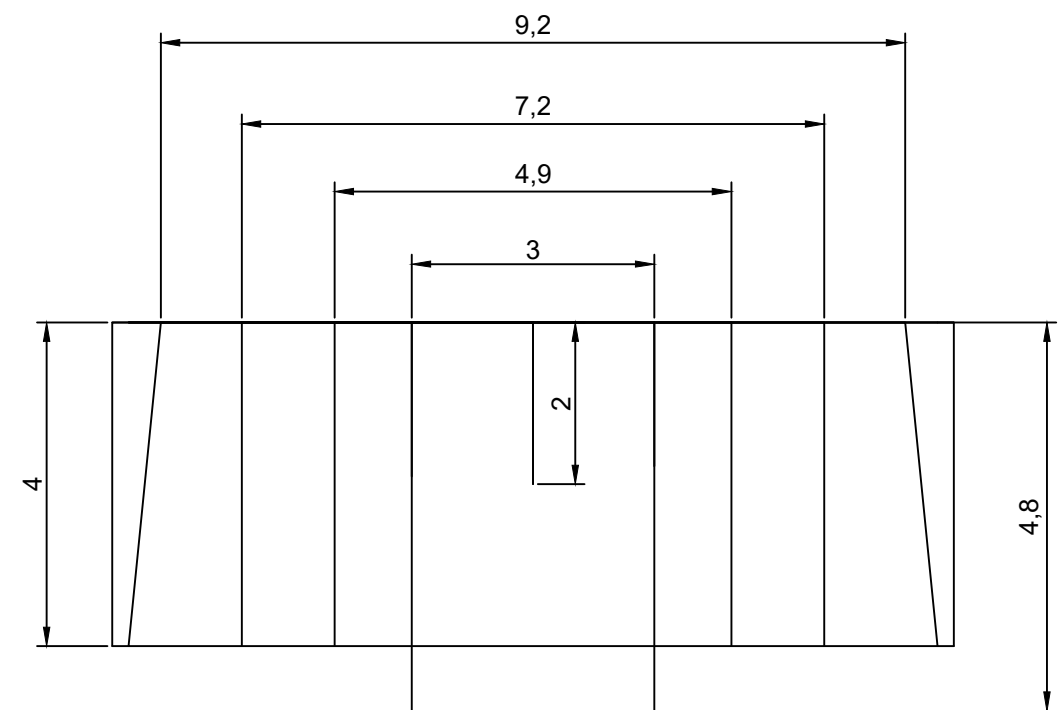
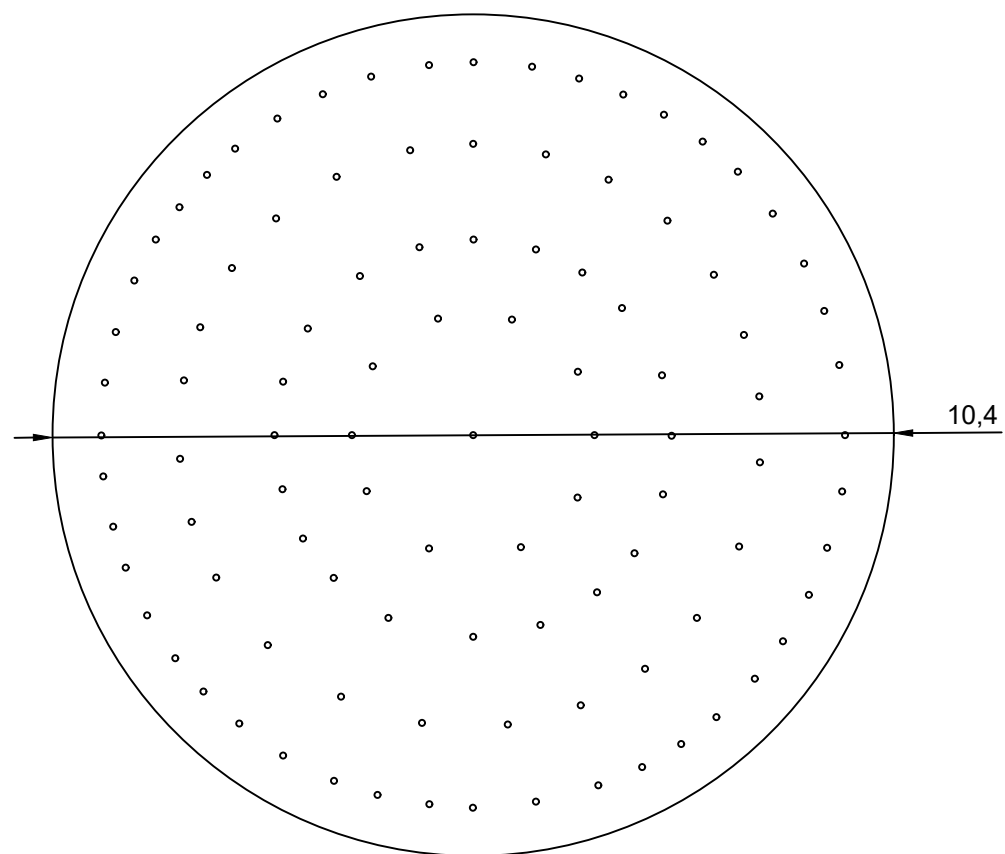
Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 9
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise konseptuaalne projek	Tuulutusšahtide läbinduskombaini näide	Möötkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

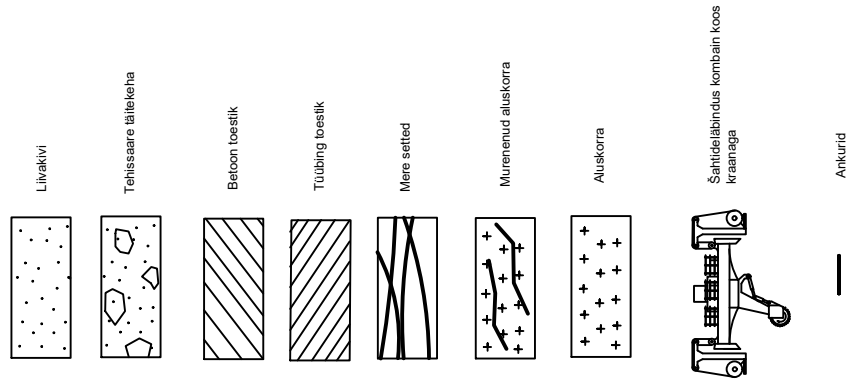
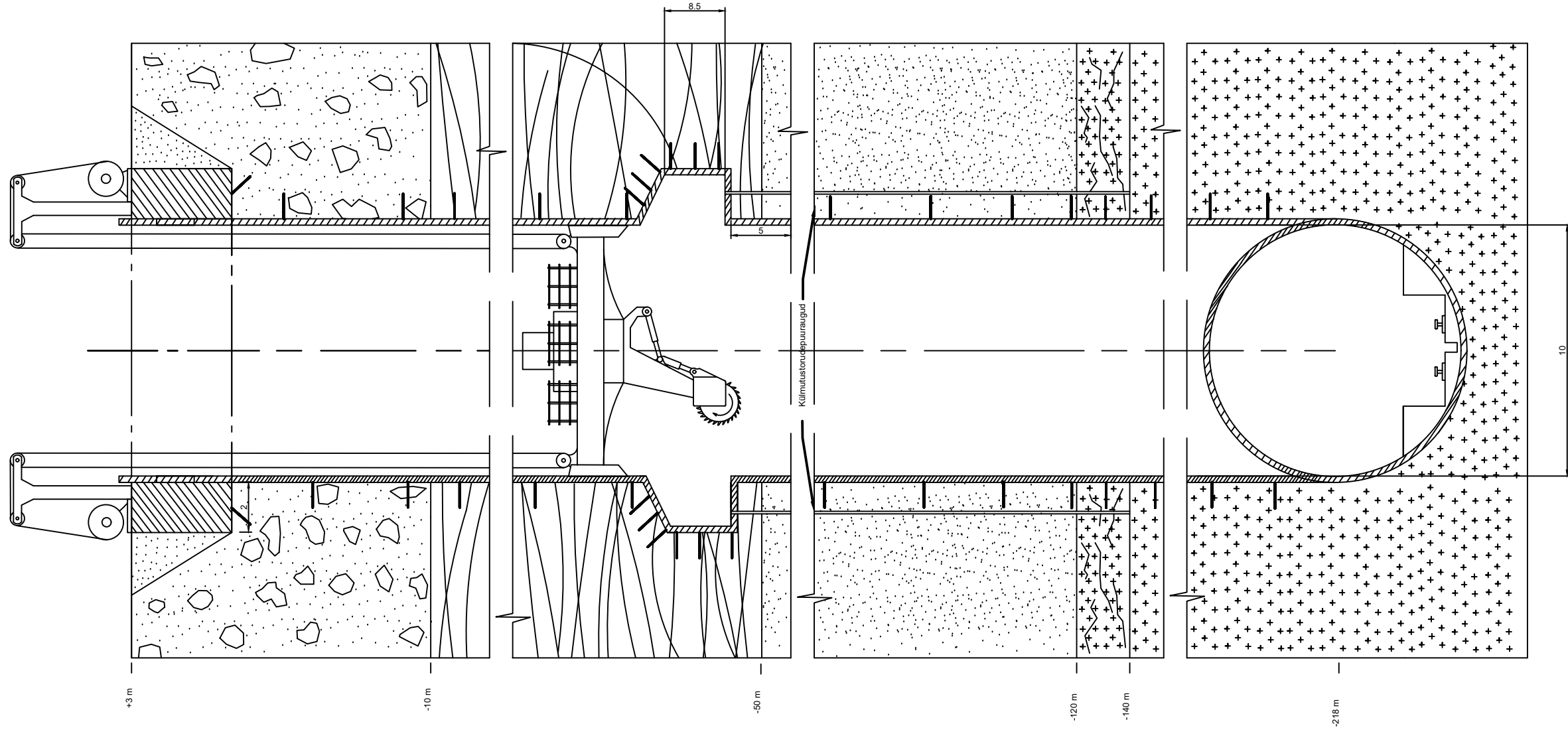
Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 10
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise konseptuaalne projek	Lõhkeaukude paiknemine külmutatud liivakivis	Möötkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 11
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projek	Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel	Mõõtkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 28.05.2020



Märkused:

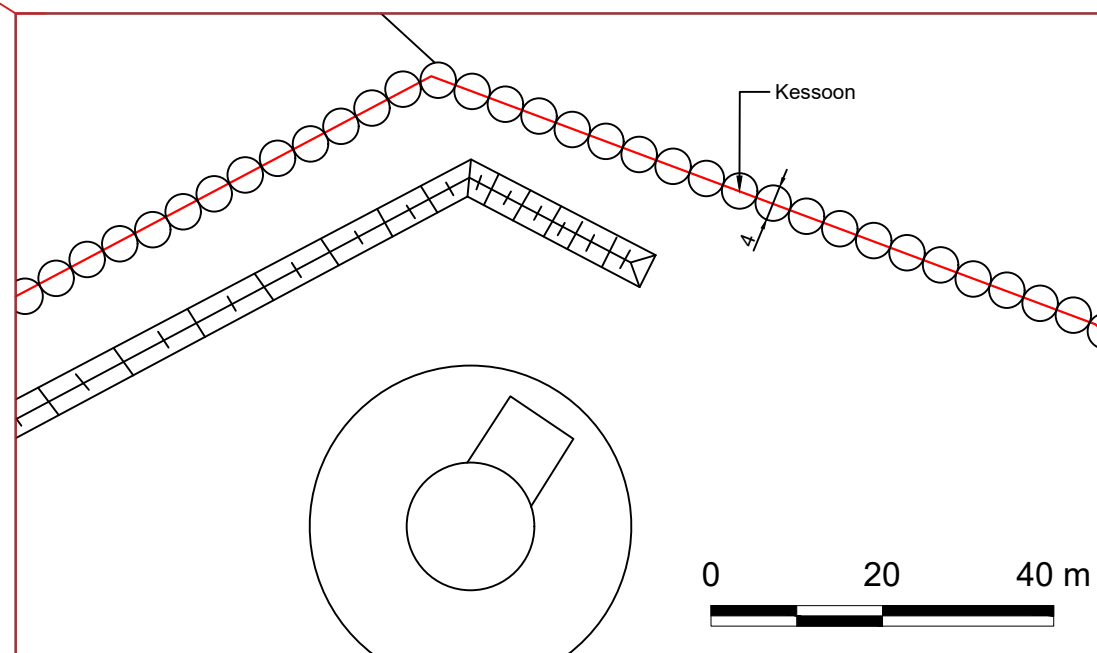
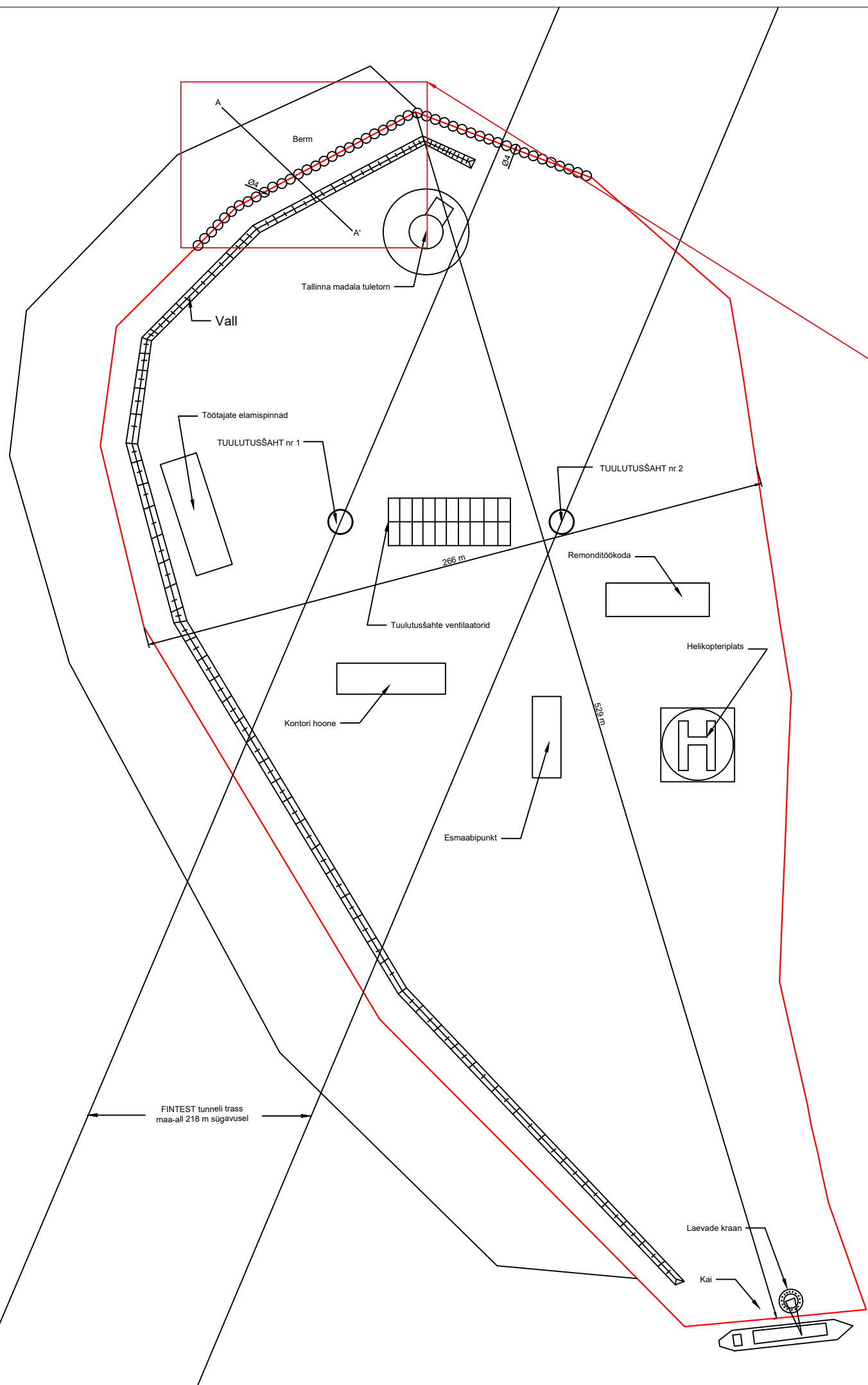
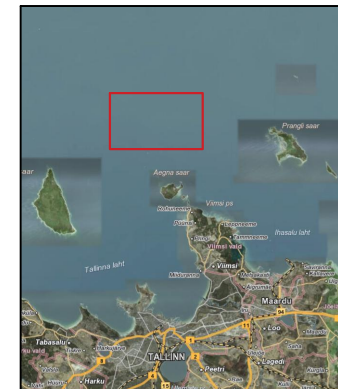
1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents: YIT EEST AS company litsents)

Magistritöö teema Tallinn - Heisinki raudtunneli tuulutusahvide rajamise konseptuaalne projek	Joonise sisu	Graafiline lisa 12
	Tulutusahvide läbilõike	Mõõtkava 1 : 20 000
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas	Matrikli nr 176658YAEM
	Boleslav Kruglik Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020





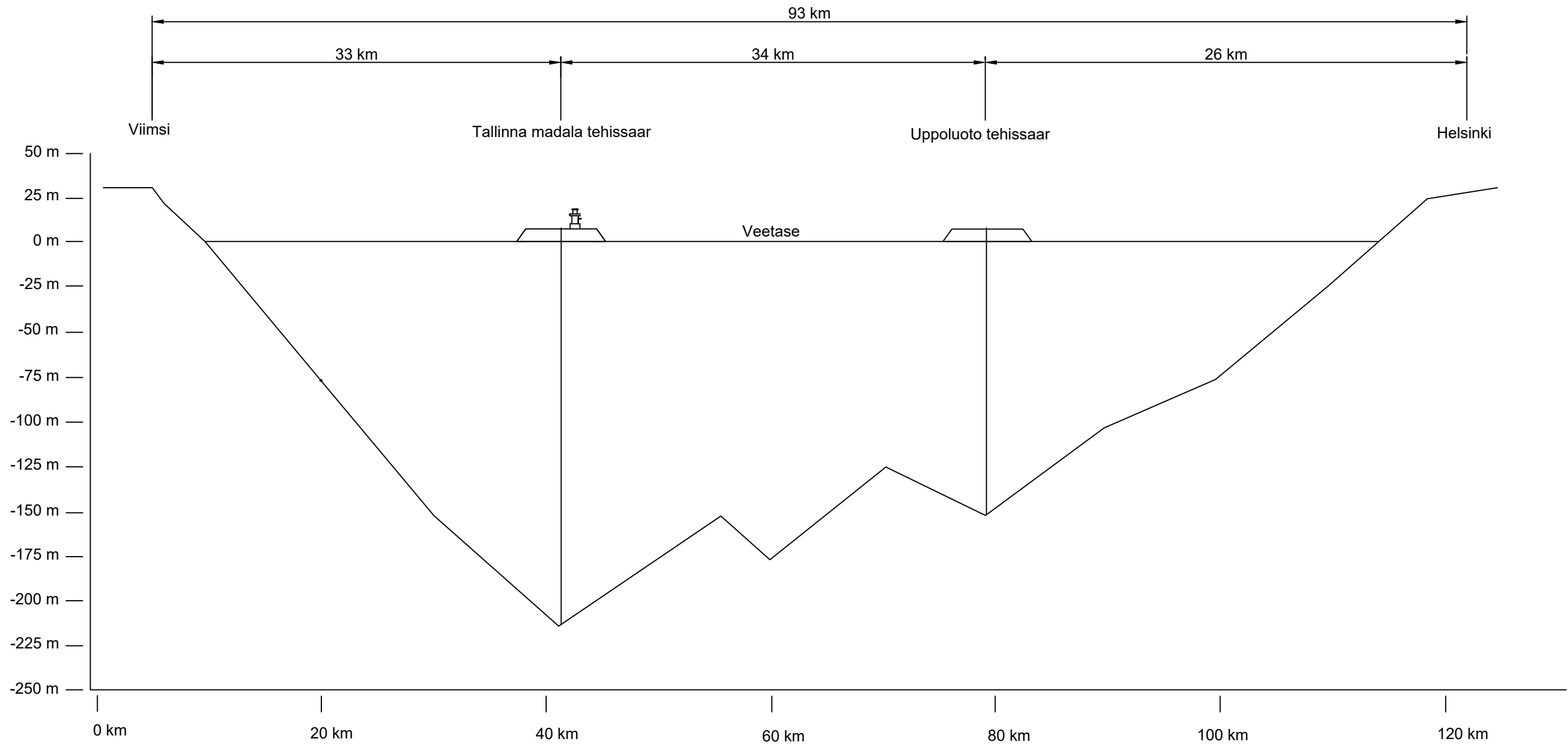
ASENDIPLAAN
M 1:200 000



Märkused:

1. Asendiplaan: Maa-ameti X-GIS kaardirakendus
2. Tuulutussaht nr 1 X: 6619616,64; Y: 541149,20
3. Tuulutussaht nr 2 X: 6619616,64; Y: 541242,03
4. Tallinna madala tuletorn X: 6619665,24 Y: 541175,06
5. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 13
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise kontseptuaalne projek	Tehissaare plaan	Mõõtkava 1 : 20 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020



Märkused:

1. Ühikud on antud meetrites
2. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2019 (litsents:YIT EEST AS company litsents)

Magistritöö teema	Joonise sisu	Graafiline lisa 14
Tallinn - Helsinki raudtunneli tuulutusšahtide rajamise konseptuaalne projek	FINEST tunnelitrass	Möötkava 1 : 1 000
 Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Koostas Boleslav Kruglik	Matrikli nr 176658YAEM
	Juhendaja Tõnu Tomberg	Kuupäev 02.06.2020