



**A.L.A.R.A.**  
As Low As Reasonably Achievable



**Lääne-Harju vald**



KLIIAMINISTEERIUM



**EKSORTUS**



UNIVERSITY OF TARTU  
Department of Geology

# Radioaktiivsete jäätmete lõppladustuspaiga kolme asukoha uuringud

Alltegevused 2.1.-2.9.

**RAJALA**



Euroopa Liit  
Ühtekuuluvusfond



Eesti  
tuleviku heaks



**TOETAB**

## **Alltegevus 2.1. - Tektoonilise omapära kaardistamine**

Antud uuring kirjeldab tektoonilisi detaile kolmes potentsiaalses lõpladustamise asukohas. Need asuvad Lääne-Harju vallas ning on täpsemalt: Paldiski (PAL), Altküla (ALT) ja Pedase (PED). Kuna kõik kolm ala asuvad peaaegu samas asukohas, on maakoore struktuur kõikides kohtades sarnane. Uuring loob tausta geoloogilisest ajaloost antud aladel, geoloogilise struktuuri seisukorrast, neotektoonilistest protsessidest ja lähimatest aktiivsetest vulkaanilistest nähtustest.

### **1. Sügav geoloogiline aluskord**

Eesti asub Ida-Euroopa platvormil, mille 100-780 meetri paksuses aluskorras leidub paleosoikumi settekivimeid ja kvaternaari setteid.

Geofüüsika ja petroloogia põhjal jaguneb Eesti aluskord kaheks suureks geoloogiliseks üksuseks- Põhja-Eesti amfiboliidi faatsies ning Lõuna-Eesti granuliidi faatsies. Aluskord sisaldab kuute struktuurilist-petrooloogilist tsooni: Tallinn, Alutaguse, Jõhvi, Lääne-Eesti, Tapa ja Lõuna-Eesti, erinedes kivimi kompositsiooni, tekkimise, geofüüsiliste omaduste ja metamorfismi taseme poolest.

Piir kristalse aluskorra ja selle peal asetsevate setete vahel asub PAL juures 160 m sügavusel merepinnast, PED ja ALT juures aga 190 m sügavusel. Valla territooriumil asuvast neljast murrangust kaks, mis kuuluvad svekofennia- või rapakivi-aegsetele deformatsioonidesse ei avalda mõju settekihile. **Samas on täheldatud settekihi paindumist Kuijõe-Vihterpalu murrangust tulenevatest jõududest selle 1 km suurusel ümbritseval alal. Seega võib alal esineda häiringutsoone. Valla idaosas asuva Klooga murrangu aladel on samuti täheldatud settekihtide murdumist, kuid selle häiringutsoon võib ulatuda lausa 20 km juurde ümbritsevatel aladel.**

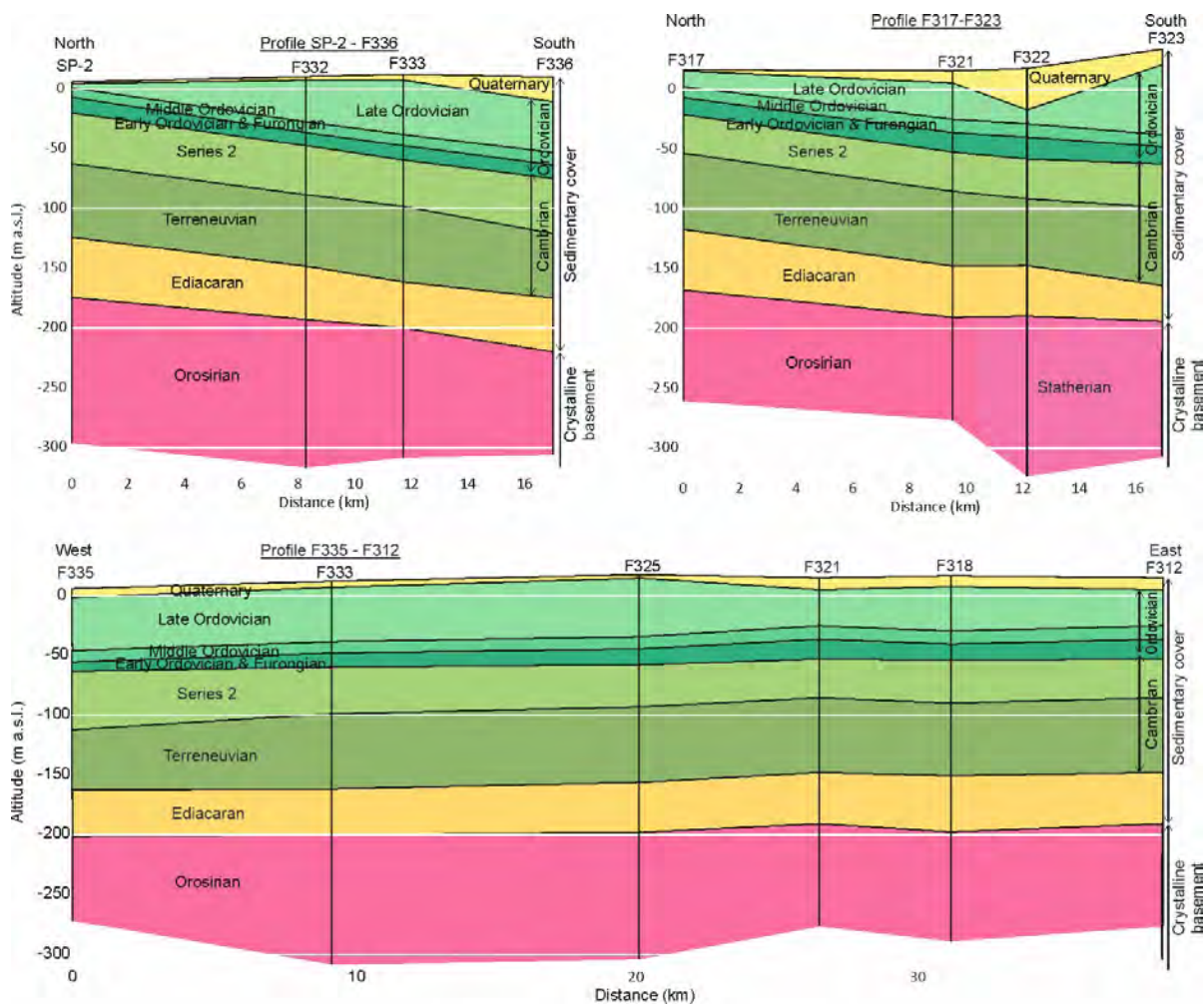
Üldiselt ei peeta Eestit seismiliselt piirkonnaks, kuigi vaatlust instrumentidega on peetud alles 21. sajandist. Selle aja jooksul on vaadeldud peamiselt 2,5 magnituudiseid värinaid ning nende andmete põhjal on Loode-Eesti kõige seismilisem ala. Lääne-Harju valla mõttes on täheldatud ainult 2017. aasta 1,2 magnituudist Keila maavärinat, mille sügavus ulatus 4 kilomeetrini, seega ei peeta valla territooriumil asuvaid murranguid aktiivseteks.

### **2. Settekiht**

**Eesti mustas kilbis leidub kõrgendatud kontsentratsiooniga elemente, nagu Mo, V, Ni, Ag, Zn, Pb ja U. Seetõttu leidub ka kilbis suhteliselt kõrget radioaktiivsust (1,84 µSv/h).**

Valla aladel asuv ülemine ordoviitsiumi kiht koosneb neljast formatsioonist: Viivikonna, Tatruse, Kahula ja Vasalemma. Viivikonna formatsioon sisaldab majanduslikult väärtuslikku paekivi ja vähesel määral ka kukersiiti, Tatruse ja Kahula aga K-bentoniiti. Kahulas on samuti savikas-karbonaatseid settekivimeid. Vasalemma formatsioonis leidub bioklastilist paekivi.

**PAL ja PED asuvad madala paksusega kvaternaarse setete juures, kuid ALT asub liustike mõjutuste tõttu paksemal 20-meetrisel kvaternaarse setete kihil**



Joonis 1. Lääne-Harju valla geoloogiline profiil

### 3. Neotektoonika

Aluspõhja topograafia formatsioon hakkas tekkima devoni ajastu lõpul ja stabiliseerus liustikute erosiooni toimel. Lääne-Eestis on lisaks maakoore vertikaalsele liikumisele ka maakoore horisontaalselt liikumas lõuna ja kagu suunas kiirusega 1,15 mm/a. Selle peamine katalüsaator on laamtektoonika, täpsemalt Euraasia laam, mis liigub 23 mm/a loode suunas. Tänapäeval mõõdetakse seda ülemaailmse satelliitnavigatsioonisüsteemiga, vastavad lähimad mõõtvad jaamad on Suurupis ja Dirhamis.

### 4. Lähim vulkaaniline aktiivsus

Lähimad vulkaanilised aktiivsused Eestile on Põhja-Itaalias asuvates Alpides ja Islandil, mis on vastavalt 2000 km ja 2100 km eemal. Seega ei ole olnud ühtegi vulkaaniliselt aktiivset sündmus Eesti aladel kristalse aluskorra tekkimisest saati. Samas on pursetest tekkinud lendosa varasemalt jõudnud Eesti territooriumile ning sadenenud Faneroosiumi setetes.

## 5. Asukohtade pingerida

1. Asukohtade pingerida vastavalt sügavale geoloogilisele struktuurile (kristalne aluskord)  
Sügav geoloogiline aluskord on igas asukohas peaaegu identne ning kõik alternatiivid on seega samaväärsed.
2. Asukohtade pingerida vastavalt Ediacara ja Paleosoikumi settekihtidele ning Lontova kihistu sügavusele  
Neoproterosoikumi ning Paleosoikumi setete kogunemine on tühtlane ja etteaimatav, seega sobivad kõik kolm ala lõppladestuspunkti asukohaks. Küll aga on kesksügavusega ladestuspaigale sobivaim Lontova kihistu kõrgemal Paldiski alal võrreldes Altküla ja Pedase aladega. Pedase alal on Lontova kihistu sügavaimal.
3. Asukohtade pingerida vastavalt kvaternaari settekihi paksusele  
Paldiski ja Pedase aladel on kvaternaari settekihi paksus väike, seega on nad soodsa aluskorraga võimaliku maapinnaligidase lõppladestuspunkti loomiseks. Altküla alal teeb ehitamise keerulisemaks paleosoikumi setteid kattev pehme liustike sette kiht (ca 20 m).
4. Asukohtade pingerida vastavalt aktiivsetele murrangutele  
Kolme asukohta läheduses pole ühtegi teadaolevat aktiivset murrangut, seega on kõik kolm alternatiivi samaväärsed. Geofüüsiliste uuringute tulemusel selgus, et Paleosoikumi setetes pole ühegi ala ligiduses murrangutsoone.
5. Asukohtade pingerida vastavalt neotektoonilisele aktiivsusele  
Hinnangulised vertikaalsed ja horisontaalsed liikumised on peaaegu identsed kõigis asukohtades ning ei tekita tektoonilisi pingeid. Seega on kolm asukohta samaväärsed.
6. Asukohtade pingerida vastavalt vulkaanilisele aktiivsusele  
Lähim vulkaaniliselt aktiivne ala on Islandil umbes 2100 km kaugusel, seega on kõik kolm asukohta võrdväärsed.

Tabel 1. Pingerida erinevate parameetrite alusel, kus kõrgeim hinnang on 1. ja madalaim 3.

<b>Hindamiskriteerium</b>	<b>Paldiski</b>	<b>Pedase</b>	<b>Altküla</b>
<u>1. Sügav geoloogiline struktuur (kristalne aluskord)</u>	1.	1.	1.
<u>2. Ediacara ja Paleosoikumi settekihid ning Lontova kihistu sügavus</u>	1.	3.	2.
<u>3. Kvaternaari settekihi paksus</u>	1.	1.	2.
<u>4. Aktiivsed murrangud</u>	1.	1.	1.
<u>5. Neotektooniline aktiivsus</u>	1.	1.	1.
<u>6. Vulkaaniline aktiivsus</u>	1.	1.	1.
<u>7. Keskmisel sügavusel lõppladestuspunkt</u>	1.	3.	2.
<u>8. Maapinnaligidane lõppladestuskoht</u>	1.	1.	3.

### Asukohtade summaarne pingerida:

1. Paldiski
2. Pedase
3. Altküla

## **Alltegevus 2.2. - Seismiline analüüs**

Töös hinnatakse eraldi ja võrdlevalt kolme ala ja neid ümbritsevate alade seismilisi nähtusi ja tektoonilist aktiivsust. Uuritakse ka varasemat seismilisust igast alast mitte enam kui 50 kilomeetri raadiuses. Seismilised nähtused on võetud Põhja-Euroopa vulkaanide kataloogist FENCAT.

Uuringu eesmärk oli anda ülevaade mitte ainult tektoonilisest aktiivsusest, vaid iseloomustada regiooni varasemat vulkaanilist aktiivsust. Nagu oli mainitud ka Lääne-Harju valla seismilises uuringus, ei ole regionis ega selle ligiduses vulkaanilist aktiivsust. Eesti asub stabiilsel kraatonil, kaugel laamade piiridest ning siin ei esine aktiivset vulkaanilisust. Lähimad vulkaanilised alad on 2000 km kaugusel Islandil ja Itaalias. Seega on vulkaanilisusel väheoluline mõju lõppladustuspaiigale ning rohkem seda siin ei käsitleta.

### **1. Maavärinate aktiivsus uuringualal**

200 aasta jooksul on uuringualal täheldatud 16 maavärinat (Tabel 2). Mõned neist pole eraldiseisvad juhtumid, vaid moodustavad osa suuremast maavärinast, millele eelneb eelvärin või järgneb järelvärin. Siiani pole Altküla, Pedase või Paldiski vahetus ligiduses tuvastatud maavärinaid. Tuvastatud värinade epitsenter on nendest asukohtadest 13 või enama km kaugusel.

Maavärinad olid magnituudiga 0,9 kuni 4,5 Richteri skaalal. Magnituut tähistab võimsuse suurusjärku (pole füüsikaline väärtus) ning iseloomustab maavärina poolt vabastatud seismilist energiat. Magnituudi skaala on logaritmiline, mis tähendab, et ühepunktiline magnituudi tõus tähistab enam kui 30-kordset ning kahepunktiline tõus 1000-kordset energia väljastamise suurenemist.

Kui 1976. aastal leidis aset seni Eesti tugevaim Osmussaare maavärin, polnud siin seismoseirejaamu. Küll aga oli see registreeritud naaberriikide jaamades ning tuntav nii Eestis kui ka naaberriikides. Samal päeval registreeriti hiljem makroseismiliselt kahte järelvärinat. Mitu päeva hiljem tunti kahte järelvärinat, mis registreeriti ka instrumentidega. Hilisemad uurimisalal toimunud maavärinad on toimunud 21. sajandi jooksul ning on instrumentidega registreeritud. Käesoleva sajandi esimene uuringualal toimunud maavärin oli 1,2 magnituudise tugevusega. Selle tuvastas 2003. aastal Soome seismiline võrgustik Osmussaarest põhjas. Viimase kümnendi jooksul on uuringualal tuvastatud kuute maavärinat, kaks neist moodustasid 2022 aasta juunis põhi- ja järelvärina seeria. Maavärinad on olnud tugevusega vahemikus 0,9-2,3.

### **2. Kokkuvõte ja soovitused**

Uuringuala ehk iga kolme potentsiaalse lõppladustuspunkti asukohast 50 km raadiuses oleva ala seismilise aktiivsuse kataloog talletab endas viimase 200 aasta tulemusi, kuid esimese 180 aasta maavärinate nimekirjas on arvestatavaid tabelünki. Kõigi sündmuste tuvastamine kuni magnituudini ~1 on olnud võimalik vaid viimase kahe kümnendi jooksul. Seega sisaldab seismilise aktiivsuse analüüs suuri veapiire.

Eesti (k.a uuringuala) on seismiliselt väheaktiivne. Võib esineda juhuslikke nõrku maavärinaid (magnituudiga < 3). Kui võtta näiteks 4,5 magnituudine Osmussaare maavärin, ei saa välistada maavärinaid, mis võiksid uuringualal põhjustada ehitistele olulisi kahjustusi. Samas on taoliste tugevate maavärinate naasemisperiod eeldatavalt mitusada aastat. Olemasolevad andmed ei võimalda täpsemalt ennustada tuleviku seismilisust.

Olemasolevatele andmetele tuginedes on üldine arusaam, et kõik kolm võimalikku lõppladustuspunkti asukohta on seismiliselt enam-vähem sarnased. Maavärinatest tingitud riskitase on madal. Seega ei ole seismilisus otsustav faktor lõpliku askoha valikul. Osmussaare maavärina epitsenter on neist kõigest enam

kui 30 km kaugusel, Paldiski ala asub kõige kaugemal. 3 või enama magnituudilised maavärinad on toimunud 40 või enama km kaugusel, jällegi kaugeimal Paldiskist.

Kuna ühelgi alal ega ühegi ala ligiduses pole suuri murranguid, võime eeldada, et kui looduslikud või inimtekkelised maavärinad peaksid tekkima, siis on nad väikese magnituudiga ning ei tekita struktuurilisi kahjustusi.

## **Alltegevus 2.3. - Maapõue geoloogilis-litoloogilise koostise analüüs**

Selle alltegevuse eesmärk on täpsustada kolme potentsiaalse lõppladestuspunkti asukoha geoloogilist struktuuri.

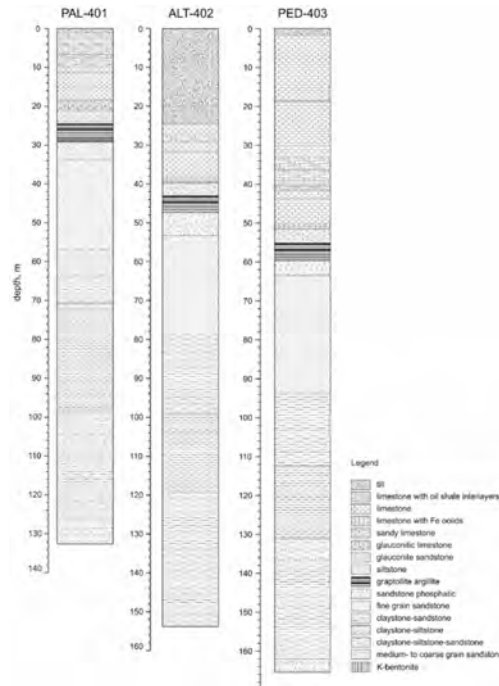
### **1. Geofüüsilised uuringud**

Geofüüsilised uuringud ei tuvastanud aluskivimis murdeid. Paldiski alal katab õhuke (umbes 0,2-2 m) kvaternaari settekiht savist lubjakiht, savivaene lubjakiht ning savi, argilliit ja liivakivi. Altkülas katavad mereliivad, kruus ja rahnud savirikast materjali (kogumit, kihti) ja hilis- Ordoviitsiumi lubjakihti. Pedasel katab lubjakihti ja klastset savist lubjakihti õhuke (1-2 m) rannikukruusa kiht. Tuvastati ka pinnakarsti ilminguid.

### **2. Puursüdamike uuring**

#### **2.1 Litoloogia**

Uuritud puursüdamikes iseloomustab aluskivimi järgnevust Ediacara ja Kambriumi ning Vara-Ordoviitsiumi (Terre-Neuve ja vara-Furong kuni Tremadoci lade) terrigeensed setted ja hilis-, kesk- ja vara-Ordoviitsiumi karbonaadid. Karbonaatkivimites leidub suurel määral mikriiti - savist lubjakivi mõne dolomiidistunud vahekihiga. Terrigeensed setted koosnevad liiva- ja lubjakivi kogumitest, mida iseloomustab varieeruv koguses kvartsi- ja savimineraalid. Erandiks on Tremadoci lademe graptoliitargilliidi kogum, mis koosneb leelispäevakivist, vilkudest ja kvartsikogumitest ning mida iseloomustavad kõrgendatud uraani, vanaadiumi ja molübdeeni kontsentratsioonid.



Joonis 2. Paldiski, Altküla ja Pedase litoloogilised profiilid

## 2.2. Mineraalne koostis

Uuritud aladel ei kaevandata maavarasid, neid pole leitud või tõendatud tõenäoliste maardlatena ega uuritud võimalike maavarade tarvis. Küll aga viitavad tulevikuprognosid võimalusele, et Kõrgekalda ja Vao kihistuid Paldiski alal võidakse kaaluda potentsiaalsete lubjakivi varudena. Lisaks leidub igal uuringualal maapinnast 25 kuni 60 meetri sügavusel 4-5 meetri paksune mudakivi kiht, milles leidub palju uraani, molübdeeni ja vanaadiumi. Neid kihte hetkel ei uurita, kuid nad võivad olla tulevikus potentsiaalsed metallide kaevandamiskohad.

## 2.3. Savikihi paiknemine ja omadused

Lähtudes puursüdamike litoloogilisest kirjeldusest, mineraalsest ja geokeemilisest analüüsist ning gammakiirguse mõõtmisest, koosneb savine lubjakiht kolmest kihist:

- (i) 4-5 meetri paksune orgaanikarikas savikilt järjestuse ülemises osas, erinevates puursüdamikes 25 kuni 60 m sügavusel
- (ii) 40-50 meetri paksune savine vahekiht, milles on 14-12 meetri paksune osa, kus vaheldub savikivi, aleuriit ja peeneteraline liivakivi; järgneb 18-27,5 m paksune savikivi kiht 60 kuni 100 m sügavusel
- (iii) Umbes 20 m paksune savise liivakivi kiht erinevates puursüdamikes 104 kuni 160 m sügavusel

## 3. Järeldused

Litoloogise-geoloogilise uuringu põhjal järeldati, et kõigil kolmel uuringukohal on peaaegu identne aluskivimi struktuur ja koostis, mis on tüüpiline Põhja-Eestile. Seega ei saa moodustada alade paremusjärjestust lähtudes aluskivimi geoloogilisest struktuurist ja koostisest.

Kolme asukoha geoloogiliste üksuste sügavuste vahel on erinevused, mis on tingitud Eesti aluskivimi geoloogilisest struktuurist ja selle monokliinest kaldest lõuna suunas. Lisaks on väikesed erinevused savirikaste kihtide koostises. Kõige mahukam ja paksem savirikas kiht, Lontova kihistu, mis sobib kõige paremini keskmise sügavusega lõppladestuspunkti rajamiseks, on Paldiski alal 57-98 m, Altküla alal 78-119 m ja Pedase alal 93-131 m sügavusel. Altküla ja Pedase alal iseloomustab tihkeimat savirikka kihi ülemist piiri aleuriidi-liivakivi ja saviste kihtide astmeline vaheldumine, kus savi sisaldus suureneb sügavusega. Paldiski alal on muutus saviliiva rikkast kihist savirikkasse kihti järsk ning üldine tihedus on sama mis Pedase ja Altküla aladel.

Võttes arvesse neid erinevusi on esialgne uuringualade litoloogiline-geoloogiline paremusjärjestus:

1. Paldiski

2-3. Altküla, Pedase

Enimeelistatud Paldiski alal on paksem savirikas kiht kõige lähemal maapinnale, kõige ühtlasem ning selgelt määratletud litoloogiliste piiridega.

Vähimeelistatud Altküla ja Pedase alad on litoloogiliselt sarnased ning mõlemal esineb paksemas savirikas intervallis astmeline üleminek liivakivirikkast litoloogiast savikivisesse, mis ühtlasi asub sügavamal võrreldes Paldiski alaga.

## **Alltegevus 2.4. - Maapinna reljeefi analüüs ja geodeetilised uuringud**

Paldiski ala asub Pakri poolsaare tipu lähedal, kus kõrgus merepinnast on vahemikus 19-25 m. Pakri poolsaar on tuntud aktiivse rannikujärsaku asukohana, mille maksimaalne kõrgus poolsaare tipus on umbes 22 m. Paldiski ala keskmine kõrgus merepinnast on 22,1 m kõrgemal merepinnast (vahemikus 18,0-26,7 m). See kõrgusvahemik ületab tunduvalt isegi halvima merepinna tõusu prognoose, mis on kuni +15 m aastaks 2500.

Suurim pinna kõrguse muutus toimus ~300 m Paldiski alast edela pool märgalal aastatel 2016-2020. Pinnalangus oli umbes 0,6-1 m. Tõenäoliselt on see langus seotud uue/renoveeritud truubiga läbi teetammi, mis kuivendas selle taga asuvat veekogu. Seal on lahesiseses rannajoones nii negatiivseid (-0,4 m) kui ka positiivseid (kuni 0,6 m) muutusi. See muster viitab tüüpilisele rannikuäärse setete transpordiprotsessile rannikumaastikul ja on seotud üksikute tormidega. Üldiselt on peaaegu kõik tuvastatavad maastikumuutused potentsiaalse hoidla läheduses tehtud inimeste poolt.

Altküla potentsiaalse hoidla ala keskmine kõrgus merepinnast on 5,1 m. (vahemikus 4,5-6,1 m). Ala asub madala profiiliga tombolo ülaosas. Tombolot ümbritseb väga ühtlane tasandik, mida läbivad mitmed kunstlikud kuivenduskraavid. Pedase ala asub kõrgemal pinnal. Ala keskmine kõrgus merepinnast on 15,1 m. (vahemikus 11,2-19,3 m).

Altküla ala kõrgus on väga lähedal merepinna tasemele (umbes +5 m) ning prognoositav merepinna tõus 0,5-1 m aastaks 2100 suurendab sarnaste sündmuste tõenäosust. Haapsalu sadama analüüs näitab, et kord tuhande aasta jooksul tõstaks torm merepinna 2,69 m üle keskmise (kord 100 aasta jooksul +2,13 m). Kliimamuutused suurendavad äärmuslike tormide tõenäosust. Need kaks suundumust koos jätavad väga vähe ruumi mere ja potentsiaalse hoidla vahele, isegi 2100. aastaks. Pikemaajalised prognoosid tulevase meretaseme tõusu kohta on palju ebakindlamad, kuid halvimal juhul võib merepinna tõus olla 2500. aastaks kuni 15 m. Selline meretaseme tõus ujutaks täielikult üle Altküla ja Pedase potentsiaalsed



hoidlakohad. Samas on Põhja-Eestis ka märkimisväärne isostaatiline maapinna tõus, Lääne-Harju piirkonnas ~3 mm/a, mis kompenseerib globaalset meretaseme tõusu. Maatõus vähendab prognoositud 1-meetrist globaalset meretaseme tõusu aastaks 2100 umbes 25 cm võrra, kuid sellest ei piisa pikaajaliste mõjude vastu võitlemiseks.

Pedase alal on paralleelsed kitsad seljandikud, mis tähistavad endisi rannajooni ja koosnevad suure tõenäosusega liivast ja kruusast. Alal ja selle lähiümbruses on palju selgelt piiritletud konarlikke lohke, mis viitavad tõenäoliselt karstilehtrile, kuhu pinnavesi imbub. Selle vee tõenäoline väljavooluala asub dreneaživõrgu asukohast kirdes. Allika- ja ojasüsteem asub alast 1,7 km kaugusel kirdes.

### **Kokkuvõte**

Topograafiline analüüs paljastab Altküla ala olulise negatiivse aspekti – see on nii lähedal praegusele meretasemele, et käimasolev ja tõenäoliselt kiirenev merepinna tõus koos tugevamate tormidega hakkab seda ala järgmise saja aasta jooksul ohustama. Samas on Põhja-Eestis ka märkimisväärne isostaatiline maapinna tõus selles piirkonnas, 3,2-3,3 mm/aastas, mis kompenseerib globaalset meretaseme tõusu. Maatõus vähendab prognoositud 1-meetrist globaalset meretaseme tõusu aastaks 2100 umbes 25 cm võrra, kuid sellest ei piisa pikaajaliste mõjude vastu võitlemiseks.

PED ala on kõrgemal, kuid pikas perspektiivis ohtlik, kui praegused maailma meretaseme halvimad prognoosid täituvad (ülemaailmne meretaseme tõus +15 m 2500. aastaks). Pedase ala asub nõlval ning selle ala piiril ja selle lähiümbruses arvukalt karstilehtreid. Karstiomaduste ja märkimisväärse kõrguste erinevuse tõttu on oodata põhjavee intensiivset voolu, mis on hoidla perspektiivist negatiivne omadus.

PAL-i ala on piisavalt kõrgel, et olla meretaseme prognoositud tõusu halvima stsenaariumi korral ohutu. Topograafiline analüüs ei too esile ühtegi Paldiski potentsiaalse hoidlaala olulist negatiivset aspekti.

Loodusliku äravoolu seisukohast on Altküla ala kõige keerulisem ja riskikartlikum, kuna see asub keset ulatuslikku tasapinda. Dreneažisüsteemis tuleb kasutada tehiskraavivõrku. Alal saab selle madala kõrguse tõttu olla vaid minimaalne kalle ning igasugune takistus (nt kopratamm) Läänemere ja koha vahel avaldab märkimisväärset negatiivset mõju. Pedase ja Paldiski alad asuvad kallakul või sellele väga lähedal, seega on need üldiselt hästi kuivendatud või vajavad minimaalset kunstlikku dreneaži.

Maastik ei mõjuta oluliselt kohalikku kliimat, kuna kõik pinnavormid on suhteliselt väikesed. Ainult Pedase ala on kõrgema asukoha ja muude omaduste tõttu valdavalt esinevatele läänetuultele veidi avatum.

Üldine paremusjärjestus topograafia alusel:

1. Paldiski
2. Pedase
3. Altküla

## Alltegevus 2.5. - Geomorfoloogiliste iseärasuste analüüs

Töö eesmärk oli anda üksikasjalik ülevaade pinnavormidest kolmes ladestuskoha potentsiaalses asukohas.

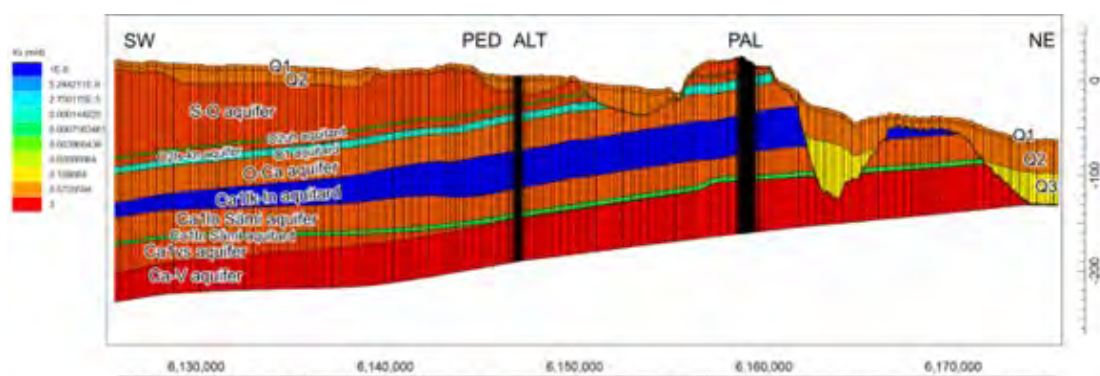
### Tulemused

Eelistatuim alternatiiv on Paldiski ala, mis asub 18–26 m kõrgusel ja on mõistliku aja jooksul (aastatel 2300 kuni 2400) merepinnast tunduvalt kõrgemal. Prognooside kohaselt ei kujuta seal prognoositav merevee taseme tõus järgmise kahe aastatuhande jooksul üleujutuseohutust (prognoositav tõus kuni 15 m). Paremuselt teine on Pedase alternatiiv, mis 5°C soojenemissenaariumi puhul võib 2400. aastaks jõuda tormitõusu tsooni. Halvim alternatiiv on Altküla ala, mis SSP5-8.5 stsenaariumi kohaselt võib olla üleujutatud 2300-2400 aastaks, kuid mis võib jõuda tormilaine tsooni veelgi varem.

Spetsiifiliste geomorfoloogiliste tunnuste osas on Paldiski kandidaatala lõppladustuspaiga rajamiseks eelistatud asukoht. Argumendiks on, et ala topograafia, setete stratigraafia ja pinnakate on tehnilik, samas kui geomorfoloogiast tulenev negatiivne mõju alale on kõige väiksem. Kõige olulisem argument on objekti asukoht piisaval kõrgusel, mis tagab ohutuse isegi halvimate kliimamuutuste ja suhtelise mereveetaseme tõusu prognooside täitumisel.

## Alltegevus 2.6. - Hüdrogeoloogiliste tingimuste analüüs

Hüdrogeoloogiliste tingimuste uurimiseks puuriti igas eelnevalt valitud kohas (PAL, ALT ja PED) 4 põhjavee seirekaevu. Need seirekaevud ehitati põhjavee proovide võtmiseks, veetaseme seireks ja põhjaveekihtide testimiseks. Need avavad Ordoviitsiumi, Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi veekihiid (esitatud joonisel 6.1). Kaks kaevu avavad Kambriumi-Vendi põhjaveekihi, et uurida põhjaveekihi ülemise (Sämi turbaala) ja alumise (Ediacara) osa omavahelist seotust. Algselt puuriti puurkaevud PAL-401, ALT-402 ja PED-403 umbes Sämi turbaala põhjani, et saada Lontova lade puursüdamik ning seejärel täideti alumine 9–11 m saviga, et olla kindel, et kaev ise ei ühenda ülemist ja alumist põhjaveekihti.



Joonis 6.1. Mudelristlõiked edelast kirdesse. Mudelikihid on värvitud külglise (Kx) ja põiksuunalise (Kz) veejuhtivuse järgi.

Põhjavee seirekaevude uuringud ja hüdrogeoloogilise modelleerimise tulemused näitavad, et Leetse-Türisalu, Lükati-Lontova ja Sämi vettpidurdavad kihid on väga heade hüdroisolaatorite omadustega. Kuigi kahte alumist kihti lõikavad sügavad orud, täidavad savid ja muud glatsiolakustrilised setted

tühimiku vees. Neid tähelepanekuid toetab põhjavee isotoopne ja keemiline koostis, mis näitab, et liustiku sulamisvesi on endiselt olemas O-Ka ja sügavamates põhjaveekihtides. Samuti viitab orgudeülene põhjavee nõgude katkematus lekke puudumisele või piiratud lekkele läbi mattunud orgude Pakri poolsaare naabruses. Seega ei ohusta saasteainete lekkimine ühte põhjaveekihti tõenäoliselt teist põhjaveekihti.

### **Järeldused**

1. Kõik kolm kohta sobivad kesksügava lõppladustuspunkti rajamiseks võrdset, kuna aluspõhja põhjaveekihtide ja vettpidurdavate kihtide hüdrogeoloogilised tingimused on sarnased ning võimalik saasteainete transport on aeglane.

2. Maapinnalähedase lõppladustuspaiga tingimused on varieeruvad. Ükski ala ei paku looduslikke madala läbilaskvusega tõkkeid juhusliku saasteainete lekke eest. Kõikidel juhtudel toimub lekkinud saasteainete transport madalal sügavusel ja võib väljuda mõnesaja meetri kuni ühe kilomeetri kaugusel. Paldiski ja Pedase ala jäävad merepinnast kõrgemale pikemaks ajaks, samas kui Altküla ala jääb tõenäoliselt mõne sajandi pärast vee alla. Seetõttu on see vähem eelistatav, samas kui Paldiski ja Pedase alasid hinnatakse võrdseks.

## **Alltegevus 2.7. - Hüdrograafilised uuringud**

Eesmärgiks oli iseloomustada hüdrograafilist olukorda kolmes eelnevalt valitud potentsiaalses lõppladustuspaigas, teha hüdroloogilisi reljefi analüüse GIS-tarkvara keskkonnas, tuvastada põhjavee imbemis- ja väljalaskealad, piiritleda karstivaod ja hooajaliselt üleujutatud alad, analüüsida satelliidiandmeid (Sentinel) hooajaliselt üleujutatud alade kohta, et arutada üldine veebilanss ning teha kindlaks jõgede, kraavide või muude pinnaveekogude hüdroloogilised omadused, mis on olulised kolme ala kuivendamise ja radionukliidide transpordi kirjeldamiseks.

Altküla ala hüdrograafiline analüüs näitab haavatavust pinnavee üleujutuste suhtes. Kuivendustingimused kujutavad alale suurt ohtu, kuna see asub keset ulatuslikku tasandikku. Ala praegune drenaažisüsteem toetub kunstlikule drenaaživõrgule ning truubi või drenaažisüsteemi ummistumine tooks kaasa veetaseme tõusu maapinna lähedal. Lisaks on sellel alal üleujutusohu jätkuva meretaseme tõusu tõttu, mis eeldatavasti kujutab järgmise sajandi jooksul üha suuremat ohtu.

Pedase ala asub kõrgemal ja on pinnavee üleujutusohu eest suhteliselt kaitstud. Asukoht järsul nõlval ja arvukate karstilehtrite olemasolu aitavad kaasa tõhusale pinnavee ärajuhtimisele ja minimeerivad üleujutusohu.

PAL-i ala hüdrograafiline analüüs näitab ka vähest üleujutusohu. Seda riski mõjutavad mitmed tegurid, sealhulgas maa-ala osaline piiramine pinnasetöödega, allika olemasolu Paldiski ala sees ja ühendus kraavivõrguga läbi väikese truubi. Selle truubi ummistus ja kunstlik muldkeha ümber ala võib põhjustada tugevate vihmasadude ajal vee kogunemist loodenurgas, mis aitab kaasa väiksemate üleujutuste tekkele (kuni 0,4 m) selles konkreetses piirkonnas. Paldiski alast ülespoole on potentsiaalne märgala, mis on truubi abil kuivendatud. Kuid isegi truubi ummistumise korral voolaks vesi loomulikult Paldiski alast eemale, üle tee lõuna suunas. Lisaks vähendaks Paldiski ala ja märgala vaheliste vanade kraavilõikude täitmine üleujutusohu miinimumini.

### **Järeldused**

1. Altküla ala on pinnavee üleujutuste suhtes haavatav. Ala drenaaž toetub suuresti kunstlikule äravooluvõrgule. Selle võrgu vale toimimine tooks kaasa veetaseme tõusu. Lisaks on sellel alal üleujutusohut meretaseme eeldatava tõusu tõttu.
2. Pedase ala asub kõrgemal nõlval ja sellel on tõhus looduslik pinnavee äravool, mis vähendab üleujutusohu.
3. PAL-i ala hüdrograafiline analüüs näitab osalist, väikest üleujutusohu. Üleujutusohu välistamiseks või vähendamiseks miinimumini võib vaja minna tehnilisi meetmeid.

Hüdrograafilistest omadustest lähtuvalt on alade paremusjärjestus : 1. Pedase, 2. Paldiski, 3. Altküla

## **Alltegevus 2.8. - Põhja – ja pinnavee keemilise koostise ja omaduste uuringud**

Käesoleva uuringu põhieesmärk on vee keemilise koostise ja omaduste uurimine.

Põhjavee keemia uurimiseks kolmes potentsiaalses asukohas puuriti kokku 12 põhjavee seirekaevu, igas kohas 4 kaevu.

### **Tulemused**

Põhjavesi on kõigis kolmes uuritud kohas lahjendatud. Kogu lahustunud tahke aine väärtus jääb vahemikku 180-460 mg/L (Paldiski), 224-483 mg/L (Altküla) ja 265-396 mg/L (Pedase). Arvestades põhjavee põhiühendeid, on veekeemia kõigis eelnevalt valitud kohtades üsna sarnane.

Välimõõtmised näitavad geoloogilise profiili sügavuse suurenedes pH ja temperatuuri kasvu.

Üldjuhul on elementide sisaldus põhjaveeproovides madal ja paljudel juhtudel jäävad analüüsitava elementide kontsentratsioonid alla avastamiskiir (LOD). Suurimad väärtused on strontsiumil (Sr) ja booril (B). Sr kontsentratsioon suureneb koos sügavusega, saavutades kõrgeima taseme Kambriumi-Vendi veekihisüsteemi sügavamasse ossa puuritud seirekaevudes (PAL\_501, ALT\_502, PED\_503). See tähelepanek viitab kristalsete aluspõhjajakivimite geokeemilisele mõjule selle kohal paiknevale põhjaveekihile. Boor ja liitium on elemendid, mida tavaliselt seostatakse saviste materjalidega ning nende kontsentratsioonid kipuvad olema kõrgeimad Ordoviitsiumi-Kambriumis ja Kambriumi-Vendi põhjaveekihi süsteemi ülemises osas. Võimalik, et boori ja liitiumi kõrgeimad taset mõjutab lähedal asuv ulatuslik savine Lükati-Lontova vettpidurdav kiht. Lisaks sisaldavad põhjaveekihi ise savi vahekihte või on veekihte moodustavad terrigeensed materjalid oma olemuselt mudased või savised. Suurimad uraani (U) kontsentratsioonid on leitud Kambriumi-Vendi põhjaveekihi süsteemi sügavaimas osas, täpsemalt Paldiski ja Altküla aladel. Uraani olemasolu põhjavees Kambriumi-Vendi põhjaveekihi süsteemis võib olla tingitud selle all oleva kristalse aluspõhja mõjust.

Ra-226 ja Ra-228 isotoopide kontsentratsioonid on kõrgeimad Kambriumi-Vendi põhjaveekihtide süsteemi alumises osas Paldiski ja Altküla aladel, samuti sama põhjaveekihi süsteemi ülemises osas Pedase alal. Märkimisväärsed indikaatordoosid arvutati neljas seirepuuraugus (PAL\_501, ALT\_502, PED\_203 ja PED\_403) leitud Ra-226 ja Ra-228 kontsentratsioonide põhjal.

Ra-226 ja Ra-228 aktiivsuskontsentratsioonid Paldiski, Altküla ja Pedase aladel on madalamad kui Tallinna piirkonnas. Leiukohtadest registreeriti kõrgeimad väärtused kambriumi-vendi põhjaveesüsteemis Paldiski leiukohas (PAL\_501; Ra-226 = 533 mBq/l, Ra-228 = 572 mBq/l) ja Pedase leiukohas (

PED\_403; Ra-228 = 443 mBq/l). Tõenäoliselt on nendes kohtades põhjavee radioaktiivsuse põhjuseks samad looduslikud allikad, mida täheldati Viimsi poolsaarel. Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekihi süsteemis registreeritud Ra aktiivsuse väärtused (103-190 mBq/l) pärinevad Türisalu kihistu mustkildast (graptoliitargilliit). See kihistu sisaldab märkimisväärses koguses haruldasi metalle (Mo, V) ja radioaktiivseid elemente (U, Th).

Isotoopandmete põhjal saab järeldada, et põhjavesi Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi kihtides (nii Lükati-Lontova vettpidava kihi kohal kui ka all) on kõigil kolmel alal oluliselt mõjutatud liustikest ja toidet saanud liustike sulaveest. Lisaks iseloomustavad liustiku sulavett madalad lahustunud tahke aine kontsentratsioonid, mis uuritud kohtades jäävad vahemikku 180-460 mg/L (Paldiski), 224-483 mg/L (Altküla) ja 265-396 mg/L (Pedase). Liustiku sulamisvee säilimine süvaveekihi süsteemides viitab nende eraldatusele ja veevahetuse puudumisele.

#### **Järeldused**

1. Põhjavee stabiilsete isotoopide koostise mõõtmised näitavad kesksügava ladustuspaiga ohutuse seisukohalt olulistest põhjaveekihi süsteemides väga aeglast veevahetust.
2. Veekihi ise sisaldavad savi vahekihte või on veekihte moodustavad terrigeensed materjalid olemuselt mudased või savised.
3. Puhtalt põhjavee keemilisele koostisele tuginedes ei ole võimalik välja tuua, milline pakutud kohtadest on parim, milline teine ja milline kolmas. Alternatiivid Paldiski, Altküla ja Pedase on põhjavee keemiliste omaduste poolest ligikaudu samaväärsed.

## **Alltegevus 2.9. - Pinnase ja selle sügavamate kihtide uuring**

Aruandes kirjeldatakse Kvaternaari pinnase ja aluspõhja geotehnilisi tingimusi igas potentsiaalses hoidla asukohas. Arutatakse lõppladustuspunkti projekteerimist mõjutavaid geotehnilisi tingimusi ja tehakse ettepanekuid.

Kvaternaariumuldade kirjeldamiseks valmistati ette OÜ Inseneribüroo Steigeri poolt kolm puurauku sügavusega 16,0–19,0 m (Altküla) või uurimissüvendid sügavusega ca. 2 m (Paldiski, Pedase). Laboratoorseks analüüsiks koguti pinnaseproovid uurimissüvenditest või puursüdamikust. Lisaks viidi Altkülas läbi kolm penetreerimiskatset (PT) sügavusega 17, 0–17, 3 m, et hinnata kvaternaari muldade mehaanilisi omadusi ja heterogeensust. Testimise viis läbi IPT Projektijuhtimine OÜ, kasutades

Pinnaseproove testiti Tartu Ülikooli geoloogia osakonna laboris ja Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Geotehnilises Laboris. Määrati tera suuruse jaotus, sealhulgas veesisaldus, tahkete ainete suhteline tihedus, tihedus, kuivtihedus hüdrujuhtivus jne. Lisaks määrati saviste muldade paisumis- ja leostamisomadused.

Põhjavee proovid koguti Paldiski ja Altküla uurimissüvenditest. Pedase süvendites põhjavett ei olnud. Põhjavee proove analüüsiti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu osakonnas. Mõõdeti pH-d, elektrijuhtivust ning peamiste katioonide ja anioonide kontsentratsioone. Agressiivse CO<sub>2</sub> sisaldus määrati, et hinnata põhjavee agressiivsust betooni suhtes.

Igalt alalt võetud Kvaternaari pinnaseproovidest mõõdeti aktiivsuskontsentratsioone Eesti Tartu Ülikooli katsekoja tuumaspektroskoopia laboris, kasutades tahkete proovide gammaspetromeetrist analüüsi. Analüüsid hõlmasid viit radionukliidi: Ra-226, Ra-228 ja Th-232, K-40 ja Cs-137.

Aluspõhja kivimite uurimiseks puuriti igal objektisüdamikpuurimise meetodil puurauk sügavusega 132,7–165,4 m. Puursüdamikud pildistati üles, pandi edasiseks tulemuste salvestamiseks puidust südamikukastidesse ja transporditi puursüdamiku hoidlasse.

## Kokkuvõte

### Paldiski ja Pedase alad

Üldiselt on Kvaternaari muldade geotehnilised tingimused PAL-is ja PED-s soodsad; siiski võib esitada mõned soovitusel:

- Tugev ja praktiliselt kokkusurumatu lubjakivi asub maapinna lähedal (<2 m); seega on soovitatav eemaldada kvaternaari setted ja ehitada maapealsete hoonete vundamendid lubjakivisse.
- PAL-i heterogeenne täitematerjal tuleks eemaldada hoonete, teede ja parklate alt, kuna selle omadused on ettearvamatud. See võib olla külmatundlik, kuna täiteks on kasutatud erinevaid muldasid.
- Klibu-, kruusa- ja liivakihid tuleks enne teede ja muude sellele kihile toetuvate rajatiste ehitamist tihendada, kuna see võib olla ebaühtlase suhtelise tihedusega ja selle tulemusena põhjustada sellele kihile paigutatud rajatiste ebaühtlast vajumist.
- Pinnase keskmine külmumissügavus piirkonnas on 1,15 m (max 1,9 m). Tuleb arvestada, et moreen on mõõdukalt külmatundlik. Samuti sisaldab jämedateraline pinnas kohati põhjamuda, mistõttu on see kergelt külmatundlik. Liustikumoreenil on ka kerged plastilised omadused ja see võib ilmastikutingimustega kokkupuutel süvendites pehmeneda.

### Altküla ala

Võrreldes kahe teise alaga on Altküla geotehnilised tingimused kõige ebasoodsamad:

- Kõige ülemisel liivakihil (kiht 2) on üsna korralikud tugevusomadused, aleuriitliival/liivsavil (kiht 3) on väga madal suhteline tihedus ja kehvemad tugevusomadused.
- (Viir)savi (4. kiht) on väga kokkusurutav ja selle kohale asetatud koormuste tõttu tekib vajumine. Pinnalähedase ladestuskoha projekteerimisel tuleb arvestada kokku pressitavatest pinnastest tingitud vajumist. Kui see ületab lubatud vajumisväärtust, tuleks selle asemel kasutada moreenile või paekihile toetuvat vaivundamenti.
- Kaevetööde tegemisel tuleb kvaternaari setted toetada tugiseintega. Liivasavi (kiht 3) ja savi (kiht 4) on alid läbi imbumisele ning liiv tuleb toetada. Moreen (5. kiht) on suhteliselt tugev, ühtlane pinnas, kuid see on plastiline ja veesisalduse suurenemisel pehmeneb.
- Saviliiv/liivasavi (kiht 3) ja moreen (kiht 5) on väga külmatundlikud ning savi (kiht 4) on mõõdukalt külmatundlik. Paldiskis kehtivad samad külmumissügavuse väärtused (keskmiselt 1,15 m; max 1,9 m). Muldade eemaldamisel ja täidise kasutamisel tuleks arvestada sügavamate muldade külmatundlikkusega.
- Kõrgema põhjaveetaseme tõttu tuleb kaevekohad kuivendada. Kui kaevetööd jõuavad moreenikihini, võib muidu vähese läbilaskvusega moreenis leiduvatest liivavöönditest oodata suuremat vee juurdevoolu.
- Põhjavee tase mõõdeti 1,2–1,7 m maapinnast allpool. Praegu reguleerib selle taset kuivenduskraavide võrgustik. Kui drenaažisüsteem peaks olema suletud või kahjustatud, on oodata märkimisväärset tõusu, kuna ala on looduslikult märg. Laboratoorsed analüüsid näitasid,

et vee pH on happeline (6,0) ning agressiivse CO<sub>2</sub> olemasolu tõttu on põhjavesi mõõdukalt agressiivne betooni suhtes.

## Alade paremusjärjestus

Paldiskis on geotehnilised tingimused nii maapinnalähedase kui ka keskmise sügavusega ladustuspunkti rajamiseks kõige soodsamad. Ala iseloomustab õhuke kvaternaari kate ning maapinnale kõige lähemal (57 m) asuvad keskmise sügavusega ladestuspaiga jaoks sobivaimad kivimid (kambriumi savikivid). Altküla ja Pedase alad on vähem soodsad kui Paldiski ala. Mõlemal alal asuvad Kambriumi savikivid sügavamal kui PAL-is; 78 m Altkülas ja 98 m Pedasel. Maapinnalähedase ladustuspunkti seisukohast on Pedase tingimused võrreldavad Paldiski asukohaga, kuid Altkülas on tingimused kehvemad.

Üldine paremusjärjestus geotehniliste tingimuste osas, võttes arvesse nii kvaternaari katet kui ka aluskivimit: 1. PAL; 2.–3. ALT ja PED.

## Järeldused

1. Üldiselt on Kvaternaari pinnase geotehnilised tingimused Paldiskis ja Pedasel soodsad, kuna tugev ja praktiliselt kokkusurumatu lubjakivi asub maapinna lähedal (<2 m); seega on soovitatav eemaldada kvaternaari pinnased ja asetada maapealsete hoonete vundamendid lubjakivisse.
2. Soovitatav on eemaldada heterogeenne täide Paldiski alalt hoonete, teede ja parklate alt, kuna selle omadused on ettearvamatud. See võib olla külmatundlik, kuna täiteks on kasutatud erinevaid muldasid.
3. Klibu-, kruusa- ja liivakihid Paldiski ja Pedase aladel tuleks enne teede ja muude sellele kihile toetuvate rajatiste ehitamist tihendada, kuna see võib olla ebaühtlase suhtelise tihedusega ja selle tulemusena põhjustada sellele kihile paigutatud rajatiste ebaühtlast vajumist.
4. Pinnase keskmine külmumissügavus piirkonnas on 1,15 m, maksimaalne sügavus 1,9 m. Tuleb arvestada, et moreen on mõõdukalt külmatundlik. Samuti sisaldab jämedateraline muld kohati muda, mistõttu on see kergelt külmatundlik. Liustikumoreenil on ka kerged plastilised omadused ja see võib ilmastikutingimustega kokkupuutel süvendites pehmeneda.
5. Võrreldes kahe teise objektiga on Altküla ala geotehnilised tingimused ebasoodsamad, kuna kvaternaari kattes on nõrk ja kokkusurutav pinnasekiht, mis muudab rajatise projekteerimise keerukamaks ja ehituse kulukamaks. Maapinnalähedase ladustuspaiga projekteerimisel tuleb arvestada Altküla objekti kokkusurutavatest pinnastest tulenevat vajumist (näiteks mullale või lubjakivile toetava vaivundamendi rajamise kaalumise).
6. Põhjavee tase on Altküla alal väga madal (1,2–1,7 m maapinnast allpool). Praegu kontrollib selle taset inimese loodud kuivenduskraavide võrgustik. Tulevikus on oodata märkimisväärset tõusu, kuna piirkond on looduslikult märg.
7. Altküla ala põhjavesi on happeline ja agressiivse CO<sub>2</sub> olemasolu tõttu on madal põhjavesi mõõdukalt agressiivne betooni suhtes.

8. Geotehniliselt võib kesksügava lõppladustuspaiga ehitada 30–50 m sügavusele liivakividesse, karbonaat- või terrigeensetesse kivimitisse, nagu on ette nähtud tehnilistes kirjeldustes, kuid sügavamal asuvates Kambriumi savistes kivimites oleksid tingimused soodsamad. Neis domineerivad madala läbilaskvusega savikivimid ja aleuriidid, mis on šahti loomulikuks piiravaks tõkkeks.
9. Savised kivimid esinevad potentsiaalsetes leiukohtades erinevatel sügavustel: Paldiskis on need maapinnale kõige lähemal (algab 57 m sügavuselt), Altkülas ~78 m sügavusel ja Pedasel algavad isegi sügavamal (~94 m maapinnast).
10. Ehituse ajal tuleb graptoliitargilliidi käitlemisel rakendada ettevaatusabinõusid isesüttimisomaduste tõttu (hapniku juurdepääsu tuleb kontrollida).
11. Maapinnalähedase lõppladustuspaiga sobivuse kaalumisel on tingimused Pedase ja Paldiski aladel võrreldavad, samas kui Altküla ala on vähem soodne.
12. Kesksügava ladustuspaiga sobivus sõltub kaeve sügavusest. Parim on Paldiski ala, millele järgnevad Altküla ja Pedase.
13. Kokkuvõttes on geotehnilised tingimused mõlemat tüüpi lõppladustuspaiga rajamiseks Paldiski objektile kõige soodsamad.