

# **OÜ Inseneribüroo STEIGER**

Harju maakond  
Lääne-Harju vald  
Paldiski linn

## **Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama kaldtunnelite projekt**

**Versioon v06**  
Eelprojekt

**Töö nr 23/4642**

Tellijä: Energiasalv Pakri OÜ  
Reg. nr. 14107173  
Rae tn 38, Paldiski 76806

Koostajad: OÜ Inseneribüroo STEIGER  
Reg. nr. 11206437  
Männiku tee 104, Tallinn 11216  
  
K-Projekt Aktsiaselts  
Reg. nr. 12203754  
Ahtri tn 6a, Tallinn 10151

Tallinn 21.06.2024

Seletuskirja koostaja:

OÜ Inseneribüroo STEIGER  
Reg. nr. 11206437  
Männiku tee 104, Tallinn 11216

Jooniste koostaja:

K-Projekt Aktsiaselts  
Reg. nr. 12203754  
Ahtri tn 6a, Tallinn 10151

Projekti meeskond:

Kinnitaja, vastutav spetsialist:

S. Mercurio  
Volitatud insener, tase 8  
TTJA teavitus 16-8/23-02180-007

Kontrollija

V.Kaljuste  
Volitatud mäeinsener, tase 8  
Kutsetunnistus nr 186914

Seletuskirja koostas:

K. Veersalu  
Diplomeeritud mäeinsener  
Kutsetunnistus nr 163708

Joonised koostas:

D. Helandi

## SISUKORD

<b>1</b>	<b>SISSEJUHATUS.....</b>	<b>4</b>
1.1	Lähteülesanne .....	4
1.2	Objekti asukoht ja lähiümbruse kirjeldus .....	4
<b>2</b>	<b>GEOLOOGILISED, HÜDROGEOLOOGILISED JA GEOTEHNILISED TINGIMUSED.....</b>	<b>6</b>
2.1	Geoloogiline kirjeldus .....	6
2.2	Hüdrogeoloogiline kirjeldus .....	6
2.3	Geotehnilised tingimused .....	7
<b>3</b>	<b>PROJEKTLAHENDUS.....</b>	<b>9</b>
3.1	Kasutatava ehitustehnoloogia kirjeldus .....	9
3.2	Kaldtunneli rajamine .....	9
3.2.1	Tunneli suudme rajamine .....	9
3.2.2	Kaldtunneli konstruktsioon .....	10
3.2.3	Läbindamine .....	11
3.2.4	Maapinna tugevdamine injekeerimisega .....	11
3.2.5	Toestamine .....	11
3.3	Ventilatsioon läbindamise ajal .....	12
3.4	Ekskaveeritud materjali töötlemine .....	12
3.5	Tööde teostamine.....	12
	<b>KASUTATUD KIRJANDUS.....</b>	<b>14</b>

## GRAAFILISED LISAD

Graafiline lisa 72. Kaldtunneli tüüplõige – tunnelid 1 ja 2

Graafiline lisa 73-1. Kaldtunnel 1 asendiplaan ja pikiprofiil

Graafiline lisa 73-2. Kaldtunnel 2 asendiplaan ja pikiprofiil

Graafiline lisa 74. Kaldtunneli stardišah – tunnelid 1 ja 2

Graafiline lisa 75. Injekeerimissein – tunnelid 1 ja 2

# 1 SISSEJUHATUS

Energiasalv Pakri OÜ (aadress Rae tn 38, Paldiski 76806, registrikood 14107173) on arendamas Paldiski poolsaarel Paldiski linna territooriumil pump-hüdroakumulatsioonijaama ehk Paldiski vesisalvestit.

Pump-hüdroakumulatsioonijaama tööpõhimõte seisneb merepinna ja maa-aluse reservuaari kõrguste vahest tekkiva vee potentsiaalse energia ärakasutamises. Pump-hüdroakumulatsioonijaam koosneb sissevõtu rajatisest meres ja maa-alusest veehoidlast, mis on ühendatud merepõhjaga vertikaal- ja kaldšahtidega ning maapealsest kompleksist Ida tn 2/Lõuna tn 5 kinnistul.

Käesoleval hetkel on kaasatud Tallinna 40, 40a, 40b kinnistul taotletud rajatiste hulka Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama alternatiivse kahe kaldtunneli rajamine. Sealjuures realiseeritakse vähemalt kaldtunneli nr 1 väljaehitus. Kaldtunnel 2 ehitusloa kohane väljaehitamine realiseeritakse sel juhul kui see osutub tehniliselt vajalikuks.

Energiasalv Pakri OÜ-le on Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet andnud 02.12.2022 ehitusloa nr 2212271/23398 Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama maa-aluse osa rajamiseks.

## 1.1 Lähteülesanne

OÜ Inseneribüroo STEIGER (aadress Männiku tee 104, Tallinn 11216, registrikood 11206437), K-Projekt AS (aadress Ahtri tn 6a, Tallinn 10151, registrikood 12203754) ja Energiasalv Pakri OÜ (aadress Rae tn 38, Paldiski 76806, registrikood 14107173) on koostanud „Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama kaldtunnelite eelprojekti“.

Gruner Stucky SA on koostanud Energiasalv Pakri OÜ tellimusel töö „Inclined TBM Tunnel Feasibility Study Report“, mis analüüsib ja kirjeldab Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama kaldtunnelite rajamist kasutades tunnelipuu ehk kilpläbinduskombaini (TBM – *Tunnel Boring Machine*). Tulenevalt eelnevast lähtutakse käesolevas projektis Gruner Stucky SA töös esitatud järeldustest.

Projekti „Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama kaldtunnelite eelprojekti“ koostamisel on lähtutud ehitusseadustikus (RT I, 30.06.2023, 2) esitatud nõuetest. Kaldtunnelite riigiteega ristumine lahendatakse arvestades ehitusseadustiku § 96 ning majandus- ja taristuministri 05.08.2015 määrust nr 106 „Tee projekteerimise normid“, allmaa rajatise ohutusnõuetega seonduv käsitletakse maapõueseaduse (RT I, 21.12.2023, 2) ja selle alamaktide alusel ning esitatakse projekteerimise järgmises staadiumis. Mäepääste lahendatakse analoogselt 02.12.2022 välja antud ehitusloa nr 2212271/23398 tingimustele.

## 1.2 Objekti asukoht ja lähiümbruse kirjeldus

Käesolev projekt hõlmab kinnistuid Tallinna mnt 40 (katastritunnus 43101:001:2359, sihtotstarve 100% ärimaa), Tallinna mnt 40a (katastritunnus 43101:001:2360, sihtotstarve 100% tootmismaa) ja Tallinna mnt 40b (katastritunnus 43101:001:2361, sihtotstarve 100% ärimaa) (vt graafiline lisa 73-1 ja 73-2).

Tallinna mnt 40 kinnistu (katastritunnus 43101:001:2359) piirneb põhjast Tallinn-Paldiski põhimaantee nr 8, mille kaitsevöönd on 50 m mõlemale poole tee äärmise sõiduraja servast. Tallinna mnt 40 kinnistu loodeossa jääb alajaam Karistuspataljoni:(Harju-Risti)

(vid 1103852), elektrimaakaabel AXPk.4x35 (vid 114350890) ja AXPk.4x50 (vid 8639583) ning elektriõhuliin 1-20 kV (keskpingeliin) SAX-50 (vid 26468577). Muud kitsendusi põhjustavad objektid eelpool nimetatud kinnistutel puuduvad.

## 2 GEOLOOGILISED, HÜDROGEOLOOGILISED JA GEOTEHNILISED TINGIMUSED

Ala geoloogiline, hüdrogeoloogiline ja geotehniline kirjeldus põhineb OÜ Inseneribüroo STEIGER 2020. aastal tehtud ehitusgeoloogilisel uuringul.

### 2.1 Geoloogiline kirjeldus

Vaadeldaval alal moodustavad geoloogilise läbilõike Kvaternaari ladestu setted, Ordoviitsiumi, Kambriumi ja Ediacara ladestu settekivimid ning Paleoproterosoikumi ladekonna kristalliinsed kivimid (vt Tabel 2.1).

Kvaternaarisetted koosnevad moreenist, liivast, kruusast ja turbast ning nende paksus on vaadeldaval alal vahemikus 0 – 2 m.

Ordoviitsiumi ladestu settekivimid koosnevad lubjakivist, liivakivist ja graptoliitargilliidist, mille paksus on vahemikus 11 – 36 m.

Kambriumi ladestu moodustavad liivakivid, savid ja aleuroliidid ning nende paksus on vahemikus 90 – 110 m.

Ediacara ladestu liivakivi, aleuroliidi, aleuriitse savi ja savi paksus on vahemikus 45 – 51 m.

Paleoproterosoikumi ladekonna moodustavad gneisid (biotiit-amfiboolne gneiss, kvarts-päevakivi gneiss, biotiit-plagioklassi gneiss, graniitgneiss, biotiit-päevakivi gneiss). Kristalliinse aluskorra ülaosa on murenenud mõne meetri ulatuses.

Tabel 2.1 Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama ala geoloogiline läbilõige

Ladestu	Stratigraafiline indeks	Kivimi litoloogiline kirjeldus	Paksus, m
Kvaternaar	Q	Moreen	0 – 2
Ordoviitsium	O <sub>3</sub> VV - O <sub>1</sub> PK	Lubjakivi põlevkivi ja mergli vahekihtidega, liivakivi savi vahekihtidega, graptoliitargilliit püriidi konkretsioonidega.	11 – 36
Kambrium	Ca <sub>1</sub> ln	Liivakivi, savi ja aleuroliit	90 – 110
Ediacara	V <sub>2</sub> kr	Liivakivi, aleuroliit, aleuriitne savi, savi	45 – 51
Paleoproterosoikumi ladekond	PP	Gneisid	

### 2.2 Hüdrogeoloogiline kirjeldus

Paldiski poolsaarel levib kolm olulist aluspõhjalist veekompleksi: Siluri-Ordoviitsiumi, Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambrium-Vendi põhjaveekompleks ning kõik kompleksid on arvel veekogumina. Maapinnalt esimese aluspõhjalise veekompleksi põhjavesi on maapinnalt pärineva reostuse eest kaitsmata.

Vee kvaliteet on kõigis veekihtides lähedane joogivee nõuetele, enamasti ületab joogivee normi vaid rauasisaldus, Kambrium-Vendi veekihi ka efektiivdoos. Siluri-Ordoviitsiumi veekihi vee kvaliteet on sesoonselt kõikuv, sest toitub vahetult sademetest.

Joogiveena on Paldiski linnas kasutusel Kambrium-Vendi kompleksi põhjavesi, mis on kaitsitud seda eraldava sinisavikihi poolt ja mille kvaliteet on seetõttu hea. Paldiskis on Kambrium-Vendi veekihi põhjaveearu kinnitatud 2030. aastani ja tarbevaru on 4000 m<sup>3</sup>/ööp. Kõigi nimetatud veekogumite seisund on hea. Kambrium-Vendi põhjaveekogum on heas koguselises ja keemilises seisundis, kuid ohustatud seoses suure kinnitatud põhjaveearude hulgaga võrreldes loodusliku põhjaveeressursiga. 2020. a testide hinnangul on põhjaveekogum heas, kuid ohustatud keemilises ja koguselises seisundis. Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas ja Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogum on heas seisundis.

Maapinnale lähemate põhjaveekihtide vett tarbitakse valdavalt üksikmajapidamistes suhteliselt väikestes kogustes ja seetõttu ei oma need veekompleksid Paldiski linna veevarustuses suurt osa. Siluri-Ordoviitsiumi ja Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihtide põhjaveearu Paldiski linnas kinnitatud ei ole.

### 2.3 Geotehnilised tingimused

Paldiski vesisalvesti piirkonnas on settekivimid suhteliselt nõrgad, välja arvatud kõige ülemine Ordoviitsiumi lubjakivikiht. Settekivimite üheteljeline survetugevus on maksimaalselt kuni 90 MPa, mis on tunnelipuuriga läbindamiseks mõõdukalt tugev.

Tabel 2.2 Settekivimite geotehnilised parameetrid

Kivimi tüüp	Tihedus, $\rho$	Youngi moodul, E	Poissoni tegur, $\nu$	Üheteljeline surve- tugevus	Hõõrde- nurk, $\phi$	Nidusus, C
	kg/m <sup>3</sup>	GPa		MPa	kraadi	MPa
Ordoviitsiumi lubjakivi	2636±6,5	39,8±8	0,25±0,03	86	56	12,0
Ordoviitsiumi Kambriumi liivakivi	2081±24	4,8±1,2	0,30±0,06	14,9±1,4	53	2,5
Kambriumi graptoliit- argilliit + liivakivi	2223±25 *2286±32	5,4±1,8 *0,8±0,3	0,20±0,06 *0,30±0,02	6,9±4,1 *6,2±2,3	53 *46	2,26 *1,1
Ediacara liivakivi	2191±39	*2,1±0,7	0,16±0,03	7,1±2,3	53 **41	1,8 **0-245

\* Graptoliitargilliiti testiti eraldi

\*\* Nõrgalt tsementeerunud Ediacara liivakivi vahemikus 124 – 170 m

Kristalliinse aluskorra gneisid on massiivsed (välja arvatud murenemiskoorik), esineb üksikuid lõhesid ja murranguid. Kristalliinse aluskorra kivimite üheteljeline survetugevus on vahemikus 230 – 330 MPa ja geoloogiline tugevusindeks 50-90 olles 90% puursüdamiku pikkusest > 80.

Tabel 2.3 Kristalliinse aluskorra geotehnilised parameetrid

Kivimi tüüp	Tihedus, $\rho$	Youngi moodul, E	Poissoni tegur, $\nu$	Üheteljeline survetugevus
	kg/m <sup>3</sup>	GPa		MPa
Biotiit-amfiboolne gneiss 1	2199±149	6±7	0,20±0,14	13±9
Biotiit-amfiboolne gneiss 2	2771±111	90±10	0,25±0,02	287±15
Amfiboliit	2914±110	97±11	0,29±0,02	237±20
Kvarts-päevakivi gneiss	2690±234	77±3	0,25±0,01	325±55
Migmatiit	2555±43	75±5	0,26±0,02	307±37
Graniitgneiss	2638±20	76±5	0,26±0,01	336±9
Biotiit-päevakivi gneiss	2644±14	72±4	0,27±0,02	296±23
Amfiboolgneiss	2759±87	74±8	0,24±0,02	272±59
Amfibool-plagioklass gneiss	2711±9	70±6	0,24±0,02	260±24
Biotiit-päevakivi gneiss	2670±19	79±1	0,27±0,02	318±30

Geoloogilise uuringu käigus määratud põhjaveekomplekside ja veepidemete paksused ning filtratsioonimoodulid (puuraukude asukohas):

- 22 m paksune Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekompleks (filtratsioonimoodul  $9,38 \times 10^{-5}$  m/s);
- 5 m paksune Ordoviitsiumi veepide (filtratsioonimoodul  $1,16 \times 10^{-8}$  m/s);
- 29 m paksune Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleks (filtratsioonimoodul  $2,08 \times 10^{-5}$  m/s);
- 45 m paksune Kambrium-Vendi veepide (filtratsioonimoodul  $2,74 \times 10^{-10}$  m/s);
- 81 m paksune Kambrium-Vendi põhjaveekompleks (filtratsioonimoodul  $9,14 \times 10^{-5}$  m/s);
- kristalliinse aluskorra filtratsioonimoodul on väga madal  $10^{-8} - 10^{-11}$  m/s.

Läbindamisel vettandvates kivimites peab arvestama, et põhjavesi on survealine ja maksimaalne vee sissevool võib olla kuni 67 l/s. Läbindamisel võib ulatub vee poolt põhjustatud rõhk kuni 20 baarini. Olenemata sellest, et ehitusgeoloogiliste uuringute käigus oli aluskorra kivimite filtratsioonimoodul väga madal tuleb läbindustööde teostamisel olla valmis murrangutest ning lõhedest (mida uuringupuuraugud ei pruukinud tabada) põhjustatud sektsioonidest suurenenud vee sissevooluks.



### 3 PROJEKTLAHENDUS

Pump-hüdroakumulatsioonijaama (PHAJ) täiendav ligipääs on ühe kaldtunneli (vt graafiline lisa 73-1) kaudu ja tehniliselt võib osutuda vajalikuks ka rajada kaldtunnel 2 (vt graafiline lisa 73-1 ja 73-2). Kaldtunnel 2 (vt graafiline lisa 73-25) tuleb rajada juhul kui läbi kaldtunnel 1 vesisalvesti ehituse käigus väljatava materjali transport ei ole piisavalt kiire. Sellisel juhul tagatakse alternatiivne ligipääs maa-alustele rajatistele kaldtunneliga 2.

#### 3.1 Kasutatava ehitustehnoloogia kirjeldus

Kaldtunnelite läbindamiseks tuleb kasutada tunnelipuuri (TBM – *Tunnel Boring Machine*), mille välisdiameeter on 8,4 m. Tunnelipuuri esiosas on pöörlev lõikepea, mis pressitakse hüdrosilindrite abil vastu väljatavat ett. Lõikepea küljes olevad lõikehambad murravad lahti materjali, mis eemaldatakse lõikepea eest ja transporditakse maapeale kasutades lintkonveierit (kristalsed kivimid) või suletud torusüsteemi (settekivimid) ehk hüdrotransporti. Kaldtunnelitest väljatav materjal ladustatakse Tallinna 40, 40a, 40b kinnistute piires. Väljatavat materjali on ühes kaldtunnelis 211 tuh m<sup>3</sup>, millest sobiv osis kasutatakse ära täitena, vundamendis või muldes jms.

Arvestades, et kaldtunneli esimene lõik läbindatakse heterogeensetes vettandvates settekivimites, tuleb kasutada tööee sissevarisemise ja sellega kaasneva tunnelipuuri kinnikiilumise vältimiseks ning vee sissevoolu vähendamiseks *mixshieled* tüüpi tunnelipuuri, mis suudab hoida tööeele pidevat vasturõhku. Vasturõhu hoidmiseks kasutatakse surve all bentoniidi lahust või vett. Samuti peab tunnelipuur olema võimeline läbindama suure tugevusega ja abrasiivsusega kristalseid kivimeid.

Läbindamisega paralleelselt tuleb teha kaldtunnelite toestamine. Toetuseks tuleb kasutada raudbetoonist tüübinguid ja betooni.

Kaldtunnelite läbindamisel ja kasutamisel peab olema tagatud tunnelite kohale ning vahetusse lähedusse jäävate ehitiste ja rajatiste säilimine, funktsionaalsus ning kasutamise ohutus (mh Tallinna- Paldiski tee nr 8).

#### 3.2 Kaldtunnelite rajamine

##### 3.2.1 Tunneli suudme rajamine

Kaldtunnelite rajamine algab maapinnast madalamal asuva tunneli suudme/sissepääsu rajamisega, mis on ühtlasi vajalik tunnelipuuri montaažiks. Suudme rajamist tuleb alustada ettevalmistustöödega, mis hõlmavad töid pinnase püsivusomaduste parandamiseks ja vee sissevoolu vähendamiseks (vt graafiline lisa 74).

Suudme konstruktsioon koosneb kaevikust, mis on toetatud betoonist ankurdatud sulundseintega. Sealjuures tuleb sulundseinad rajada kaeviku põhjast sügavamale selleks, et tagada parem püsivus ja et piirata vee sissevoolu kaeviku põhja. Kaeviku põhja rajatakse raudbetoonist põhjaplaat. Tehtud tugevusarvutuste kohaselt peab sulundseinte paksus olema vahemikus 0,5 – 0,8 m.

Tunneli suudme konstruktsioon ja põhimõttelised mõõtmed on toodud graafilisel lisal 74. Kaeviku sügavus peab olema selline, et tunnelipuuri montaažil jääb tunnelipuuri lõikepea lubjakivisse. Tunneli suudmest 12 m ulatuses tuleb maapind tunneli peal tugevdada

injekteerimisega, et vältida läbindamisel katvate kivimite purunemist või maapinna kerkeid (vt graafiline lisa 74).

Ehitustööde ja eksploatatsiooniaegseks veeärastuseks tunneli suudmest tuleb rajada drenaažikaev.

Pärast läbindamist ja tunnelipuuri demonteerimist rajatakse kaldtunneli suudmele 23 m pikkune betoonist kate, mille paksus on 1 m ning sellele täiendavalt ~51 m pikkune kergterasest portaalkate. Portaalkate tuleb rajada betoonvundamendile. Kaldtunneli suudme juurde rajatakse ventilatsioonisüsteem tunneli ventileerimiseks.

Kaldtunneli suudme ehitus pärast kaldtunneli valmimist ja tunnelipuuri demonteerimist on näidatud graafilisel lisal 74.

Kaldtunneli suudme parameetrid tuleb määrata projekteerimise edasistes staadiumites vastavalt täpsustatud geoloogilistele tingimustele ja kasutatavale tehnoloogiale.

### **3.2.2 Kaldtunneli konstruktsioon**

Kaldtunnelid rajatakse nii sette- kui ka kristalsetes kivimites. Kaldtunnel 1 paikneb ~1,2 km pikkusel lõigul settekivimites ja ~3,6 km pikkusel lõigul kristalsetes kivimites. Kaldtunnel 1 pikkus on kokku umbes 4,8 km, mis rajatakse põhiosas, ~3,8 km pikkusel lõigul, kallakuga 16,6%, seejärel on ette nähtud ~160 m lõigul sujuv üleminek horisontaalseks. Kaldtunneli sügavus on abs kõrgusel -650 m (vt graafiline lisa 73-1).

Kaldtunnel 2 paikneb ~1,1 km pikkusel lõigul settekivimites ning ~4,0 km pikkusel lõigul kristalsetes kivimites. Kaldtunnel 2 pikkus on umbes 4,1 km, põhiosas kallakuga 17,9%, seejärel on ette nähtud ~200 m lõigul sujuv üleminek horisontaalseks. Kaldtunnel 2 sügavus on abs kõrgusel -700 m (vt graafiline lisa 73-2).

Kaldtunnelite optimaalne pöörderaadius on 1000 m.

Kaldtunnelid on ümmarguse ristlõikega, mille lõplik läbimõõt on 7,1 m, rajamise aegne läbimõõt 8,4 m (kaeve perimeeter). Rajatava ja lõpliku läbimõõdu vahe tuleneb toetuselementide paksusest (0,45 m) ja nende vahelisest tolerantsist. Vastavalt ehitustingimustele ja tööprojektile, tuleb toetuselementide (tüübingud) ja kaeve perimeetri vahe täita injekteerimise teel betooniga. Kaldtunnelite ristlõiked on näidatud graafilisel lisal 72.

Injekteerimist tuleb kasutada lisameetmena põhjavee sissevoolu vähendamiseks selle avaldumise kohas ehk vastavalt vajadusele nõrkades settekivimites või lõhelistes kristalsetes kivimites. Injekteerimisseina tuleb kasutada pealis- ja aluskorra piiiril, kus on nn murenemiskoorik, erinevate põhjaveekomplekside eraldamiseks.

Kaldtunnelites on liiklus ühesuunaline ja neisse tuleb rajada möödasõidutaskud iga 500 m vahemaa järel, alates sügavusest -300 abs m (nõ kristalsetes kivimites).

Graafilisel lisal 72 on näidatud kaldtunnelitesse paigaldatavad seadmed ja rajatised selle ehitamise ajal ja pärast tunneli valmimist. Tunnelitesse tuleb paigaldada käitamiseks ja ehituseks vajalikud kommunikatsioonid, sh jahutusvee sisse- ja väljavoolutorud, tehnilise vee trass, suruõhutoru, sidekaablid, madal- ja kõrgepingekaablid ja läbindamiseks vajalike lahuste transporditorud ning ventilatsiooniseadmed. Lisaks teenindustee ja väljatud pinnase transportimiseks lintkonveier.

Lintkonveieri tootlikkus peab olema 1500 t/h ning lindi laius vähemalt 1200 mm.

### 3.2.3 Läbindamine

Kaldtunnelid läbindatakse tunnelipuuriga (*TMB - Tunnel Boring Machine*) ehk kilpläbinduskombainiga. Tunnelipuur raimab ühe järjestikuse protsessiga materjali, eemaldab materjali tööest ning paigaldab enda järel toestiku ning surub edasi löikepead. Raimatud materjal transporditakse maapeale settekivimites hüdrotranspordiga ja kristalsetes kivimites lintkonveieriga.

Läbindamisel settekivimites toimub raimatud materjali transport maa peale läbi suletud torusüsteemi suspensioonina ehk pulbina. Raimatud materjal segatakse bentoniidi lahuse või veega ja pumbatakse maapeale läbi torusüsteemi. Bentoniidi lahust või vett kasutatakse ühtlasi vasturõhu hoidmiseks töö ees, et ei toimuks vee sissevoolu ning et vältida tööee sissevarisemist.

Kristalsetes kivimites läbindamisel toimub materjali transport maa peale kasutades lintkonveierit, mis tuleb paigaldada kaldtunneli lakke (v.a horisontaalses osas).

Nõrkades ja vettandvates settekivimites ning alus- ja pealiskorra piiril tuleb kasutada läbindamisel täiendava abimeetmena injekteerimist, millega tugevdatakse kaldtunnelit ümbritsevat pinnast/kivimit, et vältida tööee sissevarisemist, mis võib põhjustada tunnelipuuri kinnikiilumist. Samuti aitab see vähendada või peata vee sissevoolu (vt peatükk 3.2.4).

Kaldtunnelitesse tuleb rajada drenaažikaevud, mis on varustatud pumpadega, et vältida vee kogunemist tööette, tagamaks ohutud töötingimused.

Keskmine läbindamise kiirus settekivimites on keskmiselt 14 m/ööp ja kristalsetes kivimites 11 m/ööp.

### 3.2.4 Maapinna tugevdamine injekteerimisega

Injekteerimisseinana tuleb kasutada pealis- ja aluskorra piiril, kus on nn murenemiskoorik, erinevate põhjaveekomplekside eraldamiseks, et ei toimuks põhjaveekomplekside segunemist ja et vältida tööee uputamist. Nõrkades settekivimites kasutatakse injekteerimist vastavalt vajadusele.

Kaldtunnelit ümbritseva pinnase tugevdamine murenemiskoorikus on näidatud graafilisel lisal 75. Pinnase tugevdamiseks tuleb ~44 m pikkusel lõigul puurida kaldtunnelist igas suunas radiaalselt 10 - 30 m pikkused puuraugud võrguga 1,5 x 1,5 m, mille kaudu injekteeritakse sideaine külgnervesse kivimitesse.

Injekteerimise täpsustatud lahendus tuleb määrata projekteerimise edasistes staadiumites.

### 3.2.5 Toestamine

Kaldtunnelite toestamiseks tuleb kasutada betoonist tüübingtoestikku (*Precast Concrete Segmental Lining*), mis paigaldatakse jooksvalt läbinduse ajal (vt graafiline lisa 72). Toestik koosneb eelnevalt valatud armeeritud betonelementidest. Arvestades, et läbindamine toimub vettandvates settekivimites ja tugevates kristalsetes kivimites, kasutatakse kahe erineva tugevusega elemente. Settekivimites peab toestik olema võimeline vastu võtma veesurve, mis võib ulatuda kuni 20 baarini. Tulenevalt erinevatest pingeolukordadest, mis tekivad settekivimites ja kristalsetes kivimites, tuleb kasutada settekivimites suurema tugevusega tüübingtoestikku.

Arvestades analoogsetes tingimustes rajatud kaeveõõsi ning esmaseid arvutusi, peab kasutatavate elementide paksus peab olema ~450 mm ja laius 1,5 – 1,8 m. Peale toestiku paigaldamist on tunneli sisemine läbimõõt 7,10 m.

Toestiku täpsed parameetrid tuleb määrata projekteerimise edasistes staadiumites.

### **3.3 Ventilatsioon läbindamise ajal**

Kaldtunnelite läbindamisel tuleb kasutada kombineeritult suru- ja imituulutust, et tagada tööes piisava kvaliteedi ja kvantiteediga õhk. Surutuulutusel juhitakse ventilaatoritega läbi tuulutustorude värske õhk otse tööette. Imituulutusel tekitatakse ventilaatoriga tööes alandus ehk depressioon ning tööest imetakse läbitöötatud õhk läbi tuulutustoru välja. Imituulutus aitab tööest paremini eemaldada kahjulikke gaase ja tolmu.

Esialgsel hinnangul on tööes vajalik värsket õhu hulk 2500 m<sup>3</sup>/min ning õhu liikumise kiirus kaldtunnelis on umbes 0,75 m/s.

Täpne kaldtunneli tuulutusskeem tuleb teha tunnelipuuri projekteerimise edasises etapis. Tuulutusskeemi koostamisel ja ventilaatorite valikult tuleb arvestada tehtavaid tööprotsesse, töötavate inimeste arvu ning kadusid, mis tekivad värske õhu juhtimisel tööette.

Aletrnatiivne ligipääsu rajamisel ja peale tunnelipuuri eemaldamist tuleb rajada kaldtunneli suudme vahetusse lähedusse statsionaarsed ventilaatorid tunneli(te) tuulutuseks.

### **3.4 Ekskaveeritud materjali töötlemine**

Väljatud materjal tuleb täiendavalt töödelda maapeal. Maapeale pumbatud suspensioon töödeldakse veepuhastusseadmes, mille käigus eraldatakse tahke mineraalne osa ning lahus. Mineraalsest osast omakorda separeeritakse välja peenosid 0 – 4 mm, mille osakaal on umbes 25% ja jämedam osis 4 – 64 mm, mille osakaal on umbes 75%. Jämedamat osist saab kasutada täitematerjalina. Suspensioonist eraldatud lahust kasutatakse uuesti läbindamise protsessis.

Kristalsetes kivimites läbindamisel tuleb väljatud materjali maapeal täiendavalt purustada ja sõeluda ning taaskasutada.

Ööpäevas tuleb töödelda 1000 – 1300 m<sup>3</sup> materjali.

Läbindamisel väljatud graptoliitargilliit tuleb ladustada eraldi ja käidelda vastavalt Eesti Geoloogiateenistuse graptoliitargilliidi käitlemise juhendile.

Kirjeldatud protsess on ehitustööde aegne, vajalikud seadmed ja nende asukohad näidatakse ära ehitusplatsi skeemil järgmistes projekteerimise tööde etappides.

Kaevise kasutamine ja võõrandamine tuleb teha vastavalt maapõuseadusele (RT I, 21.12.2023,2) § 96 ja 97.

### **3.5 Tööde teostamine**

Läbindamise eeldatav kestus on kokku 372 päeva, millele lisandub tunnelipuuri ehitamine 12 – 14 kuud, tunnelipuuri demonteerimine 5 – 6 nädalat, transport Eestisse 8 – 10 nädalat, komabini montaaž 10 – 12 nädalat. Kokku võtab kogu protsess aega ligi 3 aastat.

Tunnelipuuri ehitamise ja tarnspordiga tuleb kohapeal paralleelselt teostada kõik ettevalmistustööd läbindamiseks, sh stardikaeviku ja muu vajaliku taristu rajamine, lubade ning kooskõlastuste taotlemine jne.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Skepast&Puhkim OÜ. 2022. Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama keskkonnamõju hindamine ehitusprojekti koostamise käigus.
2. Rehm, U., Arigoni, A. 2023. Inclined TBM Tunnel feasibility Strudy Report. Šveits: Gruner Stucky SA.
3. OÜ Inseneribüroo STEIGER. 2020. Geological investigations & Design works for the Paldiski 500MW Pumped Hydro Energy Storage Project in the Republic of Estonia. Geological Baseline Report.