

Töö number: 2021_0032
Tellija Rahandusministeerium
Suur-Ameerika 1, Tallinn 10122
Telefon: +372 611 3558
info@rahandusministeerium.ee
Konsultant Skepast&Puhkim OÜ
Laki põik 2, 12915 Tallinn
Telefon: +372 664 5808; e-post: info@skpk.ee
Registrikood: 11255795;
Kuupäev 16.03.2022

Suure väina püsiühenduse geoloogilise ja hüdrogeoloogilise uuringu lähteülesanne

Suure väina püsiühenduse ja selle toimimiseks vajaliku taristu riigi eriplaneeringu ning keskkonnamõju strateegilise hindamise lisa



Versioon **3**
Kuupäev **16.03.2022**
Koostanud: **Ingo Valgma, Skepast&Puhkim OÜ**
Kontrollinud: **Anni Konsap, Skepast&Puhkim OÜ**
Kooskõlastanud: **Siim Orav, Rahandusministeerium**

Projekti nr **2021_0032**

SKEPAST&PUHKIM OÜ
Laki põik 2
12915 Tallinn
Registrikood 11255795
tel +372 664 5808
e-mail info@skpk.ee
www.skpk.ee

Sisukord

1. Geoloogilise ja hüdrogeoloogilise lähteülesande koostamise kokkuvõte	3
2. Olemasolevate uuringute ja analüüside ülevaade.....	4
2.1. Olemasolevate tööde ülevaade	4
2.2. Hinnang olemasolevate tööde piisavusele	26
3. Geoloogilise ja hüdrogeoloogilise uuringu lähteülesanne.....	28
4. Ettepanekud mõjuhindamise läbiviimiseks.....	33

1. Geoloogilise ja hüdrogeoloogilise lähteülesande koostamise kokkuvõte

Töös on antud ülevaade Suure Väina piirkonnas tehtud geoloogilistest, hüdrogeoloogilistest ja geotehnoloogilistest uuringutest ning nende põhiantmetest. Lisatud joonised on väljavõtted viidatud uuringute aruannetest.

Eelnevalt on tehtud eeluuringuid, kuid uuringute raames kogutud andmed ei ole täies mahus avaldatud. Asukohavalikuks ja edasiste, detailuuringute mahu ja vajalikkuse hindamiseks tuleb hankida varem kogutud andmed ja teha nende põhjal ruumilised andmemudelid ning nende väljundina muuhulgas geoloogilised ja hüdrogeoloogilised profiilid sildade ja tunnelite asukohtades. Geoloogilise mudeli all on mõeldud ruumiliste andmepunktide kogumit, mis iseloomustavad kivimi paiknemist, omadusi ning muuhulgas vee paiknemise, omaduste ja liikumise parameetreid¹. Mudelitesse sisestatud andmete alusel interpoleeritakse andmeväärtused algandmete vahelistesse ruumipunktidest ning hinnatakse nende usaldusväärtust. Ruumilisse mudelisse lisatakse kivimite ja vee parameetreid vastavalt vajadusele. Dünaamilises mudelis simuleeritakse kimite pingelukordi ja liikumist ning vee liikumist. Reostusmudelis simuleeritakse vee kvaliteedinäitajate muutumist põhjavees, näiteks õlireostuse (või vee sissetungimise) korral tunnelis. Mudelid peavad võimaldama puuduolevate andmete hankimiseks tehtavate tööde vajalikkuse hindamist ning lähteülesande koostamist.

Detailuuringute maht selgub uuringute käigus, kuna see sõltub uuringu käigus saadavate andmete piisavusest. Detailuuringute peamine meetod on uuringupuuraukude puurimine, karotaaž, vee katse- ja proovipumpamine ning puursüdame võtmine ning uurimine.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_modelling

2. Olemasolevate uuringute ja analüüside ülevaade

2.1. Olemasolevate tööde ülevaade

1955. aastal puuriti Kuivastu sadama praamide põhja ja lõuna randumissilla II järjekorra rekonstrueerimise uuringu² andmetel kvaternaarisetetes 16 uuringupuurauku, sügavusega kuni 7,1 m.

1968. aastal tehtud merepõhja uuringu³ käigus tuvastati Suure väina põhjasetted ja näidati geoloogilistel lõigetel savi olemasolu suure Väina keskel.

1977. aastal avaldati Suure Väina põhjasetete granulomeetriselised iseloomustused⁴.

1997. aastal tehti geoloogilised uuringud Suure Väina silla võimalikel trassidel. Esimene uuring⁵ oli Suure Väina geoloogilise ehituse selgitamisel ülduuringu iseloomuga, selleks et anda ekspertidele alusandmestikku variantide ja võimaluste arvestamiseks. Puurimistöid tehti põhjapoolses osas (üle Kessulaiu) ja keskmisel (faarvaatri lähedal) profiilil. Selgus, et lubjakivi katvate setete paksus väina läbivas vagumuses on kuni 10 - 20m, ning suhteliselt õhuke väljaspool seda. Ka vagumuse veergudel on setete paksus väiksem. Seega on tehniliselt otstarbekam sild üle väina viia kohas, kus setetega täitunud vagumus on kitsam. Probleemid on tunduvalt väiksemad madalaveelises osas, kus lubjakivi katvate viirsavi ja moreeni paksus kokku on vaid mõni meeter. Tõdeti, et Suure Väina vagumuse geoloogiline ehitus on uuritud vaid geofüüsikaliste meetoditega, mille tulemuste täpsus suureneks paralleelselt puurimistega (tehniline teostus nii suures veesügavuses on raskendatud). Järgmisel uurimistööde etapil peeti otstarbekaks alljärgnevate tööde tegemist:

- 1) trassidel sügavussuhete selgitamine täpsete kajaloodidega;
- 2) geofüüsikaliste uuringute tegemine mere sügavamas osas (üle 10 m);
- 3) puurimiste läbiviimine sillapostide võimalikes asukohtades;

Töö teises etapis⁶ esitati silla lõunapoolseima võimaliku trassi (Virtsu - Viirelaid - Muhu saar) põhimõtteline geoloogiline ehitus puurimiste (madalmere osas) ja seisimoakustiliste uuringute põhjal. Esitati kolme moreeniproovi geotehnilised näitajad. Selgitati, et moreeni, viirsavi ja meresetete paksus on selles piirkonnas väiksem kui põhjapoolsematel, varem uuritud võimalikel trassidel.

1998. aastal tehti geoloogilised uuringud⁷ Suure väina tunneli rajamise tasuvushinnangu tegemiseks. Aruandes antakse ülevaade ka tunneli võimaliku trassi hüdrogeoloogilistest tingimustest. Esitatakse Viirelaiul ja Virtsu lähedal puuritud puursüdamike kirjeldused, kivimite survetugevuse määrangute tulemused, puuraukudes tehtud katsepumpamiste ja geofüüsikaliste

² Kuivastu sadama praamide põhja ja lõuna randumissilla II järjekorra rekonstrueerimine. 6493. LENMORNIPROJEKT 1972

³ Virtsu-Võiküla 35 kV liini III niit. Aruanne nr 5316. "ENERGOSETPROJEKT" severo-zapadnoe otdelenie Estonskij OKP 1968

⁴ Väinamere etalonlade põhjasetete ülemise kihi granulomeetria. EGF: 3455. TA GI 1977

⁵ Geoloogilised uurimistööd Suures Väinas Virtsu poolsaare ja Muhu saare vahele rajatava silla võimalikel trassidel. EGF: 5603. 1997

⁶ Geoloogilised uurimistööd Suures Väinas, Virtsu poolsaare ja Muhu saare vahele rajatava silla võimalikel trassidel. II etapp. EGF: 5694. 1997

⁷ Geoloogilised uuringud Suure väina tunneli rajamise tasuvushinnangute tegemiseks. EGK 1998

uuringute tulemused. Koostatud läbilõike annab ettekujutuse tunneli rajamise geoloogilistest ja hüdrogeoloogilistest eeldustest.

Tähtsaim ülesanne oli välja selgitada, kui tihedaks ja ühtlaseks kihiks merglid osutuvad ja milliste põhjaveehulkadega on tegemist selles lasundis. Puuriti kaks mergeleid läbivat puurauku (sügavusega 85 m) võimaliku tunneli kulgemise trassile (üks mere äärde Virtsu randa, teine Viirelaiule). Puuraugud puuriti 3 m pikkuste intervallidega südamikü võtmiseks. Pärast iga tõstet tehti puuraukudes lühiajalised pumpamised kestusega 10-15 minutit veerohkete intervallide väljaselgitamiseks ja võeti veeproov põhjavee elektrijühtivuse (mineraalainete sisalduse) määramiseks, mille järsud muutused annavad samuti tunnistust teistsuguse koostisega veesoone läbimisest. Puuraukude ülemine osa (0-31 m) puuriti läbimõõduga 112 mm, sügavamad intervallid 93 mm. Virtsu puuraugus oli südamikü väljatulek 84% ja Viirelaiu puuraugus 95%. Kvaternaarisetted isoleeriti 219 mm mantelkorudega ning Jaagarahu lademe ülemine, valdavalt dolomiidist koosnev osa, 127 mm (Viirelaiu) ja 108 mm (Virtsu) torukolonniidega. Mantelkorude tagune osa tsementeeriti. Dolomiidikompleksi ja mergli veeandvuse ja teiste hüdrogeoloogiliste parameetrite määramiseks tehti enne puuraukude manteldamist ja puurimise lõppsügavusel lühiajalised katsepumpamised kestusega 3 tundi ja veepinna taastumiskatsed. Virtsu puuraugus kasutati pumpamiseks airliftseadet kompressoriga PR 6/8 ja Viirelaiul PKD 5.25. Pärast puurimistööde lõppu viidi puuraukude geoloogilise ja hüdrogeoloogilise läbilõike täpsustamiseks läbi geofüüsikalised uuringud (kivimite y-kiirguse ja elektrilise näiva eritakistuse karotaaž ning puuraugusisese veevoolu mõõtmine e. vooluhulga-karotaaž). Võimalikuks edaspidiseks uurimiseks telekaameraga ja tundlikuma geofüüsikalise aparatuuriga puuraugud konserveeriti. Samas võeti ka proovid kivimite füüsikalismehaaniliste omaduste (survetugevuse) määramiseks. Proovid võeti alates puuraugu lõppsügavusest kuni suudmeni iga 10 m järel. Kivimit käsitletakse järgmiste põhiliste tunnuste alusel: aineiline koostis, värvus, struktuuritüüp, biodetriit, põhimassi kristallilisus, tekstuur. Seda täpsustatakse ja täiendatakse kihisestest tekstuuride (kihilisus, kihi paksus ja iseloom), savika ja puhta kivimi suhte, ussikäikude, lisandite, lõhede, pooride osas. Kivimi ainelise koostise täpsustamiseks kasutati 3%-list soolhapet.

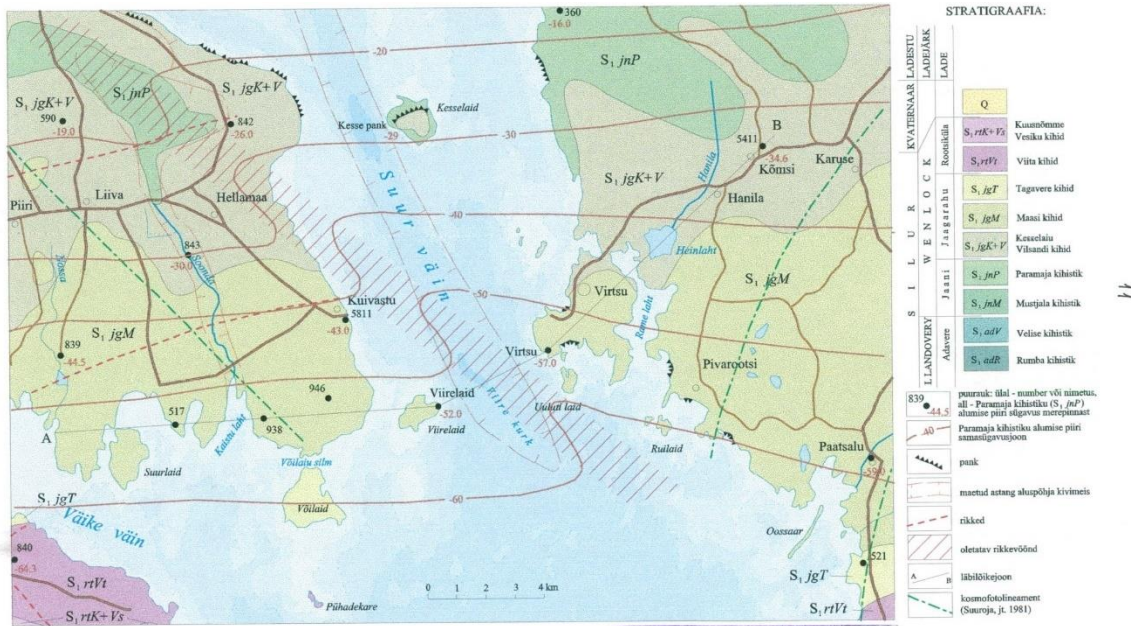
Väina keskosa läbib pikisuunas sügav vagumus, mille aluspõhi paikneb merepinnast 40-50 m sügavusel, mis on täies ulatuses kulutatud aluspõhja kivimitesse. Hiljem on põhja-lõunasuunalist vagumust ilmselt süvendanud liustikud. Mandriliustiku taganemise perioodist settis vagumuse põhja moreen, veelgi hiljem savi ja liiv. Merepõhja reljeef tunneli võimaliku trassi kohal on küllaltki järsk ning sügavused jäävad enamasti 10-20 m vahemikku. Suuremad sügavused esinevad loodekagusuunalise vagumuse põhjas, kus merepõhja sügavus on üle 20 m. Valdaval osal Muhumaast ja Läänemaast on aluspõhi kaetud pinnakatte kihiga. Enamasti lasub aluspõhjal basaalse kihina moreen, mis puudub ainult kulutustasandikel alvarite piires. Tavaliselt on helehalli jämepeurrurikka liivsavimoreeni paksus 1-4 m. Muhu ja Viirelaiu lähedal madalmeres oli moreeni paksus vaid 0,7-1,1 m. Mõnevõrra suurem moreeni paksus (~5 m) arvatakse olevat väina läbiva vagumuse põhjas. Suure väina piirkonnas on jääjärvesetted esindatud 1-6 m paksuse viirsavi lasundina. Savi on ühtlaselt kihitatud ning Suure väina piires litoloogiliselt vähemuutlik. Viirsavi ülemine osa on sealjuures pruuni ja alumine osa sinaka värvusega. Merelised setted moodustavad geoloogilise läbilõike kõige ülemise osa. Rannanõlva setted on esindatud valdavalt peen- kuni jämeteralise liiva, kruusa ja veeristega. Sageli esineb ka mölli, mille levikuareaal on suurem väina keskosas. Suures väinas on tegemist tavaliselt jämeda molliga. Geofüüsikaliste meetoditega on mölli paksust vagumuse piires hinnatud üle 5 meetri. Liiv levib Suures väinas suhteliselt piiratult ning väikestes paksustes piki Muhu saare ja Virtsu poolsaare randu. Lõimise järgi on enam levinud keskmise- ja segateraline liiv. Küllalt suur on siiski ka jämeda mölli (0,05-0,1 mm) osakaal. Viirelaiu ja Muhu saare vahel katab moreeni väikeses paksuses (0,2-0,3 m) peeneteraline aleuriitmuda, mis sisaldab palju taimejäänuseid.

Saaremaa ja mandri vahelise püsiühenduse loomiseks sobivas piirkonnas peaks piisama aluspõhja geoloogilisest uuringust sügavuseni 80-90 m. Laias laastus jaguneb uuritav vahemik ülal lasuvateks dolomiitideks paksusega 30-35 m, keskel lasuvaiks domeriitideks ja lasuvateks lubjakivideks uuritud paksusega 5-6 m (~8%). Kogu huvipakkuv kivimikompleks kuulub siluri ladestu alamsiluri ladestikku Wenlocki ja Llandovery ladejärku. Wenlocki ladejärgu dolomiidid on jagatud kohalikeks tsüklostratigraafilisteks üksusteks: ülemisteks - Jaagarahu lademe Maasi kihtideks, ja alumisteks -

Jaagarahu lademe Vilsandi + Kesselaiu kihtideks. Maasi kihid (S,jgM) moodustavad läbilõike joonel kuni 12 m paksuse lainja keskmisekihilise dolomiidilasundi, mille iseloomulikuks tunnuseks on sagedaste, kuni 0,5 cm paksuste selgelt nähtavate nihkepindadega domeriidiläätsete esinemine. Nende olemasolu mõjutab kivimi survetugevust, mis kõigub 58-119 MPa piires. Maasi kihtide alumises osas esineb hea reepertasemena 1-1,5 m paksune horisontaalkihiline teraline onkoliitdolomiit. Maasi kihtide dolomiit puudub Viire kurgu põhjas, kus aluspõhi on kulutatud kuni 30 meetri sügavuseks vagumuseks. Maasi kihid esinevad täispaksuses (~17 m) väljaspool avamusala, seega läbilõikejoonest tunduvalt lõuna pool. Vilsandi + Kesselaiu kihid (SJgK+V) on puuraukudes täispaksuses (20-25 m). Need jäävad läbilõikejoonel -10-40 m sügavusele maapinnast ning on enamikul alal kaetud Maasi kihtide dolomiidiga, avanedes vaid Viire kurgu põhjas ning mandril Virtsust juba tunduvalt põhja pool. See osa aluspõhjast on tuntud Jaagarahu lademe biohermivööndina, mis Muhu saarel ja mandril on dolomiidistunud. Vöönd koosneb 1-20 m paksustest massiivse kavemoosse tugeva dolomiidi lasundeist (biohermikedad) ning neid ümbritsevast kihilisest erineva savikuse astmega kerogeensest, teralisest ja püriidikirjalisest dolomiidist. Biohermikede pikkus võib ulatuda mõnest meetrist sadade meetriteni. Vänamerd läbival joonel biohermikedasid läbi puurida ei õnnestunud. Nii Räsä, Võiküla, Viirelaiu kui Virtsu puuraugus esineb vaid biohermi ümbriskivim - kerogeenne, mikrokihitatud tombuline (reliktne) dolomiit, mis ei tähenda biohermi puudumist ülejäänud läbilõikejoonel. Biohermi dolomiidi lai levik on teada Virtsust põhja pool asuvas Kurevere dolomiidimaardlas. Kerogeense dolomiidi survetugevuseks on määratud 37 MPa, mikrokihitatud tombulisel dolomiidil - 79 MPa. Vilsandi + Kesselaiu kihtide alumises pooles levib dolomiit ja savikas dolomiit, mille survetugevus on vastavalt 95 MPa ja 47-49 MPa. Allapoole, kivimi savikuse suurenedes muutub kivim järjest ühtlasemaks ja massiivsemaks. Mainitud kihtide (S,jgV+K) kivimid on nii Virtsus kui Viirelaiul kohati läbitud subvertikaalsetest, kuni 3 meetri nähtava pikkusega avatud lõhedest. Ulatuslikumad lõhetsoonid on Virtsus sügavusel 16-19 m ja Viirelaiul 19-24 m. Jaagarahu lademe dolomiidikompleksi all lamavad 30-85 m sügavuses domeriit ja mergel. Viimane paikneb kompleksi alumises osas Viirelaiul allapoole 61 meetrit. Domeriidi ja mergli võib jagada kolmeks osaks markeerivate tasemete järgi, mis langevad kokku stratigraafiliste üksuste piiriga. Ülemise, 20-21 m paksuse domeriidikompleksi osa moodustab Jaani lademe Paramaia kihistiku (S.jnP) ühtlane, valdavalt massiivne dolomiididomeriit ja savidomeriit, mille survetugevus kõigub 18-27 MPa piires. Kihistiku alumist osa markeerib 50-60 m sügavusel asetsev 2-3 m paksune (mandri poole õhenev) detriitse domeriidi kiht, milles esineb sagedasi savika dolomiidi mugulaid. Ulatuslikumad subvertikaalsed avatud lõhetsoonid on Virtsus sügavusel 38-40 m ja 48-50 m ning Viirelaiul 40-43 m. Ülevalt teine markeeriv tase domeriidikompleksi sees on 62-72 m sügavusel asetsev 2-3 meetri paksune, pesiti jämedat valget detriiti, püritiseerunud lubioidide ja dolomiidimugulaid sisaldav kiht, mis asub Jaani lademe Mustjala kihistiku (S.jnM) alumisel piiril. Kihistik koosneb savidomeriidist, mis pole nii ühtlane ja massiivne kui Paramaja kihistiku kivim, ning sisaldab hajusapiirilisi savika dolomiidi mugulaid ning õhukesi savikamaid vahekihte. Domeriidi survetugevus muutub siin piirides 17-27 MPa. Väikesi subvertikaalseid avatud lõhetsoone esineb Virtsus vahemikus 60-65 m. Dolomiidi-mergli kompleksi lõpetab Adavere lademe Velise kihistik, mille paksus väheneb Saaremaalt mandri suunas 20 meetrilt 14 meetrini (Viirelaid, Virtsu). Velise kihistik on oma ehituselt kõige ebaühtlasem osa domeriidi-mergli kompleksist. Savidomeriit ja -mergel sisaldavad allapoole suurenevas hulgas dolomiidi ja lubjakivi küllaltki selgepiirilisi vahekihte ja mugulaid ning metabentoniidi vahekihte. Nende paksus ulatub kuni 0,2-20 cm, koostis on väga varieeruv, sisaldades enamasti hilisemal muundumisel tekkinud vilke ja savimineraale. Ka põhikivim (domeriit ja mergel) sisaldab hajusalt vulkaanilise tuha lisandit, millega võib seletada ka ülejäänud merglikompleksiga võrreldes suuremat γ -kiirgust. Velise kihistiku savimergliga on seotud ka madalaim survetugevuse näitaja 73,90-74,05 m sügavusel. Virtsus on samalaadse, kuid dolomiidistunud savimergli survetugevus 22,6 MPa (süg. 74,55-74,72 m). Avatud subvertikaalseid lõhesid peaaegu polegi, kuid see-eest on intervall horisontaalselt tunduvalt lõhestatum. Kuna geoloogiline uurimissügavus piirdus domeriidi-mergli kompleksi läbimisega, ulatuvad puuraugud alumisse lubjakivikompleksi vaid 5-6 m sügavuselt. Adavere lademe Rumba kihistik avati vaid mõne ülemise meetri osas, ulatudes Viirelaiul ka läbi viienda reepertaseme "O" metabentoniidi. Viirelaiu ja Virtsu puurauguga avatud 5-6-meetrine läbilõige moodustab väikese osa tsüklilise ehitusega 20-25 m paksusest Rumba kihistikust. Mõne meetri paksused settetsükliid

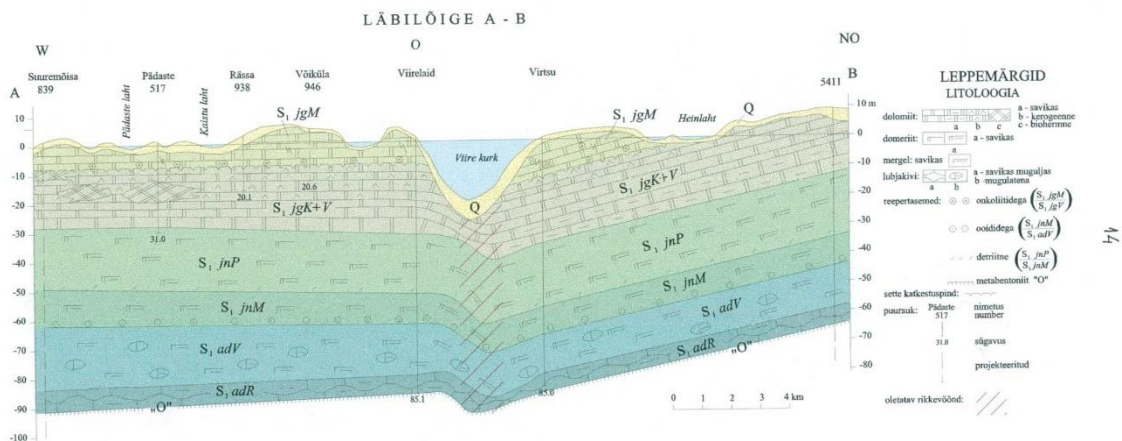
koosnevad vahelduvalt merglist ja muguljast lubjakivist. Üldine savikuse tõus ja mergli osakaalu suurenemine tsüklis toimub alt üles Velise kihistiku poole. Kivimite lasuvus vaadeldud piirkonnas ei erine palju Eestile omasest monoklinaalsest enam-vähem põhja-lõunasuunalisest (14' kallakusega lõuna poole) lasuvusest. Kõrvalekaldeid on näha Virtsu ja Viirelaiu vahelisel lõigul. Siin võib oletada loode-kagusuunalise väikeseamplituudilise (~10 m) rikketsooni olemasolu, mille Virtsu-poolne tiib on vajunud. Oletatavat tsoonist veidi lääne pool asuvat, kuid samasuunalist kosmofotolineamenti võib näha struktuurgeoloogilisel kaardil. Rikketsooni tõestamiseks ja uurimiseks on vaja teha täiendavaid töid.

Allolevad joonised on väljavõtted viidatud uuringute aruannetest.



Joonis 1. Aluspõhja geoloogiline kaart

Riigiettevõtte Eesti Geoloogiaskus
 Eesti Geoloogifond
 Inv. nr. 6040
 „19.“ nr. 1998. a.



Joonis 2. Piirkonna geoloogiline läbilõige

Riigiettevõtte Eesti Geoloogiaskus
 Eesti Geoloogifond
 Inv. nr. 6040
 „19.“ nr. 1998. a.

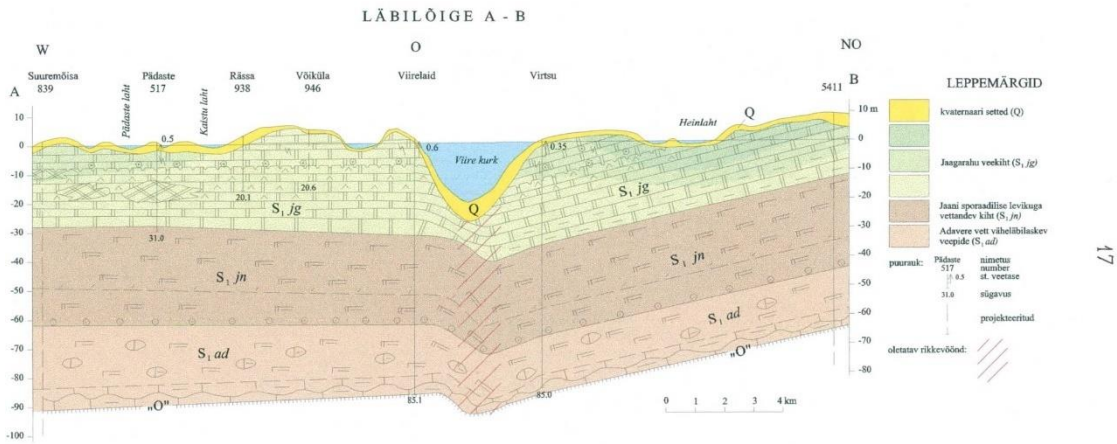
Kvaternaarisetted on Suure väina piirkonnas väikese paksusega ja valdavalt savika koostisega (moreen, viirsavi), mistõttu nende veeandvus on seotud vaid üksikute liivakamate vahekihtide ja läätsete esinemisega. Tunneliehituse seisukohalt kvaternaarisetete veel hüdroteoloogilist tähendust ei ole. Saaremaa ja Läänemaa põhjavee esinemine on seotud eelkõige siluri veekompleksiga. Kuigi veekompleks koosneb täielikult karbonaatsetest kivimitest, on nende litoloogiline koostis küllaltki mitmekesine. Erineva struktuuri ja tekstuuri lubjakivid ja dolomiidid vahelduvad vertikaalses läbilõikes suuremal või vähemal määral savikamate erimite ja mergliga. Dolomiit on tihti poorne ja kavernoosne. Selline kivimite fatsiaalne muutlikkus, aga samuti erinevates sügavustes lasuvate veekihtide keemilise koostise ja veetasemete erinevused on andnud alust jagada siluri veekompleks väiksemateks alajaotusteks - põhjaveekihtideks. Karbonaatkivimite veerikkuse leviku seaduspärasustes on määrav osa lõhedel (tektoonilised, murenemislõhed, kihilisuslõhed) ja karstitühemikel. Põhjavee liikumine toitealalt väljavoolualale toimub peamiselt tänu horisontaalsetele kihilisuslõhedele. Erinevatel sügavustel paiknevate veesoonte omavaheline ühendus toimub aga vertikaalsete lõhede ja tektooniliste rikkevööndite kaudu. Uuringud vooluhulga-karotaaži meetodil on kinnitanud horisontaalsete lõhede määravat osa kivimite veerikkuse kujunemisel. Puuraukude üldine veerikkus sõltub mitme puuraugus avaneva veesoone (vettandva tsooni) veerikkuse koostmõjust. Tavaliselt avaneb puuraukudes 2-3 veesoont paksusega 1 -2 m. Keerulistest hüdroteoloogilistest tingimustest korreleeruvad üksikud veesooned omavahel ainult väga väikeste alade piires. Ligi 100 Saaremaa ja Muhumaa puuraugus tehtud vooluhulga-karotaaži tulemuste põhjal moodustavad Jaagarahu lademe dolomiidid kõikjal veekihi, Jaani lademe merglites ja domeriitides esineb vesi sporaadiliselt, Adavere lademe kivimites on aga veesoonte esinemise tõenäosus vaid 0-14%. Jaagarahu veekiht (S,jg) on Muhumaal ja Virtsu ümbruskonnas laia levikuga. Enamus Muhu saare puurkaeve saab vee sellest veekihist. Valdavalt helehallist või rohekashallist dolomiidist koosneva veekihi filtratsiooniparameetrid on üldiselt paremad kui Saaremaal ja Muhumaal keskmiselt. Tingituna tektooniliste rikkevööndite ebahühtlasest levikust ja kivimite filtratsiooniliste omaduste muutlikkusest on puurkaevude veeandvus piirkonniti väga erinev. Enamasti on kogu siluri veekompleksi avavate puuraukude erideebitid 1-5 l/s piirides ning veekompleksi veejuhtivus 200-700 m²/ööp. Viirelaiu puurauk jääb viimatanimetatud tsooni piiridesse, mistõttu ka katsepumpamisel saadud suhteliselt väike erideebit - 0,17 l/s-m ja väike veejuhtivus (erinevatel arvutusmeetoditel 9- 22 m²/ööp.) oli ootuspärane. Mõnevõrra suurem erideebit saadi samast intervallist (0-30,6 m) Virtsu puuraugus - 0,24 l/s m, veejuhtivus keskmiselt 31 m²/ööp. Siinjuures on vaja märkida, et Jaagarahu lademe alumine piir osutus projekteeritust mõni meeter sügavamaks, mistõttu Jaagarahu lademe suhteliselt veerikas osa langes alumisse avatud intervalli 30,6-36,0 m. Kuid ka neid kihte arvestades ei ületa Jaagarahu veekihi summaarne veejuhtivus 200 m²/ööp., mis on tunduvalt väiksem kui Saaremaa ja Eesti karbonaatkivimites keskmiselt. Jaani sporaadilise levikuga vettandev kiht (S,jn) haarab Jaani lademe Paramaja (S,jnP) ja Mustjala (S,jnM) kihistiku. Võrreldes Jaagarahu veekihiiga on täheldatav veeandvuse hüppeline langus. Veesoonte esinemist on täheldatud vaid Muhumaa põhjaosas. Siia hulka kuulub ka Viirelaiu puuraugus sügavusel 32,5-36,5 m vooluhulga-karotaažiga fikseeritud vettandev intervall. Virtsu puuraugus Jaani lademe kivimitest geofüüsikaliste meetoditega põhjavee juurdevoolu ei täheldatud. Ühelt poolt on see seletatav karbonaatkivimi veeandvuse üldise vähenemisega sügavuse suurenedes, teiselt poolt aga mergli ja domeriidi litoloogilise koostise omapäraga (suur saviosakeste sisaldus), mistõttu Jaani ladet on käsitletud kui veepidet. Üksikute veesoonte esinemist on vooluhulga-karotaaži põhjal täheldatud eelkõige Jaani ja Jaagarahu lademe piirikihtides ja Jaani lademe sees Mustjala ja Paramaja kihistiku piiiril. Adavere vett vaheläbilaskev veepide (S,ad) lasub võimaliku tunnelitrassi kohal 65-67 m sügavusel merepinnast. Litoloogilise koostise poolest (savimergel, savidomeriit) sarnaneb Adavere lade lasuva Jaani lademe kivimitele. Suurema lasuvussügavuse tõttu on veesoonte esinemise tõenäosus selles läbilõike osas veelgi väiksem, mida kinnitasid ka Virtsu ja Viirelaiu puuraukude vooluhulgakarotaaži tulemused. Varasemate vooluhulga-karotaaži tulemuste põhjal on Adavere lademes veesoonte esinemise tõenäosus 0-14%, keskmine kaalutud filtratsioonimooduli väärtus aga 0-0,08 m/ööp. Ka spetsiaalsed katsepumpamised Saaremaal Orissaares, Eiklas ja Poka külas andsid puuraukude erideebititeks vaid 0,01-0,02 l/s m. Kivimite suurem veeandvus võib esineda Suurt väina läbiva oletatava tektoonilise rikkevööndi piires. Põhjavee keemiline koostis on Virtsu ja Viirelaiu puuraukudes oluliselt mõjustatud merest. Sõltumata proovitud intervalli sügavusest on vesi Cl-Na-

Mg-Ca-tüüpi. Ainult Virtsu puuraugu ülemises osas on mõnevõrra suurem HC03 suhteline sisaldus (23 ekv-%). Sügavuse suurenedes mineraalainete üldine sisaldus suureneb. Puurimise käigus võetud veeproovide elektrijuhtivuse mõõtmise tulemused osutavad mitme erineva koostisega veesoone esinemisele läbilõike ülemises osas Jaagarahu veekihi, mida kinnitab ka lühiajaliste pumpamiste erideebitite muutlikkus. Jaani ja Adavere lademes on märkimisväärsete veesoonte puudumise tõttu vee mineraalsus suhteliselt püsiv. Suurem muutus Virtsu puuraugus, millega kaasnes ka erideebiti mõningane suurenemine, leiab aset sügavusel 55,6-58,6 m, kus asub ka Paramaja ja Mustjala kihistiku kontakt. Lühiajalistel pumpamistel mõõdetud mineraalainete sisalduste absoluutväärtuste erinevused laboratoorsete analüüside tulemustest on seletatavad pumpamiste erineva kestusega. Vee pH väärtus on kogu läbilõike ulatuses suhteliselt püsiv, kõikides vahemikus 7,3-7,8.

Käesolev töö oli tehtud eelkõige Suure väina piirkonna geoloogilise ehituse selgitamiseks võimaliku tunneliehituse seisukohast. Virtsu ja Viirelaiule puuritud 85 m sügavuste puuraukudega läbiti tunneliehituse seisukohast kõige huvipakkavam geoloogilise läbilõike osa. Otsustades piki võimalikku tunnelitrassi koostatud läbilõigete järgi, on geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused tunneli rajamiseks kõige soodsamad Jaagarahu lademe dolomiitides (survetugevus 47 MPa) sügavusel 25-36 m ning Jaani lademe domeriitide (survetugevus 18-27 MPa) ülemises osas sügavusel 36-58 m. 40 meetrist sügavamal on Jaani lademe domeriidid praktiliselt vettpidavad. Domeriidi füüsikalise mehaanilised omadused on samas suurusjärgus põlevkiviga (survetugevus keskmiselt 20 MPa), millesse on Kirde-Eestis rajatud hulgaliselt kaevandusi. Seega peaks olema lisaks Norra tunneliehituse kogemustele võimalik arvestada ka Eesti põlevkivikaevandustes kasutatud läbindamiskogemusi. Mõnevõrra keerulisemad geoloogilis-hüdrogeoloogilised tingimused võivad olla Suure väina keskosas oletatava tektoonilise rikke piirkonnas. Kui tunneli rajamise tasuvushinnangud osutuvad positiivseks, oleks järgmisel uurimistöde etapil otstarbekas järgmiste tööde tegemine: 1) Virtsu ja Viirelaiu puuraukude seinte jälgimine telekaamera vahendusel ja puuraugusiseste vooluhulkade mõõtmine tundlikuma aparatuuriga; 2) 2-3 seismoakustilise profiili tegemine piki võimaliku tunneli trassi; 3) puuraugu puurimine Suure väina vagumuse ja oletatava tektoonilise rikke piirkonnas.



Joonis 3. Hüdrogeoloogiline kaart

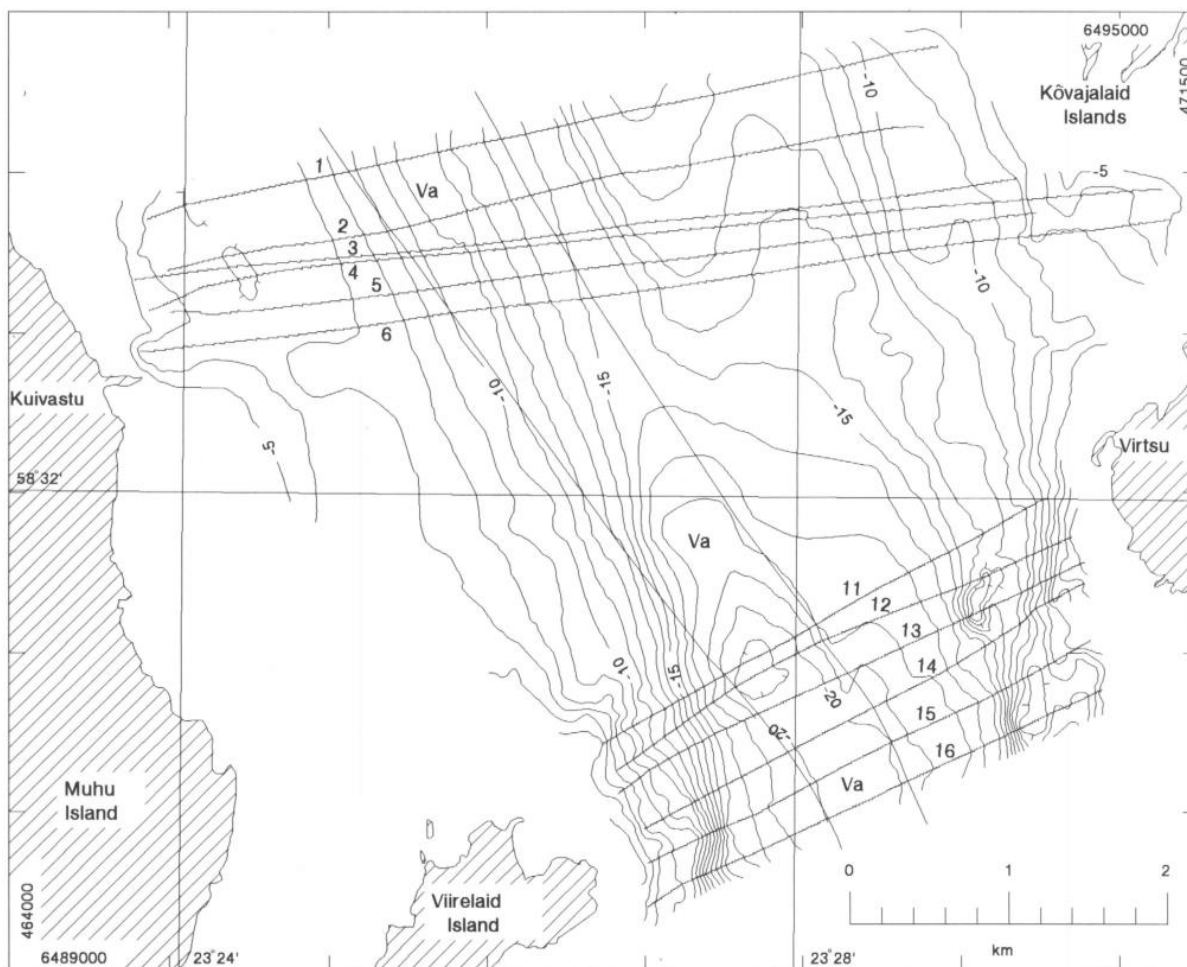


Joonis 4. Piirkonna geoloogilis-hüdrogeoloogiline läbilõige

Virtsu ja Viirelaiu puuraugus tehtud katsepumpamiste tulemused

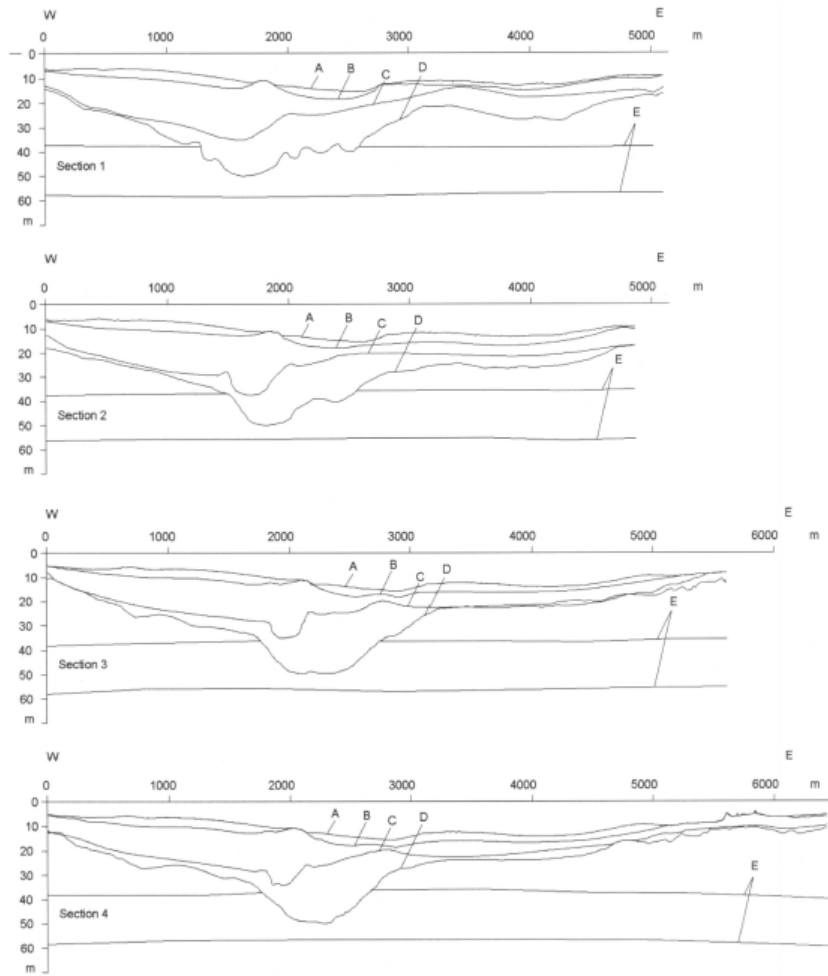
Puuraugu nimetus	Abs. kõrgus, m	Avatud intervall	Geoloogiline indeks	Veepinna sügavus maapinnalt, m	Deebit, l/s	Alandus, m	Erideebit, l/s-m	Veejuhtivus, km	
								grafo-analüütiline, m ² /ööp.	Dupuit' järgi, m ² /ööp.
Virtsu	0,3	2,2-30,6	S _{1jg}	0,35	2,4	9,82	0,24	15; 46	31
-"	0,3	30,6-85,0	S _{1jg} -S _{1ad}	0,07	4,8	7,05	0,68	176	88
Viirelaid	0,8	3,0-30,0	S _{1jg}	0,6	2,8	16,3	0,17	9; 20	22
-"	0,8	31,0-85,1	S _{1jn} -S _{1ad}	0,72	2,8	16,48	0,17	45	22

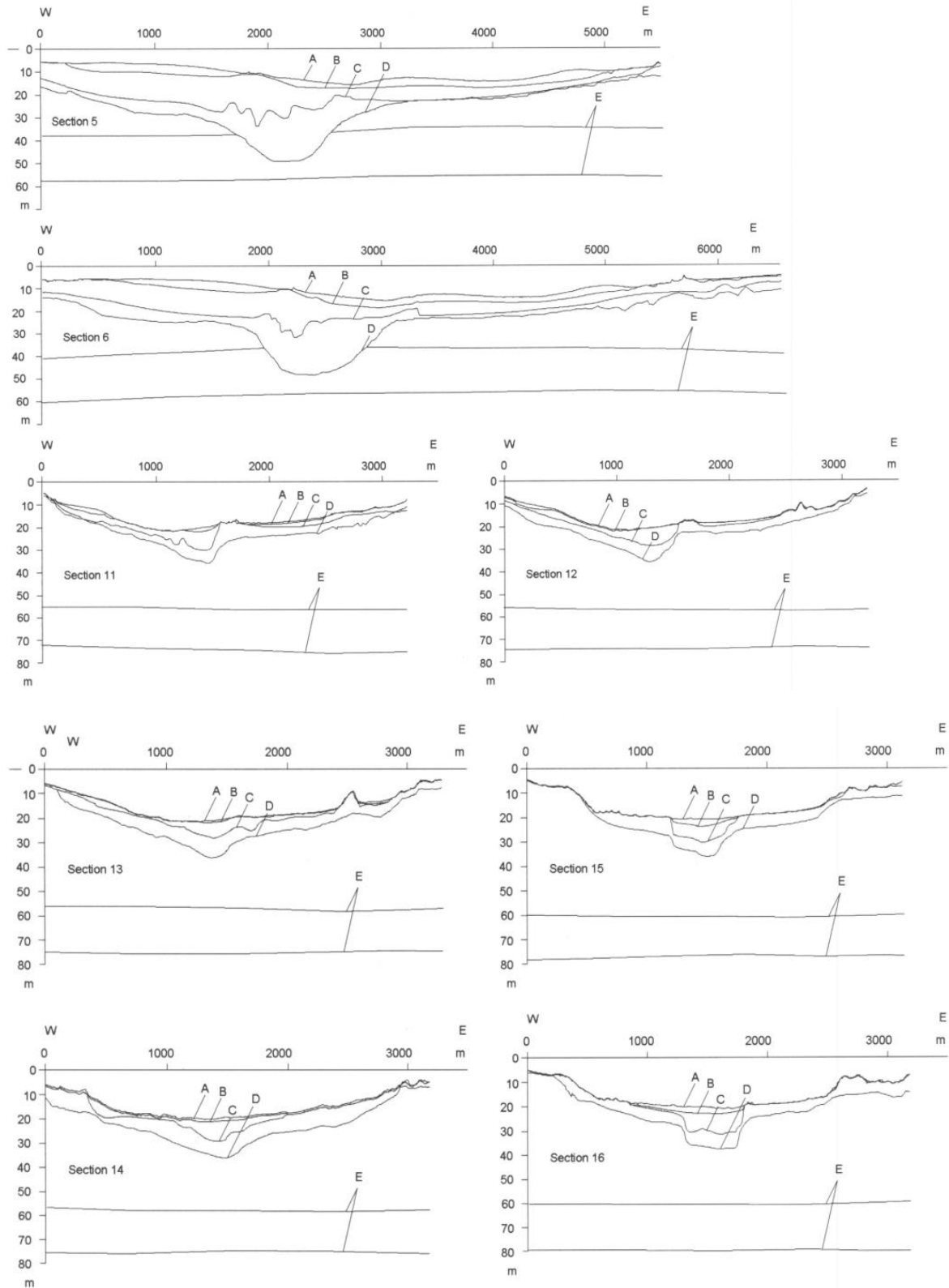
2000. aastal tegi Stockholmi Ülikool koostöös Tartu Ülikooliga Väikese Väina seismoloogilise uuringu⁸ (3-9 ja 24 kHz, 100-1000 Hz). Võimalikel silla- ja tunnelitrassidel mõõdeti kilomeetri laiusel alal allolevad seismilised profiilid.



Mõõtmistega tuvastati savikihid väina vagumuses. Mudakihi paksuseks saad kuni 4 m põhjas ja 2,5 m lõunas. Aluspõhja kivimite pinna sügavuseks (absoluutkõrguseks) saadi -48 m põhjaosas ja -36 m vagumuse asukohas. Viirsavi paksuseks saadi põhjaosas kuni 22 ja lõunas 9 m. Uuringutulemused on esitatud samaväärtusjoonte piltidena ja profiilidena, kus on näidatud kihtide paiknemine (A- merepõhi, B- mudakihi põhi, C- viirsavikihi põhi, D- aluspõhja lagi, E- aluspõhja peegelduspinnad). Profiilide numbrid (Section1, ..) vastavad eelvalitud joonte numbritele.

⁸ Seabed investigation in the strait of Suur-Väin, Western Estonia. Tom Floden, Monica Bjerkeus, Stockholm University 2000





Uuringus rõhutati vajadust kalibreerida tulemusi puurimise abil.

2004. aastal avaldas Geoloogiakeskus Saare maakonna põhjavee kaitstuse digitaalkaardi⁹.

2006. aastal tegi Geoloogiakeskus hüdrogeoloogilised uuringud¹⁰ Kuivastu sadamas.

2009. aastal tehti merepõhja setete uuring¹¹.

Keskkonnamõju hindamise raames teostati praamiühenduse ja püsiühendusviiside trasside piirkonna põhjasetete uuringud. Selle käigus selgitati planeeritavate trasside piirkonnas põhjasetete lõimis ning üldnaftaproduktide, raskemetallide, polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike ja bifenüülide sisaldus. Uuringu tulemustest lähtuvalt hinnati võrdlevalt praamiühenduse ja püsiühendusviiside mõju põhjasetetele. Töö käigus võeti põhjasetete ülemisest 20 cm osast kokku 107 proovi. 35 proovi võeti lõimise analüüsiks, 34 proovi raskemetallide analüüsiks, 34 proovi üldnaftaproduktide analüüsiks, 3 proovi polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike ja 3 proovi bifenüülide analüüsiks. Määratud näitajate väärtusi võrreldi kehtivate piirnormidega, mis on kehtestatud Keskkonnaministri 2. aprilli 2004. a määrusega nr 12 „Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid“ (RTL 2005, 112, 1720). Lõimise analüüsi tulemused näitavad, et trasside piirkonna põhjasetetes on valdavateks liiva ja aleuriidi fraktsioonid. Enamus piirkondades valdab peeneteralise liiva fraktsiooni sisaldus. Praami trassil proovivõtugaama 9 piirkonnas on valdavaks keskmiseteralise aleuriidi fraktsiooni sisaldus. Trassil II proovivõtugaama 23 ja trassil III ning IIIT proovivõtugaama 40 piirkonnas on peamine jämedateralise aleuriidi fraktsioon. 18 proovis on üldnaftaproduktide sisaldus sihtarvu (100 mg/kg) ja elutsooni piirarvu (500 mg/kg) vahemikus. Teistes proovides on üldnaftaproduktide sisaldus alla sihtarvu. Üldnaftaproduktide poolest on põhjasetted trasside piirkonnas rahuldavas seisundis. Raskemetallide sisaldus on kõikides proovides alla vastava elemendi jaoks kehtestatud sihtarvu. Määratud raskemetallide sisalduse poolest on kõikide trasside piirkonnas põhjasetete seisund hea ehk inimesele ja keskkonnale ohutu. Polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike (PAH) ja bifenüülide (PCB) sisaldused on kõikides proovides alla sihtarvu. PAH ja PCB sisalduse poolest on kõikide trasside piirkonnas põhjasetete seisund hea ehk inimesele ja keskkonnale ohutu. Uuringud näitasid, et pinnas ei ole üheski piirkonnas reostunud. Määratud PAH, PCB ja raskemetallide sisalduse poolest on kõikide trasside piirkonnas põhjasetete seisund hea ehk inimesele ja keskkonnale ohutu. Üldnaftaproduktide poolest on põhjasetted trasside piirkonnas rahuldavas seisundis, kuid ei ole reostunud. Põhjasetete uuringu tulemustest lähtuvalt hinnati võrdlevalt praamiühenduse ja püsiühendusviiside variantide mõju merepõhja setetele erinevatel trassidel. Variandil 1, 2, 4 ja 5 esineb ehitustööde käigus põhjasetete eemaldamisest ja kaadamisest tulenev väheoluline negatiivne mõju. Variandil 3 mõju merepõhja setetele ei esine, kuna see kulgeb sügaval pealiskorra setendites. Variandi 4 ja 5 korral on mõju põhjasetetele sadamate rekonstrueerimise ja kasutuse perioodil teostatavate süvendustööde tõttu veidi suurem kui teiste variantide korral. Et ehitusajal mõju põhjasetetele minimeerida soovitame ehitustööde käigus jälgida, et kasutusel oleks parim võimalik tehnoloogia ja parimad hooldusabinõud („BMP - Best Management Practices“). Uuringud näitasid, et põhjasetted ei ole reostunud ning seega nende käitlemisel (süvendamine, kaadamine, silla postide rajamine, jne.) ei kaasne täiendavat koormust keskkonnale. Suure väina liiklusühenduse alternatiivide ehitus ja kasutusaegne mõju merepõhja setetele on tuginedes teadaolevale informatsioonile väheoluline, kuna merepõhja setted ei ole reostunud. Silla alternatiivide ehitusaegsed mõjud leiavad enam käsitlust veevahetuse uuringu aruandes. Silla alternatiivide kasutusaegsete mõjude hindamiseks projekti tasemel (silla kandepostide lähipiirkonnas), on juhul kui otsustatakse silla alternatiivi kasuks, soovitav teostada arvutused/modelleerimine eelprojekti staadiumis, et vajadusel näha ette meetmed projekti mõjude minimeerimiseks.

⁹ Saare maakonna põhjavee kaitstuse digitaalse kaardi 1:50 000 koostamine. EGF: 7571. EGT 2004

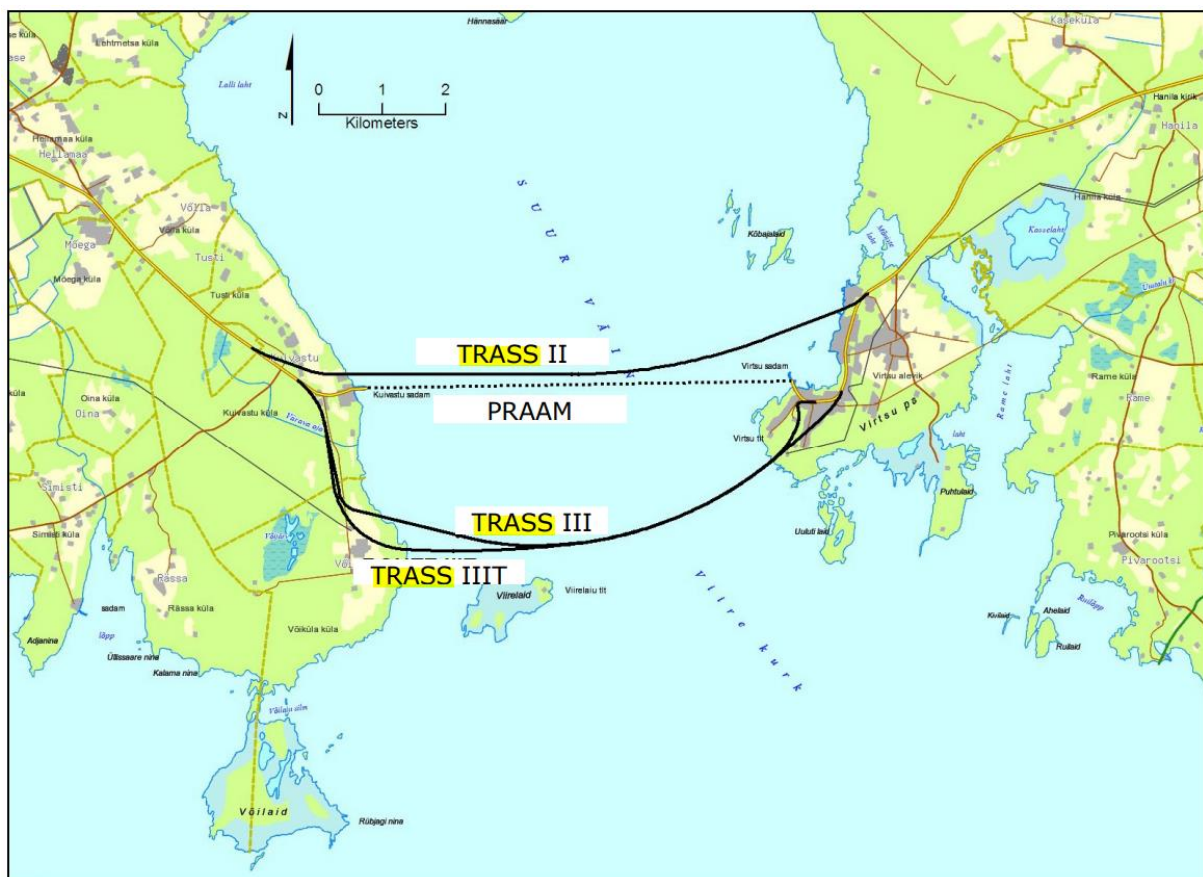
¹⁰ Hüdrogeoloogilised uuringud Saaremaal Kuivastu sadama joogiveevarustuse rekonstrueerimiseks. EGF: 7807. EGK 2006

¹¹ Suure väina liiklusühendus 7.1.1. Merepõhja setete analüüs. OÜ Altakon 2009

Virtsu tuulegeneraatorite uuringu¹² ja navigatsioonimärkide uuringu¹³ raames määrati kivimite ja vee omadusi.

2011. aastal tehti üle Suure väina veo perspektiivse korraldamise kava¹⁴. Geoloogia, hüdrogeoloogia ja põhjavee teemal tehti kokkuvõtte, et suurem osa mõjudest geoloogilistele tingimustele leiavad aset ehitusetapis. Kasutusetapis võivad mõjusid geoloogilistele tingimustele põhjustada vaid saasteained (eriti raskemetallid), mis jõuavad pinnaseni liiklusest tingituna.

Mandriiustiku taganemise perioodist settis vagumuse põhja küllalt suures paksuses moreen, veelgi hiljem savi ja liiv. Merepõhja reljeef tunneli võimaliku trassi kohal on küllaltki järsk ning sügavused jäävad enamasti 10-20 m vahemikku. Suuremad sügavused esinevad loode-kagusuunalise vagumuse põhjas, kus merepõhja sügavus on üle 20 m.



Esitati puurlõhketöödega (PLT) ja läbinduskilbiga (TBM) läbindatud tunneli variandid. Eeldati, et pärast põhjalikumat geoloogilist uuringut võib osutada võimalikuks puurlõhketöödega läbindatud tunneli sügavuse ja pikkuse (8050 m) vähendamine mis vähendaks ka maksumust. Soovitatud tehnilised kontseptsioonid ja tunnelitrassid vastavad Euroopa tunnelitele esitatavatele kaasaegsetele nõuetele, mis põhinevad Euroopa Parlamendi ja EL-i Nõukogu direktiividel, Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivil 2004/54/EC üleeuroopalise teedevõrgu tunnelitele kehtestatud turvavarustuse

¹² Designed 5 wind energy converters in Läänemaa County, Hanila Parish, Allani and Elina estates and in Virtsu III wind garden Geotechnical investigation report. AS Maves 2009

¹³ Navigatsioonimärkide rekonstrueerimiskohtade geotehnilise uuringu aruanne. AS Maves 2009

¹⁴ Sõitjate ja veoste üle Suure väina veo perspektiivse korraldamise kava. WSP 2011

alamäärä nõuete kohta. Lõpliku valiku langetamiseks tunnelikontseptsiooni osas on vaja läbi viia täiendavad geoloogilised uuringud. Väideti, et üheks peamiseks ebakindluseks puurlohketoodega läbindatud tunneli korral on vajadus betoonist voorderise ja plastikust membraani järele Jaagarahu lademe paekivis. Kui tekib vajadus veekindla voorderise järel, tõusevad puurimis- ja lõhkamismeetodil tunneli rajamisega kaasnevad kulud märgatavalt. Pakuti järgnevat tunneli geomeetriselise lahenduse: Ühesuunaline liiklus kahes paralleelses torus torusid läbivate ristkäikudega; kahesuunaline liiklus eraldi teenindus- ja avariitunneliga. Kahesuunalise tunneli ristlõige on 110 m² ja laius 15,5 m. Paralleelse teenindus- ja avariitunneli laius on 5 m ja ristlõike pindala 30 m². Iga 500 m järel läbindatakse 20 m pikkused ühenduslõõrid. Läbinduskilbiga läbindatud tunneli kontseptsioon koosneb kahest paralleelsest 9,5 m laiusest ja 7150 m pikkusest tunnelist, mis on omavahel iga 500 m tagant 20 m pikkuse ristlõõriga ühendatud. Direktiivi 2004/54/EC kohaselt tohib tunneli kalle olla kuni 5%.

Eeldatavalt toimub kahe PLT tunneli läbindamine paralleelselt. TBM tunnelid läbindatakse ükshaaval sama läbinduskilbiga. Läbindamise kestuseks hinnati 2,5 ja viimistlemiseks 1 aasta. PLT tunneli läbinduskiiruseks hinnati 30 m nädalas mõlemast otsast ja mõlemas tunnelis paralleelselt. See teeb kokku 8400 m³ läbindatud kaeveõnt nädalas, kokku 1 mln m³. Väljatud materjali ladustamiseks pakuti Muhu saarel Päelda kruusakarjääri ja Lao maaüksust Soondas. Mandril on võimalik materjali ladustada Kurevere dolomiidkarjääris.

Suure väina veo korraldamise kava keskkonnamõju strateegilise hindamise aruandes¹⁵ tehti järgnev kokkuvõtte geoloogilistest tingimustest:

Geoloogilise läbilõike kõige alumise osa (aluskorra) moodustavad graniidid ja tugevasti moonduvad gneisid, mille pealispind jääb maapinnast keskmiselt 400 m sügavusele. Põhja-lõunasuunalise kaldega aluskorrakivimidel lasub sette kivimiline pealiskord, mille moodustavad kambriumi, ordoviitsiumi ja siluri ajastu kivimid. Alamkambriumi setete paksus on Suure väina piirkonnas ~130 m ning selle moodustavad aleuriitsete kuni savikate vahekihtidega liivakivid ja areuoliidid. Ordoviitsiumi ajastu kivimid on lubjakivid, dolomiidid ja merglid kogupaksusega ~140 m. Aluspõhja kõige ülemised 130 kuni 160 m paksused kivimid kuuluvad Siluri ajastusse, mil antud alal settisid valdavalt karbonaatsed setted (lubjakivid, dolomiidid, domeriidid, merglid), kuid esineb ka terrigeensete setete vahekihte (liivakivid, aleuriidid, argillidid, savid). Geoloogilise läbilõike kõige ülemise osa moodustavad Kvaternaari ajastu setted. Valdav on helehall liivsavimoreen rohke jämpurdmaterjaliga. Moreenikihi paksus on erinev, jäädes 2-6 m piiresse väljaspool pealiskorra süvikut (süvikus kuni 22 m). Liustikujõetekkeliisi purdsetteid esineb vähem, peamiselt väina lõunaosas moreenis peene kuni keskmiseteralise liiva läätsede või vahekihtidena. Lisaks esineb pinnakattes viirsavi, mille paksus varieerub oluliselt, jäädes 0-15 m vahemikku, paksused suurenevad põhja suunas. Kõige nooremad setted on valdavalt rannalähedasel alal mitmesugused liivad ja kruusad, rannikust kaugemal peenematerjalised aleuriidid. Nende setete paksus on Suure väina põhjaosas 3-4 m, lõunaosas kuni 2,5 m. Planeeringu maismaaala asub enamasti nõrgalt kaitstud põhjaveega alal (kõrge reostusohtlikkus) Läänemaa rannikul ja kaitsmata põhjaveega alal (väga kõrge reostusohet) Muhumaa idaosas. Ülemise põhjaveekihi toitumine on üldiselt lokaalse iseloomuga ja toimub kevadel lume sulamise ajal ja sügisel vihmaperioodide ajal, samuti soojadel talvedel. Vihmavesi liigub kas otse või imbub läbi õhukese pinnakatte põhjavette. Maapinnalähedane põhjavee kiht võib olla kuni 2 m sügavusel. Suvise madalvee ajal on madalamad salvkaevud sageli kuivad. Muhumaa poolses küljes paiknev Kuivastu ja Võiküla vaheline ala koos Kuivastu-Võiküla vahelise munakiviteega on loodusliku veerežiimi seisukohalt tundlik. Selles piirkonnas paikneb arvukalt märgalaid, tiike ja karstialasid. Enamus neist on looduslikus seisundis. Planeeringu mõjuala Virtsu poolsel küljel ei asu märkimisväärsel hulgal selliseid tundlikke alasid. Virtsus on enamasti kasutusel ühisveevärgi vesi. Ühisveevärki varustavate puurkaevude sügavus on vahemikus 20 kuni 180 m. Mõned kaevud asuvad silla ja tunneli trassil. Need kaevud on ligikaudu 100 m sügavused. Isiklike majapidamiste tarbeks on rajatud ka salvkaeve, mis on enamasti 3 m sügavused. Vee

¹⁵ Sõitjate ja veoste üle Suure väina veo perspektiivse korraldamise kava keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne. WSP, Hendrikson ja Ko. 2011

kvaliteet Virtsu piirkonnas on muutlik ning sõltub kaevude sügavusest. Madalamad kaevud on sageli reostunud ja nende veeandvus on väike. Sügavamates puurkaevudes ületab boori ja fluoriidi sisaldus kehtestatud piirnorme. Enamasti on vajalik rakendada raua eemaldamist, sügavamates veehorisontides esineb raud agressiivsemas vormis. Vastavalt varasemate uuringute tulemustele mõjutab merevesi olulisel määral Virtsus ja Viirelaiul esineva põhjavee keemilist koostist. Olenemata sügavusest on vesi Cl-Na-Mg-Ca tüüpi. Virtsu puuraugu ülemises osas on HCO₃ suhteline sisaldus mõnevõrra kõrgem. Sügavuse suurenedes kasvab ka Cl ja teiste mineraalide sisaldus. Vee pH on vahemikus 7,3 – 7,8 kogu puurkaevu vertikaalses ulatuses. Muhumaa veevarustus toimib kogu uuritava alal kohalikul veevõtul, kasutatakse nii salv- kui ka puurkaeve. Põhjaveetase jääb 1 kuni 3 m sügavusele. Enamasti võetakse vett ligikaudu 2 m sügavuselt. Uuringuala piirkonnas on põhjavesi kaitsmata nii orgaanilise kui ka lahustuvate reoainete eest. Uuemad puurkaevud on vanadest sügavamad, valdavalt 15 kuni 25 meetrit, kuid vee kvaliteet neis kaevudes on kõrge lubjasisalduse tõttu halvem. Piirkonna kaevude veeandvus on väga väike, alla 0,1 l/s. Kohalike keskkonnaametkondade ja kohalike omavalitsuste sõnul puudub täielik ülevaade eramajapidamiste salvkaevudest. Toetudes varasematele Muhumaal teostatud uuringutele võib väita, et mereveetasemest allpool paiknevad põhjaveekihid on mereveega hüdraulilises ühenduses. Mitmetes kohtades on põhjavesi kihistunud ja ühest puuraugust on võimalik leida nii magedat põhjavett kui soolast merevett.

Merepõhi koosneb põhiliselt peeneteralistest setetest, mis sisaldab muuhulgas peent muda ja liiva fraktsioone. Jämedamaid materjale nagu kruus või rahnud leidub ainult madalamatel ja lainetusele avatud aladel, põhiliselt põhjapoolse trassi lääneosas ja lõunapoolse trassi idaosas.

Suurem osa geoloogilistele tingimustele avaldatavast mõjust ilmneb ehitustööde etapis. Kasutuse ajal võivad kaasneda üksikud mõjud seoses liikluses tekkivate saasteainetega (eelkõige raskmetallid), mis võivad muuta pinnase geokeemilist koostist. Mõju on suurem variantide korral, millega kaasneb enam uute teede ehitamist (trass III, sild või tunnel). Seoses geoloogilistele tingimustele avaldatava mõjuga on allpool vaadeldud ehitusaegset mõju. Sõltumata valitud püsiühenduse trassist mõjutatakse geoloogilist ehitust, kuna eemaldatakse looduslikku pinnast ja tuuakse asemele uut pinnast. Seetõttu tuleb arenduse järgmises etapis võimalike uute teelõikude asukohtades läbi viia põhjalikud geoloogilised uuringud. Suurim pinnase (kivimi) eemaldamine toimub tunneli rajamise korral. Väiksem pinnase eemaldamine on vajalik sillavariantide korral. Seetõttu on tunnelil suur mõju geoloogilisele ehitusele. Samuti tähendab see seda, et tunnel on geoloogiliste tingimuste poolest kõige keerulisem ja vajab kõige põhjalikumaid geoloogilisi uuringuid. Piki trassi II trajektoori on merepõhi kõrgem, kuid pinnakatte setete paksus on samuti suurem kui trassi III korral. Silla postide rajamisel tuleb pinnakatte setted eemaldada, mistõttu on mõju geoloogilisele ehitusele suurem. Geofüüsikaliste uuringute andmetel on trassi III korral pealiskorra kivimite pealispind kõrgemal kui trassi II korral. Sellest tulenevalt võib väina piirkonnas pidada silla trassil II mõjusid suuremaks kui silla puhul trassil III.

Muhu saarel kulgeb trass II mööda alvaril. Kvaternaari setete paksus on kuni 0,5 m ja on esindatud enamasti merelise tekkega liiva, kruusa ja klibuga. Rannas on pinnakatte setete paksus kuni 10 cm. Esineb üksikuid veeriseid, munakaid ja rohkesti lubjakivitükke. Muhu saare poolses rannas avaneb Jaagarahu lademe Maasi kiht. Kihhi moodustab valdavalt dolomiit, milles esineb domeriidi läätsi. Rannavööndist Suure väina keskosa poole hakkab järk järgult suurenema pinnakatte setete paksus. Suures väinas moodustavad settekompleksi pealmise osa meresetted: kruus, liiv, aleuriit ja savi. Nimetatud setted sisaldavad kohati orgaanilist ainet. Viimaste lamami moodustab jääaja lõpus moodustunud viirsavi ja savi kiht. Viirsavi lamami moodustab viimase jääaja moreeni, mis lasub pealiskorra Jaagarahu lademe Kesselaiu ja Vilsandi kihtidel. Trassi II lääne ja keskosas on meresetete paksus kuni 5 meetrit. Viirsavi ja moreeni paksus on maksimaalne väina süviku piirkonnas. Trassi II puhul on viirsavi paksus kuni 20 meetrit ja moreeni paksus kuni 25 meetrit. Trassi II Virtsu poolsaare poolses osas moodustavad pinnakatte rannavööndis jäänuksed (vee liikumise poolt moreenist välja sorteeritud materjal: lubjakivitükid, veerised, munakad) ja moreen. Virtsu poolsaarel on kohati moreeni paksus kuni 5 meetrit. Moreeni paksus Virtsu poolsaarel on väga muutlik. Trassi II puhul on ehitusaegseteks mõjudeks: täitetööd uue teetammi rajamiseks kuni silla alguseni. silla postide piirkonnas setendite eemaldamine kuni kandva pinnaseni, silla postide piirkonnast süvendatud

materjali kaadamine. Trassi II puhul on eksploatatsiooniaegseteks mõjudeks: heitgaasides olevate reostusproduktide paiskumine sillalt meresetetes, sillalt satub sademetega merre valdavalt raskeid metalle ja naftaprodukte. Riskideks on maavärinad, liiklusõnnetused ja maalihked mis võivad põhjustada ehitise lagunemist.

Trass III alal on Muhumaal pinnakatteks meresetted (liiv, kruus, klibu). Rannale lähemas piirkonnas on nende setete paksus suurem. Maa suunas see väheneb ja on kohati alla 0,50 meetri. Võijärve ümbruses levib soostunud ala kus pinnakatteks on soosetted (turvas) paksusega kuni 1 meetri. Soosetete lamam on aleuriit ja liiv. Võijärvest Raegma küla suunas moodustab trassil pinnakatte liiv ja kruus. Muhumaal on rand trassi III piirkonnas lai ja lauge ning on kaetud meresetetega, mis on moodustunud valdavalt moreeni kulutusel. Meresetete lamami moodustab moreen. Selle paksus Viirelaiu puuraugu andmetel on 1,70 m. Rohkesti esineb lubjakivi tükke. Meresetted on esindatud valdavalt aleuriidiga, mille paksus on alla 0,5 meetri. Setetes esineb kohati rohkesti lagunemata taimseid jäänuseid. Viirelaiust kirdes 5 m samasügavusjoonest sügavamal katab merepõhja viirsavi paksusega kuni 8 meetrit. Idasuunas viirsavi paksus trassil väheneb. Viirsavi katavad kohati väikeses paksuses meresetted (kuni 1 meetri). Viirsavi lamami moodustab moreen mille paksus on trassi III piirkonnas süviku veerudel keskmiselt 5 meetrit. Süvikus ulatub moreeni paksus kuni 8 meetrini. Moreeni lamami moodustab lubjakivi, mille pealispind Viirelaiust süviku suunas langeb ja sealt edasi idasuunas uuesti tõuseb. Süvikus on lubjakivi pealispind seismoakustilise sondeerimise andmetel abs. kõrgusel ligikaudu 35 m. Virtsupoolne rand on lauge. Lubjakivi pind on rannas abs kõrgusel - 1.90 m ja rannast 140 meetrit maismaal +0.60 meetrit. Moreeni paksus on trassi III maabumispaigas 1,70 meetrit. Moreeni katab siin 0,50 meetrine liiva ja kruusa kiht. Virtsust lõunapool püsiühenduse trassi III maabumise piirkonnas on moreeni paksus väga muutlik. Virtsu tuulepargi ehitusgeoloogilised uuringud näitasid, et moreeni paksus muutus 0,3 m kuni 3,5 meetrini 225 meetrisel lõigul liikudes loodest kagu suunas paralleelselt rannajoonega. Ehitusaegsed mõjud on: täitetööd uue teetammi rajamiseks kuni silla alguseni, silla postide piirkonnas setendite eemaldamine kuni kandva pinnaseni, silla postide piirkonnast süvendatud materjali kaadamine. Eksploatatsiooniaegsed mõjud on: heitgaasides olevate reostusproduktide paiskumine sillalt meresetetes, sillalt satub sademetega merre valdavalt raskemetalle ja naftaprodukte. Riskid on maavärinad, liiklusõnnetused ja maalihked mis võivad põhjustada ehitise lagunemist.

Tunneli mõju geoloogilisele ehitusele on oluliselt suurem kui sildade puhul. Tunneli ehitamise perioodil avalduvad järgnevad mõjud: täitetööd uue teetammi rajamiseks kuni tunneli suudmeni, läbindamistöödel setendite eemaldamine maapõuest, läbindamisel eemaldatavate setendite ladustamine, ümbritsevate kivimite struktuuri muutumine. Eksploatatsiooniaegne võimalik mõju on liiklusest tingitud vibratsioon, mis võib muuta ümbritsevate kivimite struktuuri. Tunneli puhul võivad olulist mõju kaasa tuua maavärinad, liiklusõnnetused ja maakoore neotektooniline tõus. Muhu saare ida-kirde osa all paikneb loode-kagu suunaline lõhede vöönd. Rikkevöönd võib läbida loode-kagu suunaliselt Suure väina piirkonda. Rikkevööndi olemasoluga tuleb tunneli trassi planeerimisel arvestada. Tunneli rajamise puhul tuleb rikkevöönd täpselt välja selgitada ja kavandada edasised tööd lähtudes vööndi iseärasustest.

Põhjaveele võib kaasneda mõju nii ehitustegevusega kui ka kasutusperioodi jooksul. Uue teelõigu ehitamine ja edasine kasutamine võib rikkuda ala looduslikku veerežiimi. Oht loodusliku veerežiimi rikkumiseks on väga suur Muhumaal Võiküla ja Kuivastu vahel vana munakivitee lähedal, kus teetrass III ületab märgalade, tiikide ja karsti poolest rikast ala. Selles piirkonnas toimuvad ehitustööd vajavad erilist ettevalmistust, nt ulatuslikku kuivendust ja turbakihi eemaldamist. Mõju selle piirkonna põhjaveele ja veerežiimile loetakse oluliseks ja pikaajaliseks. Kaitsmata ja nõrgalt kaitstud põhjaveega aladel tuleb tõsiselt kaaluda põhjavee saastumise ohtu, kuna ehitustööde ajal võib toimuda pinnase saastumine. Põhjaveete sattuvate toitainete hulk kasvab ehitustööde ajal ja vahetult pärast tööde lõppemist. See kasv on siiski väike ja mõju on lühiajaline. Teistest allikatest pärinev saastus, nt teetööde masinad, ehitusmaterjalid, jäätmed jne on ehitusfirma vastutusallas ja see oht on välditav. Teine ohustatud koht on trassi II puhul Kuivastus, kus tee läbib kaitsmata põhjaveega alal olevaid looduslikke niite ja metsa. Virtsus, kus trass II läbib kunagist kalatöötlemise tehase territooriumi ja trass III inimtekkelist keskkonda, peetakse mõju väiksemaks.

Selleks, et hinnata tunneli mõju, viidi aastatel 1988 ja 1993 läbi põhjavee modelleerimine. Modelleerimise tulemusena selgus, et põhjavee tunnelisse nõrgumine ei põhjusta veetaseme langust Virtsus, kuna põhjavee kihid on seotud merega. Tunneli ehitamisega seoses langeb põhjavee tase kuni 10 cm 200 – 300 m kaugusel tunneli avast. Viirelaiul oleva tunneli ava läheduses toimuvad põhjavee taseme muutused on sama suured, kuna sealne geoloogiline ehitus on sarnane Virtsu poolsaarele. Kui tunneli variant osutub valituks, siis tuleb läbi viia põhjalikud geoloogilised ja hüdrogeoloogilised uuringud, et selgitada välja tegelik mõju põhjavee liikumisele ja tasemele, mis omakorda võib mõjutada põhjavee kogust ja kvaliteeti. Tunneli ehitustööde käigus võivad kokku puutuda erinevad veekihid ja see võib avaldada mõju põhjavee kvaliteedile. Mõju tegelik ulatus selgub alles pärast tunneli projekteerimise faasis toimuvat põhjalikku hüdrogeoloogilist uuringut. Olemasoleva info põhjal võib oletada, et kohaliku ulatusega mõju võib avalduda sügavamatele põhjaveekihtidele, mis ei ole käsitleta val alal joogiveevarustuses kasutusel. Tunneli ehitamine ei tohiks avaldada mõju mandril oleva põhjavee kvaliteedile ja kogusele. Virtsus ja Muhumaal asuvate tunneli avade lähedale rajatavatel uutel teelõikudel võib esineda mõju põhjavee kvaliteedile. Samuti võivad erinevad veekihid olla ühenduses tunneli välisseinaga ja see võib mõjutada põhjavee kvaliteeti. Need mõjud on sarnased trassi III mõjudele. Virtsus jääb tunneli trassi alla kaks sügavat puurkaevu. Kui tunneli trassi ei õnnestu liigutada, siis tuleb need puurkaevud asendada uutega.

Silla otstesse rajatavad uued teelõigud võivad takistada veevõttu olemasolevatest puurkaevudest. Muhumaal paiknevatele sügavamatele puurkaevudele mõju ei esine. Võimalik negatiivne mõju koondub aga madalatele salvkaevudele, mis on põhiliselt kasutusel Muhumaal. Negatiivse mõju oht on suurem Kuivastus, kus mõned majapidamised asuvad trasside II ja III vahetus läheduses. Uutel teelõikudel toimuv liiklus võib pinnase saastumise kaudu avaldada mõju põhjaveele. Tee ümbrus võib saastuda raskmetallide-, lumesulatusvahendite-, kütusejääkidega jne. See mõju on olulisem Muhumaal, eriti trassi III korral, sest seal on pinnas tundlikum ja põhjavesi kaitsmata. Vähemoluline on see mõju mandril. Olemasolevate teede liiklustiheduse suurenemisega kaasnevad mõjud võivad mõjutada teede ümbrust ja kohalikku põhjavee kvaliteeti. Kaitsmata põhjaveega aladel esineb põhjavee reostumise oht seoses liiklusõnnetustega ning eriti ohtlike veostega toimuvate õnnetustega. Püsiühenduse rajamise korral kasvab liiklustihedus ning kuigi liikluse voog muutub ühtlasemaks, tuleb liiklusõnnetuste ohtu tõsiselt arvestada. Reostuse oht on suurim trassi III korral Vöiküla läheduses olevate märgalade piirkonnas. Mõju saab vähendada liiklusohutuse parandamisega ja kasutades tundlikel aladel põhjavee kaitseks näiteks geomembraane. Mõju peetakse harvaks ja see on kohaliku tähtsusega.

Virtsus ja Muhumaal asuvate tunneli avade lähedale rajatavad uued teelõigud võivad mõjutada põhjavee kvaliteeti. Need mõjud on sarnased trassi III mõjudele. Tunnelis ohtlike veostega toimuvad liiklusõnnetused võivad põhjustada põhjavee reostumist. Selle mõju esinemise tõenäosust peetakse aga madalaks ja seda saab veelgi vähendada ohutus- ja ennetusmeetmetega.

Silla/tunneli otstesse uute teelõikude ehitamisega kaasnevaid mõjusid saab vähendada ehitustööde hea planeerimise ning ehitusmaterjalide, seadmete ja jätmete nõuetekohase käsitlemisega. Ehitustöid on soovitatav läbi viia sademetevaesemal perioodil. Võimalusel tuleb teelõigud projekteerida nii, et tee läbib vähem tundliku põhjaveega alasid. Sellega väheneb mõju looduslikule veerežiimile ja põhjaveele. Erilist tähelepanu tuleb pöörata sademevee ärajuhtimisele tundliku põhjaveega aladel. Tundlikel aladel tuleb kasutada põhjavee kaitseks mõeldud vahendeid, näiteks geomembraane. Selleks, et vältida võimalikke kaasnevaid probleeme võimaliku püsiühenduse piirkonnas puurkaevudest vee võtmisel ja puurkaevude saastumist, tuleb uute teelõikude eelprojekti faasis teha täpne puurkaevude kaardistamine. Vastavalt kaardistamise tulemustele on võimalik teelõike nihutada või rakendada kompenseerivaid meetmeid, et tagada mõjutatud alal kvaliteetne veevarustus. Juhul kui püsiühenduse lahendusena valitakse tunneli variant, tuleb teostada põhjalik hüdrogeoloogiline uuring ja selle tulemuste põhjal saab määrata mõjude tegeliku ulatuse ning võimalikud leevendusmeetmed.

Virtsus jääb põhjaveetasel 1 kuni 3 m sügavusele. Enamasti võetakse vett ligikaudu 2 m sügavuselt. Uuringuala piirkonnas on põhjavesi kaitsmata nii orgaanilise kui ka lahustuvate reoainete eest. Uuemad puurkaevud on vanadest sügavamad, valdavalt 15 kuni 25 meetrit, kuid vee kvaliteet neis

kaevudes on kõrge lubjasisalduse tõttu halvem. Piirkonna kaevude veeandvus on väga väike, alla 0,1 l/s. Kohalike keskkonnaametkondade ja kohalike omavalitsuste sõnul puudub täielik ülevaade eramajapidamiste salvkaevudest. Mõju joogivee kättesaadavusele Muhumaal on püsiühenduse rajamise korral suur juhul, kui ei võeta kasutusele leevendavaid meetmeid. Kuna võimaliku silla või tunneli mõlemas otsas jäävad uute teelõikude alla või vahetusse lähedusse salvkaevud ja puurkaevud, siis on põhjavee kaitsmiseks reostumise eest vaja rakendada kaitsemeetmeid. Kui põhjavee jaoks kasutatakse vajalikke kaitse- ja leevendusmeetmeid ning viiakse läbi vajalikud uuringud (nt tunneli variandi jaoks), siis ei tohiks kaasneda olulist mõju põhjaveele. Tunnel ei mõjuta vee kvaliteeti kasutusperioodil. Uute teetrasside piirkonnas on vaja läbi viia detailsed geoloogilised uuringud.

2013. aastal koostati aruanne Muhu saare põhjavee kaitstuse digitaalse kaardi koostamine¹⁶. Anti ülevaade nii geoloogiast kui hüdrogeoloogiast.

2016. aastal tegi Geoloogiakeskus põhjaveeuuringu¹⁷, kus on kaardistatud ka salvkaeve.

2019. aastal Muhus ja Virtsu ümbruses tehtud geoloogiliste uurimistöödega (Kasutati eri sagedustel töötavaid seisimokustilisi profilaatoreid Pinger, Chirp, Boomer ja külgvaate sonarit) tuvastati, et Suurt väina läbib kuni 45 m sügavune liustikuorg, mis jookseb välja Soome lahte^{18,1920}.

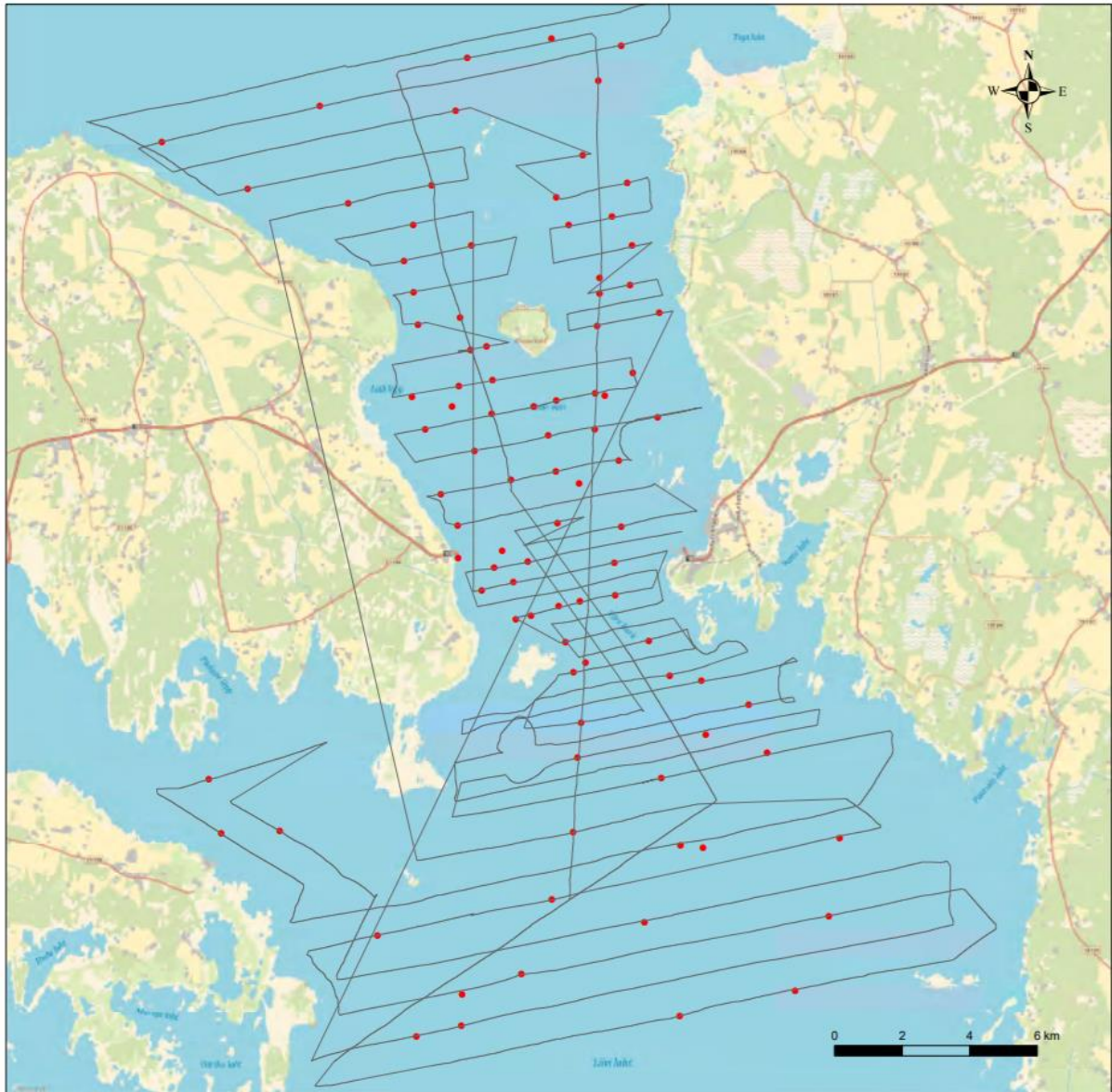
¹⁶ Muhu saare põhjavee kaitstuse digitaalse kaardi koostamine. Interreg VI A 2007-2013 " Green Islands" 2013

¹⁷ Muhu valla reovee kohtkäitluse ja äraveo eeskirja koostamiseks vajalik uuring. EGF: 8727. EGK 2016

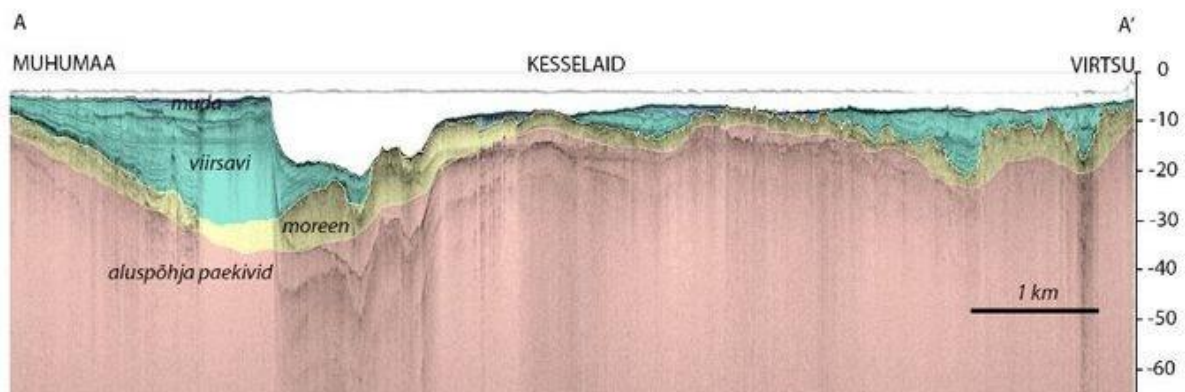
¹⁸ Suure väina ja ümbrisala geoloogilisest kaardistamisest. EGT aastaraamat 2019

¹⁹ Muhumaad ja Mandri-Eestit lahutav Suur väin lasub kompleksel, keeruka reljeefiga aluspõhja vagumusel. EGT aastaraamat 2020

²⁰ Uuring kinnitas suure liustikuoru olemasolu Suures väinas. Saarte Hääl 04.09.2019



Seismoakustilise sondeerimise profiilid ja proovivõtupunktide asukohad Suure väina piirkonnas.



Osaliselt mattunud aluspõhjaline org Suures väinas seismoakustilise sondeerimise profiilil.

Org tekkis jääaja lõpus liustiku toimel, millele hiljem järgnesid vooluveed Väinamerd pidi Soome lahte. Oru olemasolu põhimõtteliselt välistab silla rajamise Kesselaiu trassil. See eeldab, et silla jalad tuleks viia 45 m sügavusele, mis on tehniliselt kindlasti väga keeruline ja kulukas. Tunneli ehitamine samasse eeldaks, et tunneliga tuleb minna 100 m sügavusele.

2019. aastal alustas Eesti Geoloogiateenistus geoloogilise baaskaardistamise raames Suure väina piirkonna merepõhja ning seda ümbritseva maismaa-ala suuremõõtkavalist geoloogilist kaardistamist. Uuringuala hõlmab ligikaudu 1000 km² (sellest 500 km² maismaa-ala ja 500 km² akvatoorium) nelja kaardilehe (Virtsu 5243, Vatla 5244, Puise 6221 ja Lihula 6222) piires, kusjuures Virtsu kaardileht jääb täies ulatuses uuringualale. Suure väina merealal toimusid geofüüsikalised mõõtmised profiilidel kogupikkusega 537 km intervalliga 0,5-1,0 km, mis viidi läbi erinevatel sagedusvahemikel töötavate setteprofiilaatoritega (Boomer, Chrip) ja lisaks võeti Van-Veen-tüüpi haardkopaga 94 põhjaproovi põhjasetete koostise määramiseks. Merepõhja pealispinna uuringuteks kasutati külgvaatesonarit. Geofüüsikaliste profiilide planeerimiseks, navigeerimiseks ja geofüüsikaliste andmete kogumiseks, samuti andmestiku interpreteerimiseks kasutati Meridata tarkvara. Andmete interpreteerimisel koostati erinevatest litoloogilistest erimitest seisreakustilised üksused. Plaanis oli ka puurida kolm puurauku Suure väina ääres ja seda eeskätt püsiühenduse teele jäävate aluspõhja karbonaatkivimite füüsikalise mehhaaniliste ning hüdrogeoloogiliste omaduste uurimiseks. Uurijatest mittesõltuvatel põhjustel lükkus nii puurimine kui ka aruande valmimine järgmisse (2020) aastasse. Olemasoleva andmestiku põhjal on valminud aluspõhja geoloogia ja reljeefi ning pinnakatte geoloogia ja selle paksuse korrigeerimist vajavad kaardikihid. Seismilise sondeerimise profiilidel eristub Suurt väina läbiv paelasundisse lõikunud 20–40 m sügavune ja 1–1,5 km laiune liustikuorg. Osaliselt mattunud org, mille põhjas on kuni 20 m viirsavi ja kuni 10 m moreeni, eristub merepõhja reljeefis kuni 20 m sügavuse vagumusena. Esialgsete andmete põhjal süveneb see org põhja suunas. Koos aeromagnetiliste ja raskusjõuvalja anomaaliade kaardi teemakihiga on valminud ka seletuskirja vastav osa.

2020. aastal tehti Muhu valla üldplaneeringu keskkonnamõju strateegiline hindamine²¹. Aruanne sisaldab infot nii geoloogia kui hüdrogeoloogia kohta.

2021. aasta seisuga on Maa-ameti kaardirakendustes geoloogilised andmepunktid koos geoloogiliste puuraukude infoga²², merepõhjareljeef²³ ja üleujutusosalad²⁴. EGT aruandes²⁵ on esitatud 2019. aastal EGT väikelaevalt Boomer-tüüpi profilaatoriga tehtud Suure väina seisma-akustilisest profiilist Kesselaiust vahetult lõunas. (A) ja (B) interpreteerimata/interpreteeritud kõrgsagedusliku spektriosa ning (C) ja (D) vastavalt interpreteerimata/interpreteeritud madalsagedusliku spektriosa versioon näitab Suure väina aluspõhja reljeefi üksusi, pinnakatte seismostratigraafilist liigestust ning Suure väina peavagumuse Muhu-poolsel nõlval paiknevat glatsiofluviaalset oosi.

Eri sagedustel töötavad Boomer-, Chirpja Pinger-tüüpi profilaatorid võimaldavad saada detailse läbilõike nii aluspõhja ülaosa geoloogilisest ehitusest (kontuurida aluspõhja reljeefi) kui ka seda katva moreenikihi ning nooremate Läänemere erinevate staadiumite setete läbilõikest. See võimaldab uuritavate/kaardistatavate alade kohta koostada erinevate pindade reljeefikaarte ning samuti erinevate tasemete paksuskaarte. Merepõhja katvate setete ja merepõhja reljeefi detailsemaks uurimiseks ning seal esinevate objektide avastamiseks saab seisreakustiliste aparatuuridega käitada samaaegselt ka külgvaatesonarit. Alates 2021. aasta suvest on EGT käsutuses ka

²¹ Muhu valla üldplaneeringu keskkonnamõju strateegiline hindamine. Aruande eelnõu. Skepast&Puhkim OÜ 2020

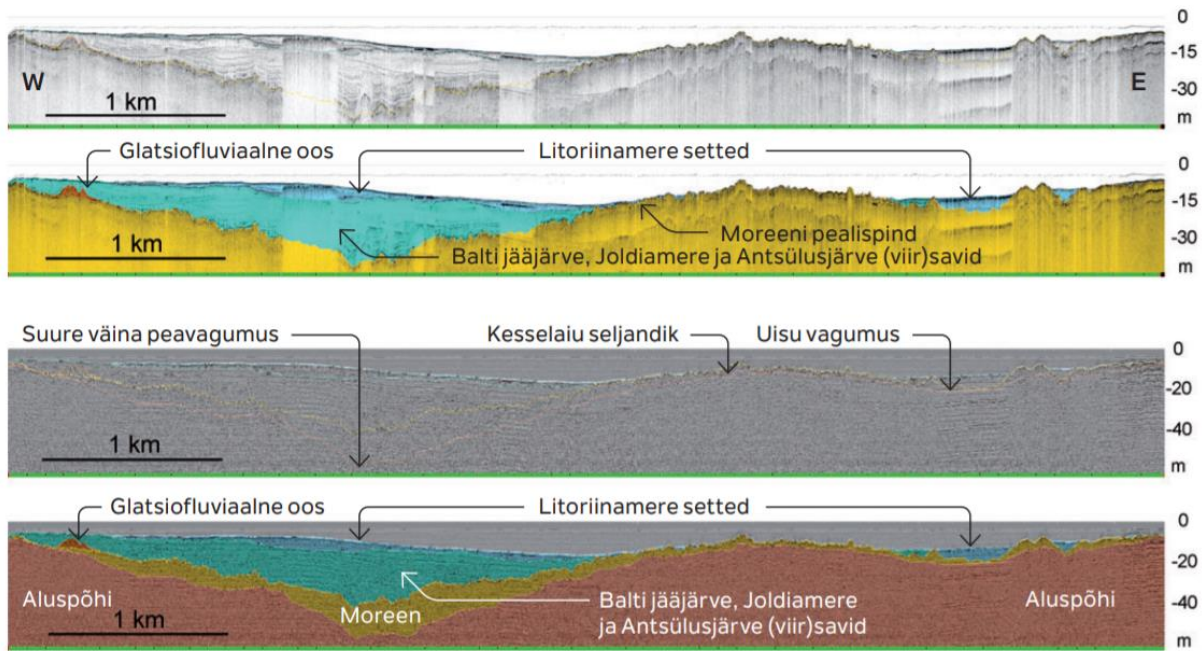
²² Geoloogiline baaskaart. Maa-amet. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/geoloogia50k> 2021

²³ Merekaart. Maa-amet. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/merekaart> 2021

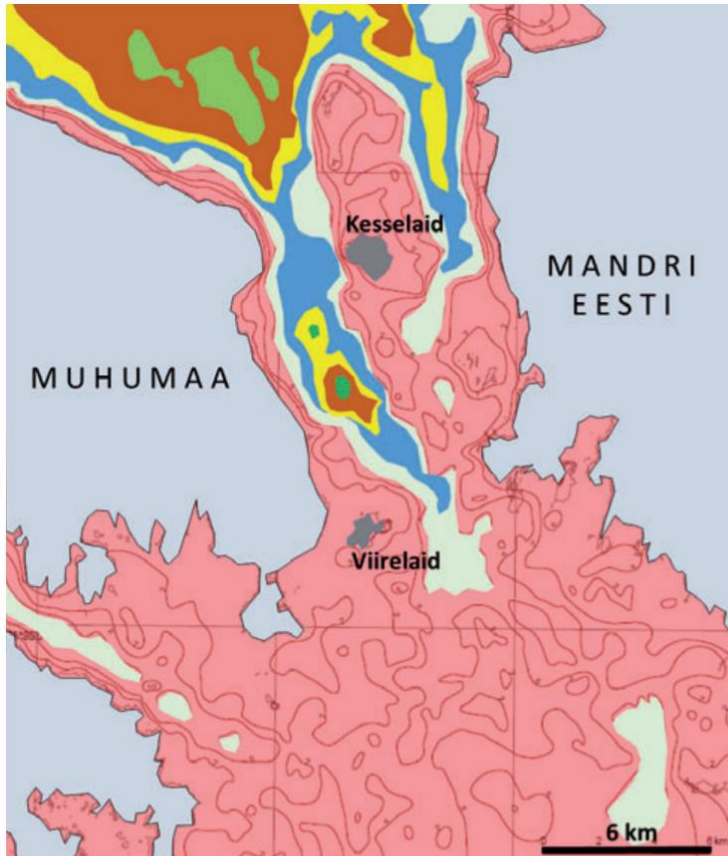
²⁴ Üleujutusosalad. Maa-amet. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/yua> 2021

²⁵ Ülevaade meregeoloogilisest andmestikust meretuuleparkide planeerimiseks. EGF 9465. EGT (Eesti Geoloogiateenistus) 2021

lehtviksonar/paljukiireline sonar (multibeam sonar), mis võimaldab kaardistada detailsemalt merepõhja ning luua sellest 3D-kujutise.



Boomeri seisimokustiline profiil Kesselaiust vahetult lõunas, mille impulsi parameetrite hilisem seadistamine võimaldab profiilidel eristada moreeni ja aluspõhja kontakti ning sellest tulenevalt ka peamisi Suure väina aluspõhjareljeefi üksusi.



Suure väina pinnakatte paksuste kaart.



Suure väina aluspõhja reljeef ja selle väljaeraldatud üksused.

Trasside piirkonda on rajatatud paarkümmend erineva sügavuse ja infoga puurauku.

		puuraugusisene vooluhulk, EGK
Seismilised uuringud	2000	Settekihtide samaväärtusjoonte pildi ja profiilid
Põhjavee ja merepõhja setete uuringud	2004, 2006, 2009	Aruannetes
Geoloogilised, hüdrogeoloogilised ja ruumilised soovitusel sildade ja tunneli omaduste kohta	2011	Aruandes
Põhjaveeuuringud	2013,2016	EGK
Geoloogiline baaskaardistamine	2019-2021	EGT
Põhiuuring (sihtotstarbeline geoloogiline uurimistö)		
Detailsed geoloogilised puuraugud.	1998. tehti Viirelaiu ja Virtsu 85 m puuraugud. Lisaks teha puurauke enne läbindamist.	EGK
Kaevude kaardistamine	Osaliselt tehtud 2016. Täpsustada.	EGK
Seismoakustiline sondeerimine	2019	EGT
3D leviksonari uuringud	Võimalik uurida alates 2021	EGT
Virtsu ja Viirelaiu puuraukude seinte jälgimine telekaamera vahendusel ja puuraugusiseste vooluhulkade mõõtmine tundlikuma aparatuuriga 2-3 seismoakustilise profiili tegemine piki võimaliku tunneli trassi Puuraugu puurimine Suure väina vagumuse ja oletatava tektoonilise rikke piirkonnas.	2021-	EGT tööplaan
Plaanis oli puurida kolm puurauku Suure väina ääres ja seda eeskätt püsiühenduse teele jäävate aluspõhja karbonaatkivimite füüsikalismehhaaniliste ning hüdrogeoloogiliste omaduste uurimiseks.	2020	Aruanne puudub, info EGT-s

3. Geoloogilise ja hüdrogeoloogilise uuringu lähteülesanne

Uuringu läbiviimise vajalikkus. Seos olemasolevate andmete ja nende piisavusega.

Eelnevalt on tehtud eeluuringuid, kuid uuringute raames kogutud andmed ei ole täies mahus avaldatud. Edasiste uuringute mahu ja vajalikkuse hindamiseks tuleb koguda kokku varem hangitud andmed ja teha nende põhjal ruumilised andmemudelid.

Uuringu eesmärk, küsimused, millele vastuseid otsitakse

Uuringu eesmärk on algandmete esitamine silla ja tunneli projekteerimiseks. Püsiühenduse trassidel tuleb koostada geoloogilised ja hüdrogeoloogilised profiilid.

T2 ja T3 trass

Silla rajamiseks vajalikud andmed on kivimite tugevus- ja stabiilsusomadused. Geoloogilised, hüdrogeoloogilised ja geotehnilised parameetrid on omavahelistes seostes ja vastavad vajalikud parameetrid määratakse sama uuringu raames.

Silla ehitamiseks on vaja valida sillapostide asukohad ja määrata nende kivimite parameetrid kuhu rajatakse postivundamendid.

T3T trass

Tunneli rajamiseks tuleb valida tunnelite (paralleeltunnelid ja neid ühendavad lõõrid) asukohad ja määrata kogu tunneli pikkuses tunneli(te) asukohta kivimite ja külgkivimite parameetrid. Seetõttu on tunneli rajamiseks tehtav uuring oluliselt mahukam. Sukeldatud tunneli ehitamiseks on vaja analoogilisi andmeid nagu silla ehitamiseks, kuid vaja on teada merepõhja omadusi kogu trassi ulatuses.

Peamised esitatavad andmed on:

- Merepõhja reljeef
- Kvaternaarisetete paksused ja omadused
- Settekivimite kihtide paksused ja omadused
- Geoloogiliste rikete ja lõhede paiknemine
- Veekihtide ja vee omadused ning parameetrid

Andmed tuleb esitada ruumilise geoloogilise mudeli(te) kujul. Mudelid peavad võimaldama puuduolevate andmete hankimiseks tehtavate uuringute vajalikkuse hindamist.

Asukohavalikuks ja edasiste, detailuuringute mahu ja vajalikkuse hindamiseks tuleb hankida varem kogutud andmed ja teha nende põhjal ruumilised andmemudelid ning nende väljundina muuhulgas geoloogilised ja hüdrogeoloogilised profiilid sildade ja tunnelite asukohtades. Geoloogilise mudeli all on mõeldud ruumiliste andmepunktide kogumit, mis iseloomustavad kivimi paiknemist, omadusi ning muuhulgas vee paiknemise, omaduste ja liikumise parameetreid²⁷. Mudelitesse sisestatud andmete alusel interpoleeritakse andmeväärtused algandmete vahelistesse ruumipunktidesse ning hinnatakse nende usaldusväärtust. Ruumilisse mudelisse lisatakse kivimite ja vee parameetreid vastavalt vajadusele. Dünaamilises mudelis simuleeritakse kivimite pingeolukordi ja liikumist ning vee liikumist. Reostusmudelis simuleeritakse vee kvaliteedinäitajate muutumist põhjavees, näiteks õlireostuse korral tunnelis. Mudelid peavad võimaldama puuduolevate andmete hankimiseks tehtavate tööde vajalikkuse hindamist ning lähteülesande koostamiseks andmete saamist. Mudelite ülesehitus ja arvutusmeetodid peavad olema kirjeldatavad. Andmeid peab saama kasutada lisaks modelleerimistarkvara mudelifailidele ka üldkasutatavate tarkvarade abil, näiteks tabelite, kaartide, jooniste ja animatsioonidena.

²⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_modelling

Detailuuringute maht selgub uuringute käigus, kuna see sõltub uuringu käigus saadavate andmete piisavusest. Detailuuringute peamine meetod on uuringupuuraukude puurimine, karotaaž, vee katse- ja proovipumpamine ning puursüdamike võtmine ning uurimine.

Planeeringu etapp, millal uuring läbi viiakse – kas uuringu läbiviimine on vajalik asukohavaliku teostamisel, detailse lahenduse koostamisel või mõlemas etapis erinevas täpsusastmes.

Asukohavalikuks vajalikud uuringud on:

1. Olemasolevate uuringute analüüs
2. Analoogiliste projektide ja geoloogiliste ning hüdrogeoloogiliste tingimuste analüüs
3. Sillaehitajatele ja tunneliläbindajatele (või tunneliehitajatele) vajaliku andmestiku analüüs
4. Olemasoleva andmestiku (olemasolevate uuringute arvandmete) alusel ruumiliste (geoloogilise, hüdrogeoloogilise ja geotehnilise) digitaalmudelite koostamine ning analüüs

Detailse lahenduse koostamiseks vajalikud uuringud on:

5. Puuduoleva andmestiku hankimine:
 - a. Seismoakustilised uuringud
 - b. Puuraukude puurimine ja puursüdamike võtmine.
 - c. Puuraukude karotaaž, ka eelnevalt konserveeritud puuraukudes.
 - d. Seismilised ja akustilised uuringud puuraukudes.
 - e. Puursüdamike uuringud.
 - f. Põhjaveeuuringud puuraukudes (katse- ja proovipumpamine, survetestid, vooluhulga mõõtmine, karotaaž jms).
6. Digitaalmudelite uuendamine vastavalt hangitud andmetele.
7. Ehitusaegsed geouuringud.

Keerulisemad geoloogilis-hüdrogeoloogilised tingimused võivad olla Suure väina keskosas oletatava tektoonilise rikke piirkonnas, mida tuleb esmajoones uurida, et välja selgitada tunneli või silla rajamise võimalikkus.

1. Eelnevate uuringute analüüs

Lisaks uuringuaruannetele tuleb analüüsida andmeid, mille alusel on aruanded koostatud. Antakse info andmete ruumilise paiknemise, tiheduse ja täpsuse kohta eesmärgiga hinnata nende sobivust ruumiliste mudelite koostamiseks.

2. Analoogiliste projektide ja geoloogiliste (sh hüdrogeoloogiliste) tingimuste analüüs

Tuleb esitada analoogiliste projektide põhiinfo geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uuringute meetodite ja mahtude kohta.

3. Sillaehitajatele ja tunneliläbindajatele (või sukeldatud tunneli ehitajatele) vajaliku andmestiku analüüs

Esitatakse andmestiku loetelu ja vajalik tihedus, mida silla- või tunneliehitajad antud tingimustes vajavad.

4. Olemasoleva andmestiku hankimine ja ruumiliste (geoloogilise, hüdrogeoloogilise ja geotehnilise) digitaalmudelite koostamine

Tehakse ruumilised mudelid, mis esitatakse nii mudelifailidena kui esitlusmaterjalina. Koostatakse geostatistiline hinnang andmete usaldusväärsuse kohta trassidel. Analüüsi tulemusena koostatakse koostöös projekteerijaga lähteülesanne detailuuringuks.

5. Merepõhja kivimite uurimine kaudsete meetoditega

a. Trassi kivimeid uuritakse seisreaktiivsete meetoditega. Vastavalt koostatud mudeli analüüsile tehakse vajalikud puuduvad uuringud trassidel.

b. Puuraukude uurimine

Puuritakse uuringupuuraugud. Andmeid hangitakse nii puursüdamikest kui puuraukude karotaažist. Uurida tuleb kivimite ja veekihtide geoloogilisi, geotehnilisi, geofüüsikalisi ja hüdrogeoloogilisi omadusi.

Uuringupuuraukude arv valitakse vastavalt kivimite eeldatavale muutlikkusele. Minimaalne arv on 1 puurauk mis läbib rikketsooni, eeldusel, et ülejäänud alal on kivimite omadused ühtlased ja interpoleeritavad juba puuritud Virtsu ning Viirelaiu puuraukude ja koostatud mudeli andmetel.

Põlevkivi kaevandamiseks tehtavatele uuringutel on puuraukude vahekaugus profiilil olnud kuni 2 kilomeetrit ning paekivi jaoks kuni 400 m.²⁸ Maailmapraktikas tehakse suhteliselt väikese sügavusega (< 100 m) tunnelite uuringuteks puuraugud iga 120 m (30 kuni 150) m järel²⁹. Vajalike puuraukude arv sõltub jooksvalt täiendatavate mudelite geostatistilise analüüsi tulemustest ja projekteerijate ning arendaja vahelistest kokkulepetest.

c. Puuraukude karotaaž, ka eelnevalt konserveeritud puuraukudes.

Puuraukudes uuritakse kaasaegsete seadmetega kivimite litoloogiat ja omadusi, mis suurendab mudeli usaldusväärsust.

d. Seismilised ja akustilised uuringud puuraukudes.

Vajadusel teostatakse puuraukudes seismiliste ja akustiliste ning geofüüsikaliste meetoditega uuringud, eelkõige rikketsooni piirkonnas.

e. Puursüdamike uuringud.

Määrtakse vajalikud ehituslikud ja mäendustingimused projekteerimiseks.

f. Hüdrogeoloogilised uuringud puuraukudes (katse- ja proovipumpamine, survetestid, vooluhulga mõõtmine, karotaaž jms).

Teostatakse pumpamiskatsed ja võetakse veeproovid hüdrogeoloogilise mudeli täpsustamiseks. Kaardistatakse salv- ja puurkaevud ning puuraugud ning mõõdetakse veetasemed püsiühenduse rajatiste mõjupiirkonnas.

7. Tunneli läbindamisaegsed uuringud

Vee sissetungimise ohu korral tuleb uurida tunneli läbimõõdust 2 kuni 3 korda pikem pilootpuurauk. Puurimiskiirus ja sissetuleva vee kogus ning värvus fikseeritakse, et tuvastada rikete esinemist. Vajadusel dreenitakse läbindusett puuraukude abil, et hoida ära mäelööki³⁰ või suure koguse vee ootamatut sissevoolamist tunnelisse.

²⁸ Üldgeoloogilise uurimistöo ning maavara geoloogilise uuringu kord ja nõuded ning nõuded fosforiidi, metallitoorme, põlevkivi, aluskorra ehituskivi, järvelubja, järvemuda, meremuda, kruusa, liiva, lubjakivi, dolokivi, savi ja turba omaduste kohta maavarana arvelevõtmiseks <https://www.riigiteataja.ee/akt/119122018028>

²⁹ Tunneling Beneath Open Water. A Practical Guide for Risk Management and Site Investigations. Parsons Brinckerhoff Inc. Thomas W. Pennington P.E. 2011

³⁰ Mäelöök on kivimi paiskumine kaeveõõnde rõhu kiire vallandumise tõttu.

Metoodika kirjeldus

Sillapostide asukohtadesse puuritakse uuringupuuraugud kivimite tugevusomaduste määramiseks.

Täpsete tunneliläbindamise lähteandmete nõuded sõltuvad maailmapraktikast, uuringuvõimalustest ja läbindajate nõuetest. Peamised protsessid, mille jaoks on lähteandmeid vaja, on tunneli läbindamine ja toestamine. Peamised omadused, mis tunneli rajamist mõjutavad, on kivimite lõhelisus, tugevusomadused, poorsus ja vee läbilaskvus. Tuleb määrata järgmised kivimite andmed: mineraloogiline koostis, tugevusnäitajad, elastsusmoodul, poorsus, filtratsioonikoefitsient ja keemilised omadused. Saadud andmete põhjal koostatakse ruumilised mudelid ja tunneli pikiprofiil. Pikiprofiilil näidatakse lisaks kivimite omadustele kihilisus, lõhelisus ja uuringupuuraukude asukohad. Samuti näidatakse hüdrogeoloogilised parameetrid - põhjaveekihi ja -kihtide, vee liikumise ja taseme ning vee omaduste parameetrid.

Geoloogilist/geotehnilist uuringut jätkatakse ka läbindamise ajal, puurides horisontaalseid ja vajadusel tunneli perimeetrist väljuvaid kaldpuurauke. Kivimi suure ebaühtluse korral (näiteks oru asukohas) võib olla vajalik ka piloottunneli läbindamine. See võimaldab toetuse kohandamist mäendustingimuste muutumisel. Peamised rahvusvahelised klassifikatsioonid, mida tunneli projekteerimiseks kasutatakse on RQD, Q, RSR, RMR, RME, SRF, R_{Mi} ja GSI.

RQD - Rock quality designation

Q-system, quality of the rock mass

RSR - Rock Structure Rating

RMR - Rock mass rating

RME - Rock Mass Excavability

SRF - Stress Reduction Factor

R_{Mi} - Rock Mass index

GSI - Geological Strength Index

Nende omaduste teadasaamiseks ja andmete piisavuse üle otsustamiseks tuleb kasutada meetodikaid, mis võimaldavad tunneli rajamiseks parima võimaliku tehnika kasutamist ja optimaalse tulemuse saavutamist.

Uuringu läbiviija (või meeskonna) kirjeldus, kompetentsid, kogemus.

Uuringu läbiviijal peab olema analoogiliste tööde teostamise kompetentsus, kogemus ja võimekus. Selle demonstreerimiseks tuleb esitada teostatud ruumilise geoloogilise (geoloogiline, geotehniline ja hüdrogeoloogiline) mudeli näide, mis sisaldab mudeli andmestiku, ülesehituse ja kasutatud meetodite kirjeldust ning geostastilist analüüsi andmestiku usaldusväärsuse kohta konkreetsetes punktides.

Detailuuringu teostamiseks peab olema analoogiliste tööde teostamise kompetentsus, kogemus ja võimekus.

Uuringu eeldatava maksumuse hinnang

Asukohavalikuks vajalikud uuringud

Andmete hankimine, analüüsimine ja mudelite tegemine nõuab ca 4 sobiva kompetentsuse ja kogemusega inimese 6 kuud kestvat pidevat tööd. Muud kulud on tarkvara, kontori- ja arvutustehnika ning side- ja transpordikulud, mis on ca samas suurusjärgus. Eeldatav maksumus on 100000 eurot.

Töö tegijate minimaalne kompetentsinõue on analoogilise töö tegemise suutlikkus ja kogemus, mida demonstreeritakse isikute poolt tehtud ja esitatava mudeli kirjelduses, tuues välja isikute rollid.

Hüdrogeoloogilise uuringu tegemiseks peab ettevõttel olema hüdrogeoloogiliste tööde tegevusluba hüdrogeoloogiliste uuringute valdkonnas.

Detailuuringute maksumust saab osaliselt hinnata pärast asukohavalikuks tehtud uuringute teostamist. Kuna vajalike tööde maht selgub detailuuringu tegemise käigus, siis selgub ka maksumus uuringu käigus.

Ruumiline geoloogiline, hüdrogeoloogiline (dünaamiline ja reostuse mudel) ja geotehniline mudel	Teha, kui on vaja otsustada puurimise maht	
Detailuuring (sihtotstarbeline geoloogiline uurimistö mis sisaldab ka projekteerijale vajalike andmete hankimist)		
Põhiuuringu alusel puuraukude puurimine ja uurimine	Teha koostatud mudeli analüüs alusel	Plaanida koostöös projekteerijaga
Ruumiliste mudelite uuendamine ja projekteerimise lähteandmete vormistamine	Teha ja uuendada uute andmete alusel	Teha koostöös projekteerijaga
Tunneli läbindamisaegne detailuuring		
Tunneli läbindamisel puuritavad puuraugud või piloottunnel.	Teha läbindamise ajal	Läbindaja

4. Ettepanekud mõjuhindamise läbiviimiseks

Geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uuringute raames tehtavad tööd, mille mõju tuleb hinnata elusloodusele (mh kalade rändele), põhjaveele, põhjaveekogumitele, pinnaveele, pinnaveekogumitele, setetele ja kivimitele on:

- Sonarite ja seismoakaustiliste seadmete kasutamine
- Puuraukude puurimine
- Põhjavee katse- ja proovipumpamine puuraukudest

Ehitusaegsed mõjud, mida tuleb hinnata on mõju põhjaveele ja pinnaveele ning veekogumitele ja kivimite väljamisest, veost ja ladustamisest ning jäätmetekkest tingitud mõjud.

Kasutusaegsed mõjud on põhjaveele ja pinnaveele ning veekogumitele. Lisaks mõjutab tunneli kasutamine teisi keskkonna- ja sotsiaalseid aspekte nagu õhu kvaliteet, liikluskoormus, plahvatus- või põlenguohud jmt.