

Tallinna Tehnikaülikool

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut



Geotehnoloogia õppekava, AAGMM

Anton Toikka, 132721

Magistritaseme lõputöö

SUUSATUNNEL ESTONIA KAEVANDUSES

ID 2561

Juhendaja:

Jüri-Rivaldo Pastarus, tehnikateaduste doktor

Tallinn 2015

SISUKORD

SISUKORD	2
SISSEJUHATUS.....	4
1. ESTONIA KAEVANDUSE KIRJELDUS.....	5
1.1. Estonia kaevanduse asukoht ja parameetrid	5
1.2. Estonia kaevanduse geoloogia.....	6
1.3. Estonia kaevanduse tootmistehnoloogia.....	8
2. MAAILMA SUUSATUNNELID.....	12
2.1. Suusatunnelite lühikirjeldus	12
2.2. Maaalused suusatunnelid.....	13
2.3. Maapealsed suusatunnelid	14
3. SUUSATUNNEL ESTONIA KAEVANDUSES	17
3.1. Suusatunneli rajamiseks koha valik.....	17
3.2. Suusatunneli ehitamiskoha kirjeldus	20
3.2.1. Töö- ja ligipääsutingimused	21
3.2.2. Geoloogiatingimused.....	22
3.2.3. Tuulutus.....	23
3.2.4. Veekõrvaldus.....	24
3.2.5. Muu infrastruktuur.....	25
4. SUUSATUNNELI RAJAMINE JA FUNKTSIONEERIMINE	27
4.1. Suusatunneli parameetrid	27
4.2. Strekkide ettevalmistamine suusatunneli rajamiseks	30
4.3. Lähis- ja põhilae stabiilsuse hindamine.....	32
4.3.1. Lähislae lubatud ava suuruse arvutuse meetodika	33
4.3.2. Lähislae lubatud ava suuruse arvutuse tulemused.....	34
4.3.3. Tervikute kandevõime analüüsi meetodi valik.....	36
4.3.4. Kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse meetodika	37
4.3.5. Analüüs Kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse järgi	40
4.4. Suusatunneli tuulutussüsteem.....	42
4.5. Suusatunneli veekõrvaldussüsteem	44
4.7. Suusatunneli muu infrastruktuur	45
DISKUSSIOON	47
KOKKUVÕTE	49
SUMMARY	51

KASUTATUD ALLIKAD	53
LISAD	56

SISSEJUHATUS

Esimest suusatunnelit maailmas rajati aastal 2000 Soomes Vuokatti külas. Soomlased esialgu suhtusid projektisse väga skeptiliselt. Sellepärast tekkisid probleemid ning venitused ehitusega. Vaatamata raskusele sai projekt aga valmis ja tänapäeval toob ta kasumit. Iga aasta külastab maailma esimest suusatunnelit kümneid tuhandeid turiste. Nüüd on Vuokatti üks populaarsematest suusakuurortidest Soomes. [1]

Suusatunnel on spetsiaalselt suusasportimiseks ehitatud rajatis. Suusatunnel annab võimaluse tegeleda suusaspordiga hooajast ja ilmastikutingimustest sõltumatult. Tunnelis on terve aasta püsiv 2-10 kraadi külma temperatuur. Suusatunnelid rajatakse maailmas nii maa peal, kui ka maa all. Estonia kaevanduses on sügavus 40-70 m ja temperatuur on aastaringselt 7 plusskraadi, mis teeb vajaliku temperatuuri hoidmise mõnevõrra lihtsamaks ja odavamaks võrreldes maapealse tunneliga. Töötavas kaevanduses on olemas vajalik infrastruktuur - kaldšaht materjalide transportimiseks, vee pumpamise rajatised, tuulutuseinfrastruktuur, elekter, teed. Samuti on kaevanduses vajalik tunneli ehituseks tehnika, mida oleks võimalik kasutada koostöös Eesti Energiaga. Kaevanduse tööajal võib tunnel kasutada vajalikku infrastruktuuri, kuid kaevanduse sulgemise pärast peab rajatis toimuma autonoomselt.

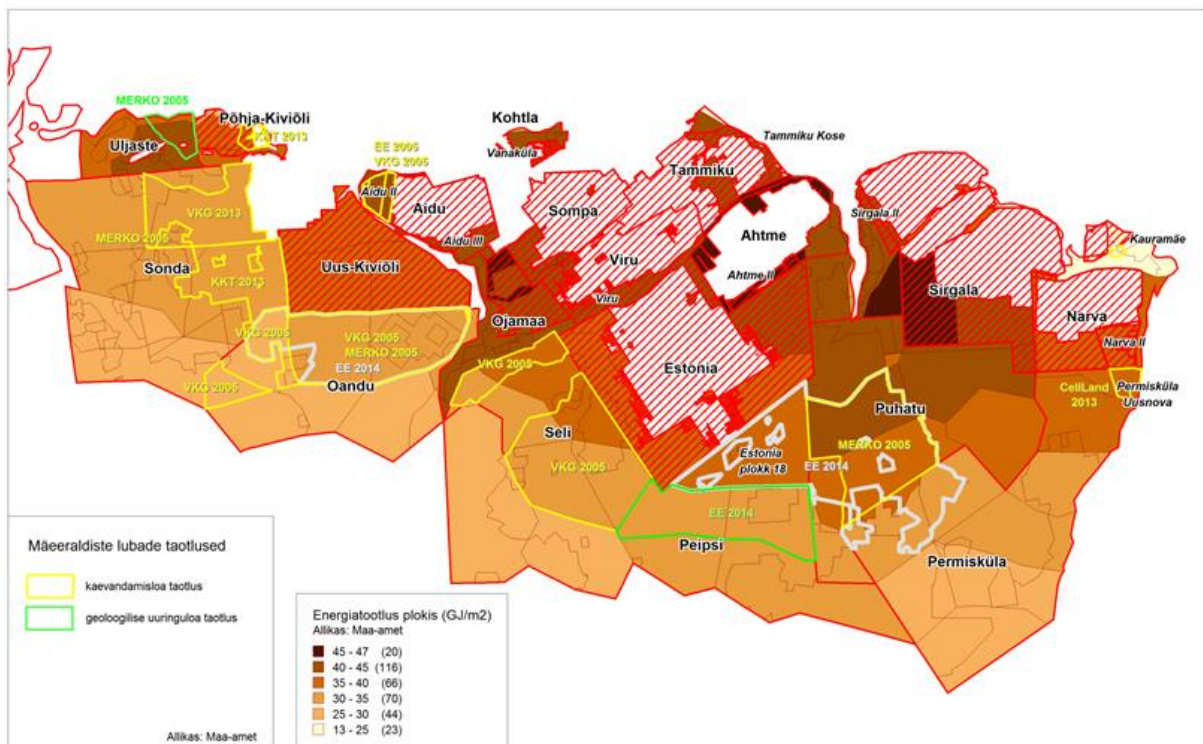
Antud töö eesmärk on uurida võimalust rajada maa-aluse suusatunneli Estonia kaevanduses. Seoses sellega on töö ülesanded järgmised:

1. Kirjeldada Estonia kaevandust, selle geoloogiat ja kasutatavad tehnoloogiat.
2. Anda ülevaate maailma suusatunnelitest.
3. Valida parim koht suusatunneli rajamiseks Estonia kaevanduses ja argumenteerida valikut.
4. Arvutada välja kaeveõõnte lae tugisüsteemi lähtudes suusatunneli parameetritest.
5. Koostada veekõrvalduse ja tuulutuse plaani plokkis, kus rajatakse suusatunnel.
6. Kirjeldada suusatunneli rajamise põhiprintsiipe Estonia kaevanduses.

1. ESTONIA KAEVANDUSE KIRJELDUS

1.1. Estonia kaevanduse asukoht ja parameetrid

Estonia kaevevälja üldpindalaga 185,8 km² asub põlevkivi maardla keskosas. Põhjas piirduv ta Viru ja kirdes Ahtme KV-ga (Vt. Joonis 1). Välja idapiiriks on Vasavere mattunud ürgoru lääneserv ja Puhatu uuringuväli kontuur. Lõunapiir on ühine Peipsi ja läänepiir – Seli UV-ga. Suurem osa kaevandusest jääb Ida-Virumaa Mäetaguse ja Illuka valla maadele. Kaeveväli hõlmab Estonia kaevanduse mäeeraldise (141,7 km²) ning kaks ala väljaspool, üks mäeeraldise lõunas, teine idas. Estonia kaevandus lasti käiku 1972. a. tootlikkusega 5,4 mln. tonni põlevkivi aastas, mis oli maailma põlevkivi kaevandustest suurim. Kaevandamistehnoloogiatest kasutatakse ainult kamberkaevandusviis: väljatakse kõik kihid A-st F1-ni ning kaevis rikastatakse rikastusvabrikus. [2]



Joonis 1. Eesti põlevkivi ettevõtted. (autor: Eduard Pukkonen)

Kaevandamist piiravateks teguriteks on välja idapiiril Muraka Looduskaitseala (mäeeraldise 0,8 km²), Mäetaguse, Kurtna ja Pagari asula ning mitmed rajatised (kaevanduse tehnoloogiline kompleks, kalmistu jt), mille all on jäetud kaitsetervikuid. Kaevevälja piires

lasub põlevkivikihind põhjas 45-55 m sügavusel, lõuna suunas kasvab katendi paksus 65-70 m-ni. [2]

Estonia kaevandus on üks kahest praegu tegutsevatest kaevandustest Eestis. 2014. a. ületas kaevanduse toodang 8 mln. t. kaubapõlevkivi. Kaevanduse eeldatav tööiga on aastani 2030. Seisuga 31.12.2014 on Estonia kaevanduse mäeeraldise piires arvel 169 249 t. aktiivset tarbevaru (Vt. Tabel 1).

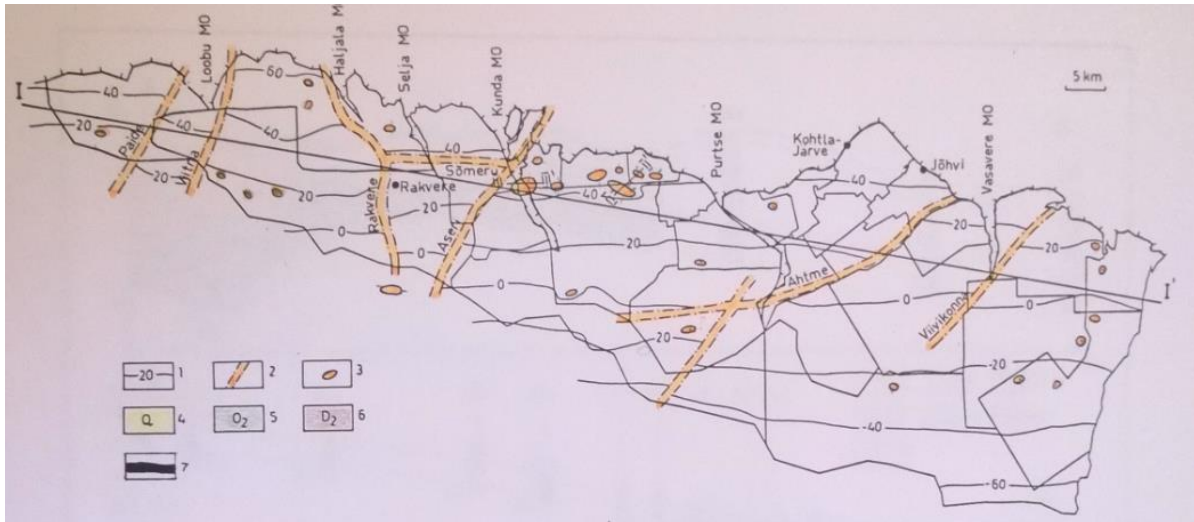
Maardla ja selle osa nimetus	Varu uuritus	31.12.2014	
		aktiivne	passiivne
Estonia KV, KMIN-054	Tarbe	169249,1	10456
	Reserv	8391	0

Tabel 1. Estonia kaevanduse maavaravarude bilanss, 2014. a. [Eesti Energia Kaevandused]

Estonia kaevanduse töötajate arv (seisuga 01.05.2015) on 1340 inimest. Kaevanduses on 7 tootmisjaoskonda – kolm nendest on läbindusjaoskonnad. Kokku tootmisjaoskondades töötab 515 inimest. Teine suuruselt on rikastusvabriku jaoskond (156 inimest). Estonia kaevanduse struktuur on esitatud lisan 1.

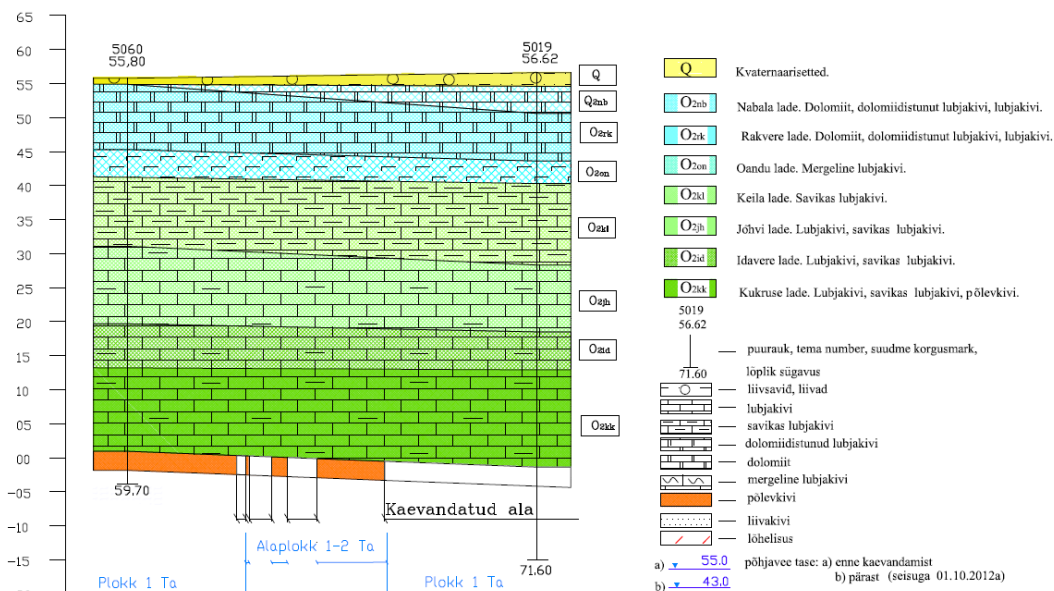
1.2. Estonia kaevanduse geoloogia

Estonia kaevanduse mäeeraldise äärmine põhjaosa on kirdesuunalise Ahtme ja lõunaosa – Viivikonna tektoonilise rikke piirides (Vt. Joonis 2). Kaevanduse keskosas on väljaspool rikkevööndeid jääv karstunud ala. Nendel aladel on tootsa kihindi hüpsomeetria keeruline, kivimite lõhelisus, karstumus ja veand on seal kõrgendatud. Estonia kaevanduse kogukarstilisus on alla 1%. [2]



Joonis 2. Eesti leiukoha tektooniline skeem: 1- tootsa kihindi lamami samakõrgusjooned, m; 2- lineaalsed tektoonilised rikked; 3- lokaalsed struktuurid. [2]

Joonis 3 on esitatud Estonia kaevevälja tüüpiline litoloogiline läbilõige põlevkivini. Kvaternaarse teta paksus on 1-2 m. Devoni ja siluri ladestuste setted puuduvad. Kaljukatendit moodustavad keskordoviitsiumi Kukruse – Rakvere lademete karbonaatkivimid. Nende lademete paksus on 5-20 m. Kaevevälja lõunaosas lisandub Nabala lademe lubjakivi, mille paksus ulatub 5 m-ni. Ladestikkudes vahelduvad lubjakivi, savikas lubjakivi, mergeline lubjakivi ja põlevkivi. [2]

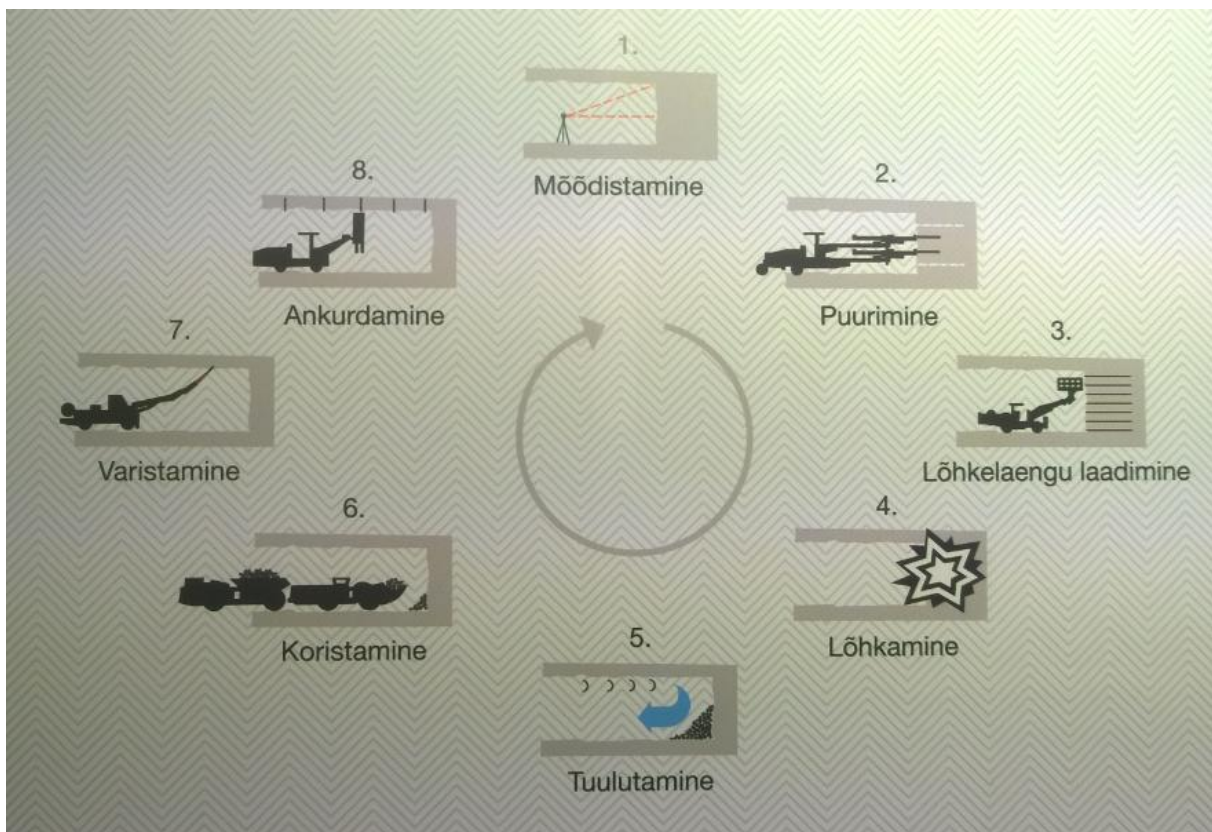


Joonis 3. Geoloogiline läbilõige (Estonia kaevandus, alaplokk 1-2 Ta) [autor: Eesti Energia Kaevandused]

Põlevkivi tootuskihind lasub Kukruse lademe alumises osas. Kihindi A-F1 üldpaksus on välja kirdeosas 2,8 m ja 2,6 m edelas. Samas suunas alaneb kihindi kaevise kütteväärtus 9 MJ/kg kuni 7 MJ/kg ning energiatootlus 42 GJ/m² kuni 37 GJ/m². [3]

1.3. Estonia kaevanduse tootmistehnoloogia

Estonia kaevanduses kasutatakse kamberkaevandusviisi. Kaeveväli on lõigustatud paneelideks ja paneelid plokkideks. Koristustöö toimub kambrites, mida toetavad ja kus maad hoiavad ruudukujulise ristlõikega tugitervikud. Põlevkivi kaevandamine käib samm-sammult (Vt. Joonis 4). Esialgu käivad ettevalmistustööd ehk läbindustööd- käikude läbimine ja uute paneelide ning plokkide lõigustamine. See toimub samaaegselt mitmes tööees. Koristustöö käigus lõhatakse põlevkivikihid. Lõhkamise käigus tükideks purunenud põlevkivi viivad tööest ära kopplaadurid. Tunneli lagi toetatakse ehk ankurdatakse ning seejärel algab protsess otsast peale. [4, 5]



Joonis 4. Estonia kaevanduse tootmisprotsess. [5]

Mõõdistamine

Mõõdistusi teostavad kaevanduses markšneiderid. Markšneideri ülesanneteks on kaevevälja mõõdistamine, kaevandamismahtude arvutamine ja kaeveõõnte läbindamise suuna määramine. Markšneideri peamised tööriistad on teodoliit ja nivelliir. [6]

Läbindamine

Kaeveõõnte läbindamist tehakse selleks, et lõigustada kaeveväli paneelideks ja kamberplokkideks. Läbindatakse samuti eriotstarbelisi kaeveõõsi allmaarajatiste rajamiseks jms. [7]

Kaeveõõnte läbindamise töösükkel koosneb [7]:

- kaeveõõnte ee, külgede ja lae kontroll ning puhastamine lahtikoorunud ripikutest;
- puuraukude puurimine lähilakke ja sinna ankrupoltide paigutamine, vajadusel täiendav raamistikuga toestamine;
- lõhkeaukude puurimine;
- tuulutustorude paigaldamine;
- lõhketöö teostamine;
- kaeveõõne tuulutamine;
- veekõrvaldussoone soonimine;
- kaevisse laadimine allmaakalluritele;
- kaevisse vedu allmaakalluritega ümberlaadimispunkti.

Puur- ja lõhketööd

Puur- ja lõhketöödega toimub kaevisse lahtimurdmine mäemassiivist. Kamberplokis puuritakse mäemassiivi puurauke kas puurseadmega või käsitsi. Puuritakse lõhkeauke, puurauke ankrupoltide paigaldamiseks, puurauke maandurite asetamiseks jms. Lõhketöid viiakse läbi ee rinna purustamiseks, veekõrvalduskraavide läbindamiseks ja puhastamiseks, eriotstarbeliste allmaarajatiste ehitusel ja ülegabariidiliste tükide purustamiseks. [7]

Tuulutus

Tuulutuse eesmärk on kaevanduses viibivate inimeste ja diiselmasinade värske õhuga varustamine ja nõutava õhuvahetuse tagamine töökohtades. Kaevanduse allmaosa tuulutamiseks kasutatakse pealmaaventilaatoreid, mis annavad läbi tuulutussurfide maa alla värsket õhku. Kaevanduses liigub värske õhk mööda transpordi- ja konveierstrekke kamberplokkidesse ja läbinduskaeveõntesse. Heitõhk suunatakse tuulutustõkete ja teiste rajatiste abil tuulutustrekki ja sealt šurfi mööda maapinnale. Maa all eraldatakse kasutatud ja värske õhuvoog üksteisest tervikute ja tuulutustõketega. Kasutatud ja värske õhuvoo ristumiskohtadesse ehitatakse õhusild, mis välistab õhuvoogude segunemise. Talvel soojendatakse kaevanduse õhku mäemassiivi soojuse arvel. Selleks juhitakse külm õhk väljatõotatud kamberplokkide kaudu töökohtadesse. Kamberplokkidesse satub värske õhk mööda kogumisstrekke. Pärast töökohtade tuulutamist liigub riknenud õhk külgstrekkide kaudu tuulutustrekkidesse. Läbinduskaeveõõs kujutab endast umbkaeveõõnt. Sellepärast kasutatakse selle tuulutamiseks survetuulutust, mille kohaselt suunatakse värske õhujuga töökohta kohaliku tuulutusventilaatori tuulutustorude abil. Töökohta tuulutuseks vajaminev õhuhulk arvutatakse metoodika järgi, mis arvestab eraldunud mürkgaaside hulka (lõhketööd, diiselmasinade väljaheitgaasid jms). [7]

Veekõrvaldus

Veekõrvalduse eesmärgiks on kaevandusvee ärajuhtimine mööda veekõrvaldussooni ja veekraave allmaa veekoguritesse ja nendest vee väljapumpamine maapinnale. Mööda allmaa veekõrvaldussooni ja veekraave juhitakse kaevandusvesi kamberplokkidest, läbindus- ja teistest kaeveõõntest allmaa veekoguritesse. Allmaapumplates asuvate pumpade abil pumbatakse kaevandusvesi maapinnal asuvasse settebasseinidesse. Pärast vee setitamist liigub see mööda maapealseid veekraave looduslikesse veekogudesse. [7]

Kaevise laadimine ja transport

Tegevuse eesmärk on tagada koristustes lahtimurtud kaevise laadimine kraapkonveieritele. Kaevise laadimiseks koristustest kasutatakse diiselajamiga laadurveokeid. Nende tööd kamberplokis reglementeerib kamberplokki kaevandamise projektis sisalduv tehnoloogiline skeem. Lõhketöödega lahtimurtud kaevise laaditakse laadurveokitega kraapkonveierile. Kaevise liigub läbi kraapkonveieril asuva purusti, mis purustab suuremõõdulised tükid.

Kraapkonveierilt liigub kaevis kogumisstrekil asuvale lintkonveierile ja sealt paneeli lintkonveierite mööda kaevandusõues olevasse kaevisse peapunkrisse. Seal doseeritakse kaevis toiture abil peatõste konveierlintidele, mida mööda jõuab see maapinnale ja rikastusvabrikusse. [7]

Rikastamine

Rikastamise eesmärgiks on kaevandatava põlevkivi kvaliteedi mõjutamine soovitud suunas. Rikastusvabrikus toimub kaevandusest tulnud kaevisse sorteerimine ja põlevkivi mehaaniline rikastamine. Pärast kaevisse eelnevat purustamist purustuskorpuses liigub kaevis galeriidesse monteeritud lintkonveieritel rikastusvabriku tehnoloogilistele liinidele. Sõeltel toimub põlevkivi selekteerimine ja seejärel saadetakse rikastamise lõpp-produkt läbi laadimiskompleksi tarbijatele või ladustatakse põlevkivi hoidlasse. Suurema fraktsiooni rikastamine toimub magnetiitsuspensiooni abil. Pärast põlevkivi pesemist magnetiidist liigub põlevkivi laadimiskompleksi ja sealt edasi tarbijatele või põlevkivi hoidlasse. Rikastusjäätgid (aheraine) saadetakse pärast magnetiidist pesemist mööda lintkonveiereid punkritesse. Pärast purustamist ja sõelumist saadakse vajaliku tükisuurusega killustik. Kasutamata jäänud aheraine ladustatakse aherainemäel. [7]

Ankurdamine

Määrõhu mõju all toimub kaeveõõnte laekihtide deformatsioon. Põhilae toestamine toimub tervikute abil. Ankurtoestikkude eesmärk on aga vahetu lagi toestamine. Vahetu lagi koosneb lubjakivi ja põlevkivi kihtidest. Ankurtoestik surub vahetu lae kihte kokku ja ennetab nende varisemist. Estonia kaevanduses kasutatakse kiilmuhv-ankrud. Allmaa kaeveõõntes, kus on tootmistegevus lõpetatud, võetakse vastavalt lahtitoestamise tehnoloogilisele skeemile ankrud laest välja. Seda tööd teevad vähemalt kaks inimest liikurtoestiku abil. Kvaliteetsed väljatud ankrud lähevad korduvkasutusse lagede toestamiseks. [8, 7]

2. MAAILMA SUUSATUNNELID

2.1. Suusatunnelite lühikirjeldus

Ülalpool oli öeldud, et suusatunnel on spetsiaalselt suusaspordimiseks ehitatud rajatis, mis annab võimaluse tegeleda suusaspordiga terve aasta sõltumata hooajast ja ilmastikutingimustest. Sportimiseks püsiv ja komfortne temperatuur ning suurepärase lume kvaliteet teevad suusatunnelid populaarseteks mitte ainult turistide, vaid ka professionaalsete sportlaste seas.

Tavaliselt on see rajatis umbes 1 km pikk ja valmistatud soojusisolatsioonimaterjalidest. Selles tunnelis on olemas kaks võimalust lume valmistamiseks. Esiteks saab seda koguda tunnelis talveperioodil. Teiseks saab lumekatet teha lumekahurite abil. Lumekate säilitakse võimsate külmseadmete abil. Miinuskraadilise temperatuuri hoidmine on maa all mõnevõrra kergem ja odavam, kui maa peal. [9]

Tunnel võimaldab valmistuda suusavõistlusteks päris lume peal aasta läbi. Kusjuures ei ole selleks vaja sõita kallitele suusakuurortidele. Tänapäeval on sarnased tunnelid rajatud ka teistes riikides: Ameerikas, Saksamaal, Madalmaades, Jaapanis. Üht suurtunnelit rajatakse praegu ka Venemaal.

Eestis on suusatunneli rajamise plaanid ka olemas. 2007. aastal pärast Soome külastamist väitis Toomas Savi, Eesti Olümpiakomitee asutajaliige, et aastaks 2015 rajatakse Eestisse 5 suusatunnelit. Suusatunneli rajamisest on huvitatud spordikeskuste eestvedajad Pärnumaal Jõulumäel, Harjumaal Keilas, Viljandimaal Holstre-Pollis ja Valgamaal Otepääl. Hetkel aga rääkida mingist kindlast suusatunnelist on veel vara, kuna rahavahendeid nende projektide jaoks ei ole eraldatud. Rajamiseks vajalik summa kõigub ühest kuni mitu kümnendi miljoniteni. [10]

Kõik suusatunnelid erinevad oma parameetritega, kuid miinustemperatuuri ja lume olemasolu on tagatud igas rajatises. Väga huvitavaks faktiks on see, et kõige rohkem suusatunnelid on riikides, kus ülespool toodud tingimused (miinustemperatuur ja lume olemasolu) on välisöues enamik aastast. Need on suusariigid, mis teevad suuri investeeringuid sporti ja turismi (Soome, Rootsi, Saksamaa). Need riigid tõstavad suusatunnelite rajamisega võimalust tegeleda suusatamisega aastaringselt oma riigis 100%-ni.

2.2. Maaalused suusatunnelid

Esimene suusatunnel maailmas on rajatud Soomes Vuokatti külas (Vt. Joonis 5). See on rajatud mäe sisse ja avatud suusatamiseks alates 2000 aastast. Tehniliselt on võimalik langetada temperatuuri 18 külma kraadini. Tunnelis on loomulik lumi, mis on võetud õuest ja mida hoitakse nõutavas konditsioonis aastaringselt. Õhk vahetatakse iga nelja tunni tagant. Õhu ja lume temperatuure kontrollivad arvutisüsteemid. Suusaraja kvaliteeti hoitakse täiesti automatiseeritud režiimis. Vajadusel laseb lumeetteandesüsteem vajalikku lumekoguse raja peale. [1]



Joonis 5. Suusatunnel Vuokatti Soomes. Tunneli parameetrid: pikkus – 1210 m, laius – 8 m, kõrgus – 4 m, temperatuur - -5...-9 C. [1]

Maailmas esimene suusa ja multifunktsionaalne allmaa-areen oli rajatud Leppävirta's Soomes (Vt. Joonis 6). See rajatis avati 2004. aastal. Areen asub 30 m. maa all ja koosneb suusahallist ja -tunnelist. Kompleksi üldine pindala on 8000 m² ja suusaraja pikkuseks on 1,5 km. Leppävirta tunnelis on aastaringselt umbes 3 külmakraadi. [11]



Joonis 6. Suusatunnel Leppävirta Soomes. Tunneli parameetrid: pikkus – 100 + 1500 m, laius – 40 m, kõrgus – 10 m, temperatuur – -3 C. [11]

2.3. Maapealsed suusatunnelid

Aastal 2006 lõpetas ettevõtte Lounais-Suomen Hiihtotunneli Paippi Oy suusatunneli rajamise soome linnas Paimios (Vt. Joonis 7). Paimio tunnel asub maa peal ja kordab kohaliku reljeefi. Selle kõrguste vahe on umbes 10 m. Tunnel kujutab endast ringsuusarada ühesuunalise liiklusega, mille pikkus on 700 m. Stardi ja finiši laius tunnelis on 12 m. [12]



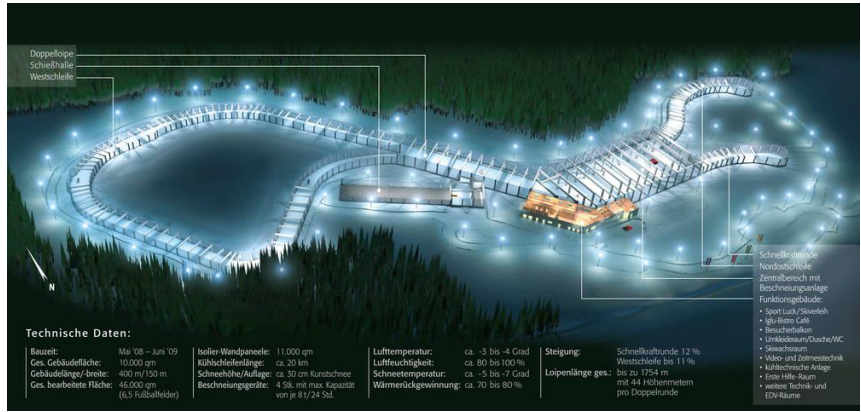
Joonis 7. Suusatunnel Paimio Soomes. Tunneli parameetrid: pikkus – 700 m, laius – 6 m, kõrgus – 4 m, temperatuur – -3 C. [12]

Torsby oli esimene suusatunnel Rootsis (Vt. Joonis 8). Ehitus kestis ühe aasta ja tunnel oli valmis juunis 2006. Tunnel on rajatud maa pealispinnale betoonpaneelidest. Sellepärast on tunnelis sama reljeef mis maastikul. Kõrguste vahed on umbes 12 m. Samuti on see tunnel tuntud selle poolest, et siin on olemas laskesuusatamise laskmisplats koos trahviringiga. Selle platsi suurus on 800 m². [13]



Joonis 8. Suusatunnel Torsby Rootsis. Tunneli parameetrid: pikkus – 1300 m, laius – 8 m, kõrgus – 4 m, temperatuur – 0...-3 C. [13]

2006. aastal sai Oberhof (Saksamaa), tuntud suusaspordi baas, endale esimese suusatunneli Saksamaal (Vt. Joonis 9). Tegu on aga hoopis suusahalliga, mis on jagatud sektsioonideks. Selle suurus on 400 x 150 m, mis võimaldab teha 1 754 m pikkust rada. Hall on pandud kokku raudbetooni osadest kogukaaluga 2000 tonni. Hallilagi on kaetud isolatsioonpaneelidega, mis viivad halli ja väliskeskkonna vahel soojuse vahetust miinimumini. Kokku on paigaldatud rohkem kui 11000 m² isolatsioonpaneele. DKB Ski Spordihall Oberhof ehitus kehtis 14 kuud ja selle maksumuseks oli 14 miljonit eurot. Nelja võimsa lumemasina abil valmistatakse ette ideaalset lund, mille temperatuur on viiest seitsme külmakraadini. Suusahalli mahub ka laskesuusatamise saal, mida saab kasutada aastaringselt. [14]



Joonis 9. Suusatunnel Oberhof Saksamaal. Tunneli parameetrid: pikkus – 1754 m, laius – 16 m, kõrgus – 6-8 m, temperatuur – -3...-4 C. [14]

3. SUUSATUNNEL ESTONIA KAEVANDUSES

3.1. Suusatunneli rajamiseks koha valik

Suusatunnelite rajamisest on huvitatud erinevad spordikeskused Eestis. Suusatunneli põlevkivi kaevandusse rajamise idee erineb väga teistest suusatunneli rajamise projektidest. Peamine erinevus seisneb selles, et antud tunnel on ainuke maa-alune projekt. Maa-aluse projekti eelis seisneb selles, et püsiva temperatuuri hoidmine maa all on mõnevõrra kergem ja odavam, kui maa peal. Estonia kaevanduses on temperatuur aastaringelt + 7 C. Ideaalseks temperatuuriks suusatunnelis peetakse -2 C. Ekspertide arvamusel saab selle temperatuuriga teha hea kvaliteediga kunstlund. Samas on see inimeste jaoks komfortne temperatuur suusatamisega tegelemiseks. Tänapäevased kliimasüsteemid lasevad kasutada kaht temperatuuritsooni (maa all ja peal), et hoida püsiva temperatuuri suusatunnelis (kolmas temperatuuritsoon) minimaalsete energiakadudega. Maapealse tunneli suuremaks probleemiks on suured temperatuurikõikumised. Soe temperatuur suvel (keskmine temperatuur ~16 C) ja külm temperatuur talvel (keskmine temperatuur ~ -5 C) mõjutavad suusatunneli energiatarbimist üpris palju. Püsiva -2 C hoidmiseks tuleb suvel alandada temperatuuri 18 C võrra ja talvel paar kraadi võrra soojendada. Maapealne suusatunnel peab olema rajatud spetsiaalsetest materjalidest, mis vähendavad tunneli siseruumi soojenemist. [15, 16]

Suletud Kohtla kaevandus, kus praegu asub Kaevandusmuuseum, oleks heaks variandiks suusatunneli rajamiseks. Suusatamise võimalus suurendaks muuseumi atraktiivsust ja tooks juurde turiste. Kohtla kaevanduse sügavus on 8 meetrit ja 8 plusskraadi aastaringelt. Seda varianti aga käsitleda ei saa, kuna terve kaevandus (peale Kaevandusmuuseumi) on üleujutatud ning on vett täis. Samas piirneb Kohtla kaevandus Viru kaevanduse ja Aidu karjääriga. Mõlemad ettevõtted on suletud ja samuti üleujutatud. Sellepärast tuleb välja pumbata väga suurt hulka vett, et teha Kohtla kaevanduse vajalikku territooriumi suusatunneli jaoks kuivaks. See teeb aga tunneliprojekti õigustamatult kalliks. Teiseks riskiallikaks on teadmatus, mis seisundis on vana kaevanduse kaeveõõned.

Suusatunneli rajamisel Estonia kaevanduses on oma plussid ja miinused. Kaevandus töötab veel vähemalt 10 aastat (aastani 2030). Kaevanduse töötamise ajal on võimalik rajada tunnelit, valmistada ette autonoomseks tööks ja isoleerida ülejäänud kaevandusest ning kasutada samal ajal ettevõtte infrastruktuuri. Töötavas kaevanduses on olemas suusatunneli

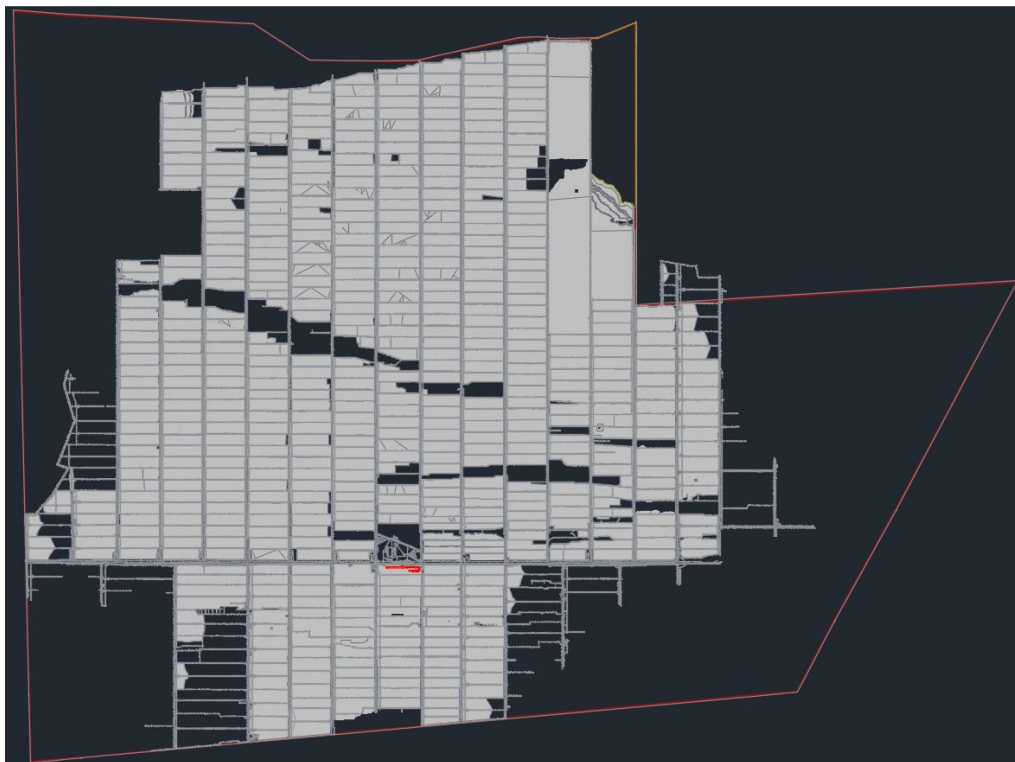
rajamiseks ja funktsioneerimiseks vajalikud süsteemid - kaldšaht materjalide transportimiseks, vee pumpamise rajatised, tuulutusinfrastruktuur, elekter ja teed. Samuti on kaevanduses vajalik tehnika tunneli rajamiseks, mida on võimalik kasutada koostöös Eesti Energiaga.

Projektile annavad atraktiivsust juurde ka viimased endise põlevkivitööstuse rajatistest ehitatud spordiarendusprojektid Ida-Virumaal. Vana tehismäest Kiviõlis, mille koostiseks on põlevkivituhk ja poolkoks, kujundati 12 aastaga (2001-2013) paika, mis pakub maailmatasemel tervise-, suusa-, moto-, ratta- ja seiklussporditegevusi ning rahvusvahelisi suurvõistlusi. Suletud Aidu põlevkivikarjääri rajatakse spordi- ja vabaajakeskus, mille südameks on rahvusvahelistele nõuetele vastav sõudekanal. Suurte ettevõtete sulgemine (antud juhul põlevkivi kaevandused ja karjäärid) on regiooni jaoks tõsine probleem. Töökohtade ja maksutulude vähenemine võib kompenseerida mingil määral teiste alternatiivide abil. Pärast kaevanduste ja karjääride sulgemist jäävad maa peale ja alla unikaalsed alad. Neid alasid saab kasutada erinevate projektide realiseerimiseks- oleks see spordi, turismi objekt või midagi muu. [17, 18]

Veel üheks tähtsaks punktiks on see, et oleks rohkem vaja tähelepanu pühendada sulgevatele kaevandustele, et parandada inimeste suhtumist mäetööstusesse. Vanade tööstusalade taaskasutamine ja alade atraktiivsuse tõstmine näitab üldsusele, et mäetööstus ei ole ainult keskkonnareostumise koht vaid ka tulevikus uusi võimalusi pakkuv tegevus.

Suusatunneli rajamiseks on vaja valida koht juba välja kaevandatud alast. Estonia kaevanduses on tänaseks kaevandatud umbes 90 km² (Vt. Joonis 10). Koha valikust sõltub tunneli rajamise tingimused ning tunneli hooldamine ja kasutamine. Kõige soodsama ehituskoha valikuks tuleb lähtuda allpool toodud aspektidest.

Esimeseks aspektiks on streki või ploki seisund. Strekkide vanusest, ankurtoestikkude olemasolust ja lae kõrgustest sõltub kui palju tuleb eeltööd teha: koristust, ankurdamist ning lae ja lamami puhastust. Samuti mängib suurt rolli kaugus kaldstrekist ja transpordiskeem, kuna tunneli rajamine ja kasutamine ei pea segama tootmisprotsessi ning peab vastama ohutus- ja evakuatsiooninõuetele.



Joonis 10. Estonia kaevanduse väljakaevandatud ala plaan [19]

Teiseks on geoloogiatingimused. Varisemiskohad ja karst teevad tunneli rajamist raskemaks ja ohtlikumaks. Plokke, kus on varisemisoht ja karst, tuleb vältida suusatunneli ehituskoha valimisel.

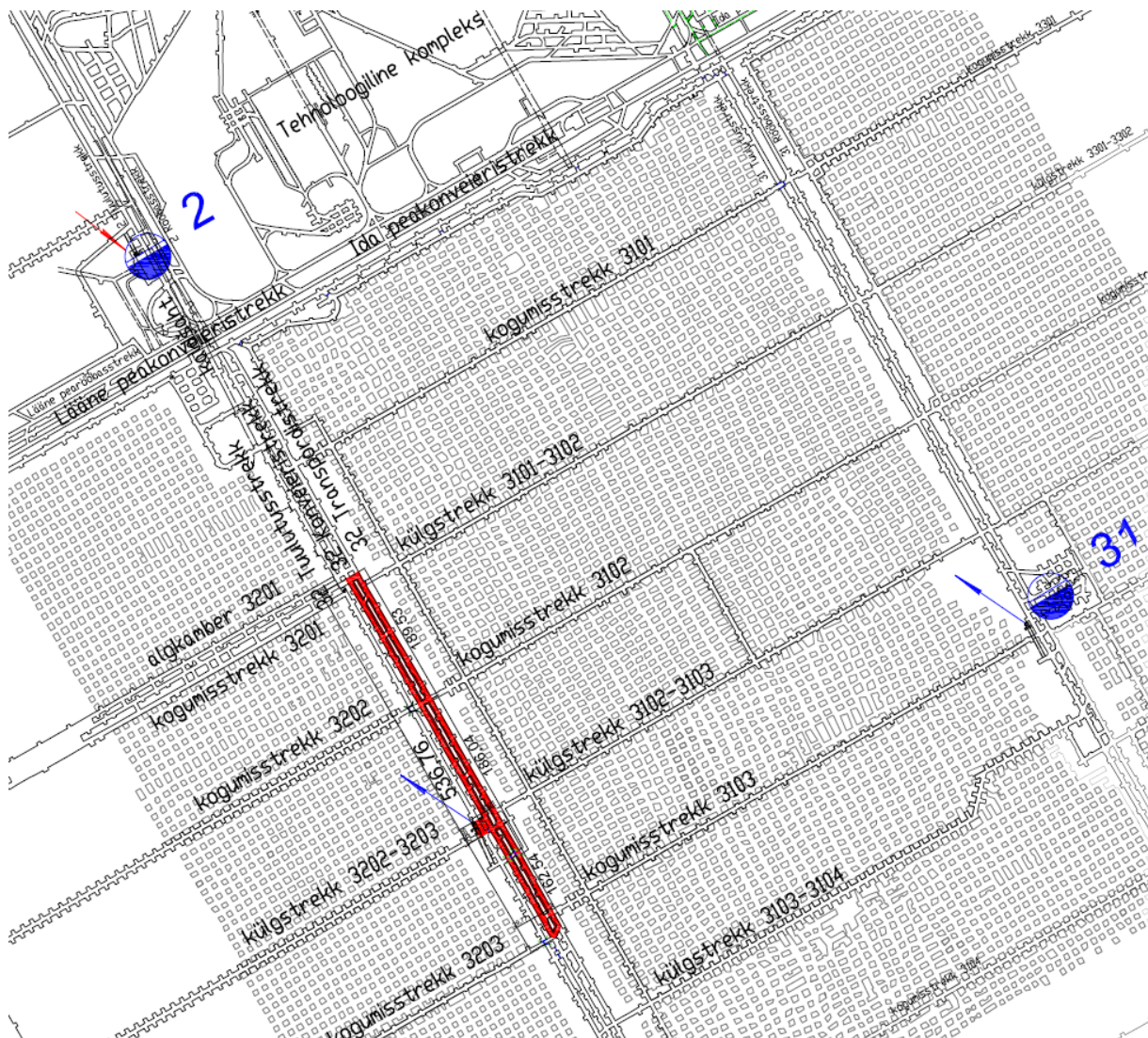
Seni, kuni suusatunnel ei toimi autonoomselt ja on võimalus kasutada kaevanduse infrastruktuuri, on mõttekam ühendada valitud koht kaevanduse tuulutussüsteemiga. Eelnevalt aga tuleb läbi mõelda tunneli autonoomset tuulutust ajal, millal kaevandus on üleujutatud.

Analoogselt tuulutussüsteemile on tegu veekõrvaldusega. Kaevanduse funktsioneerimise ajal juhitakse vesi läbi kaevanduse kraave ja veepumpade abil maa peale. Autonoomne veekõrvaldussüsteem suusatunnelis peab hakkama funktsioneerima peale kaevandamise sulgemist.

Suusatunneli jaoks on vaja elektrienergia, olmevesi ja maapealse hoone kütmise võimalust. Seda infrastruktuuri on võimalik tagada suusatunneli asukohal statsionaarselt. Kuid tuleb arvestada kaevanduses olemasolevate lahendustega. See võib vähendada suusatunneli rajamise ja hoidmise kulusid.

3.2. Suusatunneli ehitamiskoha kirjeldus

Arvestades ülalpool kirjeldatud aspektidega on valitud järgmine koht suusatunneli rajamiseks Estonia kaevanduses – 32. paneeli peastrekid (tuulutus-, konveieri- ja transpordistrekid). Tunneli jaoks on võimalus kasutada streki osa, mis asub kagus esimesest 32. paneeli plokist. Esimene plokk ja kõrvalolevad strekid on hõivatud maa-aluse kaevandustranspordi pesulaga. Ülejäänud osa paneelstrekidest kaevanduse töös ei kasutata. Tunneli rajamise tsoon algab kogumisstreki 3201 kagu poolele kuni kogumisstreki 3203 (Vt. Joonis 11). Ala üldpikkus on umbes 540 m ja pindala on 16 tuh. m². Strekkide läbimisstööd lõpetati 1996. aastal. Strekid on suunatud kagu poole.

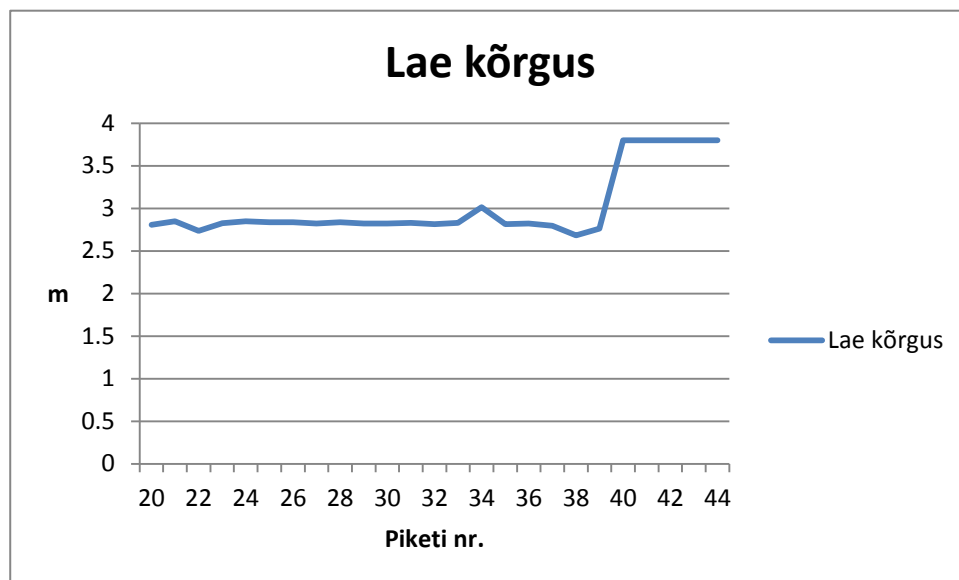


Joonis 11. Suusatunneli asumisplaan. [koostatud autori poolt Eesti Energia Kaevandused andmete alusel]

Suusatunneli põhjapoolsem osa asub 670 m kaugusel kaevanduse tehnoloogilise kompleksist (Vt. Lisa 3). Tehnoloogilise kompleksi juures asub kaldšaht ja elektri alajaam. Maa peal asub pinnastee mis on paralleelne tunneliga. Estonia kaevanduse tehnoloogilise kompleksini viib aga riigitee.

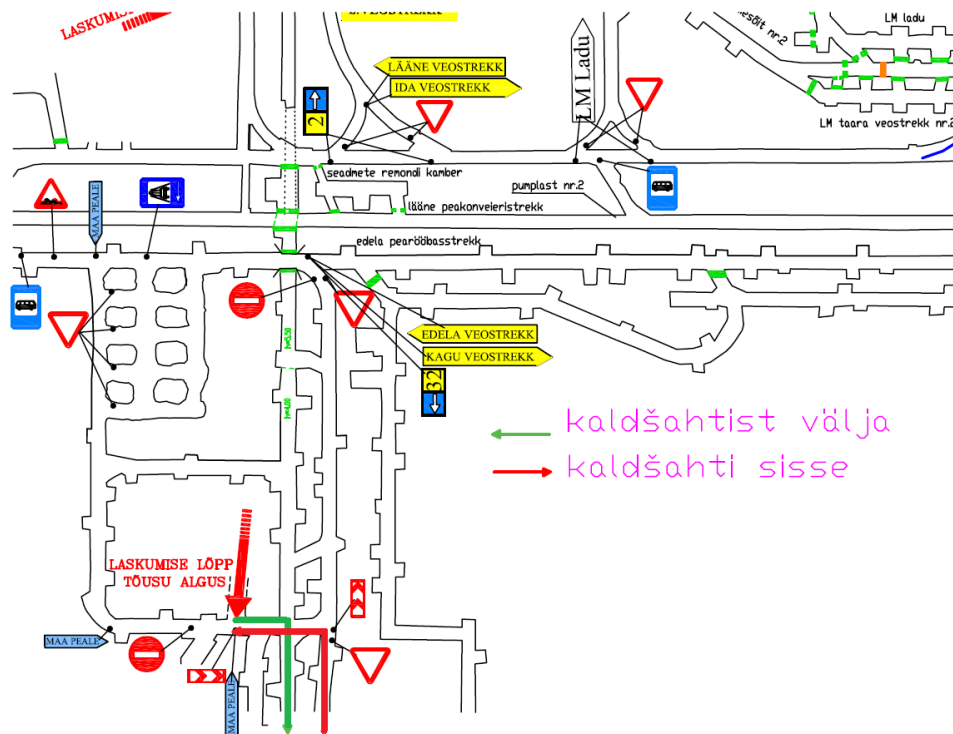
3.2.1. Töö- ja ligipääsutingimused

Vaatamata sellele, et 32. paneelstrekid on 20 aastat vanad, nende seisund on hea. Transpordistreki lamam on samuti heas seisundis, kuna 31. ja 32. paneelide tööajal oli kasutusel rööbastransport. Suurem osa strekkidest on kuivad, ainult mõnedel kohtadel voolab laest vesi. Ankurtoestikud on strekkides veel alles. Strekkide lae kõrgus A kihi pinnast kõigub 2,8 – 3,8 m. Lae kõrgus 3,8 m on streki viimase 80 m vältel kagu poole (Vt. Joonis 12). Keskmise strekkide laius on vahemikus 5,5 – 6 m.



Joonis 12. 32. tuulutustreki lae kõrgus. [autori poolt koostatud Lisa 4 alusel]

Suusatunneli rajamise tsoon asub 230 m kaugusel kaldšahti tõusust. Ühelt poolt on see kaevanduse allamineku kõrval, teiselt poolt aga peastrekkide ja järelkult transpordi peavoo eemal. Selle kaevanduse osa liiklusskeem on esitatud Joonis 13. Päevasel ajal argipäeviti on koormus kaldšahtile üsna suur ja sellepärast sobivad nädalavahetused ja öised vahetused ehitusmaterjalide transportimiseks paremini. Muid takistusi maa all liikumises ei ole.

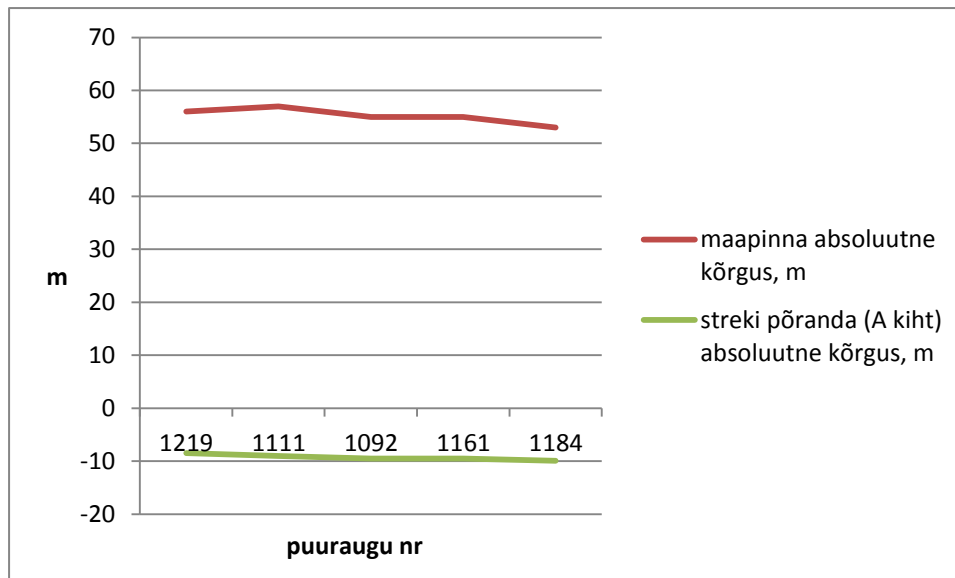


Joonis 13. Estonia kaevanduse liikluskeem. [Eesti Energia Kaevandused]

3.2.2. Geoloogitingimused

Suusatunneli rajamiseks valitud kohal puuduvad varisemiskohad. Samuti ei esine karstialad. Koha litoloogiline läbilõige vastab Estonia kaevanduse tüüpilisele läbilõikele, mis on vaadatud läbi ülalpool (Vt. Joonis 3). Surfii 321, mis asub 32. paneelstrekides, litoloogiline läbilõige on esitatud 2. lisan.

Estonia kaevanduse üldine sügavuse kasv toimub põhjast lõunapoole. 32. paneelstrekid on suunatud kagu poole. Nende kohal kaevanduse sügavus varieerub 63 kuni 66 m-ni langedes aga kagu suunas. See on tingitud maapinna kõrguse langusega mere pinna suhtes (Vt. Joonis 14). Strekkide lamami absoluutne kõrgus langeb -8,5 m-st merepinnast suusatunneli ehituse koha loodepunktis kuni -9,9 m-ni merepinnast suusatunneli kagupunktis. See tähendab, et veekõrvaldussüsteem suusatunnelis peab arvestama vee vooluga piki tunnelit kagu suunda.



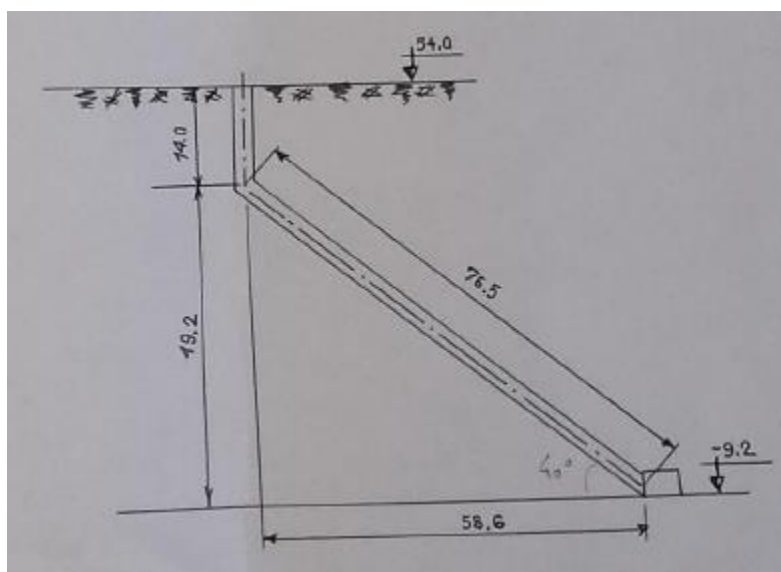
Joonis 14. 32. strekkide absoluutkõrgused. [autori poolt koostatud Lisa 4 alusel]

3.2.3. Tuulutus

32. paneelstrekid kasutatakse Estonia kaevanduse tuulutussüsteemis. Tuulutussurfid asuvad piki peastreki ja puhuvad värske õhku maa alla. Õhujuga liigub mööda peastrekke ja osa joast pöörab 32. paneelstrekki. Õhutõketesüsteem suunab õhujuga läbi 32, 34 ja 36 paneeli, kus õhk soojeneb massiivist temperatuurini 7-8 plusskraadi. Vanadest paneelidest sattub see töötavatesse plokkidesse. Piki suusatunneli töösooni on õhutõkkeseinad, mis ei lase õhku 31. paneeli sisse.

Suusatunneli ehitustsoonis asub 321. tuulutussurf, mis oli ettenähtud maa all asuvate kaeveõõnte tuulutamiseks, täpsemalt – heitõhujoa väljumiseks kaevandatud alast maapinnale. Tuulutussurfi konstruktsioon koosneb kahest osast – ülemine vertikaalne ja alumine kaldne osa (Vt. Joonis 15). Šurfi vertikaalne osa asub 32. tuulutusstreki kohal (Vt. Joonis 18). Selle osa pikkus on 14 m ja läbimõõt – 3 m. Tuulutussurfi kaldosa pikkus on 76,5, kallak - 40° ja kõrgus - 3 m.

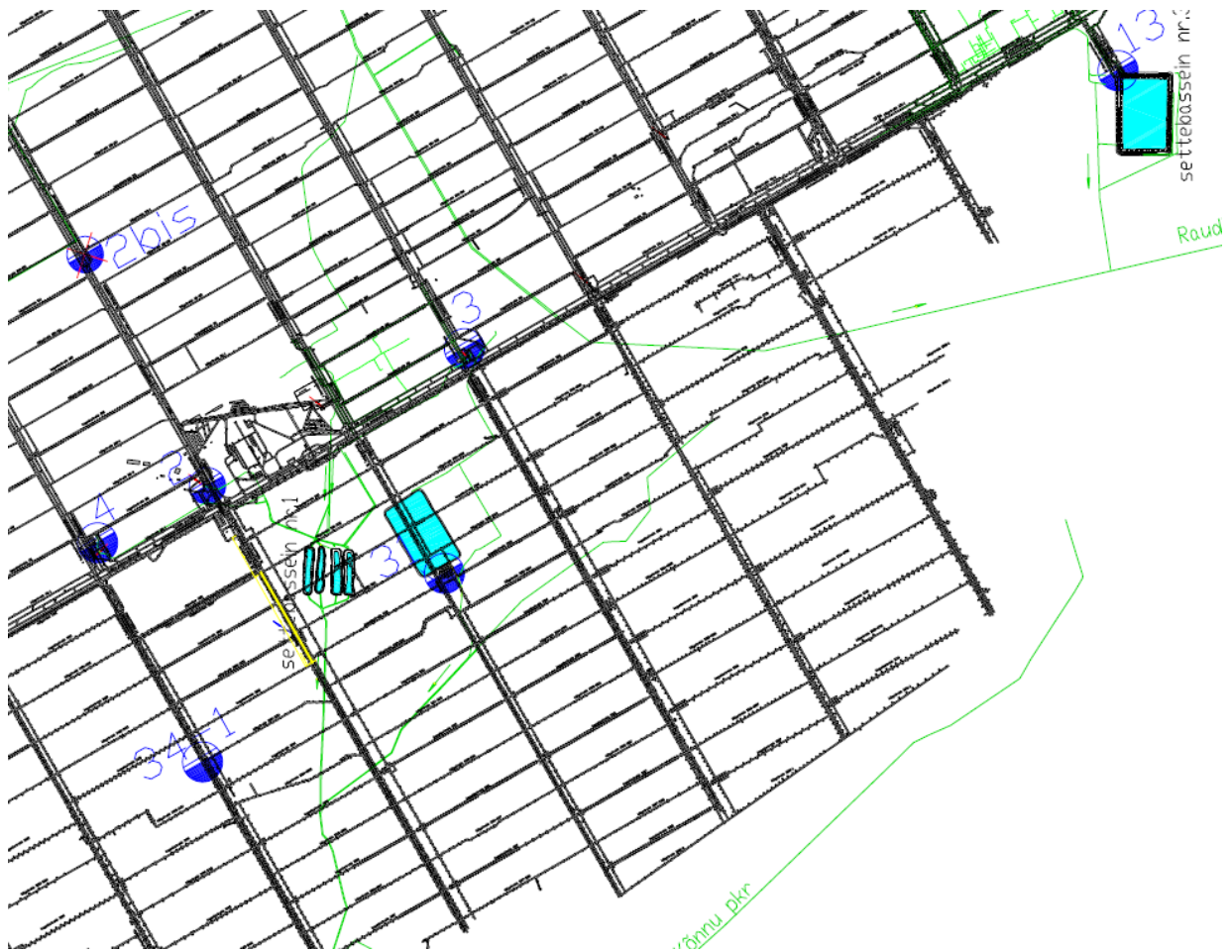
Tuulutussurf oli rajatud aastal 1996. Tänapäeval surf ei kasutata kuna 32. paneelis tootmist ei toimu. Seega surf oli likvideeritud – maetud mulla, killustiku ja betooniga.



Joonis 15. 321. tuulutusšurfi läbilõige. [Eesti Energia Kaevandused]

3.2.4. Veekõrvaldus

Geoloogilised kihid lasuvad kaldega põhjast lõunasse ja Estonia kaevandusse sattuv vesi loomulik voolamissuund on ka põhjast lõunasse. Kõikides kolmes 32. paneelstrekides on tehtud veekõrvaldussooned, mille kaudu voolab vesi veekõrvalduskraavi. Veekõrvalduskraav sattub 32. tuulustusstrekki külgstrekist 3202-3203 (Vt. Joonis 11 ja Lisa 5). Pikki 32. tuulustusstrekki liigub see kagu poole ja pöörab külgstrekki 3103-3104. Antud veekõrvalduskraav lõpeb 31. pumbajaama juures. 31. pumbajaam kogub vett kogu kaevanduse kagu osast. Teised pumbajaamad asuvad peastrekkidest loodes (Vt. Joonis 16). Pumbajaam pumpab vett maa peale, kus see sattub settebasseinisse ja pärast mööda kanaleid Rannapungerja jõkke.



Joonis 16. Estonia kaevanduse loode osa veekõrvaldussüsteem. [Eesti Energia Kaevandused]

31. pumbajaama pumbatud vee kogus moodustab 20 % kogu kaevandusega pumbatud veest. Keskmine kuu kogus ulatub ühe miljonini m³ vett (Vt. Tabel 2). Pumbajaam koosneb 6 pumbast ja nende kuu keskmine elektrienergia tarbimine on umbes 400 MWh.

Kuu	1	2	4	6	7	8	9	10	11	12	kokku
tuh. m ³	1 279	1 160	1 263	1 246	1 214	964	812	756	718	768	12 656
MWh	591	476	480	458	484	394	331	307	293	309	5 064

Tabel 2. Estonia kaevanduse 31. pumbajaama näitajad (pumbatud vee ja tarbitud elektrienergia kogus) aastal 2014. [Eesti Energia Kaevandused]

3.2.5. Muu infrastruktuur

Kaevanduse tehnoloogilise kompleksi juures asub Alutaguse alajaam (110/6 kV). Suusatunneli algusest on alajaamani 900 m. 400 m kaugusel asub lähim arteesiakaev (nr 2/4).

Arteesiakaev on joogi ja olmevee allikas. Tänapäeval köetakse Estonia kaevanduse hooned katlamajaga. Kütuseks kasutatakse põlevkiviõli.

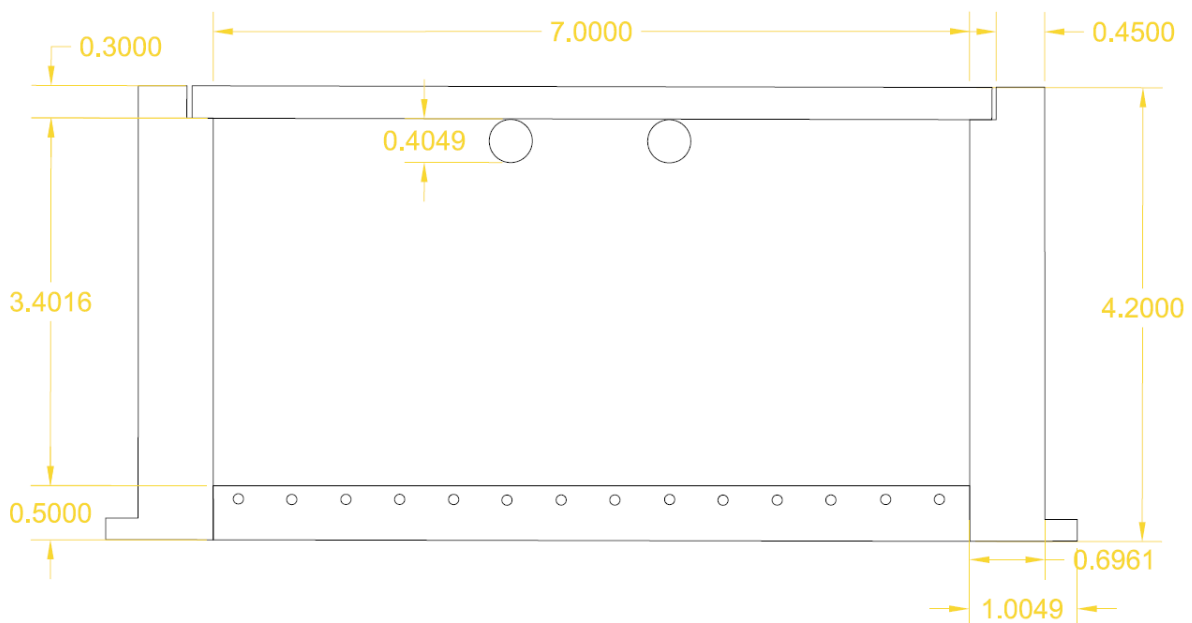
Kõike aspekte, mis mõjutavad tunneli koha valikule, uurimisel selgub, et valitud koht on kõige sobivam Estonia kaevanduses. Lähedane paigutus kaevanduse tehnoloogilisest kompleksist ja kaldšahtist aitab vähendada kulusid rajamisele, kuna logistiliselt on see parim koht väljatöötatud kaevanduse alast. Samal ajal asub suusatunneli ehitamise koht eemal kaevanduse tööstrekkidest ja ei sega tootmist. Valitud kohal on toimuv tuulutus- ja veekõrvaldussüsteem, mis vajab minimaalset kohandamist suusatunneli vajadusele, ja olemas vana tuulutusšurf. Heas seisukorras strekid ja head geoloogiatingimused soodustavad ohutut tööd valitud kohas suusatunneli rajamisel maa all ja peal.

4. SUUSATUNNELI RAJAMINE JA FUNKTSIONEERIMINE

4.1. Suusatunneli parameetrid

Esiteks on suusatunnel spordirajatis, mida rajatakse eesmärgina tagada suusatajatele mugavaid võimalusi suusatamiseks. Teiseks on see ainulaadne maa-alune ehitis, mille rajamisega on seotud omad ohud ja omad inseneriraskused. Sellest kontseptsioonist lähtudes muudetakse kaevanduse kaeveõõsi vastavalt suusatunneli vajadustele. Kuid samas tuleb arvestada kaevanduse, mäerõhu ja kivimite parameetritega, et tagada piisavat ohutust ja vähendada ehituskulusid.

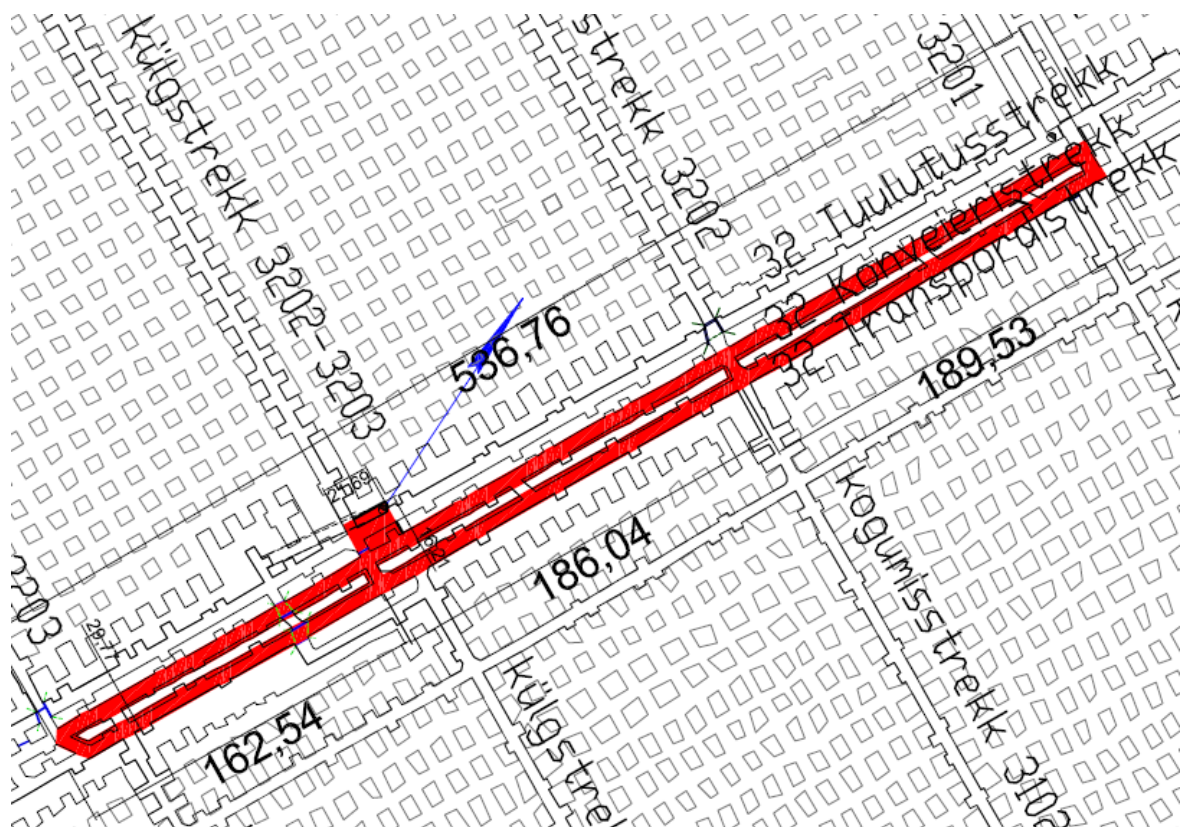
Joonis 17 on esitatud suusatunneli läbilõige koos parameetritega. Tunneli puhas laius on 7 m. See on minimaalne laius, mille puhul saavad suusatunnelis üheaegselt mahtuda laiuti kaks uisusammul ja kaks klassikalise sammuga suusatajat. Tunneli puhas kõrgus on 3 m., mis ei tekkita inimestes ebamugavuse ja kinnise ruumi tunnet. Lähtudes nimetatud suusatunneli lähteparameetritest arvutatakse rajatise muud mõõtmed.



Joonis 17. Suusatunneli läbilõige. [koostatud autori poolt]

Betoonpõranda paksus on 0,5 m. Põranda sees asuvad jahutustorud. Nende ülesandeks on hoida lume temperatuuri alla nulli kraadi. Lagi koosneb raudbetoonplaatidest paksusega umbes 0,3 m ja metalltaladest plaatide vahel. Lagi peab olema piisavalt tugev, et hoida riputatud ventilatsiooni, valgustust ja muid süsteeme. Samuti võtab lagi enda peale osa

põhi- ja vahetulae määrdhust. Ventilatsioonitorude läbimõõt on 0,4 m. Lagi tugineb raudbetoonpostidele, mis asuvad tunneli mõlemal pool. Postide mõõtmed on 0,7 x 0,7 x 4,2 m. Nende ülesandeks on peale lae hoidmiseks ka kattekivimite ülalhoidmine, kuna tervikute pindala vähendatakse ja postid hakkavad toimima lisatoestustena kaeveõõntes. Postide vahel on seinad kergemast materjalist, mille ülesandeks on hüdro- ja soojusisolatsioon. Postide täpsed mõõtmed ja vahemaad määratakse ehitusprojektiga. Kõik ehitusmaterjalid, millest koosneb suusatunnel, peavad olema isoleeritud vee sattumisest tunneli sisse ja samuti tagama minimaalse soojusevahetuse väliskeskkonnaga.

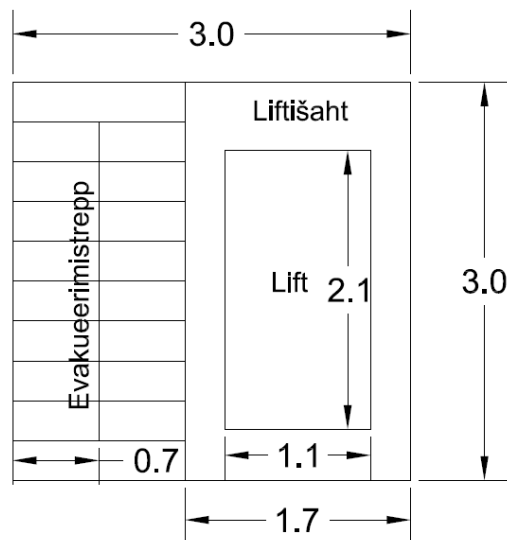


Joonis 18. Suusatunneli asumisplaan ja mõõtmed. [koostatud autori poolt Eesti Energia Kaevandused andmete alusel]

Suusatunnel kujutab endast ringi, kus on ühesuunaline liiklus (Vt. Joonis 18). Tunneli kogu pikkus on 1074 m, millest pool asub konveieristreki ja teine pool transportistreki. Poolte vahel asuvad paneelstrekitervikud ja tunneli keskel asub kaks vahekäigu, mis ühendavad tunnelipooli. Nende vahekäikude abil on võimalik vajadusel jagada suusatunnelit kolmeks väiksemaks ringiks. Sellel juhul ringide pikkused oleksid järgmised: 326, 372 ja 380 m. Suusatunneli keskosas asub stardiplats mõõtmetega 22 x 16 m. Plats on mõeldud puhkamis- ja ettevalmistuskohaks, kus saab istuda ja varustust panna. Stardiplatsil asub ka lift ja trepp maa

peale. Selleks vajaduseks kohandatakse 321. tuulutussurf, mille ülemine maapealne vertikaalne osa asub stardiplatsi nurgas. 32. tuulutusstrekki kasutatakse suusatunneli hooldamiseks. Tuulutusstrekis asuvad tuulutus-, veekõrvaldussüsteemid, muu infrastruktuur ja tunneli hooldusvarustus. Selle tagamiseks sobivad tuulutusstreki originaalmõõdud. Tuulutusstreki loodeservas asub teine šurf, kus asub trepp maa peale (evakueerimiskoht) ja teine ava tuulutuseks. Tuulutusstreki pikkuseks on 537 m ja keskmine laius umbes 5 m.

Eelnevalt oli öeldud, et endises 321. tuulutussurfis asub lift, trepp maa peale ja tuulutussaht (Vt. Joonis 19). Šurfi mõõtmed on 3 x 3 m. Lähtudes sellest on liftišahti mõõtmed 3 x 1,7 m ja trepišahti mõõtmed on 3 x 1,3 m. Selliste mõõtmetega liftišahti on võimalik mahtuda lifti mõõtmetega 1,1 x 2,1 m. Lifti mahutavus on sellel juhul 13 inimest ja koos varustusega see teeb umbes 7 inimest ühes liftis. Lifti kandevõime on 1000 kg. Sissepääs lifti sisse on võimalik kahest poolest üheaegselt. Tuulutuseks kasutatakse liftišahti ja treppi avad. [20]



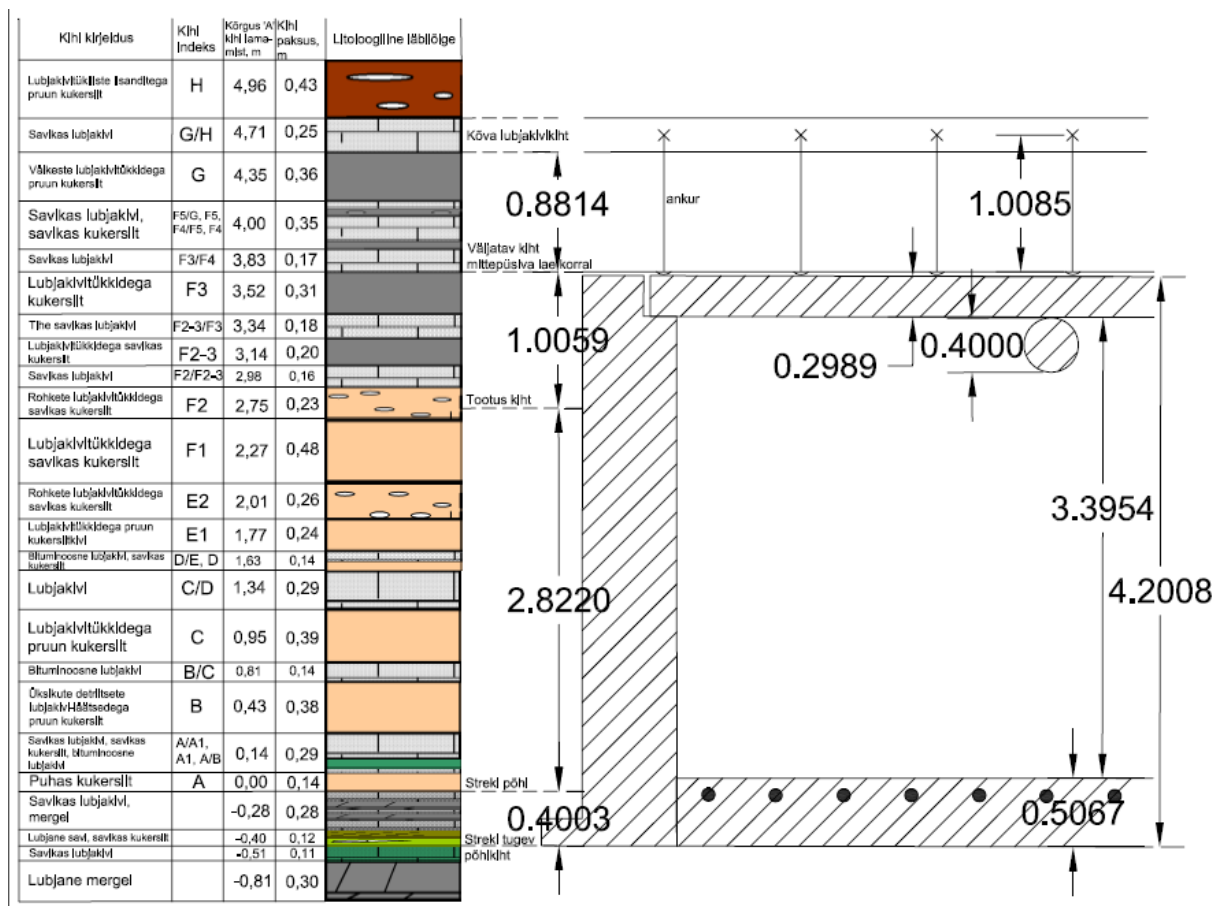
Joonis 19. Šurfi plaan. [koostatud autori poolt]

Suusatunnelis töötab automaatne kliimasüsteem. Loomulik tuulutus toimub tuulutusstrekis, kus on mõlemad tuulutsšurfid. Õhk liigub maa pealt läbi loodeservas asuva surfi tuulutusstrekki. Siin õhk kas soojeneb või jaheneb sõltuvalt sellest, mis on õhu temperatuur maa peal. Suusatunneli kliimasüsteem võtab sõltuvalt õhu temperatuuri vajadusest tuulutusõhku kas tunneli loodeservast, kaguservast või hoopis tunneli keskosast. Kasutatud õhk suunatakse 321. tuulutussurfi tagasi.

4.2. Strekkide ettevalmistamine suusatunneli rajamiseks

Kuna plaanitava suusatunneli parameetrid ületavad olemasolevate kaeveõõnte omasid, siis tuleb kasutatavaid strekke laiendada ja tagada lae toetust. See on esimene etapp suusatunneli rajamises.

See etapp algab lae kõrguse suurendamisega. Umbes 15 % kasutatavast territooriumist (80 m 538 m-st) on lae kõrgusega 3,8 m (Vt Joonis 12). Selline kõrgus on strekkide kaguosas. Muul territooriumil on keskmine lae kõrgus umbes 2,8 m. Savised kihid, mis asuvad 'A' põlevkivikihi all, annavad strekkide kõrgusele 0,4 m lisa (Vt. Joonis 20). Antud strekkides on need kihid heas seisukorras, kuna tol ajal kasutati rööbastransporti. Saviste kihtide eemaldamiseks täidetakse kaks ülesannet – suurendatakse streki kõrgust ja eemaldatakse madala vastupidavusega kihte, mis surve all hakkavad välja pressima.



Joonis 20. Suusatunneli ja litoloogiline läbilõige. [koostatud autori poolt Eesti Energia Kaevandused andmete alusel]

Pärast lamamikihtide eemaldamist on strekkide kaguosa kõrgus kokku umbes 4,2 m, mis piisab suusatunneli rajamiseks ja ei nõua suurendamist. Konveier- ja transpordistrekkide teistes osades tuleb lage tõsta ühe meetri võrra. Selleks võetakse F2 - F3 kihid ära. Pärast laiendamist jääb lae esimeseks kihiks F3/F4 savikas lubjakivikiht paksusega 0,17 m.

Arvestades reeglit, et ilma toetuseta võib olla ainult 4-meetriline laeriba, siis on tööprotsess järgmine:

1. Lõhkepuuraukude puurimine. Selleks kasutatakse laenguaukude puurimise puurseadet Atlas Copco Boomer S1D või analoogne masin. Laenguaukused puuritakse vastavalt lõhketööde passile, mis koostatakse koostöös lõhkeainetehase spetsialistidega. Puuraukused tehakse neljameetrilises plokis.
2. Lõhketööd. Lõhkeaine laetakse 4-meetrilise laeriba puuraukudesse ja teostatakse lõhkamist.
3. Kaevisse koristamine. Pärast lõhkamist veetakse saadud kaevis kõrvalplokkidesse. See kaevis ei saa võtta toodanguks, kuna see sisaldab metalli (vana ankurtoestik) ja on madala kütteväärtusega.
4. Lae toestamine. Ankrutoestikku paigaldamiseks puuritakse lakke vastavalt toetuspassile puuraugud. Pärast toimub ankrute paigaldamine lakke. Toestamiseks kasutatakse ühemeetrilisi ankruid, mida kinnitatakse G/H lubjakivi kihti. Ankurtoestiku parameetrite arvutusel ja toetuspassi koostamisel lähtutakse juhendist "Kiilmuhv-ankurtoestiku kasutamishend põlevkivi kaevandamisel" (EP/06.09.1999).

Selles järjekorras tõstetakse lagi 4600 m² pindalas konveier- ja transpordistrekkides.

Laiuse suurendamine on järgmiseks ülesandeks kaeveõõnte kohandamisel suusatunneli rajamisele. Nii konveieristrekis, kui ka transpordistrekis tuleb vähendada tervikute laius kahe meetri võrra kaeveõõnte kogu pikkuse ulatuses. Transpordistrekk laiendatakse barjääritervikute arvelt (Vt. Joonis 18). Barjääritervikud asuvad transpordistreki ja plokkide vahel ning nende laius on 8 – 17 m sõltuvalt süvendite-kambrite olemasolust. Konveierstreki laiendamiseks vähendatakse konveier- ja transpordistrekkide vahel asuvad hoidetervikud. Nende keskmine laius on 7 m.

Barjääritervikuid, mida on vaja vähendada, on kokku 6 tükki. Hoidetervikute lint koosneb 8 väiksematest linttervikutest. Paneelstrekitervikute lint koosneb 8 linttervikutest. Kõikides nendes tervikutes asuvad süvendid-kambrid. Valdav osa kambritest on sügavusega 3 m.

Kaeveõõnte laiendamiseks ehk tervikute laiuse vähendamiseks kasutatakse puurlõhketöid. Sellel juhul on parem kasutada tervikute pikipuurimist:

1. Lõhkepuuraukude puurimine. Tervikute pikkupidi puuritakse laenguaugud. Puuraugud on puurinstrumendi maksimaalse pikkusega.
2. Lõhketööd. Lõhkeaine laetakse puuraukudesse ja teostatakse lõhkamist.
3. Kaevisse koristamine. Pärast lõhkamist veetakse saadud kaevis kõrvalplokkidesse. See kaevis sobib ka toodanguks ja kasutatakse sõltuvalt Estonia kaevanduse huvidest.
4. Lae toestamine. Kahemeetriline laeriba jääb tervikute pikkupidi toestuseta. Pärast toimub ankrute paigaldamine lakke. Toestamiseks kasutatakse ühemeetrilisi ankruid, mida kinnitatakse G/H lubjakivi kihti. Ankurtoestiku parameetrite arvutusel ja toetuspassi koostamisel lähtutakse juhendist "Kiilmuhv-ankurtoestiku kasutamishandbook põlevkivi kaevandamisel" (EP/06.09.1999).
5. Süvendite lõhkamine suusatunneli postide jaoks. Lähtudes ehitusprojektist pannakse raudbetoonpostid teatud vahemikuga suusatunneli lae toestamiseks. Mõnede postide asukoht kattub süvendite-kambrite asukohaga kokku. Vastasel juhul tuleb süvendeid eraldi puurida ja lõhata.

Pritsbetooni, millega kaetatakse tervikuid kõikides kolmes strekkides, kasutatakse tervikute tugevdamiseks ja kaitsmiseks välisfaktoritest. See pikendab tervikute eluiga ja tõstab nende varutegurit.

Lisameetmete kasutamine suusatunneli rajamisel või selle töötamisel sõltub lähis- ja põhilae stabiilsuse hindamisest. Suurt tähelepanu on siin vaja pöörata stardiplatsi toetusele kuna platsi suurus ületab kordades tavaliste kaeveõõnte laiust.

4.3. Lähis- ja põhilae stabiilsuse hindamine

Kaevanduse toestussüsteemil on kaks eesmärki. Esimeseks on hoida lähislagi varisemise eest ning selleks kasutatakse Estonia kaevanduses ankurtoestik. Teiseks eesmärgiks on põhilae hoidmine ning selleks on ettenähtud tervikud. Kaeveõõnte mõõtmete muutmine (laienemine)

suusatunneli tarbeks mõjutab nii lähis-, kui põhilage. Selleks, et tagada ohutust tunneli rajamise ja kasutamise käigus, tuleb arvutada, kuidas muutuvad kaeveõõnte toestamisparameetrid. Pärast seda tuleb vajadusel läbi mõelda täiendavad toetusmehhanismid.

4.3.1. Lähislae lubatud ava suuruse arvutuse meetodika

Kamberkaevandamisel määratakse kambrite laius lubatud ava suuruse järgi, kus on võetud arvesse ka ankurtoestiku mõju lae püsivusele. Töö raames tuleb kontrollida, et muudetud kaeveõõne laius ei ületa lubatud ava suurust. Vastasel juhul tuleb ette võtta täiendavaid toetusmeetmeid. Lähislae lubatud ava suuruse arvutus tehakse meetodika alusel, mis on kirjeldatud 'Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhendis'. Lähislae lubatud ava suurus arvutatakse järgmise valemi abil [21]:

$$l_{l.l.} = k_H \times k_p \times k_a \times k_0 \times \sqrt{\frac{k_t}{n_l}} \times (K + M \times H_k), \quad (1.1)$$

kus $l_{l.l.}$ - lähislae lubatud ava suurus, m; k_H - hoitava objekti tähtsust arvestav koefitsient; k_p - koefitsient, mis arvestab lae püsivust sõltuvalt kaevandamise mäegeoloogilistest tingimustest; k_a - koefitsient, mis võtab arvesse ankurtoestiku mõju lae püsivusele; k_0 - koefitsient, mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul; k_t - kivimite tugevuse muutumist ajas iseloomustav koefitsient; n_l - laekivimite tugevuse varutegur; K ja M parameetrid, mis sõltuvad kivimite omadustest (K - meetrites, M – dimensioonita suurus); H_k - karbonaatsete kivimite paksus, m.

Töös kasutatakse parameetrite järgmiseid väärtusi. Hoitava objekti tähtsust arvestav koefitsient (k_H) on 0,75, mis rakendatakse II klassi objektide puhul. Lae püsivuse koefitsiendiks (k_p), mis sõltub kaevandamise mäegeoloogilistest tingimustest, on 1. See vastab kõrgele lae püsivusele (Vt. Tabel 3). Kasutatavate strekkide vanuseks on umbes 20 aastat, aga need on veel heas seisundis ja ilma varinguteta. Ankurtoestiku mõju lae püsivusele arvestatav koefitsiendi (k_a) väärtus arvutatakse järgmise valemi abil [21]:

$$k_a = 0,5 \times (1 - \sqrt{h_a}), \quad (1.2)$$

kus h_a – ankrutega toestatava kihistiku paksus, m;

Asendades valemis 1.2 kihi paksust 1 m saame ankurtoestiku mõju lae püsivusele arvestatava koefitsiendi väärtuseks 1. Lae nõrgenemist karsti mõjul arvestatava koefitsiendi (k_0) väärtuseks on 1. See koefitsient sõltub karstisooni kaugusest. Kui mäetööde kaugus karstisoonist on kuni 60 m, siis $k_0 = 0,8$, kui üle 60 m, siis $k_0 = 1$. Kivimite tugevuse muutumist ajas iseloomustava koefitsiendi (k_t) väärtuseks on 0,44, mis on koefitsiendi piirväärtuseks kaeveõõne ea lähenemisel lõpmatusale. Laekivimite tugevuse varuteguri (n_t) väärtuseks on 2,3. Sellel juhul kivimite roomavus jääb ära. Lähislae alumise, ühemeetrise kihistiku jaoks on kivimite omadustest sõltuvad parameetrid $K = 7$ m ja $M = 0,54$ (kui $5 \leq H_k \leq 26$ m). Kui $H_k > 26$ m, siis lähislae lubatud ava on sama suur kui $H_k = 26$ m puhul. Järelikult karbonaatse kivimite paksuse (H_k) väärtuseks on ka 26 m.

Laetüüp	Lae püsivus	Tektooniliste lõhede vahemaa laes, m	Lae püsivuskoefitsient, k_p
1	Kõrge	20	1,0
2	Keskmine	10 - 20	0,85
3	Madal	10	0,7
4	Ebapüsiv	3 - 5	0,55

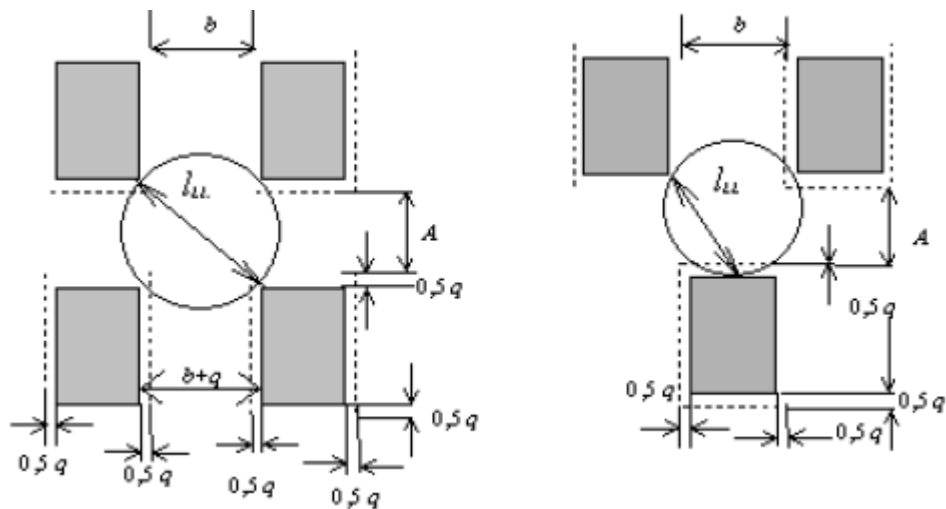
Tabel 3. Lae püsivuse koefitsient k_p . [21]

4.3.2. Lähislae lubatud ava suuruse arvutuse tulemused

Asendades antud parameetrite väärtuseid valemis 1.1 saame, et lähislae lubatud ava suurus on 6,9 m. Lähislae ava suurust tuleb kontrollida Joonis 21 esitatud viisil. Suurem osa suusatunneli kaeveõõntest on laiusega 7 m. Mõnedes kohtades, kus on suusatunneli pöörded ja ristuvad süvendid-kambrid strekkide vahekaikudega, lähislae ava suurus ulatub 10 m-ni. Sellistes kohtades tuleb teha ankurtoestiku võrku kaks korda tihedamalt. Seega ankurtoestiku mõju lae püsivusele arvestatavaks koefitsiendi (k_a) väärtuseks saab võtta 1,5. Kokkuvõttes teeb see lähislae lubatud ava suuruseks 10,4 m.

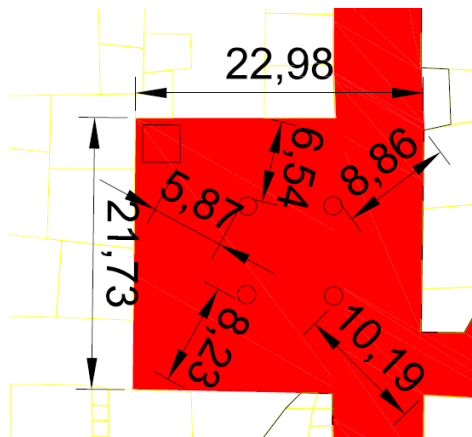
Siin tuleb märkida, et kivimite tugevuse muutumist ajas iseloomustavaks koefitsiendi (k_t) ja laekivimite tugevuse varuteguri (n_t) väärtusteks on võetud äärmised numbrid, mida kasutatakse juhul, kui kaeveõõnte ea läheneb lõpmatusale. Kui aga võtta, et suusatunneli rajamine kestab ühe aasta, siis antud parameetrite muutus annab lähislae lubatud ava suuruseks 8,6 m (juhul, kui kõik teised parameetrid on esialgsete väärtustega). Pikemas

perspektiivis on lähislae lisatoestuseks suusatunneli raudbetoonlagi, metallist talad ja raudbetoonpostid.



Joonis 21. Tervikute asumise võimalused: a) tervikud asuvad täisnurkselt lõikuvates ridades (kaeveõõned ristuvad), b) tervikud on paigutatud malelauakujuliselt (kaeveõõnte ühenduskoht on T-kujuline). [21]

Suusatunneli rajamisel on erandiks stardiplats. Selle mõõtmed on 22 m x 23 m. Järelikult stardiplatsi mõõtmed ületavad lähislae lubatud ava suurust umbes kaks korda ja strekkide lähislae toestamiseks kasutatud meetmetest siin ei piisa. Lahenduseks on kahekordne ankurtoestiku võrk ja hoidepostid, mida paigaldatakse tunneli rajamise ajaks. Tihe ankrutoestiku võrk, kivimite tugevuse muutumist ajas iseloomustava koefitsiendi (k_t) ja laekivimite tugevuse varuteguri (n_l) väärtused kaeveõõne ea ühe aasta juures annavad lähislae lubatud piirava suuruseks 13 m. Lähtudes sellest stardiplatsi rajamise ajal püstitakse platsi keskel neli hoideposti (Vt. Joonis 22). Selleks võib kasutada samu poste, mida pannakse suusatunneli lae hoidmiseks (Vt. Joonis 17). Postide mõõtmeteks on 0,7 x 0,7 x 4,2 m. Maksimaalne postide kaugus platsi äärtest sellel juhul ei ületa 11 m.



Joonis 22. Suusatunneli stardiplatsi plaan. [koostatud autori poolt]

4.3.3. Tervikute kandevõime analüüsi meetodi valik

Suusatunneli tervikute kandevõime analüüsiks kasutatakse kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse meetodit. Antud meetod on põhjalikult kirjeldatud O. Nikitini doktoritöös, kus on välja töötatud ja analüüsitud viit võimalikku prognoosimeetodit [22]:

1. prognoos terviku püsivuse järgi,
2. prognoos statistiliste andmete alusel,
3. prognoos kivimi pikaajalise tugevuse järgi,
4. prognoos konvergenstõrgete järgi,
5. prognoos kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse järgi.

Prognoos kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse järgi osutus analüüsi käigus üheks perspektiivsemaks uurimismeetodiks. Meetod põhineb kambrite ja tervikute geomeetrisel parameetritel, mis ei arvesta geoloogilisi iseärasusi ja kivimite omadusi. See meetod on valitud suusatunneli tervikute kandevõime analüüsiks lähtudes meetodi järgmistest eelistustest [22]:

1. kasutamise lihtsus;
2. modelleeritavus arvutil;
3. tulemuste ülevaatlikkus ja küllaltki suur täpsus;
4. sobivus pikaajaliseks prognoosiks.

Kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse meetodi puudused on järgmised [22]:

1. Meetodi väljatöötamine on aeganõudev ja keeruline protsess, mis vajab suuri aja- ja materiaalseid kulusid.
2. Meetod nõuab iga üksiku protsessi füüsikalise sisu avamist ja matemaatiliste valemitega kirjeldamist.
3. Iga mõjufaktori arvestamine prognoosiprotsessis on küllaltki keerukas protsess, mis aga on teostatav arvutil.

4.3.4. Kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse meetodika

Stiihiliste varingute analüüsiks kaeveõõntes on otstarbekas kasutada kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse meetodeid. Kandetegur avaldub järgmise valemiga [23]:

$$K = \frac{S_p}{S_r}, \quad (2.1)$$

kus K – kandetegur; S_p – terviku ristlõikepindala, m²; S_r – lae pindala ühe terviku kohta, m².

Ekvivalentne sügavus arvutatakse järgmise valemiga [23]:

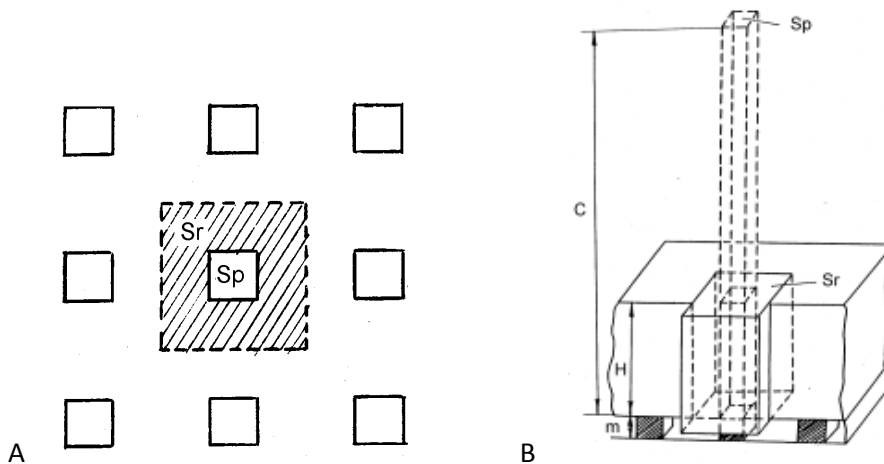
$$C = \frac{H}{K}, \quad (2.2)$$

kus C – ekvivalentne sügavus, m; H – kattekivimite paksus, m.

Kandetegur arvestab ainult terviku ja lae geomeetrilisi parameetreid ehk näitab terviku ja sellega hoidava lae pindala suhet (Vt. Joonis 23). Uuringute järgi on see meetod rakendatav, kui kattekivimite paksus kõigub alla 5%. Ekvivalentse sügavuse meetod kasutatakse erinevates sügavustes asuvate kaeveõõnte analüüsiks. Ekvivalentne sügavus määrab kattekivimite prisma kõrguse, mille ristlõikepindala on võrdne terviku ristlõikepindalaga. Selle meetodi kasutamise eelis on selles, et ta võrdeline tervikule mõjuva pingega [23, 22]:

$$\sigma = \gamma \times C, \quad (2.3)$$

kus σ - tervikule mõjuv pinge, Pa; γ - kattekivimite mahukaal, N/m³.



Joonis 23. Kandeteguri (A) ja ekvivalentse sügavuse (B) geomeetriline interpretatsioon. [23]

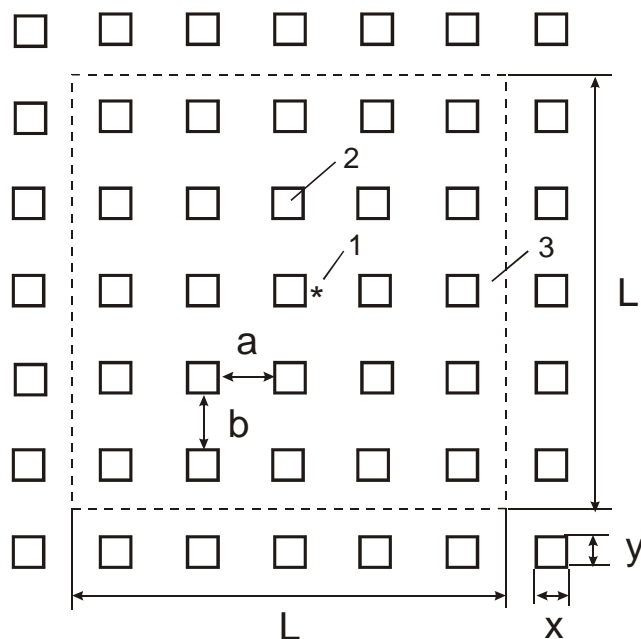
Tervikute koormus sõltub parameetrite kompleksist, mis viib kriitilise piirava mõisteni. Kriitiline piirava on maksimaalne kaeveõõne laius, kus lagi deformeerub varisemata, või seal asuvate tervikute olemasolul langeb nendele kogu kattekivimite raskus. [22, 24, 25]

Kriitiline piirava Eesti põlevkivikaevanduste tingimustes avaldub järgmise seosega [25]:

$$L > 1,2H + 10, \quad (2.4)$$

kus L – kriitiline piirava, m.

Stiihiliste varingute teoreetiline analüüs ja kaevanduseksperimendid on näidanud, et varing võib toimuda ainult teatud kindlal pindalal, mis on seotud kriitilise piirava mõistega. Praktikas selleks kujundiks on ring vastavate parameetritega. Arvutuste lihtsustamiseks ja modelleerimiseks arvutil on otstarbekas võtta selleks pinnaks ruut, mille mõõtmed on võrdsed kriitilise piirava väärtusega (Vt. Joonis 24). Kriitiline pind on minimaalne pind, mille korral kogu kattekivimite koormus langeb tervikutele. Tervikute purunemise korral ulatub varing maapinnani, mis põhjustab maapinna vajumise. Sisuliselt kujutab kriitiline pind varingukollet, mis teatud tingimustel võib laieneda. [22]



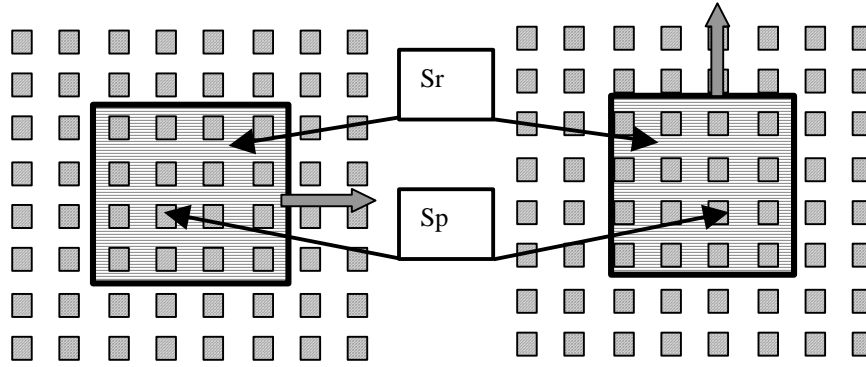
Joonis 24. Kriitiline pind: 1 – reeper; 2 – tervik; 3 - kriitiline pind; a, b – vastavalt põik- ja pikikambri laius; x, y – terviku mõõtmed; L – kriitiline piirava. [22]

Kandetegur ja ekvivalentne sügavus kriitilise piirava jaoks avalduvad järgmise seosega [26]:

$$K_k = \frac{\sum S_{pi}}{\sum S_{ri}}, \quad C_k = \frac{H_a}{K_k}, \quad (2.5)$$

kus K_k – kontuuri kandetegur; C_k – kontuuri ekvivalentne sügavus, m; $\sum S_{pi}$ – summaarne tervikute ristlõikepindala kontuuris, m²; $\sum S_{ri}$ – kontuuri pindala, m²; H_a – kattekivimite keskmine paksus kontuuris, m.

Kandetegurit ja ekvivalentset sügavust on otstarbekas kasutada koos libiseva kontuuri meetodiga (Vt. Joonis 25). Selles meetodis liigub kontuur mööda kaeveõõnt (x- ja y-telgede suunas), haarates kõik võimalikud positsioonid. Kontuuri liikumise sammuks on 15 m, mis on orienteeruvalt kambri laiuse ja terviku pikkuse (laiuse) summa. Libisev kontuur kambriplokis võimaldab hinnata varingukolde ja -ala asukohta ja parameetreid. [22, 26]



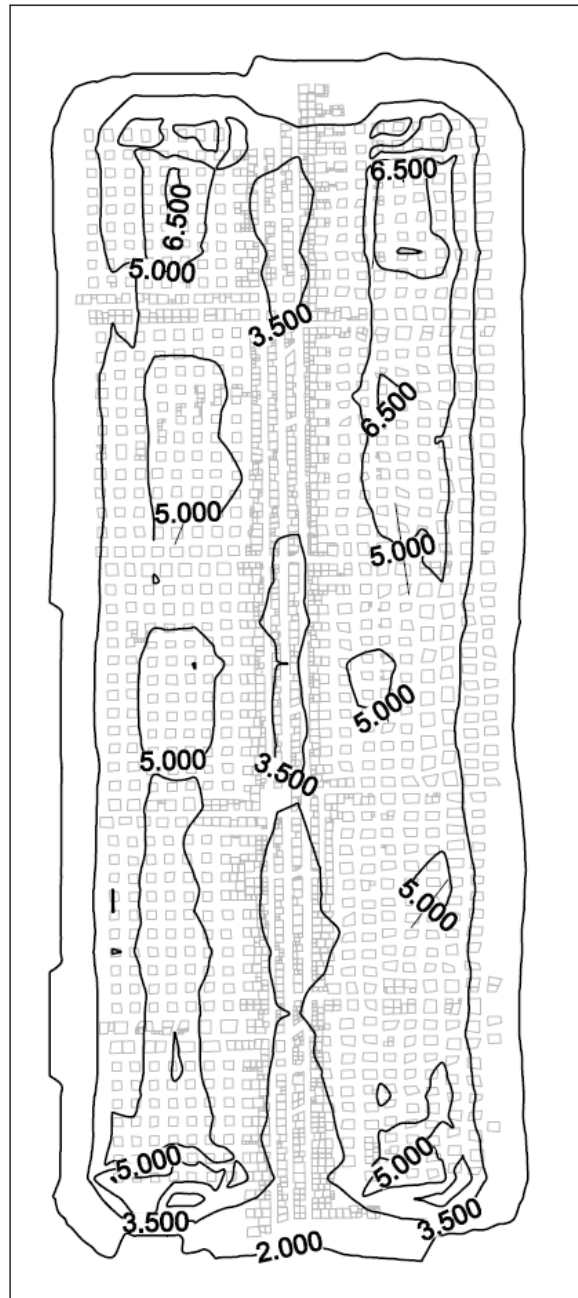
Joonis 25. Libiseva kontuuri interpretatsioon. [22]

4.3.5. Analüüs Kandeteguri ja ekvivalentse sügavuse järgi

Analüüsi läbiviimiseks kasutatakse O. Nikitini poolt koostatud arvutimudel, mis välistab algandmete käsitsi sisestamist. Automatiseerimiseks on kasutatud Visual Basic Script ja Corel Draw tarkvara. Mudel kasutab tervikute koordinaate ja pindalade suuruseid AutoCAD'i joonistest ning arvutab tervikutele mõjuva pinget kasutades libiseva kontuuri meetodi.

Suusatunneli tsooni jaoks puhul on kattekivimite mahukaal (γ) 0,025 N/m³, kattekivimite keskmine paksus kontuuris (H_a) on 60 m, kriitiline piirava (L) on 82 m ning kontuuri pindala (ΣS_{ri}) on 6724 m². Neid väärtuseid asendatakse valemitesse 2.3 ja 2.5, summaarne tervikute ristlõikepindala kontuuris (ΣS_{pi}) arvutus toimub arvutis. Arvutus tehakse suusatunneli strekkidest tervikuteni, mis on 110 m kaugusel ja ei avaldu mõju strekkidele (Vt. **Error! Reference source not found.**). Ala, mis on uuritava ploki ümber, pingeks on igal pool arvutuste lihtsustamiseks võetud 1,5 MPa (see tulemus on saadud, kui ΣS_{pi} on võrdne ΣS_{ri}). Eesti leiupaiga põlevkivikihi jaoks tuleb tervikute tingliku hetktugevuse (R_0) ja kestustugevuse alampiiri (R_∞) keskmisteks väärtusteks võtta järgmised suurused: $R_0 = 16,0$ MPa ja $R_\infty = 7,0$ MPa. See tähendab, et tervikule mõjuv pinge ei saa ületada 6,5 MPa. Vastasel juhul kaeveõõned nõuavad lisatoestust, et vältida põhilae varisemist.

Joonis 26 on esitatud arvutuste tulemus. Pinge, mis kehtib suusatunneli paneelstrekkides ei ületa 4 MPa. Isegi stardiplatsi juures pinge on normide piires. Kuid kõrval plokkides on kolm potentsiaalset varingukollet. Suusatunneli jaoks need ei ole aga ohtlikud. Massiivsed barjääriterrivikud piiravad kõrvalolevaid kaevrõõneid kollete liikumisest kõrval plokkidesse.



Joonis 26. Modifitseeritud tervikutele mõjuv pinge (MPa), samaväärtusjooned. [koostatud autori poolt]

Lähis- ja põhilae stabiilsuse hindamine näitas positiivset tulemust. Nii lähislae, kui ka põhilae jaoks ei ole spetsiaalsete lisatoestuste projekteerimisel vajadust. See kehtib suusatunneli rajamise ja funktsioneerimise perioodi jaoks. Erandiks on stardiplats, mis on vaja tugevdada rajamise ajal - püstitada neli posti lähislae hoidmiseks. Suusatunneli kohtades aga, kus lähislae ava suurus on rohkem kui 7 m, tuleb paigaldada kahekordse tihedusega

ankurtoestikku. Lisatoestuseks võib pidada suusatunneli konstruktsiooni ja tervikute pritsbetooni kaitsmist.

4.4. Suusatunneli tuulutussüsteem

Tuulutuse funktsioneerimiseks suusatunnelis nii kaevanduse töötamise ajal, kui ka autonoomselt, tuleb esialgu taasavada ja juurde rajada 321. tuulutussurfi. Šurfi ülemist 14-meetrilist vertikaalset osa, mis on maetud killustiku ja mullaga, tuleb lahti kaevandada ekskavaatoriga (Vt. Joonis 15). Ülejäänud 48 m sügavusse streki laeni kaevandatakse puur-lõhketöödega (Estonia kaevanduse tänapäevane tehnoloogia). Läbi 321. tuulutussurfi toimub õhujoo väljumine maa peale. Värske õhu saamiseks kasutatakse kaevanduse töötamise ajal olemasolevat tuulutussüsteemi.

Suusatunnelis on vaja rajada teist tuulutussurfi autonoomseks tuulutuseks. Uus tuulutussurf asub suusatunneli loodeservas. Selle šurfi kaudu toimub õhujuga sissepuhumine, milleks paigaldatakse šurfis tuulutusventilaator. Samuti hakkab uues šurfis asuma teine evakueerimistrepp.

Õhu kogus, mis on vaja inimestele suusatunneli rajamiseks ja funktsioneerimiseks arvutatakse vastavalt „Põlevkivikaevanduse tuulutusplaani koostamise juhendile“. Kaeveõõnte laiendamise töid, mida tehakse suusatunneli rajamise käigus, on tehnoloogiliselt väga sarnane läbindustöödega. Mõlemal juhul lõhetakse, materjali koristamisel töötavad üheaegselt kolm masinat (laadur, kallur ja abimasin) ja tööes töötavad inimesed. Seega tuulutamiseks vajaliku õhuhulga arvutamine toimub analoogselt läbinduskaeveõõnele. Tuulutamiseks vajaliku õhuhulga arvutamine toimub järgmiste faktorite järgi [27]:

1. ees töötavate inimeste arvu järgi;
2. lõhketöödel eralduvate gaaside kontsentratsiooni järgi;
3. diiselajamiga masinate heitgaaside kontsentratsiooni järgi.

Edasiste arvutuste jaoks võetakse eelnimetatud faktoritest suurim väärtus. Läbinduskaeveõõne puhul on suurimaks faktoriks kolmas. Suusatunneli laiendamiseks kasutatakse kordades vähem lõhkeainet ning järelikult sellel juhul õhuhulga arvutamine tehakse diiselajamiga masinate heitgaaside järgi. [27]

Vajalik õhuhulk diiselajamiga masina heitgaaside lahjendamiseks allmaakaevetööde lubatava kontsentratsioonini arvutatakse järgmise valemi järgi [27]:

$$Q_{esi} = g \times T, \quad (3.1)$$

kus g - minuti jooksul eralduvate heitgaaside hulk, m^3/min ; T - heitgaaside toksilisus.

$$g = n \times V, \quad (3.2)$$

kus n - diiselajami pöörete arv töökäigul, p/min ; V - diiselajami silindri maht, m^3 .

$$T = \frac{\sum k_i \times c_i}{c_{lub}}, \quad (3.3)$$

kus k_i - kahjuliku gaasi lubatud kontratsiooni ümberarvutustegur tinglikule vingugaasi lubatud kontsentratsioonile ($CO = 1$, $NO_2 = 6,5$); c_i - kahjuliku gaasi kontsentratsiooni heitgaasides, %; c_{lub} - vingugaasi lubatud kontsentratsioon, %.

Kasutades eelnevalt toodud valemeid ja masinate parameetreid (Vt. Tabel 4), mis töötavad üheaegselt tööees, arvutatakse välja vajalikku värsket õhu hulka. Antud juhul on vaja suusatunneli rajamise ajal tagada $855 m^3$ värsket õhku minutis.

Nimetus	Liik	n, p/min	V, m ³	g, m ³ /min	C ₁ , CO	C ₂ , NO ₂	T	Q _{esi} , m ³ /min
Wagner ST-3.5	laadur	2300	0,013	29,35	0,006	0,004	14,35	421,1
Manitow MLT 627T	abimasin	2200	0,004	9,68	0,017	0,005	23,04	223,0
MB Atego	kallur	2300	0,004	9,77	0,023	0,004	21,54	210,5

Tabel 4. Läbinduses töötav tehnika nimekiri. [Eesti Energia Kaevandused]

Suusatunneli funktsioneerimise ajal on peamiseks parameetriks vajalikku õhuhulga arvutamiseks maa all olevate inimeste arv. Vajalik õhuhulk arvutatakse järgmise valemi järgi [27]:

$$Q_{esi} = n \times q, \quad (3.4)$$

kus n - üheaegselt maa all viibivate inimeste maksimaalne arv; q - normatiivne õhuhulk inimese kohta ($q = 6 \text{ m}^3/\text{min}$).

Eeldatakse, et üheaegselt mahub tunneli suusatrassile umbes 200 inimest (kui suusatajate vahel on distants 5 m). Arvestades koos personalitöötajaid ja külatajaid saame suusatunneli maksimaalseks mahutavuseks 200 inimest ühel ajal. Järelikult on suusatunnelis maa all vajalikuks õhuhulgaks 1200 m^3 värsket õhku minutis.

Ohutus ja töökeskkonna komfort sõltub õhuhulga kiirusest. Õhuhulga maksimaalsed kiirused asuvad diapsoonis 4 – 15 m/s, minimaalsed aga – diapsoonis 0,25 – 2,0 m/s. Õhuhulga kiirus sõltub õhu kogusest ja kaeveõõne ristlõike pindlast ja avaldub järgmise valemiga [28]:

$$v = \frac{Q}{S}, \quad (3.5)$$

kus v – õhuhulga kiirus kaeveõõnes, m/s; Q – õhukoguse etteanne, m^3/s ; S – kaeveõõne ristlõike pindala, m^2 .

Õhuhulga kiirused suusatunneli štrekkides on normide piires. Tuulutusštrekis liigub õhk tunneli funktsioneerimise ajal 1,4 m/s. Beauforti skaala järgi positioneeritakse sellist kiirust nagu vaikset tuult. Õhu kiirus 4,1 m/s, mis on 321. tuulutusšurfis suusatunneli funktsioneerimise ajal, tekitab nõrka tuult. [29]

Projekti etapp	Koht	Q, m ³ /min	S, m ²	V, m/s
Ehitus	tuulutusštrekk	855	14	1,0
	321. tuulutusšurf	855	4,89	2,9
	uus tuulutusšurf	855	5,1	2,8
Funktsioneerimine	tuulutusštrekk	1200	14	1,4
	321. tuulutusšurf	1200	4,89	4,1
	uus tuulutusšurf	1200	5,1	3,9

Tabel 5. Õhuhulga kiirus erinevate parameetrite puhul. [koostatud autori poolt]

4.5. Suusatunneli veekõrvaldussüsteem

Kaevanduse funktsioneerimise ajal kasutatakse olemasolevat veekõrvaldussüsteemi. Saabuv vesi juhitakse läbi tuulutusštrekis asuva veekõrvalduskraavi 31. pumbajaama. Vee

kogumiseks teistest suusatunneli strekkidest veekõrvalduskraavisse kasutatakse kapitaalselt ehitatud väiksemaid kraave ja torusid.

Enne kaevanduse sulgemist ja ülejutamist isoleeritakse suusatunneli strekid veekindlate tõketega. Suusatunneli tsooni täieliku isoleerimiseks tuleb rajada 17 veetõket 32. paneelstrekides tunneli mõlemal pool ja igas külgstrekis, mis ristub tunneliga. Arvestades veetõkete rajamise kogemusi Eesti põlevkivimaardlas võetakse tõkete paksuseks 2,0 m. [30]

Kuid veekindlate tõkete püstitamine ei aita täiesti isoleerida suusatunneli tsooni ja vesi hakkab sattuma läbi lõhede kivimassiviis ja kivikihtide vahelt. Eeldatakse, et vee kogus hakkab võrduma olemasolevale vee kogusele Estonia kaevanduse kagu osas ehk 31. pumbajaama pumbavale kogusele (12 700 tuh. m³ aastas).

Veekõrvalduse autonoomseks toimimiseks tuleb suusatunneli tsooni rajada veepumbajaam. Selleks kasutatakse kolme suusatunnelist kagupool paneelstrekki. Pumbajaama veekogur peab mahutama endasse minimaalselt neljatunnilise loomulikku vee juurdevoolu. Kaevanduse osa jaoks, kus rajatakse suusatunnel, on loomlikuks vee juurdevooluks 1000 m³ tunnis. Suusatunneli kaguosast on külgstrekini 3103-3104 umbes 130 m ming paneelstrekide pindala 1950 m². Juhul, kui rajada veekogurit veekõrvalduskraavi sügavusega ehk 3,5 m, siis koguri maht on 7385 m³ (koos olemasolevaga veekõrvalduskraaviga mõõtmetega 160 x 3,5 x 1 m). Sellest ruumist piisab, et mahutada seitsmetunnilise loomulikku vee juurdevoolu. Analoogselt 31. pumbajaamaga paigaldatakse suusatunnelisse kuus veepumpa. [31]

4.7. Suusatunneli muu infrastruktuur

Estonia kaevanduse tehnoloogilise kompleksi juures asub Alutaguse alajaam (110/6 kV). Suusatunneli algusest on alajaamani 900 m. Suusatunneli suuremad elektritarbijad on järgmised:

- puurmasin,
- veepumbajaam,
- tuulutisventilaator,
- suusatunneli kliimasüsteem,
- muud tarbijad (lift, valgustus, kütmine jne).

Suusatunneli peahoone juurde tuleb paigaldada 6 kV jaotusseade ja ühendada seda Alutaguse alajaamaga allmaakaabliga. Jaotusseadme juurde paigaldatakse aga trafod sõltuvalt tarbijate pingest vajadustest. Trafodest liigub kaabel maa alla tarbijateni.

400 m kaugusel suusatunneli algusest asub lähim arteesiakaev (nr 2/4). Arteesiakaev on joogi ja olmevee allikas. Kuid pikaajalistest plaanidest lähtudes on mõttekam puurida suusatunneli peahoone juurde oma arteesiakaev.

DISKUSSIOON

Suusatunnel Estonia kaevanduses on suur projekt ja rajamise iga etapi käigus on võimalus valida erinevate insenerlahenduste seas. Töös on uuritud lahendust, et tunnel on osaliselt isoleeritud kaevandusest. Ise suusatunneli konstruktsioon on võimalikult isoleeritud, kuid tuulutustrekk, mis kasutatakse tunneli hooldamiseks, erineb vähe originaalsest kaeveõõnest. Sellisel lahendusel, kui rajatis ei ole täielikult isoleeritud muust kaevandusest, on oma miinused. Suuremaks miinuseks on veekõrvalduse organiseerimise vajadus. Vesi hakkab sattuma strekkidesse, seda on vaja koguda ja pumbata maa peale. Teiseks probleemiks on see, et kogu suusatunneli konstruktsioon sõltub mäetehnilistest tingimustest, mis toimuvad tunneli väljaspool. Juhul, kui need tingimused muutuvad, siis see mõjutab rajatisele. Suusatunneli projekt ei arvesta aga lae varisemist või vee koguse kasvu. Inimeste ohutuse tagamiseks on tunnelis olemas kaks väljapääsu maa peale. Probleemide lahenduseks oleks ehitada metroo rajatiste näidisel tubing-tunneli (Vt. Joonis 27). Tubing on kokkupandava toetuse element raudbetoonist või malmist. Tubing-plastiine pannakse kaeveõõnte pindalale ja jätkukohtasid hermetiseeritakse. Kaeveõõned täielikult isoleeritakse ja toestatakse selle meetodi abil. See on kindel meetod, kuid sellel juhul ei jääks Estonia kaevanduses maa all sellist unikaalset tööstusala, mida võib kasutada erinevate arenduste ja uuringute heaks. [32]



Joonis 27. Tubing metroos. [33]

Üheks perspektiivseks ideeks on kaevandusvee kasutamine sooja või elektri tootmiseks. Suletud kaevandus on veega täitunud, vee maht on suur ja vesi on stabiilse temperatuuriga 7-9 kraadi. Seda soojusenergiat, mis on kaevandusvees, on võimalik koguda ja muuta kasulikuks soojuseks. Selleks kasutatakse soojuspumpa, mis koosneb aurustist, kondensaatorist, kompressorist ja paisventiilist. Komponentid on omavahel ühendatud kinniseks süsteemiks. Süsteemis ringlev külmaagens kasutab kaevandusvett aurustumiseks ja kondenseerumisel annab soojusenergia edasi küttesüsteemile. Sellist soojuspumpa on võimalik paigaldada suusatunneli maa-aluses veekoguris. Toodetav energia väheneb kulusid. Samuti alandab soojuspump kaevandusvee, mida saab kasutada õhu jahutamiseks suusatunneli jaoks. [34]

KOKKUVÕTE

Töö käigus oli uuritud võimalust rajada maa-aluse suusatunnelit Estonia kaevanduses. Kõige sobivaimaks kohaks rajamiseks on 32. paneeli peastrekid (tuulutus-, konveieri- ja transpordistrekid). Koht oli valitud lähtudes järgmistest peamistest kriteeriumist:

- Strekke ei kasutata kaevandamistöodes.
- Strekid on 20 aastat vana, kuid on heas seisundis.
- Vett strekkides on vähe.
- Ankurtoestikud on strekkides veel alles.
- Mugav asukoht - suusatunneli rajamise tsoon asub 230 m kaugusel kaldšahti tõusust.
- Head geoloogiatingimused - puuduvad varisemiskohad ja karstialad.
- Strekke siia maani tuulutatakse.
- Tuulustusstrekis asub likvideeritud tuulutusšurf.
- Strekke läbib veekõrvalduskraav.

Töötav kaevanduse infrastruktuur annab võimaluse suusatunneli rajamiseks ja eksploateerimisel kasutada seda infrastruktuuri. Tuulutuseks kaevanduse töötamise ajal kasutatakse olemasolevat tuulutussüsteemi ning samuti taasavatakse 321. tuulutusšurf. Sellese surfi ehitatakse lift, evakueerimistrepp ja väljapääs kasutatud õhujoa jaoks. Suusatunneli autonoomseks töötamiseks ehitatakse uus tuulutusšurf suusatunneli loodeserva. Uue tuulutusšurfi kaudu toimub värske õhu sissepuhumine.

Suusatunnelis kasutatakse olemasolevat veekõrvaldussüsteemi, kuni kaevandus töötab. Vesi sattub veekõrvalduskraavi, mis asub tuulustusstrekis. Mõõda veekõrvalduskraavi jookseb vesi 31. pumbajaamani, kus edasi toimub vee pumpamine maa peale. Suusatunneli autonoomseks töötamiseks tuleb ehitada analoogset pumbajaama tunneli lõunaosas.

Lähis- ja põhilae stabiilsuse hindamine näitas, et spetsiaalseteks lisatoestusteks ei ole vajadust. Erandiks on ainult stardiplats, mille lage on vaja tugevdada ehituse ajaks.

Suusatunneli rajamine Estonia kaevandusse on raske ja unikaalne projekt. Projekti realiseerimiseks on olemas kõik eeldused. Paljud nüansid nõuavad täiendavaid arvutusi,

analüüse ja lahendusi. Suusatunneli üldise kontseptsiooni ja mäetingimuste analüüs aga näitab, et takistused projekti rajamiseks puuduvad.

SUMMARY

During this work it was studied whether the building an underground ski tunnel in the mine Estonia is possible. The most appropriate place for the establishment are main entries of the 32 panel (ventilation, conveyor, transport entries). The place was chosen based on the following main criteria:

- Entries are not used in mining Work.
- Entries are 20 years old and they are in a good condition.
- Entries have a little amount of water in them.
- Entries still have bolted supports.
- Convenient location –ski tunnel construction zone is located 230 m from the raise of the inclined shaft.
- Good geological conditions-lack of caving and karst areas.
- Entries are being ventilated.
- In the ventilation entry there is a liquidated air hole.
- Water ditch is passing through entries.

Working mining infrastructure is giving the opportunity and the use of it for construction of ski tunnel. Already existing ventilation system is being used for the ventilation during working of the mine, also the 321 air hole is being re-opened. The elevator, emergency stairs and used air exit are going to be built in to this hole. For the independent working of the ski tunnel new air hole is going to be built in the north-west side of the ski tunnel. The intake of the fresh air occurs through the new air hole.

Until the mine is working, already existing bale up system is being used in the ski tunnel. Water enters the water ditch that is located in the ventilation entry. Water runs along the water ditch until the 31 pumping station where the pumping of the water to the surface takes place. For the independent work of the ski tunnel a similar pumping station is needed for the construction on the north side of the tunnel.

Immediate and main roof stability assessment showed that there is no need for the special additional support. The only exception is that in the ceiling in the start area needs to be strengthened for the construction period.

The construction of the ski tunnel in to the mine Estonia is a difficult and unique project. There are all opportunities for the realization of the project. Many things require additional calculations and analysis, however the overall concept and condition shows that there are no obstacles for constructing this project.

KASUTATUD ALLIKAD

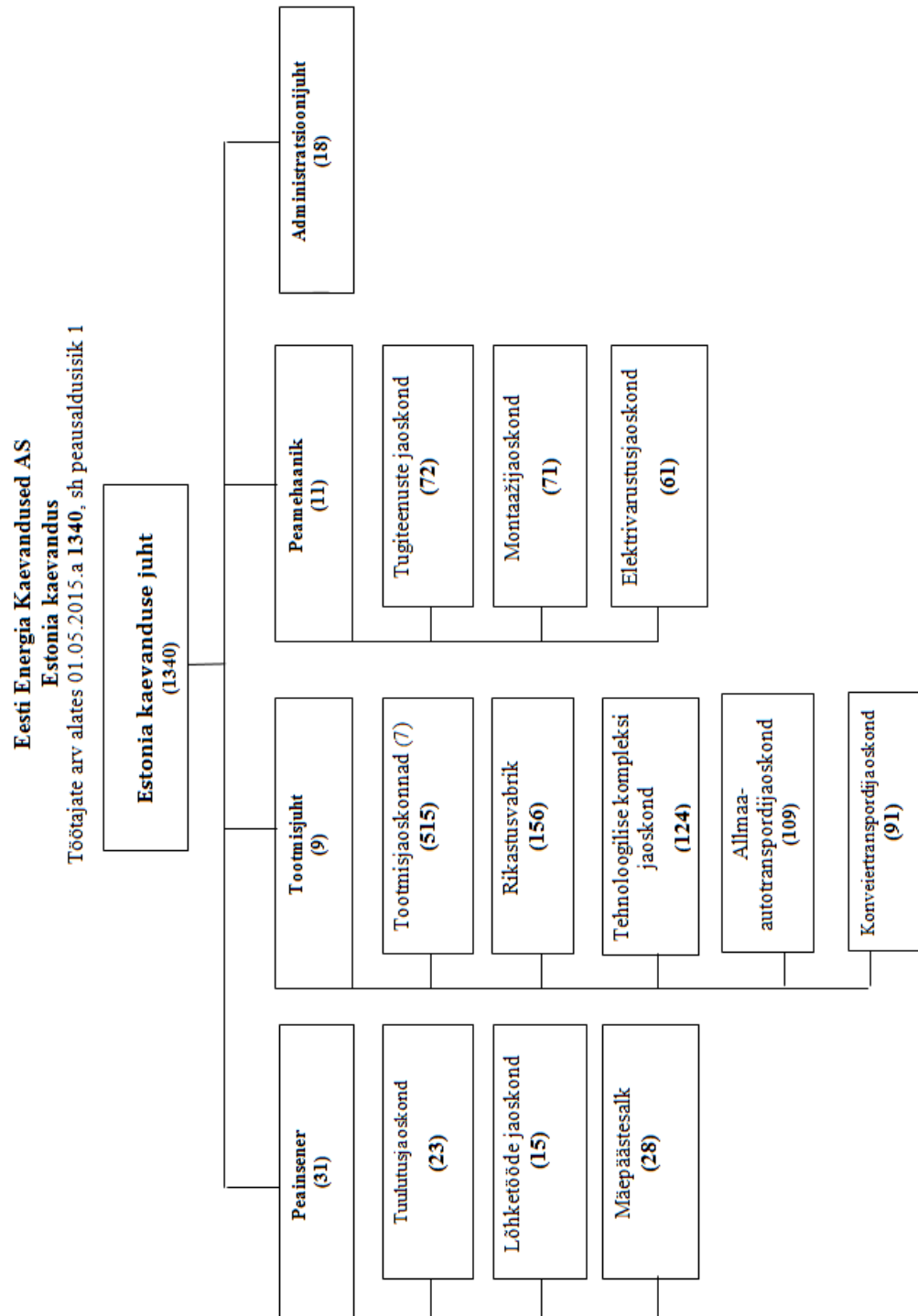
- [1] „Vuokatti,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.vuokatti.fi>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [2] V. Kattai, T. Saadre, L. Savitski, Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurs, kaevandamistingimused, Tallinn, 2000, p. 226.
- [3] V. Väizene, „Eesti põlevkivimaardla Estonia kaevevälja põlevkivivaru ümberhindamine (Seletuskiri),“ Tallinn, 2013.
- [4] E. Reinsalu, Eesti mäendus, Tallinn, 2011, p. 186.
- [5] M. Bachmann, R. Ilp, K. Kilk jt, Kukersiit ja konnatahvel: meie energia lugu, Tallinn, 2014, p. 206.
- [6] Riigikantselei, „Markšeideritöö kord,“ 12 01 2004. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/125012012004>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [7] Eesti Energia Kaevandused, „Estonia kaevanduse protsessikäsiraamat,“ 2011.
- [8] S. Ovsyannikov, „Крепление горных выработок. Паспорт крепления. Назначение, применение, установка и извлечение анкерного крепления,“ 2009.
- [9] „Ski tunnel,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Ski_tunnel. [Kasutatud 20 05 2015].
- [10] T. Savi, „Baasid Eesti suusatamise võlu ja valu,“ 16 10 2007. [Võrgumaterjal]. Available: <http://sport.postimees.ee/1715619/toomas-savi-baasid-estis-suusatamise-volu-ja-valu>. [Kasutatud 12 05 2015].
- [11] „Vesileppis,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.vesileppis.fi/en/?Skiing_Arena. [Kasutatud 20 05 2015].
- [12] „Paimio,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.paippi.fi>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [13] „Torsby,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.skitunnel.se>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [14] „Oberhof,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.oberhof-skisporthalle.de/en/skihalle/daten-fakten/>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [15] K. Rodman, „Skiing, Snowboarding: How Weather Affects Safety on the Slopes,“ 22 11 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.accuweather.com/en/weather->

- news/winter-skiing-snowboarding-saf/19981056. [Kasutatud 20 05 2015].
- [16] Riigi Ilmateenistus, „Kliimanormid,“ [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 20 05 2015].
- [17] SA Kiviõli Seiklusturismi Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuhamagi.ee/et/keskus>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [18] SA Aidu Veespordikeskus, „Veespordikeskus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://aidu.ee/et/watersport>. [Kasutatud 20 05 2015].
- [19] Eesti Energia Kaevandused, „Estonia kaevanduse mäetööde plaan,“ 2008.
- [20] C. KONE, „Kone, shaft dimensions and options,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <http://cdn.kone.com/www.kone.ee/Images/factsheet-kone-elevator-monospace-700.pdf?v=4>. [Kasutatud 12 05 2015].
- [21] Eesti Energia Kaevandused, „Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend,“ 2004.
- [22] O. Nikitin, Põlevkivi kamberkaevandamise tehnoloogiline optimeerimine (Doktoritöö), Tallinn, 2003, p. 98.
- [23] L. Talve, „Varistamisega lae juhtimine kamberkaevandamisel konvergentsikõverate järgi (vene keeles),“ TPI Toimetised, 1974, pp. 37-43.
- [24] I. Parker, „Mine pillar design in 1993: Computers have become the opiate of the mining engineers,“ *Mining Engineering*, pp. 714-717 and 1047-1050, 07, 08 1993.
- [25] G. I. V. Stetsenko, „Lae vajumise ajaline prognoos erinevate piiravade korral (vene keeles),“ *Oil Shale*, kd. 11, pp. 13-18, 1981.
- [26] L. Talve, „Sammastervikutega kamberkaevandamisviisi tegelike parameetrite kontroll Eesti põlevkivikaevandustes (vene keeles),“ *TPI Toimetised*, kd. 451, pp. 23-35, 1978.
- [27] Eesti Energia Kaevandused, „Põlevkivikaevanduse tuulutusplaani koostamise juhend,“ 2004.
- [28] A. Kovaltšuk, Горное дело, Москва: Недра, 1991.
- [29] ilm.ee, „Tuule tugevus pallides,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ilm.ee/index.php?43256>.
- [30] O. N. K. Sokman, „Ojamaa kaevevälja keskosa mäetööde peatamine. Veetõkete rajamine,“ Jõhvi, 2009.
- [31] Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах, Москва, 1986, p. 387.

- [32] Большая Энциклопедия Нефти Газа, „Железобетонный тубинг,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ngpedia.ru/id529142p1.html>. [Kasutatud 15 05 2015].
- [33] Wikipedia, „St James Metro station overrun tunnel,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%8E%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D0%B3#/media/File:St_James_Metro_station_overrun_tunnel.jpg. [Kasutatud 15 05 2015].
- [34] I. V. K. R. V. Karu, „Kaevandusvee kasutamise potentsiaal sooja tootmiseks,“ %1 *Kaevandamine ja vesi*, Tallinn, 2011, pp. 84-94.

LISAD

1. Estonia kaevanduse struktuur [Eesti Energia Kaevandused]



2. Tuulutusšurf 321, litoloogiline läbilõige [Eesti Energia Kaevandused]

LITOOLOGILINE LÕIGE

(МООТКАВАТА)

Ш-р № 321 (32 бет шмп.)

geoloogi- indeks	Sügavus M		paksus M	Läbilõige	Kivimite kirjeldas
	alates	kuni			
Q	0.0	3.6	3.6		Liivsaavid, Liivad
O _{3n6}					Tihedad tühikulised dolomiidid
O _{3rk}	+O _{3n6} 3.6	16.8	13.2		Tühikulised dolomiidid peeneteralised lubjakivid Kivimid kohati purunenud
O _{3on}	16.8	19.7	2.9		Mergellubjakivid
O _{2kl}	19.7	32.9	13.2		Monoliitsed savikaalubjakivid kohati purunenud
O _{2jh}	32.9	43.4	10.5		Savikaalubjakivid
O _{2id}	43.4	51.2	7.8		Savikaalubjakivid põlevkivi vahe- kihtidega
O _{2kk}	51.2	65.8	14.6		Tootuskiht

5. Veekõrvalduskraav 32. tuulutusstreki ja 3202-3203. külgstreki ristumiskohal [autoriga tehtud foto]

