



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut

**PÕLEVKIVI KAMBERKAEVANDAMISE
ALTERNATIIVSE TEHNOLOOGILISE SKEEMI
KASUTUSELEVÕTMISE ANALÜÜS ESTONIA
KAEVANDUSE TINGIMUSTES**

ID 2707

Geotehnoloogia magistritöö, AKM70LT

Autor: Stanislav Ignatovets 144172

Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSc

Tallinn 2016

Autori deklaratsioon

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli Energeetikateaduskonna Mäeinstituudile tehnikateaduste magistrikraadi taotlemiseks geotehnoloogia erialal. Selle töö alusel ei ole varem kutse- ega teaduskraadi taotletud. Töö koostamisel kasutatud kõigi teiste autorite tööd kirjandusallikatest ja mujalt pärinevatele andmetele on viidatud.

Lõpetaja allkiri ja kuupäev _____

SISUKORD

Autori deklaratsioon	2
Sisukord.....	3
Mäeinstituudi tudengitöö ülesanne.....	7
Summary	8
Sissejuhatus	9
1. Metoodika	10
2. Estonia kaevanduse kirjeldus.....	11
2.1 Estonia kaevanduse asukoht ja parameetrid	11
2.2 Tootuskihindi põlevkivikihtide kvaliteet.....	14
2.3 Kaevanduse mäenduslikud ja geoloogilised tingimused.....	18
2.4 Estonia kaevanduse iseloomustus.....	21
2.4.1. Läbindus- ehk ettevalmistustööd.....	23
2.4.2. Koristustööd	24
2.4.3. Kaevisse rikastamine	26
3. Estonia kaevanduse kamberkaevandamise kasutatav tehnoloogiline skeem.....	28
4. Kogumisstrekkide läbindamiseta tehnoloogiline skeem.....	31
4.1. Koristustööd kambriplokis kogumisstreki läbindamiseta.....	34
4.2. Kambriploki KP 3904 tuulutusskeem.....	35
4.2.1. Õhuhulga arvutamine ees töötavate inimeste arvu järgi	38
4.2.2. Õhuhulga arvutamine lõhketöödel eralduvate gaaside järgi	38
4.2.3. Õhuhulga arvutamine diiselajamiga masinate heitgaaside järgi	38
4.3. Kambriploki hoidetervikute arvutus	40
4.4. Kambrate arvutus	43
4.5. Kambratevaheliste tervikute arvutus	45
4.6. Kambratevaheliste tervikute kontrollarvutus	46

4.7. Kasutatava toestiku tüüp ja kulu.....	48
4.8. Tuulutustõkete ehitamise sammu optimeerimine	52
5. Tehnoloogilise skeemi optimeerimine vastavalt järgmiste aastate toodangule	57
5.1. Ööpäevase mäemassi vajaliku toodangu määramine	57
5.2. Läbindustööde vajaliku mahu määramine	59
6. Uue tehnoloogilise variandi kasutuselevõtu majanduslik põhjendus	62
6.1. Kambriploki 3904 majanduslikud näitajad.....	62
6.2. Majanduslik põhjendus vastavalt järgmiste aastate toodangule	64
Diskussioon	66
Kokkuvõte	68
Kasutatud allikad.....	69
Lisad.....	72

JOONISED:

Joonis 1. Estonia KV asukoha skeem[3].....	12
Joonis 2. Estonia kaevanduse struktuur [4].....	13
Joonis 3. Üksikute põlev-ja lubjakivikihtide põhinäitajad Estonia KV[8].....	17
Joonis 4. Litoloogiline läbilõige Estonia kaevanduse tüüpiline puurauk[8]	19
Joonis 5. Eesti leiukoha tektooniline skeem: 1- tootsa kihindi lamami samakõrgusjooned, 2- lineaalsed tektoonilised rikked; 3- lokaalsed struktuurid [1].....	20
Joonis 6. Estonia kaevanduse kaevandatud ala plaan [4].....	21
Joonis 7. Koristustööde protsesside järjestus kambriplokis [13]	24
Joonis 8. Kambriplokide kontuurimine ja tuulutamine läbindustööde käigus (autori joonis)	28
Joonis 9. Kambriploki tuulutamise tüüpskeem (autori joonis)	30
Joonis 10. Kogumisstrekki läbindamiseta kambriplokki vajalik kontuurimise skeem	32

Joonis 11. 17 paneeli läbindamise pass (autori joonis) [4]	33
Joonis 12. KP 3904 plaan (autori joonis)	35
Joonis 13. Tuulutusskeem KP 3904 (autori joonis)	36
Joonis 14. Modelleerimis tulemused õhuvoolu jaotamine kambriplokis Estonia kaevandus [20]	37
Joonis 15. Tõkketervikud külgstreiki ääres väljatava paksusega 2,8 meetrit (autori joonis).....	42
Joonis 16. Kaitsetervikute, kambrivaheliste tervikute ja kambrite laiuste skeem kambriplokis 3904 (autori joonis)	47
Joonis 17. Ankrute Gewi-16 paigaldamine geoloogilises lõikes nr. 755. [8]	49
Joonis 18. Toestamise skeem KP 3904-2 (autori joonis)	51
Joonis 19. Kambriploki 3904 tuulutus- ja lõigustamisskeem	56
Joonis 20. Kambriploki 3904 majandusliku kasumi seos tuulutustõke maksumusest.....	63
Joonis 21. Majanduslik kasum aasta toodangul 8,4 mln tonni.....	65

TABELID:

Tabel 1. Estonia kaevanduse maavara seisuga 20.06.2014[5]	13
Tabel 2. Estonia kaevanduse põlevkivi kaevandamise põhiprotsessid[11].....	22
Tabel 3. Diiselmootoritega masinate üheaegne töö kambriplokis variant 1. [21].....	39
Tabel 4. Diiselmootoritega masinate üheaegne töö kambriplokis variant 2.[21].....	39
Tabel 5. Diiselmootoritega masinate üheaegne töö kambriplokis variant 3. [21].....	40
Tabel 6. Tõkketervikute arvutus.....	42
Tabel 7. Kambrite arvutus	44
Tabel 8. Kambrivaheliste tervikute mõõtmed ja pikikambrite arv poolplokkis.....	45

Tabel 9. Arvutustulemused kambrite jaoks väljatava paksusega $h=2,8$ m.....	50
Tabel 10. Toestamiseks valime 4 ankrut reas	50
Tabel 11. Ankurtoestiku kulu.....	51
Tabel 12. Ööpäevane toodang.....	57
Tabel 13. Ööpäevase toodangu väärtused	59
Tabel 14. Kogumisstreki 3904 läbindamise maksumus erinevate meetoditega.....	63
Tabel 15. Kambriploki 3904 kasum uue tehnoloogilise skeemi kasutuselevõtmisega	63

SUMMARY

This work is based on the manufacturing experience, which has analysed the possibility of using new technological schemes in the mine Estonia. During the processing and analysis of geological and engineering data, an alternative technological scheme in the form of changes in the cutting chamber unit has been offered. Alternative technological scheme provides the refusal of cutting prefabricated drifts in tunnel works in exchange for the passage of prefabricated drifts during the clearing works with chamber block. Working on stocks, in accordance with the proposed technological scheme, reduces the amount of tunnel works on 19%.

During the works, the attention was paid to the issues of ventilation in chamber blocks, the decision was made to the direction of the air flow on the camera unit through the ventilation system to the face. Taking into account the geological features of drilling and blasting operations and features of the used technology, construction of air barriers is 21 m. For an optimal ventilation of the face and loading works, taking into account the effects of blasting works, ventilation systems must be built at least on 93 m from the face.

The result of comparing the cost of clearing and tunnel works shows, that the delineation of prefabricated drifts during clearing works comes much cheaper. When comparing the old and new technological schemes, it is concluded, that using the new scheme of tunnel works technology is simplified and economic indicators of mining are increased. According to calculations of the chamber unit, conducted by the author, it was found, that it is possible to provide stability of the immediate and the main roof, to arrange the ventilation scheme with the construction of the ventilation system and to achieve the significant economic profit. Taking into account the planned mine workings for the next year, based on calculations, it was found, that the transition to the new technological scheme will bring to the company savings of 218-550 thousand Euro.

SISSEJUHATUS

Eesti tähtsaima maavara kaevandamine toimub peamiselt Ida-Virumaal. Kaevandamine toimub antud piirkonnas juba aastakümneid, selle aja jooksul on proovitud mitmeid erinevaid kaevandamisviise. Seoses põlevkivi kihtide üldise lõunasuunalise kallakuga, jääb tulevikus peamiseks põlevkivi kaevandamisviisiks allmaakaevandamine. Praktikas töötavaks allmaa kaevandamisviisiks jääb tänapäeval kambekaevandamisviis.

Kasutuses oleva kaevandamisviisi moderniseerimisega on võimalik vähendada kulutusi kaevandamisele. Seoses keerulisema perioodiga maailma fossiilkütuste turul, on tootmise omahinna vähendamine üks tähtsaimatest näitajatest igale kütuste tooraine kaevandamisega seotud ettevõttele. Antud töös on keskendutud Estonia kaevanduse tingimustele.

Käesoleva töö eesmärgiks on luua võimalik lahendus Estonia kaevanduse kaevevälja lõigustamise ning uue koristustööde tehnoloogilise skeemi juurutamisele. Uus tehnoloogiline skeem näeb ette kogumisstrekide läbindamisest loobumist ning koristustööde tuulutusskeemi muutmist. Tuulutusskeemi muutmisel uuritakse täiendavaid meetmeid värske õhu suunamiseks töö eeriinda. Samas uuritakse ilma kogumisstrekideta koristustööde käigus kaasnevaid kitsendusi. Selleks, et töö eesmärki täita, uurib töö autor, milliste meetoditega on võimalik tagada kaevandatava ala stabiilsus, värske õhu suunamist ja puurlõhketööde läbiviimist. Töö raames analüüsib autor, millist mõju avaldab uue tehnoloogilise skeemi kasutuselevõtt ettevõtte majandusnäitajatele.

Töö on seotud TTÜ Mäeinstituudi projektiga – Kivimi raimamine ja rikastamine valikmeetoditega. Antud töö valmimisele kaasaaitamise ja toetamise eest soovib töö autor lisaks oma juhendajale – Tõnu Tombergile, tänada ka Eesti Energia AS Estonia kaevanduse mäeinsenere, kelleks antud juhul on eesotsas Andrei Frolov, Aleksandr Mihhaltšenkov ja Ljudmilla Utrobina.

1. METOODIKA

Käesolev töö on praktiline ja selle koostamiseks on uuritud Estonia kaevanduse üldkaevanduslikku kontseptsiooni ning praktilisel meetodil uuritud koristus- ja läbindustööde läbiviimist. Töö kirjutamisel on suheldud ka Estonia kaevanduse kogunenud mäeinseneridega.

Antud töö teostamise etappide käigus on väljatöötatud autori ja Estonia kaevanduse mäeinseneride poolt paneeli läbindamise passid ilma kogumisstrekideta läbindamiseta. Uue tehnoloogilise skeemi alusel läbindatakse paneelid 17, 312, 313 ja 39.

Tööde teostamise käigus on pakutud võimalikku lahendust tehnoloogia muutmise poolest ning toodud arvutuslikke meetmete järgi võimalikku majanduslikku kasumit ettevõttele. Uue tehnoloogilise skeemi kasutusele võtul on lähtutud tuulutusskeemi ümberkorraldamisest, mille peamiseks faktoriks on värske õhu suunamine mööda kambriploki kaevandatud ala.

Töö teostamisel on tehtud tihedat koostööd tuulutuse-, tehnika-, markšeideri ja tootmisoskonnaga. Arvutustes kasutatavad õhuhulga ja masinate heitmete andmed on saadud tuulutuseosakonna poolt kontrollmõõtmiste läbiviimisel. Estonia kaevanduse geoloogilised andmed ja varud on saadud markšeideriosakonnast. Tehnoloogilise skeemi väljatöötamisel oli arvestatud tootmisosakonnas kasutatavat tehnika masinaparki. Lisaks on arvestatud Estonia kaevanduse plaane edaspidiste kaevandamisemahtude suhtes.

Töös olevate jooniste tegemiseks on kasutatud AutoCad 2015 tarkvara. Hoide- ja kambritevaheliste tervikute arvutamiseks on kasutatud automatiseeritud Exeli programmi "Tervik", mille autoriõigused kuuluvad Eesti Energiale. Teiste arvutuste, graafikute ja tabelite teostamiseks on kasutatud Microsoft Excel 2013 tarkvara.

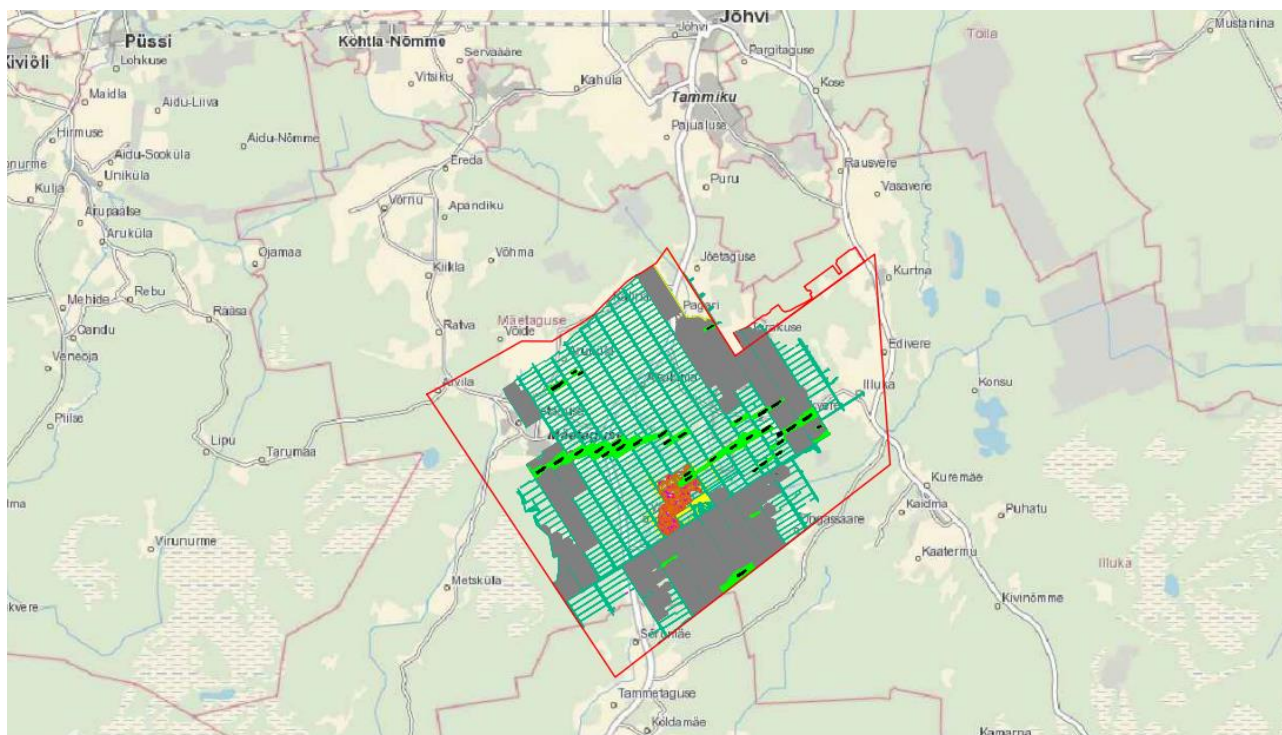
Kõik töös kasutatavad kirjalikud allikad on välja toodud kasutatud allikate loetelus.

2. ESTONIA KAEVANDUSE KIRJELDUS

2.1 Estonia kaevanduse asukoht ja parameetrid

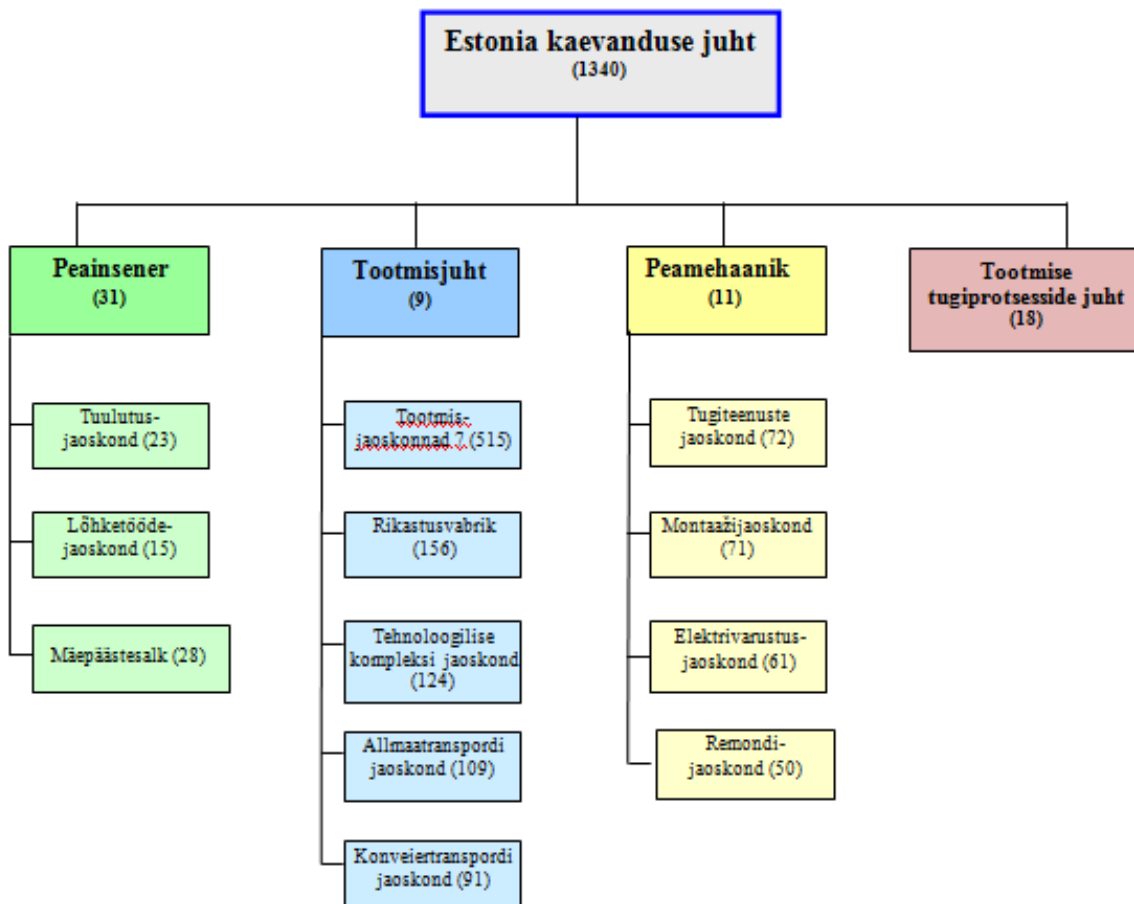
Estonia kaevandus on Eesti Energia tütarettevõttele Eesti Energia Kaevandused AS kuuluv 1972. aastal käiku lastud Eesti suurim põlevkivi tootev allmaakaevandus. Estonia kaeveväli kogu pindalaga 185,8 km² asub põlevkivimaardla keskosas. Administratiivselt asub mäeeraldis Ida-Viru maakonnas, Mäetaguse, Illuka ja Iisaku valdade maadel (vt. joonis 1). Diagonaalsuundades kulgevad üle mäeeraldise ala Jõhvi – Tartu – Valga, Mäetaguse – Kohtla-Järve ja Pagari – Illuka maanteed. Territooriumil on Mäetaguse asula ning hulk külasid. Estonia kaevanduse tööstusterritooriumilt lähtub haruraudtee Ahtme jaama. Kaevandusväli asub nõrga lainelisusega tasandikul, maapinna absoluutsed kõrgused on vahemikus 55 kuni 75 m. Välja idapiiriks on Vasavere mattunud ürgoru lääneserv ja Puhatu uuringuvälja kontuur. Lõunapiiril on Peipsi ja läänepiiril Seli uuringuväli.[1], [6]

Kesk- ja lõunaosa on valdavalt kaetud metsaga, põhjaosas põllu- ja heinamaaga. Lääneosas ulatuvad mäeeraldise kohale Seli soo ja Ratva soo idapoolsed äärealad. Viru kaevandusest lähtuv Raudi kanal kulgeb Estonia kaevevälja põhjapiirilt kagusse Illuka küla suunas. Mäeeraldise territooriumilt saavad alguse Rannapungerja jõgi ja temasse suubuv Jõuga kanal. Maakasutus Estonia kaevanduse mäeeraldise piires on seotud tööstusterritooriumi, tehnoloogiliste teede ja veekõrvaldusrajatistega (settebasseinidega). Kaevanduse olmehooned ja tehnoloogilise kompleksi hooned paiknevad tööstusterritooriumil. Kaevandamiseks vajalikud rajatised (teed, õhuliinid, veekraavid, settebasseinid, pumbajaamad, kaldšahtide suudmed jt) paiknevad isikliku kasutusvalduse lepinguga määratud maa-alal.[2],[6]



Joonis 1. Estonia KV asukoha skeem [3]

2015. aasta seisuga on kaevanduse aastane toodang umbes 8,4 mln tonni. Suurem osa kaevanduse toodangust müüakse kontsernisiseselt Eesti Energia elektrijaamadele ja õlitööstusele. Sellise kaevandamismahu puhul jätkub kaevanduses varusid veel umbes 15 aastaks. Oma kaevandamise sügavuse poolest on Estonia kaevandus põlevkivikaevanduste seas maailmas ainulaadne. 2015. aasta seisuga töötab kaevanduses umbes 1300 töötajat, kellest umbes 800 on allmaatöötajad (vt. joonis 2). [4]



Joonis 2. Estonia kaevanduse struktuur [4]

Vastavalt maavara kaevandamise loale KMIN-054 seisuga 20.06.2014 on Estonia kaevanduse mäeeraldise arvel 281 342 tonni kaevandatavat varu (vt. tabel 1).[5]

Tabel 1. Estonia kaevanduse maavara seisuga 20.06.2014[5]

Liik	Maavara nimetus (loal)	Tarbevaru	Ühik
Aktiivsed varud	Põlevkivi	263 825	tuhat tonni
Kaevandatavad varud	Põlevkivi	281 342	tuhat tonni
Passiivsed varud	Põlevkivi	10 669	tuhat tonni

2.2 Tootuskihindi põlevkivikihtide kvaliteet

Tootsa kihindi moodustavad Kukruse lademe Kiviõli kihistiku alumise osa seitse kukersiidi (alt ülispoole A, A', B, C, D, E, F1) ja kuus lubjakivi vahekihti (A/A', A'/B, B/C, C/D, D/E, E/F1).[6] Tootsa kihindi paksus on üks mäenduslike tingimuste põhinäitajaid. Sellest sõltub kaevandamisviis, tehnoloogia ja tehnika valik.

Kiht A- lasub põlevkivikihindi allosas ja kujutab endast kergelt savikat pruuni põlevkivi peeneteralise fauna jäänustega ja ilma pae suletisteta. Kihi alumine piir on sirge, ülemine – veidi laialivalguv sujuva üleminekuga lubjakiviks. Kihi paksus kõigub 8 cm kuni 30 cm, keskmiselt 0,13 cm. Pindalaliselt on kiht küllalt hästi välja peetud. Kihi kütteväärtus muutub 10,08-21,17 MJ/kg (2409-5058 kcal/kg), valdavalt on 13,40 - 17,58 MJ/kg (3200-4200 kcal/kg). [7]

Kiht A/A_I – hall lubjakivi. Kihi paksus on ebaühtlane ja kõigub 2 cm kuni 7 cm, keskmiselt on 4 cm. Mõnikord see kiht puudub. Keskmise kütteväärtus on 2,15 MJ/kg (515 kcal/kg). [7]

Kiht A_I – rohekashall merglisisaldusega põlevkivi, sisaldab peeneteralisi bituminoosse lubjakivi mugulaid, raske, tugev. Paksus kõigub 3 cm kuni 14 cm, keskmiselt on 8 cm. Kütteväärtus kõigub 2,87 kuni 13,35 MJ/kg (685-3189 kcal/kg), keskmiselt 15 MJ/kg (1708 kcal/kg). Lõunasuunas on täheldatav kvaliteedi halvenemine. [7]

Kiht A_I/B, niinimetatud sinine paas – savikas lubjakivi, sinanakashall, nõrgalt kerogeenne, kontaktid teiste kihtidega selged ja järsud. Kihi paksus kõigub 4 cm kuni 22 cm (valdavalt on paksus 5-15 cm), keskmiselt on 12 cm. Kütteväärtus on 0-2,20 MJ/kg (0-527 kcal/kg). Keskmise kütteväärtus võrdub 1,26 MJ/kg (302 kcal/kg).[7]

Kiht B – kollakaspruun põlevkivi, kergelt savikas, rohkearvuliste fauna jäänustega, mille kogumid moodustavad horisontaalseid vahekihte, mis moodustab kihilisuse. Kihis esinevad üksikud õhukesed vahekihid ja omaette suured kerogeeni sisaldavad lubjakivi suletised, mis esinevad peamiselt kihi keskel, harvem kihi põhjas või ülemises osas. Hajusteralisust esineb nii põlevkivis kui ka lubjakivisuletistes. Kihi paksus kõigub 25 cm kuni 59 cm, valdavalt on pakus 35-50 cm, keskmiselt 42 cm. Kihi B kütteväärtus kõigub vahemikus 9,87 MJ/kg (2657 kcal/kg) kuni 22,58 MJ/kg (5393 kcal/kg), valdavalt on väärtus 14,65 – 20,10 MJ/kg (3500-4800 kcal/kg), väljal keskmiselt 16,46 MJ/kg (3932 kcal/kg).[7]

Kiht B/C ehk rusikas on detriitne lubjakivi, hall, kerogeeni sisaldav, tihke. Kihi keskosas esineb mõnikord 6-7 cm paksune põlevkivi vahekiht. Kihi paksus kõigub suurtes piirides 2 cm kuni 25 cm, keskmiselt on 9 cm. Keskmise kütteväärtus – 3,34 MJ/kg (845 kcal/kg). [7]

Kiht C – tumepruun savikas põlevkivi, lõheline. Kihi ülemises osas esineb arvukalt lubjakiviga täidetud ussikäike, mis on läbilõikes ümara, ovaalse kujuga kuni 1 cm läbimõõduga. Kihis esinevad lubjakivi piklikud ja hobuserauakujulised suletised. Harvemini tulevad ette üksikud 1-5 cm paksused lubjakivi vahekihid. Lubjakivisuletisi esineb kogu kihis. [7]

Kihi paksus muutub 10 cm kuni 64 cm (valdavalt 20-40 cm), keskmiselt on 34 cm. Kihi paksuse kõikumine on seotud sellega, et sageli puudub lubjakivi vahekiht ja kihtide vahele on piiri raske tõmmata, kontaktid on ebatasased. Kütteväärtus kõigub 3,92 MJ/kg (937 kcal/kg) valdavalt on väärtus 7,11-11,30 MJ/kg (1700–2700 kcal/kg). Ida suunas on täheldatav kütteväärtuse suurenemine. Kihi C keskmine kütteväärtus kaeveväljal on 10,13 MJ/kg (2421 kcal/kg). [7]

Kiht C/D nn kaksikpaas koosneb tumehallist tihkest peeneteralisest lubjakivist. Kaksikpaas esineb kogu kihi eralduspinnal, selle paksus kõigub 15 cm kuni 33 cm, keskmiselt on 21 cm. C/D kihi ülemine kontakt on ebaühtlane. [7]

Kiht D – tugevalt savikas põlevkivi (vahel kerogeeni sisaldav mergel) on roheka varjundiga pruunikashallikas, raske, löögi all puruneb plaatideks. Kihil on tugev kontakt alumise ja pealmise lubjakivikihiga ja on seda on raske eraldada. Paksus kõigub 5 cm kuni 20 cm m (enamasti 5-10 cm), keskmiselt on 10 cm. Kütteväärtus kõigub 5,18 MJ/kg (1238 kcal/kg) kuni 14,85 MJ/kg (3548 kcal/kg), keskmine 9,47 MJ/kg (2262 kcal/kg). [7]

Kiht D/E, roosa paas, kerogeeni sisaldav hallist kuni tumehalli värvi kerge roosa varjundiga lubjakivi. Kihi paksus jääb 3-15 cm vahele (enamasti 5-10cm). Keskmise paksus 8 cm. Kütteväärtus kõigub 1,85 MJ/kg kuni 3,29 MJ/kg (442-786 kcal/kg), keskmine kütteväärtus – 2,5 MJ/kg (601 kcal/kg).[7]

Kiht E – pruun savikas põlevkivi. Ülemises osas esinevad suured kerogeeni sisaldavad lubjakivi konkretsoonid mõõtmetega kuni 4×7 cm. Lubjakivi konkretsoonides esinevad püriidi ääristused ja üksikud väikesed tühikud. Harvemini tuleb ette üksikuid kuni 45 cm paksuseid lubjakivi vahekihte. Valdavalt on kihi paksus vahemikus 40–55 cm, keskmiselt 47 cm. Kihi E alumine kontakt on ebaühtlane. Kihi kütteväärtus kõigub 5,95 MJ/kg (1421 kcal/kg) kuni 16,65 MJ/kg (3978 kcal/kg), keskmiselt on 10,88 MJ/kg (2598 kcal/kg).[7]

Kiht E - F₁ kujutab endast helehalli kerogeenset ebaühtlase kontaktiga lubjakivi. Kihi keskmine paksus on 6 cm, kütteväärtus – 2,98 MJ/kg (712 kcal/kg).[7]

Kiht F₁– tumepruun põlevkivi paljude konkretsoonide ja kerogeensete lubjakivi vahekihtidega (30-45%). Põlevkivi on savikas, raske, fauna jäänustega. Kihi paksus kõigub 17 cm kuni 62 cm, keskmiselt – 41 cm (valdavalt on paksuse väärtus 35-50 cm). Täheledatakse kihi paksuse mõningast vähenemist lõuna suunas. Kütteväärtus sõltub lubjakivi suletiste hulgast, kõigub 4,54 MJ/kg kuni 11,76 MJ/kg (1084-2809 kcal/kg), keskmine on 8,79 MJ/kg (2100 kcal/kg). Enamasti on kihi kütteväärtus 1800-2800 kcal/kg. Kütteväärtuse vähenemine toimub pikkamööda lõuna suunas.[7]

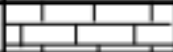






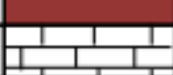







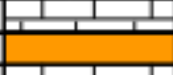
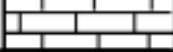









Kiht F₂ lasub tootsa kihindi põhjas ja on esindatud tugevalt savika rohekaspruunist kuni tumepruuni värvi põlevkiviga. Sarnaselt kihile F₁ on kiht F₂ ristamine teatud määral tinglik, enamasti suurema lubjakivisuletiste sisalduse järgi (kuni 50-65 %). Lubjakivi vahekihtide paksus ulatub 7 cm, konkretsoonide mõõtmed kuni 6×7 cm ja need on ebaühtlase kujuga. Kihi paksus muutub vahemikus 12-41 cm, keskmine – 23 cm. Keskmine kihi F₂ kütteväärtus on 4,64 kcal/kg. Põlevkivi tootuskihi hulka kiht F₂ ei kuulu.[7]

Ebalagi lasub vahetult F₂ – A kihi peal ja on suletud Kiviõli kaevanduse kaeveõõntes ja puursüdamikes hästi jälgitav. See kujutab endast väga savikate pruunikashallide põlevkivikihtide vaheldumist lubjakivi ja mergli kihtidega. Merglid moodustavad 1-4 cm kuni 5-7 cm paksuseid vahekihi, lubjakivid on õhukesed ja konkretsoonidega, vahel väljavenitatud kujuga. Ebalae ülemine kontakt on kergesti eraldatav, seepärast läheb see enamasti kambriploki toodangusse. Kihi paksus kõigub 15 cm kuni 38 cm, keskmine on 32 cm. Keskmine kütteväärtus – 2,39 MJ/kg (572 kcal/kg).[7]

Enamik põlevkivikihte sisaldab läätsjaid kerogeense lubjakivi mugulaid. Lubjakivikihtide paksus on kuni 0,3 m ning nende kontaktid põlevkivikihtidega on suhteliselt sirged. Orgaanilise aine sisaldus lubjakivikihtides on madal, enamasti alla 5%. Tootsa kihindi üldpaksus on pindalaliselt hästi väljapeetud. Kukersiit kui segakivim koosneb kolmest süngeneetilisel tekkinud põhikomponendist: orgaanilisest, karbonaatsesest ja terrigeensesest materjalist.[6]

Estonia kaevanduse kaeveväli üldpindalaga 141,7 km², piires lasub põlevkivikiht põhjas 45-55 m sügavusel, lõuna suunas kasvab katendi paksus 65-70 meetrini, kihindi sügavus lubab kasutada allmaakaevandamis viisi. Kaljukatendi moodustavad keskordoviitsiumi Kukruse-Rakvere lademete karbonaatkivimid, välja lõunaosas lisandub Nabala lademe lubjakivi. Tootuskihindi A-F₁ üldpaksus on välja kirdeosas 2,8 m, vähenedes 2,6 meetrini edelas. Samas suunas alaneb kihindi mäemassi

kütteväärtus 9 MJ/kg kuni 7 MJ/kg ning energiatootlus 42 GJ/m² kuni 37 GJ/m². Tootsa kihindi ja üksikute põlev-ja lubjakivikihtide põhinäitajate varieerumine välja piires on toodud joonis 3. [1]

Geol. Indeks	Litoloogiline läbilõige	Kihi paksus, m	Kõrgus "A" kihits	Q ^d _b , MJ/kg	
					Lubjakivi
H		0,4	5,39	6,7	Põlevkivi, sisaldab kuni 50% paekongretsioone
G/H		0,25	4,99	0,25	Lubjakivi
G		0,36	4,74	10,17	Põlevkivi, sisaldab paekongretsioone kuni 15%
lub.		0,06	4,38	0,42	Lubjakivi
F5		0,05	4,32		Savikas põlevkivi
lub.		0,2	4,27		Lubjakivi
F4		0,06	4,07		Savikas põlevkivi
lub.		0,15	4,01		Lubjakivi
F3		0,38	3,86	2,72	Savikas põlevkivi
F2/3 / F3		0,15	3,48	0,16	Lubjakivi
F2/3		0,19	3,33	2,8	Savikas põlevkivi
V.L		0,16	3,14	0,18	Lubjakivi
F2		0,24	2,98	3,34	Põlevkivi, sisaldab kuni 45% paekongretsioone
F1		0,45	2,74	8,29	Põlevkivi, sisaldab kuni 35% paekongretsioone
E		0,55	2,29	11,75	Kollakaspruun põlevkivi, sisaldab kuni 20% paekongretsioone
D/E		0,06	1,74	2,47	Lubjakivi kerogeenilisandiga
D		0,08	1,68	7,43	Nõrgalt savikas põlevkivi
C/D		0,28	1,6	0,00	Lubjakivi
C		0,31	1,32	11,38	Põlevkivi, sisaldab paekongretsioone kuni 15%
B/C		0,15	1,01	2,82	Lubjakivi
B		0,44	0,86	17,42	Puhas kerge põlevkivi
A1/B		0,2	0,42	0,22	Lubjakivi
A1		0,06	0,22	5,84	Mergiline põlevkivi
A/A1		0,03	0,16	2,44	Lubjakivi kerogeenilisandiga
A		0,13	0,13	11,27	Erepruun kerge ja puhas põlevkivi

Joonis 3. Üksikute põlev-ja lubjakivikihtide põhinäitajad Estonia KV[8]



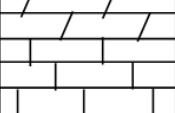

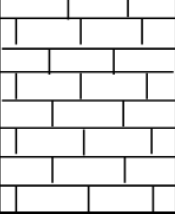
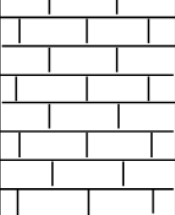
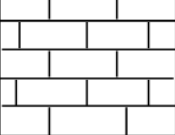
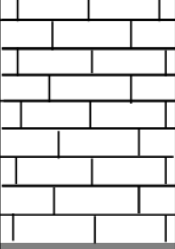

2.3 Kaevanduse mäenduslikud ja geoloogilised tingimused

Estonia kaeveväli paikneb Põhja-Eesti lavamaal. Kihid lasuvad väikese kallakusega lõuna suunas. Tootuskihind lasub kukruse lademe allosas (O_{2kk}), mis kujutab endast põlevkivi vahekihtidega paekivimassiivi, kogupaksusega 12...16 m. Valdaval alal lasuvad Kukruse lademel Idavere (O_{2id}), Jõhvi (O_{2jh}), Keila (O_{2kl}), Oandu (O_{2on}), Rakvere (O_{2rk}) ja kohati Nabala (O_{2-3nb}) lademete lubjakivi ja mergli kihid kogupaksusega 40 ... 50 m ja nendel kvaternaari liiva-, savi- ja/või kruusasetted. Mullakihi paksus 0,2 ... 0,4 m. Kvaternaarisetete kogupaksus on vahemikus 1 ... 10 m. [9]Estonia kaevevälja litoloogiline läbilõige maapinnast kuni põlevkivi kihtideni (vt. joonis 4).[8]

Kukruse lademe lamamiks on Uhaku (O_{2uh}) lademe savikad lubjakivid ja merglid õhukeste savikate põlevkivi vahekihtidega. Uhaku paksus on keskmiselt 15 m. Põhjavesi on seotud kvaternaari purdsetetes, Keila-Kukruse ja Nabala-Rakvere lõhelistes lubjakivides asuvate veekihtidega. [2]

Kaevandustööde ümber on tekkinud põhjavee depressioonilehter, mis haarab tootsa kihindi ja selle peal olevad Keila-Kukruse veekihi ja mäetöödega külgneva ala kuni 500 m raadiuses. Sõltuvalt mäetööde sügavusest ja piirneva ala geoloogilisest ehitusest võib kohati ulatuda mõju kaugemale. Nabala-Rakvere veekiht on kaevandustööde kohal reeglina säilinud. [2]

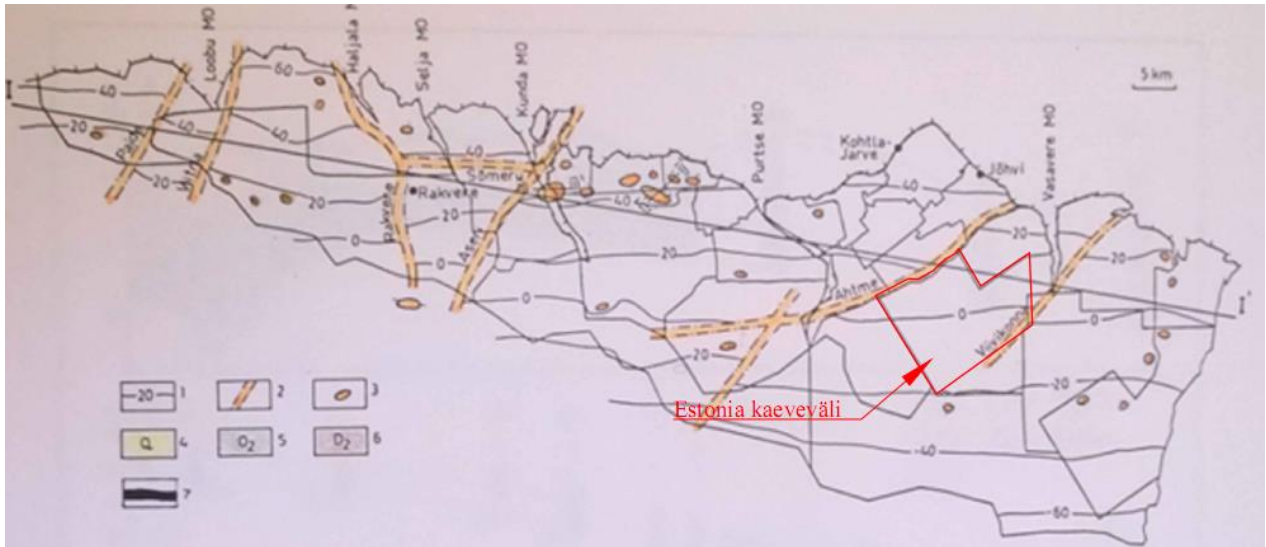
Allpool kaevandamistaset paikneva Lasnamäe-Kunda veekihi ülemiseks veepidemeks on Uhaku lademe savikad lubjakivid, alumiseks veepidemeks – Volhovi (O_{1vl}) lademe glaukoniitlubjakivid ja dolomiidid. Lasnamäe-Kunda põhjavesi on survealine.[2]

Geol. Indeks	Sügavus, m		Paksus, m	Läbilõige	Kivimite kirjeldus
	alates	kuni			
Q	0,0	1,5	1,50		Liivsavid, liivad
O _{2 nb}	1,5	6,6	5,10		Tihedad tühikulised dolomiidid
O _{2 rk}	6,6	18,0	11,40		Tühikulised dolomiidid peeneteralised lubjakivid. Kivimid kohati purunenud.
O _{2 on}	18,0	22,10	4,10		Mergel lubjakivid
O _{2 kl}	22,1	33,90	11,80		Monoliitsed savikad lubjakivid. Kohati purunenud.
O _{2 th}	33,9	44,00	10,10		Savikad lubjakivid.
O _{2 id}	44,0	50,00	6,00		Savikad lubjakivid põlevkivi vähekihtidega.
O _{2 kk}	50,0	65,48	15,48		Savikad lubjakivid põlevkivi vähekihtidega.
					Tootuskiht

Joonis 4. Litoloogiline läbilõige Estonia kaevanduse tüüpiline puurauk[8]

Joonis 5 on näha, et Estonia kaeveväli asub kahe tektoonilise rikkevööndi vahel. Estonia kaevevälja põhjapiiril paikneb kirde-edela suunaline Ahtme tektooniline rikkevöönd, lõunapiiril Viivikonna tektooniline rikkevöönd. Rikkevööndite laius varieerub paaristsajast meetrist viiesaja meetrini. Kihtide lasumus on rikkevööndites ja nende läheduses rikutud. Väljal on mitmed süvakarstialad, kus

põlevkivikihind on asendunud karstisavidega. Karsti äärealadel on kivimkihid purustatud ja lõhelised. Estonia kaevanduse karstilisus on alla 1%. [1],[4]



Joonis 5. Eesti leiukoha tektooniline skeem: 1- tootsa kihindi lamami samakõrgusjooned, 2- lineaalsed tektoonilised rikked; 3- lokaalsed struktuurid [1]

Estonia kaevevälja mäendustingimused on sarnased teiste Eesti leiupaiga kaevandustega. Need võib jagada soodsateks ja ebasoodsateks.

Soodsateks mäendustingimusteks on:

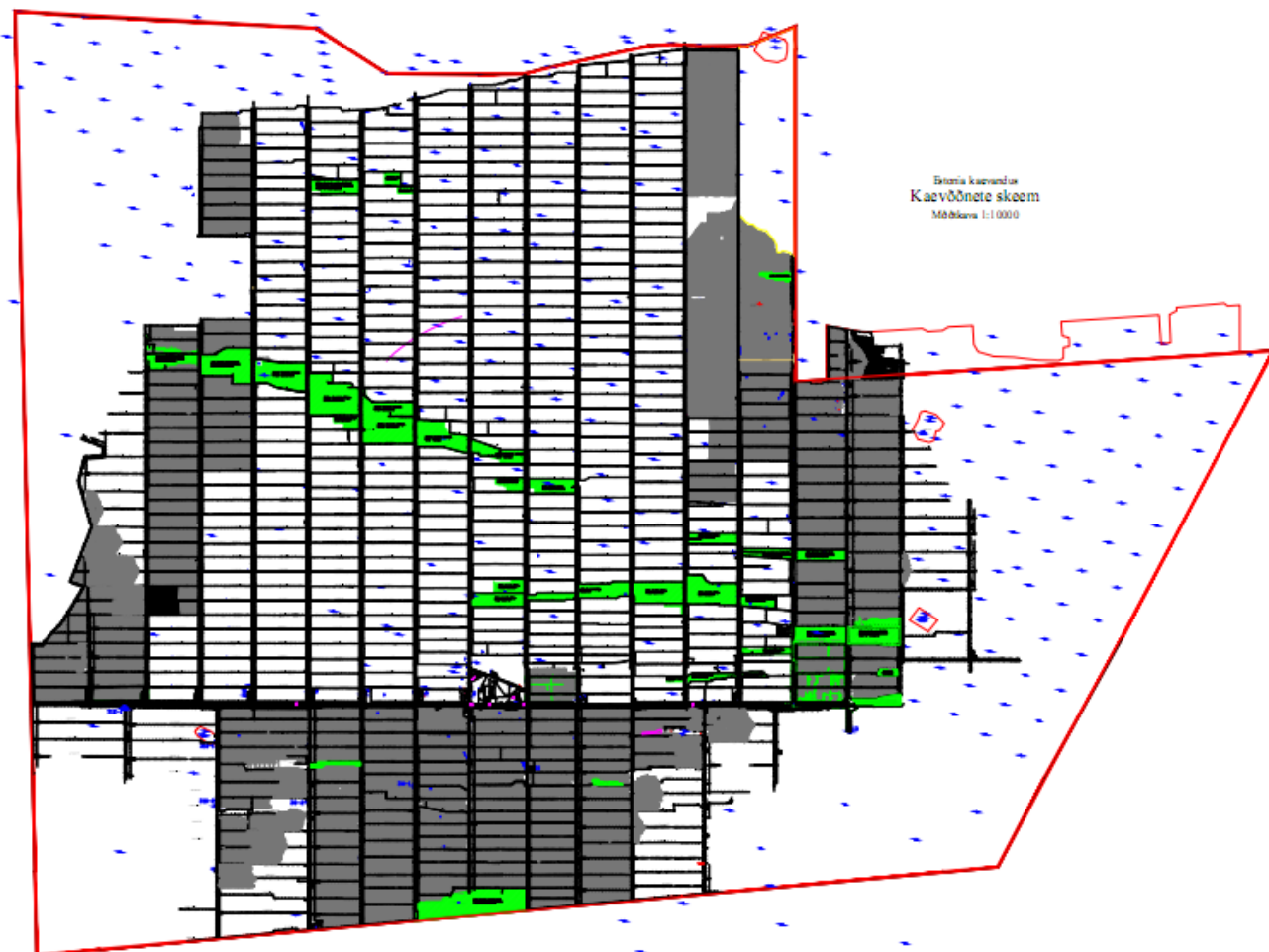
- kõvadest lubjakividest koosnevate lae- ja põrandakivimite hea püsivus;
- tootuskihindi praktiliselt horisontaalne lasumine (väike kalle kaevevälja edelasuunas);
- tootuskihindi ühtlane paksus suurel pindalal.

Kaevandamist raskendavateks ebasoodsateks tingimusteks on:

- keerulised hüdrogeoloogilised tingimused;
- väljatava kihindi ebahühtlane ehitus, põlevkivikihid vahelduvad tunduvalt kõvemate paekihtidega;
- massiivi lõhelisus ja karstirikete olemasolu.

2.4 Estonia kaevanduse iseloomustus

Allmaakaevandust on otstarbekas avada kui põlevkivikihid on sügavamal kui 30 meetrit (Estonia kaevanduse 50-70 m), ning luua põlevkivi väljatoomiseks vajalikud süsteemid. Allmaakaevandus kujutab endast tervet infrastruktuuri, kus põlevkivi kaevandamise tsoonid on jaotatud paneelideks, neid seovad veo-, konveieri- ja tuulutustrekid. Paneelid on jaotatud väiksemateks tsoonideks nn. kambriplokkideks, kus toimub põlevkivi kaevandamine jättes hoidetervikuid (vt. joonis 6).[10]



Joonis 6. Estonia kaevanduse kaevandatud ala plaan [4]

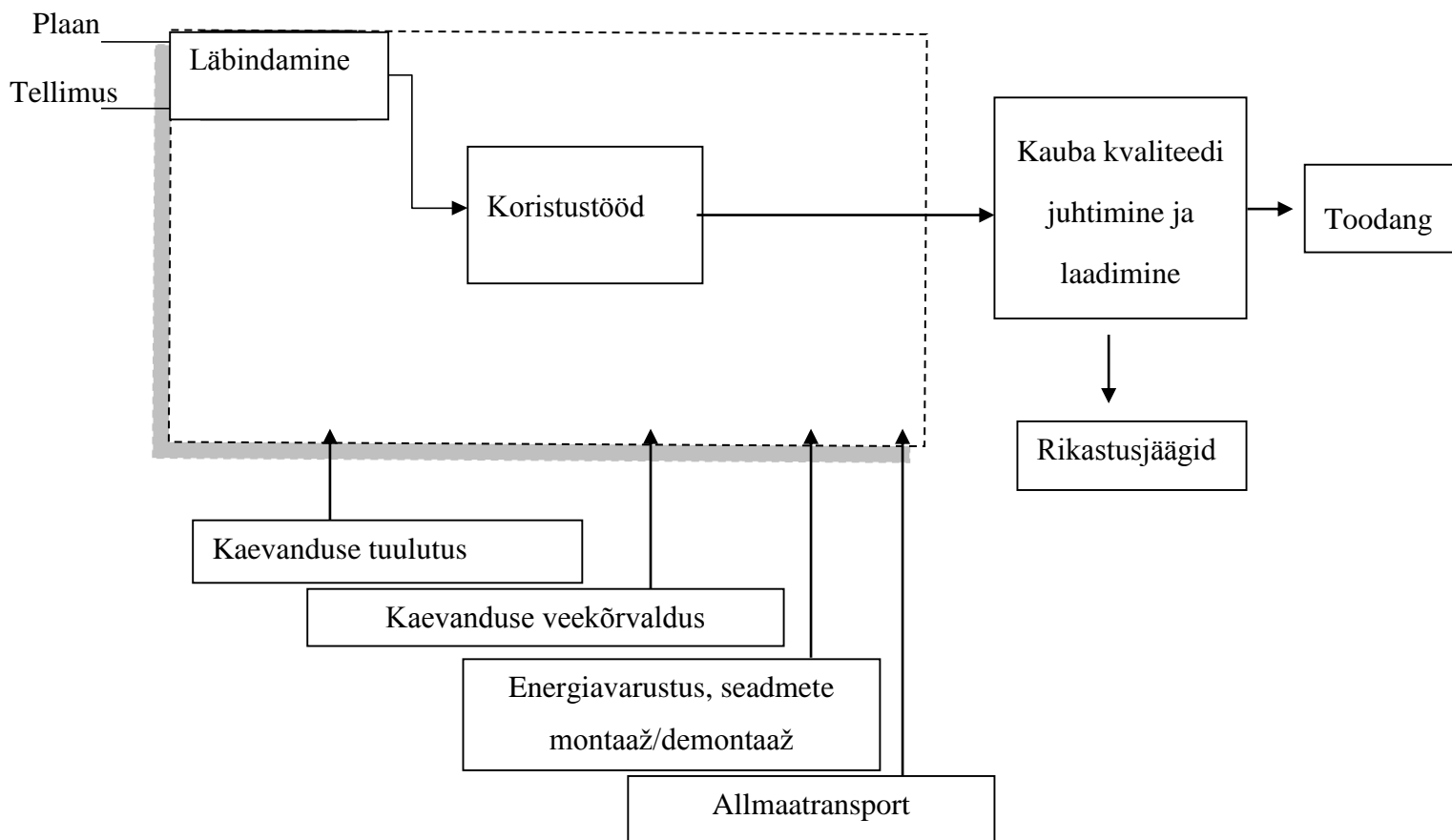
Kaevandusvälja avamise koht oli valitud selliselt, et peastrekkid jagavad välja kaheks – põhja- ja lõunapoolseks osaks, kusjuures esimene on viimasest umbes 4 korda laiem. Mõlemad pooled lõigustatakse paneelideks, paneelid omakorda plokkideks. Paneelide ja plokkide laius vastab kasutatava tehnoloogia ja tehnika parameetritele. Peastrekkide asimuut on 60° , paneelstrekidel välja lõunaosas 150° ja põhjaosas 330° . Lasum (laekivimid) hoitakse ülal tervikutel. Arvutuslik väljamistegur, sõltuvalt laekivimite üldpaksusest ja väljamise geoloogilistest tingimustest, on

0,65...0,79. Põlevkivi tootmiskaod on ~ 30 %. Kaevandamistöde suund on kaevandusõuest kaevandusvälja piiride poole.[11] Estonia kaevandus kasutab maa all tavalist autotransporti, transpordiks kasutatavad teed peavad olema heas korras, mida väga rangelt jälgitakse, sest see tagab inimeste parema ohutuse ja tehnika korrashoiu.

Kaevanduse töörežiim ja põhiprotsessid (vt. tabel 2):

- Töövahetuse kestus on allmaatöötajatel 7 tundi, pealmaatöötajatel – 8 tundi.
- Kaevisetootmine toimub ööpäevaringselt, laadimise, ettevalmistamise ja lõhketööde vaheldumisega poolplokkides.
- Läbindustöid tehakse kolmes seitsmetunnises vahetuses.

Tabel 2. Estonia kaevanduse põlevkivi kaevandamise põhiprotsessid [11]



2.4.1. Läbindus- ehk ettevalmistustööd

Läbindus- ehk ettevalmistustöödega, rajatakse juurdepääs kaevandatavasse alasse. Läbindustööde vajalikusseisneb selles, et lõigustada kaeveväli paneelideks ja kambriplokideks ning tagada kaevanduse tuulutamist ja inimeste liikumise võimalust. Samuti paigaldatakse vajalikud veoseadmed (konveierid) ning kommunikatsiooni seadmed. [16]

Allmaa ettevalmistuskaevõõnt läbindatakse vastavalt ettevalmistuskaeveõõne rajamise projektile.

Ettevalmistuskaeveõõnte läbindamise töötsükkel koosneb:

- kaeveõõnte ee, külgede ja lae kontroll ning puhastamine lahtikoorunud ripikutest
- puuraukude puurimine lähilakke ja sinna ankurpoltide paigutamine, vajadusel täiendav toestamine puidust poolpalkidega, geoloogiliste rikkumiste tsoonis raamistikuga toestamine
- lõhkeaukude puurimine
- tuulutustorude paigaldamine
- veekorvaldussoone soonimine
- lõhkamine
- tuulutamine
- kaevisse laadimine kopplaaduriga kalluritesse

Kallur veab kaevisse konveieri ümberlaadurisse, mis paigaldatakse lintkonveieri sabaosasse. Lintkonveieriga veetakse kaevis maa peale. Läbindustöödelt saadav põlevkivi toodang ulatub kuni 13%-ni kaevanduse toodangust, kuid on kallim koristustööde toodangust.

Kaeveõõne lähilagi toestatakse ankurtoestikuga. Ankrute paigaldamiseks puuritakse puurseadmega kaeveõõne lakke kindla paiknemistihedusega puuraugud. Pärast ankrupoldi kinnitamist puurauku, keeratakse ankrupolt mehaanilise võtmega kinni ja seejärel pingutatakse. Kogu tsükli võib teostada automaatselt vastava ankurduspingiga. Ankurtoestikku eemaldamist ettevalmistuskaeveõõntest ei toimu.

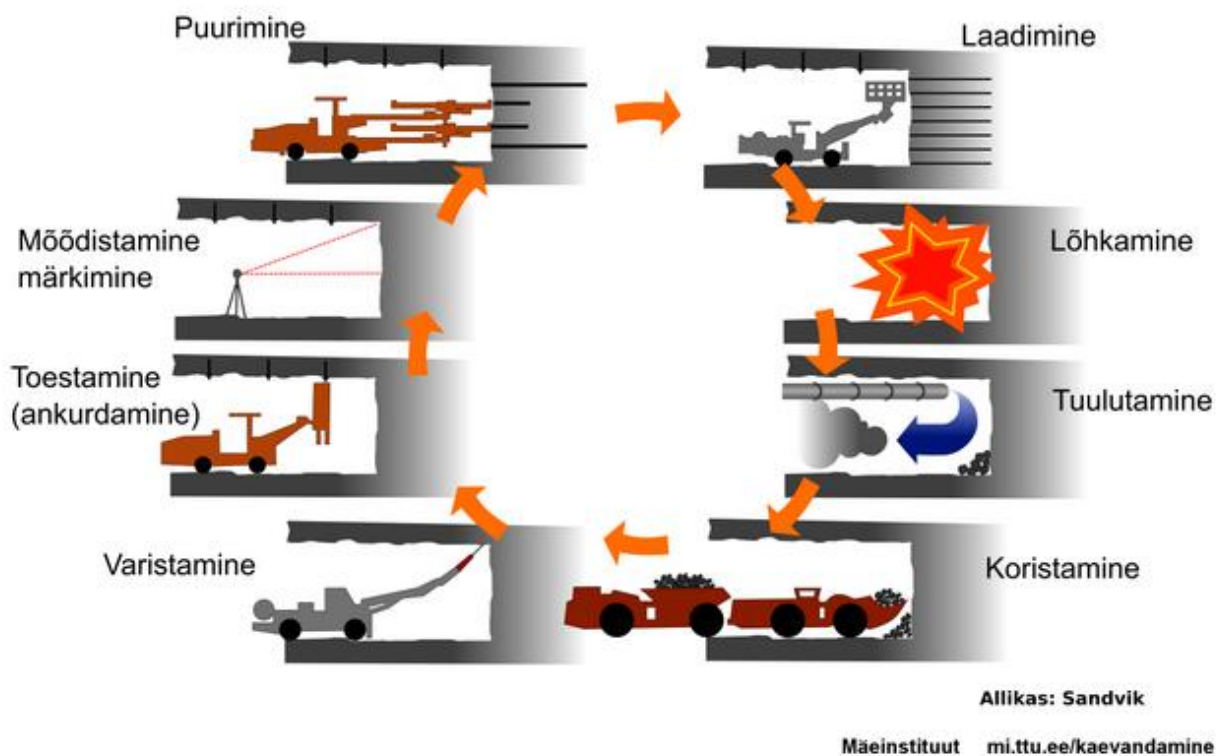
Läbindusete tuulutamiseks värske õhuojaga kaeveõõnde paigaldatakse kohaliku tuulutuse ventilaator, mille tuulutustorude abil antakse värske õhk vahetult läbindustööde tegemise kohta s.t. umbkaeveõõnde. Riknenud õhk liigub vastavalt üldkaevanduslikule tuulutusskeemile väljuva õhujoaga šurfi kaudu maapinnale. [12]

Läbinduskaeveõõnte vee ärajuhtimiseks soonitakse soonuriga veekorvaldussooned, mis kaetakse kinni nende töökorrasoleku kindlustamiseks lauadega. Veesooned ühendatakse paneeli

tuulutusstrekkil asuva veekraaviga, mida mööda jookseb vesi kaevanduse allmaaveekoguritesse ja sealt allmaapumplates asuvate pumpade abil pumbatakse see maapinnal asuvasse kaevandusvee settebasseini. [12]

2.4.2. Koristustööd

Koristustöödel kasutatakse kamberkaevandamisviisi põhilae ülalhoidmisega tervikutel ja lähislae toetamist ankurtoestikuga. Kihindi raimamiseks kasutatakse puur-lõhketöid ee edasinihkel 3,4-3,6 m lõhketööde tsüklis. Lõhatud kaevis laaditakse kopplaaduritega laadurisse. Lae toetamine, ee puurimine ja lõhkeaukude laadimine on mehhaniseeritud. Puurimis-, lõhkamis- ja toestustöid teostatakse vastavate passide alusel. [12] Koristustööde protsesside järjestus on näidatud joonis 7.



Joonis 7. Koristustööde protsesside järjestus kambriplokis [13]

Tööprotsesside järjestus on:

- lae toetamine
- mõõdistamine markšneideri osakonna poolt
- algmurde puuraukude puurimine ja põhja puhastamine
- ee puurimine
- lõhkeaine laadimine

- lõhketööd
- ee tuulutamine
- kaevise laadimine

Mäerõhu juhtimine toimub põhilae ülalhoidmisega tervikutel. Kambrite laiuse ja tervikute arvutus toimub “Põlevkivi allmaakaevandamisel kambrite, tervikute ja hoidetsoonide mõõtmete arvutamise meetodika” järgi. Kaevandatavates kambrites toimub lähislae toestamine ankurtoestikuga, mille parameetrid arvutatakse vastavalt “Kiilmuhv-ankurtoestiku kasutamishendile põlevkivi kaevandamisel”, mille on kinnitanud AS Eesti Põlevkivi tootmisdirektor 10.01.2004. a.[14]

Koristuses korraldatakse töö ööpäevase kompleksbrigaadiga. Selle tehnoloogilise skeemi korral peab kompleksbrigaad seadmete täielikuks koormamiseks töötama ööpäevas kahes – neljas kambriplokis, et ühitada ajaliselt ja eraldada ruumis ettevalmistamise, lõhkamise ja laadimise protsessid.

Koristustöödel jäetakse kambriplokides hoidetervikuid, küljepikkusega 6–7 meetrit, kuid pikkus võib varieeruda vastavalt sellele, missuguse geoloogilise piirkonnaga ja väljatava paksusega tegemist on. Need tervikud on vajalikud põhilae ülalhoidmiseks ja moodustavad kuni 30-35% põlevkivi toodangu kaodest. Kambrite laius peamiselt on 6,8 - 7,5 meetrit. [10]

Lähislagi kaeveõõnetoestatakse korduvkasutatava ankurtoestikuga, kambri lagi ankurdatakse kõvemate kivimikihtide külge. Ebapüsivate laekivimite korral ankurdatakse kaeveõõne lakke lisaks puidust poolpalke. [10] Lae puurimisel ja toestamisel kasutatakse spetsiaalset ankurdamispinkki. Kõik tööd tehakse vastavalt lae toestamise passile. Kambrite toestamise järjekord on tavaliselt kaevise laadimise suunas, so külgstrekilt kogumisstreki poole.

Pärast lae toestamist alustatakse samas järjekorras ees algmurde puuraukude puurimist. Algmurde puuraukude puurimiseks kasutatakse rataskäigul puurmasinaid. Sellega saab korraga puurida kolm Ø 280 mm ja kuni 4,7 m sügavust puurauku. Vastavalt puur-lõhketööde passile puuritakse kambriks kuus 4,2 m pikkust puurauku.[7]

Puurimisel tekkinud puru puhastatakse kopplaaduriga ja veetakse kraapkonveierile või lähimasse väljalaadimata kambrisse.

Lõhkeaukude puurimiseks 4,0 m sügavusele kasutatakse rataskäigul puurseadmeid. Puurimiseks kasutatakse Ø 35-38 mm puuripeaga (pumbatava emulsioonlõhkeaine korral) puurvarrast.

Lõhkeaukude paiknemine ja sügavus on toodud kambriploki puur- ja lõhketööde projektis. Puurimine toimub vastavalt puurseadme käidujuhendile. [7]

Selle tehnoloogilise skeemi korral kasutatakse kaevise raimamiseks emulsioonlõhkeainet. Lõhkeaukude laadimine on mehhaniseeritud. Selleks kasutatakse allmaatingimustele vastavat mobiilset laadimismasinat (Orica Eesti OÜ). See masin valmistab korraga lõhkeaine ja pumpab selle lõhkeauku. [7] Maavara kaevandamisel ehitiste läheduses valitakse lõhkelaengute suurus nii, et töödega kaasneks minimaalne mõju ehitistele ja ümbritsevale keskkonnale. Lõhketööd viib läbi koolitust saanud lõhkemeister.

Peale lõhketöid toimub kambrite tuulutamine üldkaevandusliku kompressiooni arvel, mida tekitavad maapeal asuvad ventilaatorseadmed. Kaevise veoks kambriplokis kasutatakse kopplaadureid, kraap- ja lintkonveiereid.

Kambriploki koristusest veetakse raimatud kaevis kopplaaduritega kraapkonveieritele. Sealt liigub kaevis läbi kraapkonveieril asuva purusti või toituri-purusti, kus toimub ülemõduliste tükide purustamine. Kraapkonveierilt või toituri-purustist kukub kaevis lintkonveierile, mida mööda transporditakse see kaevandusdues olevasse kaevise peapunkrisse. Seal laaditakse kaevis toituri abil peatõste lintkonveieritele, mida mööda jõuab see maapinnale. [14]

2.4.3. Kaevise rikastamine

Rikastusvabrikus toimub kaevandusest tulnud kaevise sorteerimine ja põlevkivi mehaaniline rikastamine. Pärast kaevise eelnevat purustamist purustussõlmes liigub mäemass galeriidesse monteeritud lintkonveieritel rikastusvabriku tehnoloogilistele liinidele. Sõlmetel toimub energeetilise põlevkivi (fraktsiooni 0-25 mm) selekteerimine ja seejärel saadetakse rikastamise lõpp-produkt läbi laadimiskompleksi tarbijatele või ladustatakse põlevkivi hoidlasse. Suurema fraktsiooni + 25 mm rikastamine toimub magnetiitsuspensiooni abil. Rikastamise käigus eraldatakse lubjakivi põlevkivist. Põlevkivi rikastamiseks kasutatakse rauamaagikontsentraati ehk magnetiiti (Fe_3O_4). Magnetiit on musta värvi pulber tugeva ferromagnetismi omadusega. Lubjakivi tihedus ($\sim 2,5 \text{ g/cm}^3$) on põlevkivi omast ($\sim 2 \text{ g/cm}^3$) suurem ning seetõttu saab lubjakivi põlevkivist eraldada suurtes suspensioonivannides. Suspensiooniks on peeneksjahvatatud magnetiidi ehk rauamaagi pulber vees. Suspensiooni tiheduseks on võetud $2,1 \text{ g/cm}^3$. Separatori vannis olevas suspensioonis tõusevad pinnale kõik kaevise tükid, mille keskmine tihedus on väiksem kui $2,1 \text{ g/cm}^3$, pinnal, andes nn. kaubapõlevkivi. Raskemad tükid (lubjakivi) aga vajuvad põhja ja moodustavad rikastamisjäägi.

Edaspidise protsessi käigus eraldatakse põlevkivist rauamaagikontsentraat, mis läheb tagasi rikastusvabrikusse korduvkasutusse.[15][16]

Rikastamisprotsessis on kaubapõlevkivi saagis 57 – 61 %. Pärast põlevkivi pesemist magnetiidist liigub põlevkivi laadimiskompleksi ja sealt edasi tarbijatele või ladustatakse põlevkivi hoidlasse. Rikastusjääd (aheraine) saadetakse pärast magnetiidist pesemist mööda lintkonveiereid punkritesse ning sealt aheraine, mis ei leia kasutamist rikastamisjäädide hoidlasse. Hoidla formeeritakse ja tasandatakse buldoosritega vastavalt projektile. [11],[16]

Kaevanduse üldskeemil näeme, et paneelide läbindamine toimub kahel erineval viisil:

1. kahe strekiga, veo- ja tuulustusstrekki,
2. kolme strekiga, veo-, konveieri- ja tuulustusstrekki.

Paneelide strekkide erinevus seisneb üldkaevandusliku konveiertranspordi kontseptsioonis, kus üle ühe paneeli on konveierstrekki, kuhu liigub kaevis mööda kogumisstreki konveiereid. Ühe variandi puhul kambriplokk töötab konveieri lühendamiseks, kus ploki tööde alguses on konveier paigutatud täies pikkuses ja eerinna edasi liikumisel konveier lühendatakse. Teise variandi puhul kambriploki eerind ja konveier liiguvad ühes suunas ja eerinna edasi liikumisel pikendatakse ka konveier.

Tänapäeval teostatakse Estonia kaevanduses läbindustöid nii kahe strekiga paneelidel (16-18 p, 314 p, 19 p ja 39 p.), kui ka kolme strekiga paneelidel (14 p, 312 p, 17 p ja 313 p.). Kuna konveieri ja plokkide liikumine ühes suunas on võimalik ainult kolme strekiga paneelidel siis konveierite pikendamine plokkide töötamisel on võimalik ainult 14 p, 312 p, 17 p ja 313 paneelil.

Kambriplokkide kontuurimise skeem on ettenähtud kambriploki tuulutamise teostamiseks värske õhu joaga, mis saabub mööda ühe paneeli transpordi- ja konveieristrekki, läbib kogumisstreki asuva krossingu, kust edasi läbib kambriploki poolplokkide eed, tuulutab need ja heitõhujuga väljub mööda kambriploki külgstreki paneeli tuulustusstreki ja edasi šurfi (vt. joonis 9).

Töid teostatakse üheaegselt kambriploki kahes poolplokis. Poolplokke eraldab nende vahel paiknev kogumisstrekki. Poolplokk on piiritletud peale kogumisstreki kül-, tuulustusstreki ja algõõriga. Kogumisstreki paralleelsed ja põikikambrite vahele jäävad tervikud on kaitsetervikud. Kogumis- ja külgstrekkide äärde jäetakse tugevdatud kaitsetervikud. Kogumisstreki paralleelseid kaeveõõnte eesid nimetatakse pikikambriteks ja risti asuvaid kaeveõõnte eesid põikikambriteks.

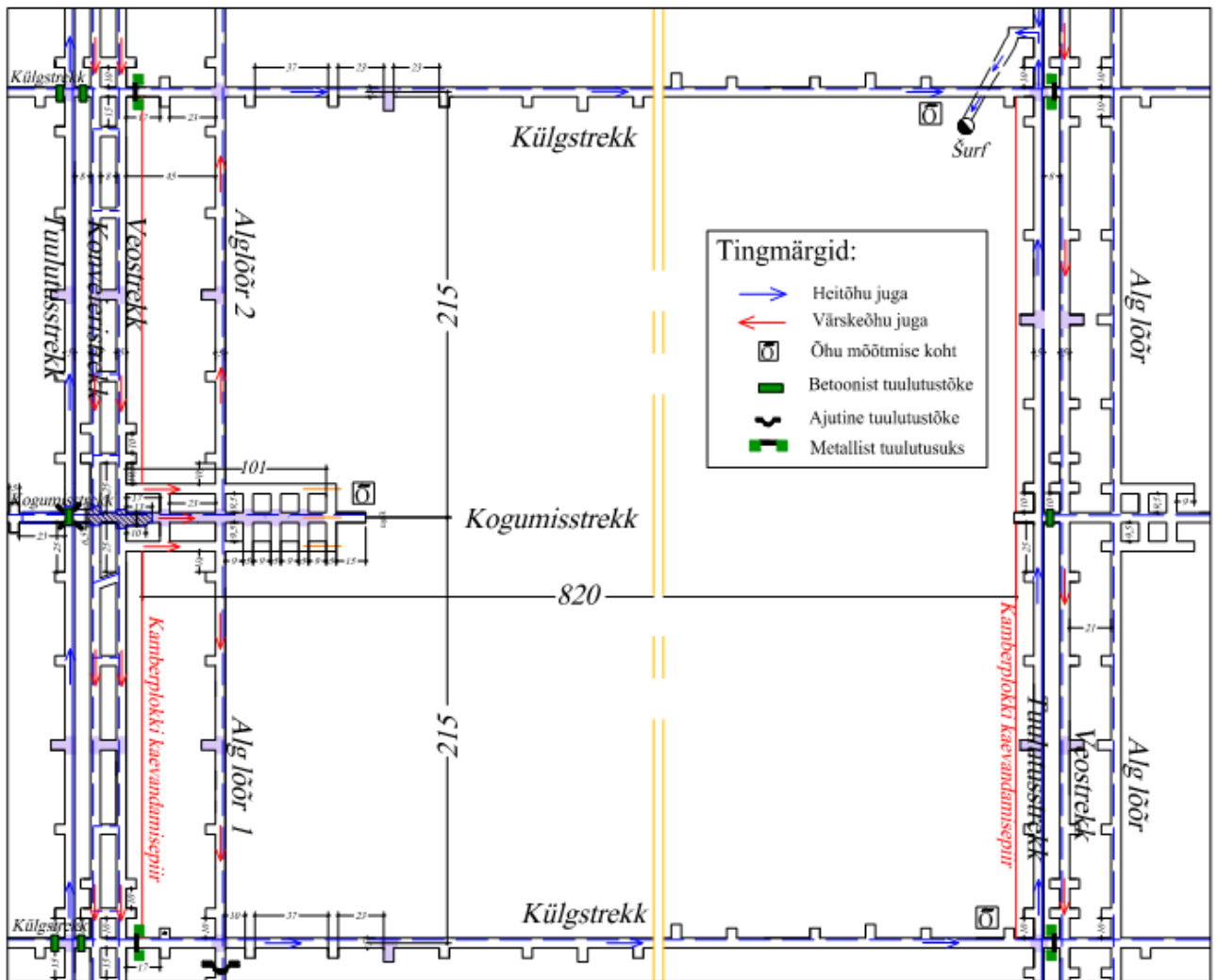
4. KOGUMISSTREKKIDE LÄBINDAMISETA TEHNOLOOGILINE SKEEM

Tänapäeval läbindatakse kambriploki ettevalmistamiseks üks kogumis- ja kaks külgstrekki risti paneelstrekkiga. Samuti lõigustatakse paralleelselt paneelstrekkidega lõigustuskaeveõõned. Koristusstrekkide ja lõigustuskaeveõõnte ristlõige on sarnane paneelstrekkidega.

Uus tehnoloogiline skeem näeb ette kogumisstrekkide läbindamisest loobumist ning selle asemel valmistatakse läbindustöödega ette ainult nn “püksid” kuhu kambriploki tööde alustamise etapis saab paigutada konveieri ja kaevisse mahalaadimispunkti koos kraapkonveieriga. Selline koristustööde tehnoloogia koos konveieri pikendamisega võimaldab ettevalmistada kogumisstrekki koristustööde ajal ja lahendada korraga mitu probleemi:

- Koristustööde ajal kogumisstreki ettevalmistamine on oluliselt odavam, kui läbindustöödel.
- Kambriplokkide suur koristustööde kiirus, mille tõttu läbindustöödel ei jõuta kogumahu ette valmistada kambriplokke.
- Läbindustöödel esinevad geoloogilised rikked, mis omakorda vähendab tootlikkust jaoskondadel.

Läbindustöödel tähendab uus tehnoloogiline skeem ühe streki võrra väiksemat koormust, mis võimaldab omakorda kiiremini lõigustada otse paneele. Taoliste plokkide alustamise aluseks peab plokk ikkagi olema kontuuritud paneeelstrekkidega ja kahe külgstrekkiga (vt. joonis 10).



Joonis 10. Kogumistreki läbindamiseta kambriploki vajalik kontuurimise skeem (autori joonis)

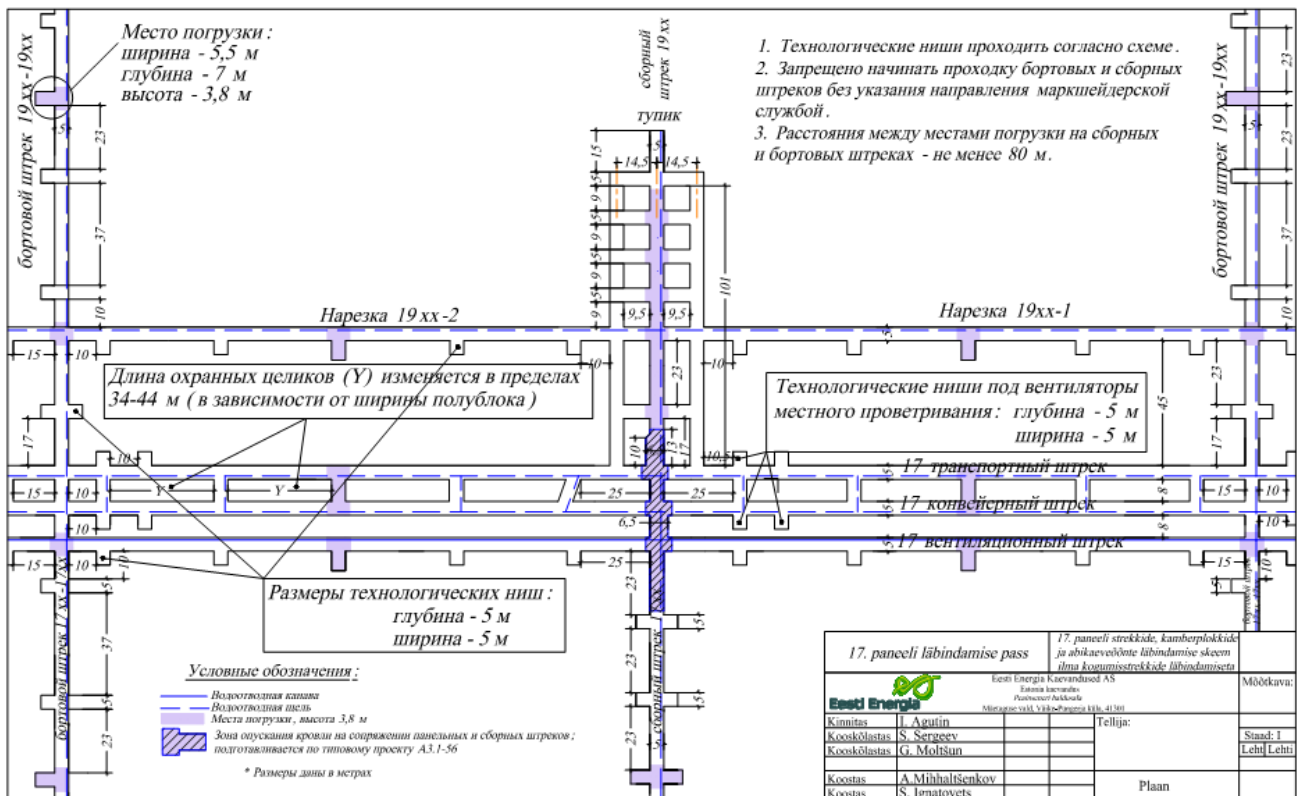
Vaatamata sellele, et antud läbindamise skeem omab mitmeid eeliseid, esineb ka puudusi. Esmalt on selle tehnoloogia puhul koristustööde tegemine piiratud paneelide konfiguratsiooniga ja lintkonveieri pikendusega. Täna sel päeval on antud tehnoloogia kasutatavd paneelides 14 p, 312 p, 17 p, 37 p ja 313 p, ülejäänud 16-18 p, 314 p, 19 p ja 39 paneelid antud tehnoloogia kasutamist ei võimalda, sest seal toimuvad koristustööd lintkonveieri lühendamisega.

Teiseks puuduseks on tuulutusskeemi ümber korraldamine, värske õhu suunamine toimub läbi kambriploki kaevandatud ala taga olevast paneelist. Õhu suunamiseks ee-rinda tuleb ehitada tuulutustõkked kogu ploki ulatuses. Tuulutusrajatiste ehitamisel tuleb arvestada nende ehitamise maksumust, värske õhuhulga lekkimist ja lõhketööde mõju.

Kolmandaks puuduseks on veekõrvalduse reorganiseerimine. Suurema tootlikkuse saavutamiseks on otstarbeks kasutada antud süsteemi ainult piirkondades, kus koos koristustööde liikumisega alaneb ka lamami sügavus.

Arvestades ülalpool kirjeldatud aspekte ja Estonia kaevanduse mäetööde plaaniga tutvumisel võib väita, et pooled kavandatud kambriplokid ei sobi selle tehnoloogia juurutamiseks. Lähiaastatel antud tehnoloogiline skeem on võimeline töötama 14. -, 312. -, 17. -, 37. -, ja 313. paneelil. Kokku mäeeraldise piirideni 14. paneelil tuleb 4 kambriplokki, 312. paneelil 5 kambriplokki, 313. paneelil 4 kambriplokki, 37. paneelil 4 kambriplokki ja 17. paneelil 6 kambriplokki. Kokku saab antud uue skeemi järgi töötada 23 kambriplokki.

Alates 2015. aasta novembrist on antud tehnoloogilise skeemi alusel läbindatud paneelid vastavalt uuele läbindusplassile (vt. joonis 11).



Joonis 11. 17 paneeli läbindamise pass (autori joonis) [4]

Läbindamise käigus kontuuritakse kambriplokke vastavalt nõuetele, mille kohaselt ploki alustamisel paigutatakse konveieristrekki konveier ümberlaadimispunktiga, autotranspordi möödasõit korraldatakse veostreki konveieri alt ja nn "pükstesse" paigutatakse lintkonveieri lõpposa ja kraapkonveier. Antud etapil toimub kambriploki eerinna kontuurimine ja alglõõrist tagumiste

kambrite väljatöötamine kraapkonveierile. Eerinna edasi liikumisel vähemalt 100 meetri ulatuses toimub konveieri pikendamine ja alustatakse tuulutustõkete ehitamine kogumisstreki esimese ja teise kambri vahel.

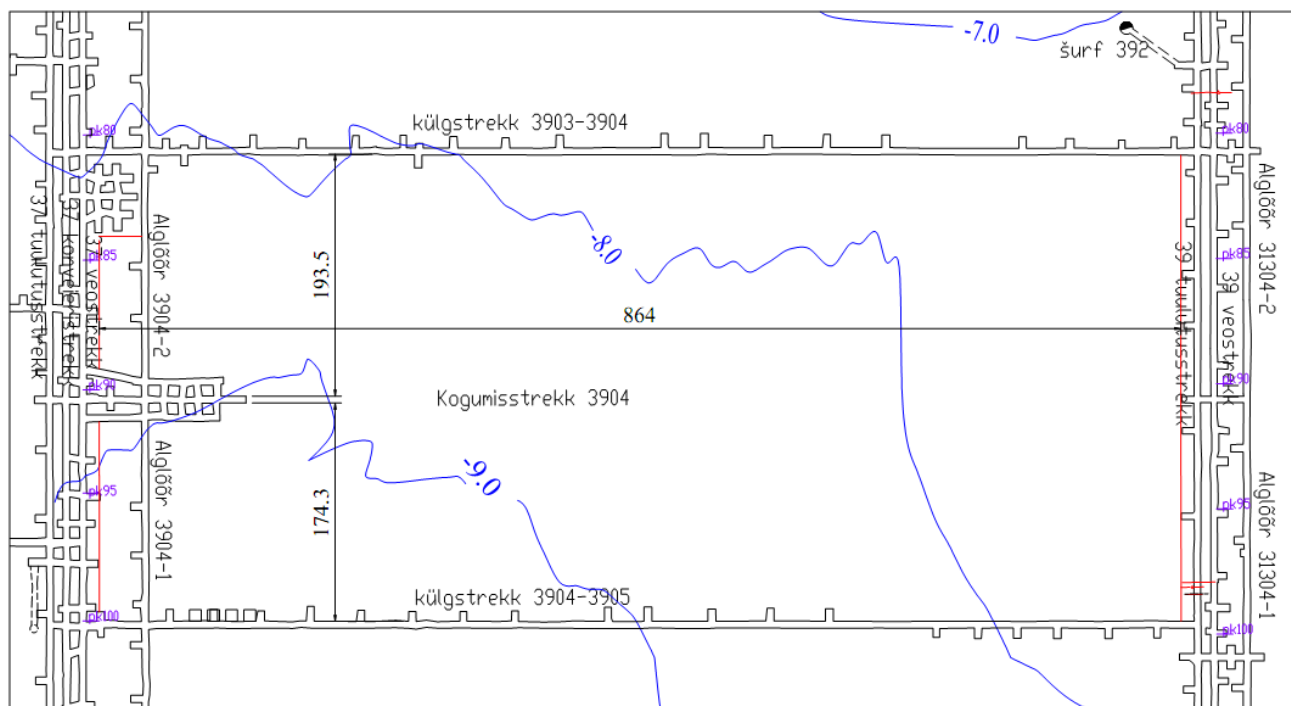
Läbindamise käigus kontuuritakse kambriplokke vastavalt nõuetele, mille kohaselt ploki alustamisel paigutatakse konveieristrekki konveier ümberlaadimispunktiga, autotranspordi möödasõit korraldatakse veostreki konveieri alt ja nn “pükstesse” paigutatakse lintkonveieri lõpposa ja kraapkonveier. Antud etapil toimub kambriploki eerinna kontuurimine ja alglõõrist tagumiste kambrite väljatöötamine kraapkonveierile. Eerinna edasi liikumisel vähemalt 100 meetri ulatuses toimub konveieri pikendamine ja alustatakse tuulutustõkete ehitamine kogumisstreki esimese ja teise kambri vahel.

Edasisteks arvutusteks valime olemasoleva kambriploki, mis kontuuriti uue läbinduspassi järgi ning eeldatavalt hakkab tööle aasta lõpuks.

4.1. Koristustööd kambriplokis kogumisstreki läbindamiseta

Arvestades ülalpool kirjeldatud aspektidega on valitud kambriplokk KP 3904. Antud kambriplokk asub 37. ja 39. paneeli vahel. Kambriplokk lõigustatakse koristustööde käigus kaheks poolplokiks, üks 174,3 m ja teine 193,5 meetrit lai. Kambriploki kogupikkus kaevandamise piirini on 864 meetrit. Eerinna liikumine toimub 39. paneeli suunas, kus lamami absoluutne kõrgus kasvab – 9 m-st kuni -8 m-ni merepinnast (vt. joonis 12). Veekõrvaldussüsteem korraldatakse läbi vastavate soonte ja vee loomuliku voolu 37. paneeli suunas.

Suuremas osas kambriploki pindalast on lae kivimid lõhelised, keskmine lõhede vahekaugus on 6,9 m. Maapealsed kaitsmisele kuuluvad objektid puuduvad.



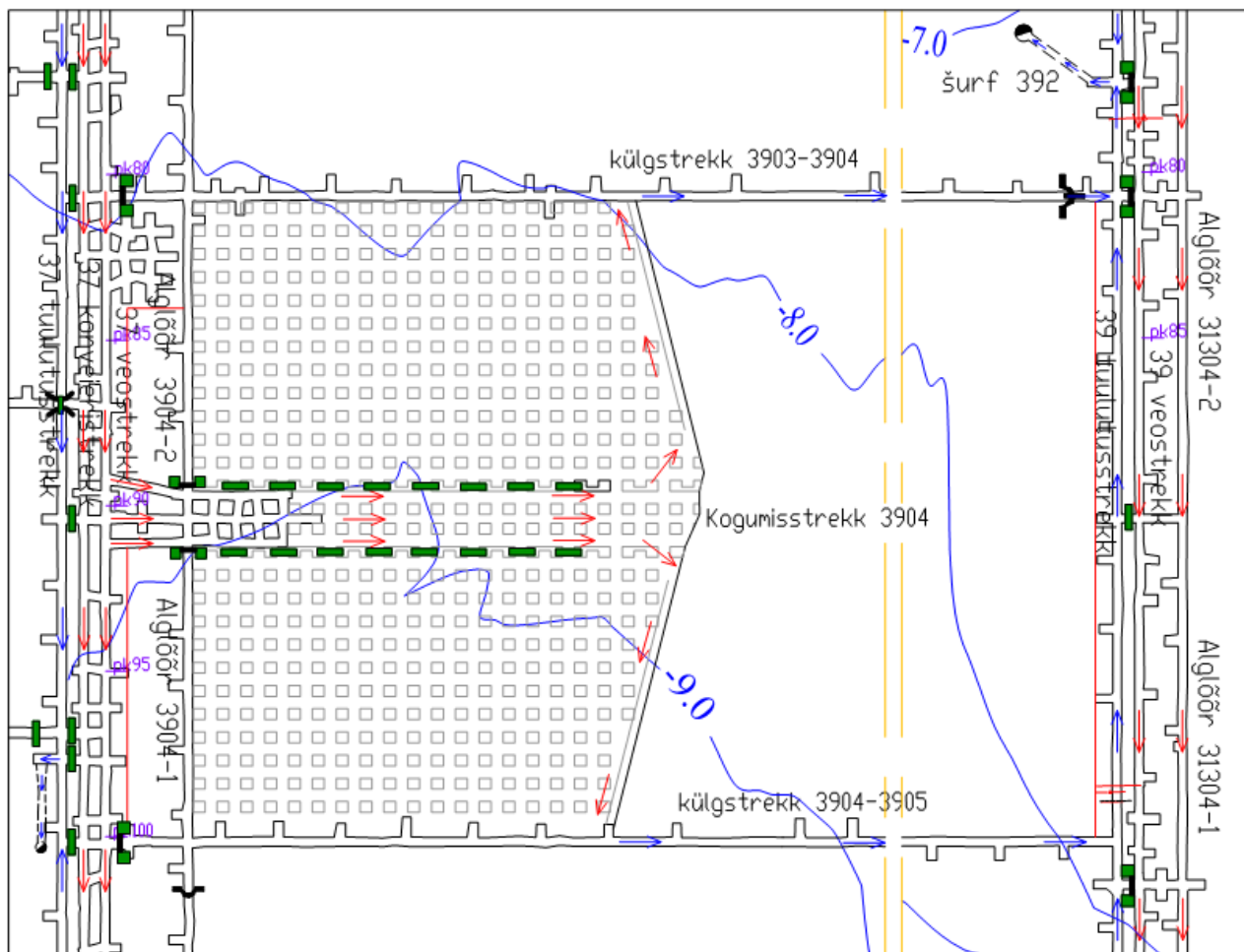
Joonis 12. KP 3904 plaan (autori joonis)

Koristustöödel on kavas kasutada kamberkaevandamisviisi põhilae ülalhoidmisega tervikutel ja lähislae toestamist ankurtoestikuga. Kihindi raimamiseks kasutatakse puur-lõhketöid ee edasinihkega 3,4-3,6 m tsüklis. Lõhatud kaevis laaditakse kopplaaduritega. Lae toestamine, ee puurimine ja lõhkeaukude laadimine on mehhaniseeritud ja tsükliline.

4.2. Kambriploki KP 3904 tuulutusskeem

Kaevanduse tuulutamine toimub survetuulutusega, kus tuulutuse tagavad 8 peatuulutusventilaatorit, mis asetsevad maapinnal lääne ja ida suunas.[17] Tuulutusšurfid asuvad peastrekkidel ja puhuvad värsket õhku maa alla. Liikudes mööda paneele suunatav õhk soojeneb massiivist kuni +8 kraadini. Õhujuga liigub mööda peatuulustusstrekke, vaheseinte abil suunatakse osa joast 37-nda paneeli konveieri- ja veostrekki. Kaevandatud alad piki 37. paneeli on eraldatud vaheseintega, mis ei lase värskel õhul seguneda heitõhuga.[18]

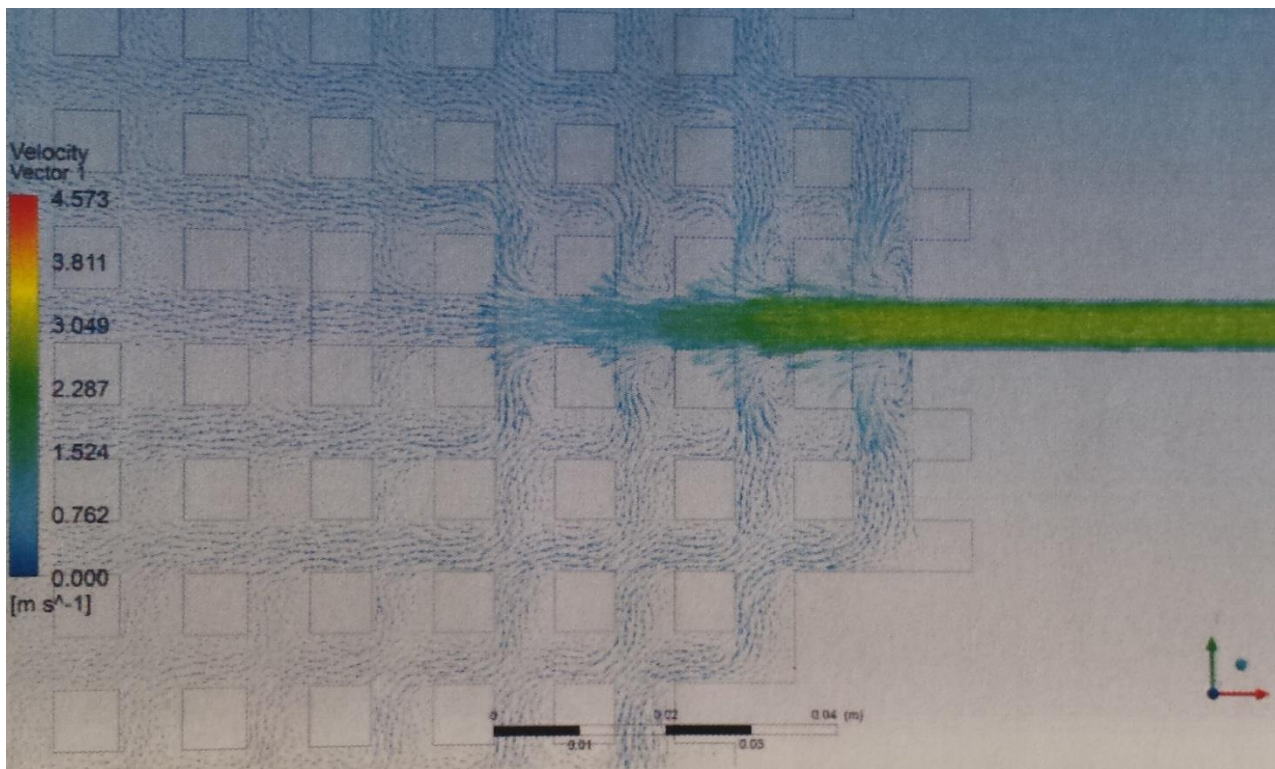
Kambriploki tuulutamiseks kasutatakse suunamisvoolu tuulutusskeemi, kus värsket õhku liigub mööda 37. konveieri- ja veostrekist, pöörab mööda ettevalmistatud nn „pükse“ kambriplokki ja liigub läbi poolplokkide esimeste kambrite ning kogumisstreki kogu väljatöötatud alast eerinda (vt. joonis 13). [18]



Joonis 13. Tuulutuskeem KP 3904 (autori joonis)

Õhu suunamiseks ee-rinda tuleb ehitada tuulutustökked kogu ploki ulatuses esimese ja teise poolplokki kambri vahele. Värske õhu liikumine toimub ploki tagant mööda kolme streki eerinda, kus see jaotub ja tuulutab poolplokide kambreid, edasi suunatakse heitõhujoad mööda külgstreкке 39. paneelil asuvasse tuulutustrekki ning sealt suunatakse edasi mööda 392. tuulutusšurfi maapinnale. [19]

Teoreetiliste andmete põhinedes, antud tuulutussüsteem kambriplokis toob parema õhu juurdepääsu eerinna tuulutamiseks. Modelleerimise alusel saadi andmeid, et õhk, mis liigub tagasivoolu tuulutusskeemi järgi ehk siis ees paneelstrekkist mööda kogumisstrekki, kiirenduse pärast ei võimalda õhul jaotuda kohe alates esimestest kambritest vaid hakkab jaotuma teises ja kolmandas kambris, mis omakorda vähendab tuulutamise kvaliteeti (vt. joonis 14). [20]



Joonis 14. Modelleerimise tulemused õhuvoolu jaotamisel kambriplokis Estonia kaevandus [20]

Vajaliku õhuhulga arvutus teostatakse vastavalt juhendile “Põlevkivikaevanduse tuulutuskava koostamise juhend” – alapunkt 2. Allmaakaevanduste tuulutamiseks vajaliku õhuhulga arvutamine (EP/06.09.2004). Ete (Q_{esi}) vajaliku õhuhulga arvutamisel kasutatakse järgmisi maksimaalseid faktoreid: [21]

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. Kambriplokis tööorganisatsiooni alusel, vajaliku õhuhulga arvutus teostatakse järgmise valemi (1) järgi: [21]

$$Q_{esi} = Q_{esi\ LT} + Q_{esi\ D}, \quad (1)$$

kus: $Q_{esi\ LT}$ – lõhkeaine kulu alusel arvatud vajalik õhuhulk,

$Q_{esi\ D}$ – diiselajamiga masinate heitgaaside lahjendamise jaoks vajalik õhuhulk.

Kambriploki tuulutamiseks vajaliku õhuhulga valiku korral arvestatakse paneeli tuulutuse olemasoleva võimaluse.

4.2.1. Õhuhulga arvutamine ees töötavate inimeste arvu järgi

Vajalik õhuhulk arvutatakse järgmise valemi (2) järgi: [17][21]

$$Q_{esi} = n \cdot q, \text{ m}^3/\text{min}, \quad \text{kus:} \quad (2)$$

$n = 12$, üheaegselt ees töötavate inimeste maksimaalne arv

$q = 6 \text{ m}^3/\text{min}$, normatiivne õhuhulk ühe inimese kohta.

Arvutuse tulemus – $72 \text{ m}^3/\text{min}$.

4.2.2. Õhuhulga arvutamine lõhketöödel eralduvate gaaside järgi

Lõhkeaine kulu alusel arvutatakse vajalik õhuhulk järgmise valemi (3) järgi: [17][21]

$$Q_{esi} = \frac{11,3}{t} L \sqrt{Bm}, \text{ m}^3/\text{min}, \quad \text{kus:} \quad (3)$$

L – koristusee pikkus, m; kui $L > 150$ m, siis arvutuses võetakse $L = 150$ m

$B = 318$ kg – korruga lõhatava lõhkeaine kogus

$m = 3,8$ m – kihindi väljatav paksus

$t = 60$ min – koristusee tuulutamiseks vajalik aeg.

Arvutuse tulemus – $Q_{esi} = 982 \text{ m}^3/\text{min}$.

4.2.3. Õhuhulga arvutamine diiselajamiga masinate heitgaaside järgi

Vajalik õhuhulk diiselajamiga masinate heitgaaside lahjendamiseks allmaakaevõõntes lubatava kontsentratsioonini arvutatakse järgmise valemi (4) järgi: [17][21]

$$Q_{esi} = g \cdot T, \text{ m}^3/\text{min}, \quad \text{kus:} \quad (4)$$

g – minuti jooksul eralduvate heitgaaside hulk, m^3/min

$g = nV$, m^3/min

V – diiselmootori silindrite maht, m^3

n – diiselmootori pöörete arv töökäigul, p/min

T – heitgaaside toksilisus; arvutatakse diiselmootorite väljalasketorust võetud gaasiproovide analüüsi alusel järgmise valemi (5) järgi:

$$T = \frac{\sum k_i c_i}{c_{lub}}, \quad \text{kus:} \quad (5)$$

k_i – kahjuliku gaasi lubatud kontsentratsiooni ümberarvestustegur tinglikule vingugaasi lubatud kontsentratsioonile; [vingugaasile (CO) = 1, NO₂ = 6,5]

c_i – kahjuliku gaasi kontsentratsioon heitgaasides, %

c_{lub} – vingugaasi lubatud kontsentratsioon, %.

Arvutamisel lähtuti 2. jaoskonna masinapargist, heitgaaside kontsentratsiooni mõõdetakse iga kolme kuu tagant. Antud väärtused vastavalt masina margi ja inventari numbrile on võetud 20.03.16. [22]

Vajalik õhuhulga arvutus iga kambriploki poolplokis töötavate üheaegselt diiselmootoritega masinate jaoks, esitatud alljärnevides tabel 3; tabel 4; tabel 5:

Tabel 3. Diiselmootoritega masinate üheaegne töö kambriplokis variant 1. [21]

Nimetus	n p/min	V m ³	g=n*V m ³ /min	C ₁ , % (CO)	C ₂ , % (NO ₂)	T	Q _{esi} m ³ /min
Laadur Scooptram ST1030	2000	0,009000	18,00	0,0244	0,0034	21,73	391,1
Laadur LH-514L	1900	0,012130	23,05	0,0132	0,0012	9,81	226,2
Laeankurdamis- puurpink Roof Master 1.7	2300	0,003900	8,97	0,0058	0,0016	7,57	67,9
							685

Tabel 4. Diiselmootoritega masinate üheaegne töö kambriplokis variant 2.[21]

Nimetus	n p/min	V m ³	g=n*V m ³ /min	C ₁ , % (CO)	C ₂ , % (NO ₂)	T	Q _{esi} m ³ /min
Laadur Scooptram ST1030	2000	0,009000	18,00	0,0244	0,0034	21,73	391,1
Laadur LH410	2100	0,009360	19,66	0,0132	0,0005	7,69	151,1
Laeankurdamis- puurpink Roof Master 1.7	2300	0,003900	8,97	0,0058	0,0016	7,57	67,9
							610

Tabel 5. Diiselmootoriga masinate üheaegne töö kambriplokis variant 3. [21]

Nimetus	n p/min	V m ³	g=n*V m ³ /min	C ₁ , % (CO)	C ₂ , % (NO ₂)	T	Q _{esi} m ³ /min
Laadur TORO-400D	2200	0,015953	35,10	0,0356	0,0017	21,80	765,1
Roof Master 1.7	2300	0,003900	8,97	0,0058	0,0016	7,57	67,9
							833

Kambriploki tuulutamiseks ja paneeli tuulutuse võimalikkuse alusel võetakse arvutuseks suurim võimalik väärtus tabel 5.

Arvutuse tulemus – Q_{esi} = 833 m³/min.

Kambriplokis 3904 on lubatud kasutada diiselajamiga masinaid, mille heitgaaside CO ja NO₂ (%) kontsentratsioon ei ületa CO ja NO₂ lubatud piirväärtuseid, mis on toodud tabelites 3-5. Vastasel juhul tuleb teostada uus arvutus vajaliku õhukoguse määramiseks. Kopplaadurite TORO-400D kasutamisel kaevise laadimiseks on lubatud kasutada ainult ühte kopplaadurit TORO-400D mõlemas poolplokis, teise kopplaaduri samaaegne kasutamine on keelatud (vt. tabel 5) suure heitgaaside kontsentratsiooni tõttu.

Kambriploki 3904 kahe poolploki üheaegseks tuulutamiseks tööde teostamise ajal on vajalik õhukogus (Q_{esi}) 1815 m³/min. Kogu vajalik värske õhu kogus moodustub lõhkaeiane kulu alusel saadud arvutuslikust õhuhulgast ja masinate heitgaaside lahjendamiseks vajaliku õhukoguse summast.

4.3. Kambriploki hoidetervikute arvutus

Arvestades asjaoluga, et 2016. aastal on vastu võetud otsus üle minna kuni 50% ulatuses väljamisel „madalale laele“ (h=2,8 m), arvutatakse KP 3904 madala laega kaevandamiseks.

Külgstreki äärsete tõkketervikute arvutuse juhendiks on võetud “Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend” (EP/30.01.2004. a). Kõik arvutused on teostatud automatiseeritud Exceli programmiga “Tervik”, mis on kasutusel Eesti Energia kaevandustes kambriploki tervikute arvutamisel.[23]

Arvutuste käigus leitakse tõkketervikute mõõtmed mööda külgstrekke (vt. tabel 6). Kogumisstreki juures asetsevate kambriplokkide sees on tervikud, mis oma mõõtmetelt on kaksiktervikud (kahes

reas asetsevad tervikud) ja omavad seetõttu hoidetervikutega sama kandevõimet. Seega, kui tõkketervikud on kaherealised ja nende pikkus y (mõõde on risti külgstrekki) antakse ette (vt. joonis 15), siis nende laius x (mõõde piki külgstrekki) arvutakse järgmise valemi (6) abil (vt. lisa 1):[23]

$$x^2 + \left\{ \frac{7}{3}h - 2q - \frac{n\gamma * Hh(y+b)}{0,3R_t(y+b)} [0,02(l_0 + Htg(\omega)) + 1] \right\} x - q \left(\frac{7}{3}h - q \right) - \frac{0,5n\gamma * Hh}{0,3R_t(y-q)} [A + (l_0 + Htg(\omega)) * (0,02A + 0,25)](y + b) = 0, \quad \text{kus} \quad (6)$$

x – tõkketerviku mõõde piki külgstrekki;

y – tõkketerviku mõõde risti külgstrekki;

h – põlevkivikihi väljatava paksus, $h=2,8$ m;

k_o – koefitsient, mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul, $k_o=1,0$;

A – pikikambrite laius külgstrekkist arvestades, $A=5,5$ m;

b – lõõride laius tõkketervikute vahel, $b=5,0$ m;

n – tõkketervikute tugevuse varutegur, $n=1,3$;

γ – kattekivimite keskmine tihedus, $\gamma = 0,025$ MPa/m;

H – kattekivimite paksus m, $H=65$ m (vastavalt väljatava kihi paksusele);

t – tervikute arvutuslik (ette antud) iga, $t=50$ aastat;

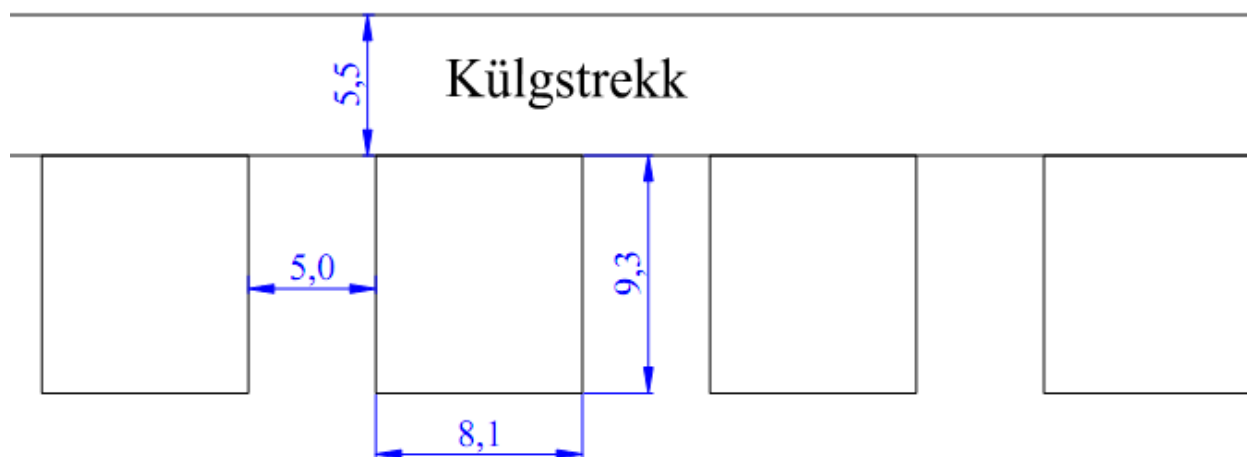
R_t – kivimite survetugevus ajahetkel t , $R_t=7$ Mpa

ω – kattekivimite murdmisnurk, $\omega = 19$ kraadi;

l_0 – kattekivimite murdumissamm, $l_0 = 12$ m;

Tabel 6. Tõkketervikute arvutus

Nimetus	Tähis	Tervikute parameetrid
Põlevkivikihi väljatav paksus, m	h	2,8
Koef., mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul	k_o	1,0
Esimeste pikikambrite laius külgstrekist arvestades, m	A	5,5
Lõõride laius tõkketervikute vahel, m	b	5,0
Tõkketervikute tugevuse varutegur	n	1,3
Kambri seinte purunemise summaarne laius lõhketööde mõjul	q	0,6
Katte kivimite keskmine tihedus, MPa/m	γ	0,025
Katte kivimite paksus, m	H	65
Tervikute arvutuslik (ette antud) iga, a	t	50
Kivimite survetugevus ajahetkel t , Pa	R_t	7
Katte kivimite murdumisnurk $^\circ$	ω	19
Katte kivimite murdumissamm, m	l_o	12
Tõkketervikud:		
Mõõde risti külgstrekki, m	y	9,3
Mõõde piki külgstrekiga, m	x	8,1
Pindala, m ²	S	75,3



Joonis 15. Tõkketervikud külgstreki ääres väljatava paksusega 2,8 meetrit (autori joonis)

4.4. Kambrite arvutus

Lähislae lubatud ava suurus (arvutustulemused vt. tabel 7) arvutatakse jägmise valemi (7) abil arvestusega, et karbonaatsete kivimite paksus (H_k) on suurem kui 26 meetrit (vt. lisa 2): [23]

$$l_{l.l} = k_h k_p k_o k_a \sqrt{\frac{k_t}{n_l}} (K + MH_K), \quad \text{kus:} \quad (7)$$

$l_{l.l}$ – lähislae piirava suurus, m;

k_h – kaitstava objekti tähtsust arvestav koefitsient, 1;

k_p – koefitsient, mis arvestab lae püsivust sõltuvalt kaevandamise mäegeoloogilistest tingimustest; valitud plokis lae kivimid on lõhelised (keskmine lõhede vahekaugus on 6,9 meetrit), seega keskmine väärtus 0,7;

k_o - koefitsient, mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul; kuna mäetööde kaugus karstissoonist on üle 60 m, siis $k_o = 1$;

k_t – kivimite tugevuse muutumist ajas iseloomustav koefitsient; $k_t = 0,73$;

n_l - laekivimite tugevuse varutegur; $n_l = 1,8$;

k_a - koefitsient, mis võtab arvesse ankurtoestiku mõju lae püsivusele ja mille väärtus arvutatakse järgmise valemi abil:

$$k_a = 0,5(1 - \sqrt{h_a}), \quad \text{kus:}$$

h_a – ankrutega kokkuseotud kihtide summaarne paksus, m; $h_a = 2,14$ m (lae kõrgusel 2,8 m)

K ja M parameetrid, mis sõltuvad kivimite omadustest (K - meetrites, M - dimensioonita suurus); $K = 7$ m ja $M = 0,54$;

Tabel 7. Kambrite arvutus

Tähised	Nimetused	Väärtused
h	väljatav paksus, m	2,8
k_h	kaitstava objekti tähtsust arvestav koefitsient	1
k_p	koef., mis arvestab lae püsivust sõltuvalt kaevandamise mäegeoloogilistest tingimustest	0,7
k_0	koef., mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul; kui mäetööde kaugus karstisoonist on kuni 60 m, siis $k_0 = 0,8$, kui üle 60 m, siis $k_0 = 1$	1
n_l	laekivimite tugevuse varutegur	1,8
K	parameeter, mis sõltub kivimite omadustest, m	7
M	parameeter, mis sõltub kivimite omadustest	0,54
k_t	kivimite tugevuse muutumist ajas iseloomustav koef.	0,73
h_a	ankrutegea toetatava kihistiku paksus, m	2,14
k_a	koef., mis võtab arvesse ankurtoestiku mõju lae püsivusele ja mille väärtus arvutatakse järgmise valemi abil: $k_a = 0,5(1 + \sqrt{h_a})$	1,23
$l_{l,l}$	Lähislae piirava suurus, m	11,55
A_{arv}	Põikkambrite laius, m arvutuslik	7,6
b_{arv}	Pikikambrite laius, m arvutuslik	7,5

Asendades vajalikud suurused valemisse, saame vastuseks, et maksimaalne lähislae piirava suurus lael kõrgusega 2,8 on $l_{l,l}=11,55$ m.

4.5. Kambritevaheliste tervikute arvutus

Kambriploki tervikute arvutamine toimub valemiga (8), kui tervikute pikkim külg on risti kogumisstreki:[21]

$$y = \frac{nb\gamma H(A+x) + qR_k k_k(x-q)}{R_k k_k(x-q) - n\gamma H(A+x)}, \text{ kus} \quad (8)$$

q– kambri seinte purunemise summaarne laius lõhketööde mõjul: h = 2,8 m, q = 0,6.

Lähteandmed ja arvutustulemused on antud alljärgnevas tabel 8.

Tabel 8. Kambrivaheliste tervikute mõõtmed ja pikikambrite arv poolplokis

Nimetus	Tähis	Tervikute parameetrid	
		3904-1	3904-2
Poolplokk	m	3904-1	3904-2
Arvutustulemused		lisa 3	lisa 4
Koef., mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul	ko	1	1
Põlevkivikihi väljatav paksus, m	h	2,8	2,8
Gewi-16 ankurpolti pikkus, m	lo	2,14	2,14
Pikikambri laius, m	b	7,6	7,3
Põikikambri laius, m	A	7,5	7,2
Tervikute tugevuse varutegur	n	1,2	1,2
Katte kivimite keskmine tihedus, MPa/m	γ	0,025	0,025
Katte kivimite paksus, m	H	65,0	65,0
Tervikute arvutuslik (ette antud) iga, a	t	15	15
Kivimite survetugevus ajahetkel t, MPa	Rt	7,436	7,436
Kambritevahelised tervikud:			
Risti kogumisstreki, m	y	7,4	6,9
Piki kogumisstreki, m	x	6,7	6,7
Pindala, m ²	S	49,6	46,2
Poolplokkide laius, m	L	174,3	193,5
Pikikambrite arv poolplokis		11	13

Arvutustulemustes toodud lisa 3 ja lisa 4 alusel saadi tervikute minimaalseid suurusi risti kogumisstreki 3904-1 $y = 7,3$ m ja 3904-2 $y = 6,8$ m, seoses sellega, et kambrite arvutuste alusel maksimaalseks kambri laiuseks on võetud 7,6 m, suurendame tervikuid risti kogumisstreki (y suurus) optimaalsemaks jaotamiseks kambriplokis + 0,1 m. Alljärgnevate arvutuste abil saame teostada kontroll arvutusi tervikute ja kambrite sobivuse kohta kambriplokis.

4.6. Kambritevaheliste tervikute kontrollarvutus

Iga poolploki kambrite ja tervikute mõõtmete määramisel tehakse kontrollarvutusi vastavalt nende laiusele. KP 3904-1 on 174,3 meetri laiune poolplokk, mille kambrite ja tervikute arvu määramiseks, võetakse Exceli programmist „Tervik“ (autori õigused kuuluvad EE-le) tööleht „eelnevad arvutused 9-49“. Antud töölehel leitakse vajaliku pikikambri ja terviku laius ning vaadatakse, millises tulbas see asub. Arvutuste põhjal asub antud tulemus tulbas, mis näitab, et selliste andmetega 2,8 m väljatava paksusega poolplokis laiusega 174,3 meetrit on 11 kambrit ja 10+1 tervikut (asendatakse kogumisstreki hoidetervik pikendatud kambriploki tervikuga). Kontrollime seda järgmise valemi (9) järgi:

$$K*b+T*x+Tx = X \text{ meetrit,} \quad \text{kus} \quad (9)$$

K – kambrite arv poolplokis

b – pikikambri laius

T - tervikute arv poolplokis

x - terviku laius

Tx – kaitseterviku laius

X - poolploki laius

Vastuseks saadakse, et poolploki laiuseks on 174,3 meetrit (poolplokis on 11 kambrit ja 10 + 1 tervikut), viga on +/-0,0 m, mis arvutuslikult tervikute ja kambrite laiuse poolest sobib antud poolplokile 3904-1.

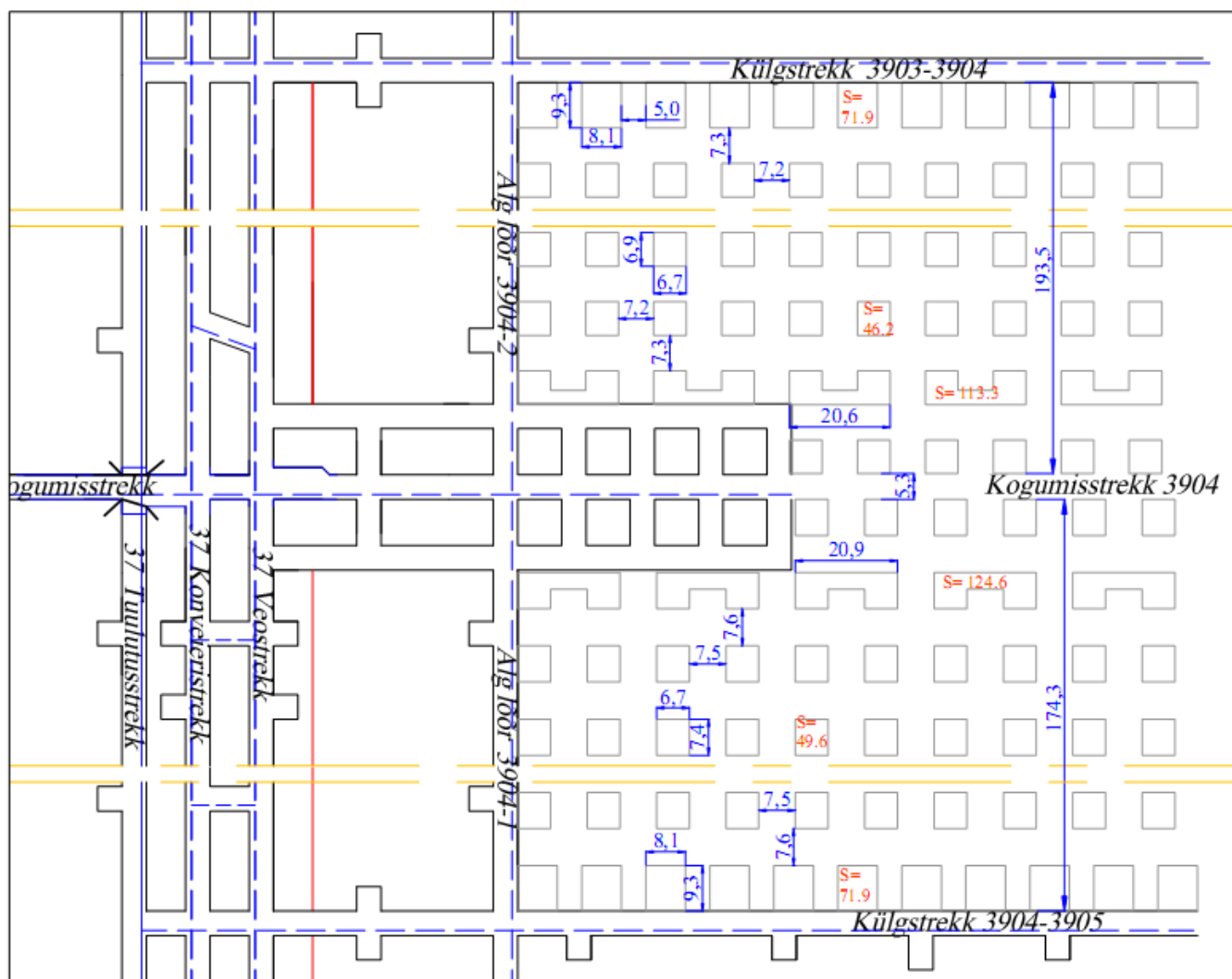
KP3904-2 on 193,5 meetrit lai poolplokk. Kambrite ja tervikute arvu määramiseks võetakse Exceli programmist „Tervik“ töölehel „eelnevad arvutused 9-49“ vajaliku pikikambri ja terviku laius ning vaadatakse, millises tulbas tulemus asub. Arvutuste põhjal asub tulemus tulbas, mis näitab, et 2,8 m paksusega poolplokis laiusega 193,5 meetrit on 13 kambrit ja 12+1 tervikut (asendatakse

kogumisstreki hoidetervik pikendatud kambriploki tervikuga). Tulemsut kontrollitakse valemi (9) järgi.

Vastuseks saadakse, et poolplokki laiuseks on 193,3 meetrit (13 kambrit ja 12 + 1 tervikut), viga on -0,2 m, mis on vastuvõetav kaevanduse markšeideri osakonna poolest. Nende -0,2 meetri võrra on viimases kambri poolplokis külgstreki kaitsetervik vastavalt eelnevale mõodule väiksem.

Hoidetervikute kandevõimet kogumisstreki ääres kannavad esimese ja teise kambri vahelised suurendatud kambrivahelised tervikud, kogu pindalaga ligi 115 m².

Antud arvutuste põhjal konstrueeritakse skeem kaitsetervikute, kambritevaheliste tervikute ja kambrite laiuste määramiseks, et paigutada need kambriplokki (vt. joonis 16).



Joonis 16. Kaitsetervikute, kambrivaheliste tervikute ja kambrite laiuste skeem kambriplokis 3904 (autori joonis)

4.7. Kasutatava toestiku tüüp ja kulu

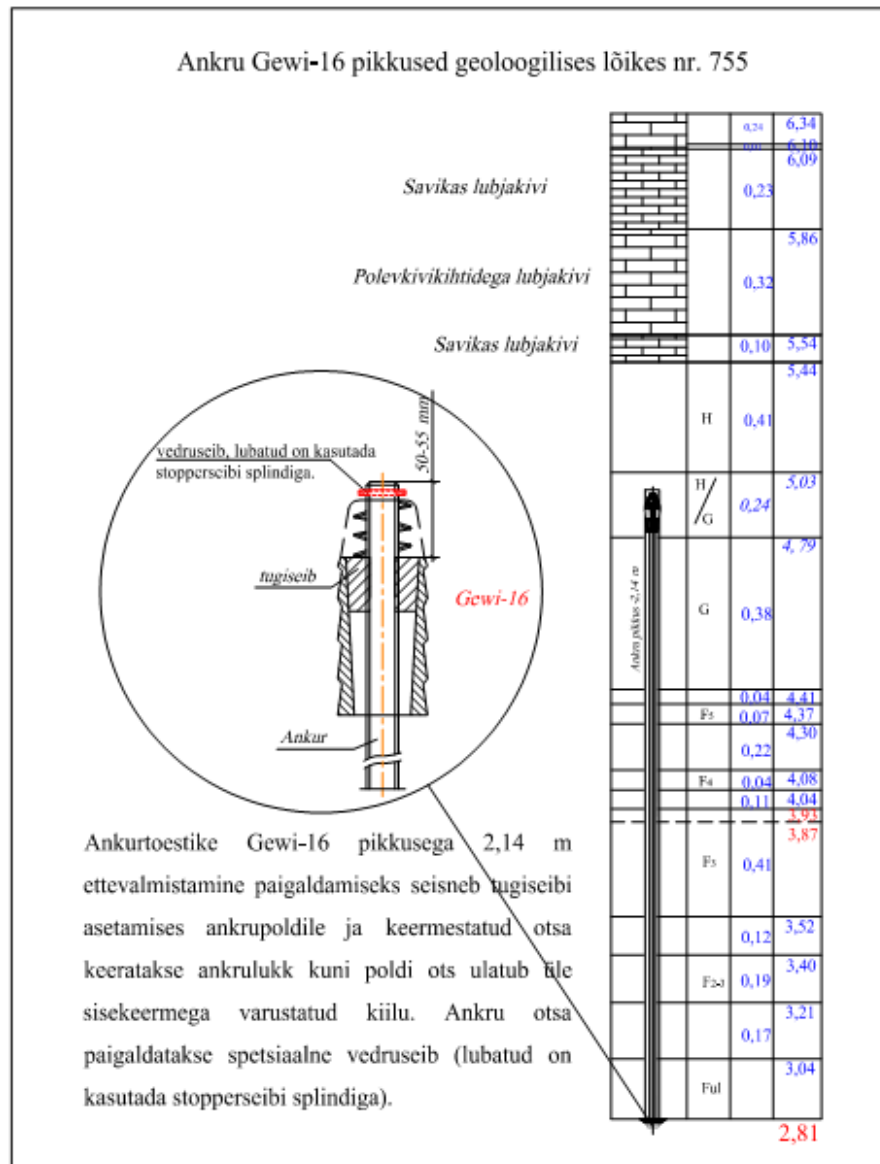
Lagi toestatakse ankurtoestikuga, mille paigaldamiseks puuritakse lakke vastavalt toestuspassile puuraugud. Kasutades puurimiseks puurvankrit RoofMaster 1.7 teostatakse kogu tööprotsess mehhaniseeritult, kusjuures kasutatakse ankruid Gewi-16. Kasutades lae aukude puurimiseks laepuurmasinat МБК (МБМ) toimub puurimise protsess mehhaniseeritult, ankruid paigutatakse lakke käsitsi ning pingutatakse ankruvõtmega KMA-25. [14]

Ankrute paigaldamisel ja väljavõtmisel peab juhinduma “Polt-ankurtoestiku kasutamise ajutine juhend” (EP/29.08.2008. a) nõuetest. [24]

Ankurtoestike Gewi-16 ettevalmistamine paigaldamiseks seisneb tugiseibi asetamises ankrupoldile ja keermestatud otsa keeratakse ankrulukk kuni poldi ots ulatub üle sisekeermega varustatud kiilu nagu skeemil (vt. joonis 17). Ankru otsa paigaldatakse spetsiaalne vedruseib (lubatud on kasutada stopperseibi splindiga).[24]

Vastavalt kambriploki geoloogilisele lõikele peab ankru pikkus olema selline, et ankurtoestiku lukk asuks kogu pikkuses kihindis H/G või sellest ülalpool lasuva savika lubjakivi kihis (vt. joonis 17). Ankurtoestiku puuraugu pikkus peab olema 50 mm pikem kui ankur. [24]

Ankrute pikkuste määramisel arvestatakse kambriploki geoloogilise lõige nr. 755 andmeid.



Joonis 17. Ankrute Gewi-16 paigaldamine geoloogilises lõikes nr. 755. [8]

Ankurtoestiku parameetrite arvutus toimub juhendi “Kiilmuhv-ankurtoestiku kasutamishand põlevkivi kaevandamisel” alusel, mis kehtib alates 06.09.1999. a.[25]

Suurim lubatav ühe ankru poolt ülalhoitav laepind arvutatakse järgmise valemiga (10) abil: [25]

$$S = \frac{10,2R}{\gamma(1 + K)(\ell + \Delta\ell) - 10} \quad (10)$$

kus:

S – ühe ankru poolt ülalhoitav pind, m²;

R – ankru pingus t, antakse ette

$$R = 3,0;$$

γ – laekivimite keskmine mahukaal, MN/m³ $\gamma = 2,3;$

K – lae püsivusest sõltuv lisakoormustegur:

kui tektooniliste lõhede vahekaugus on üle 5 m $K = 0,1;$

kui tektooniliste lõhede vahekaugus on alla 5 m $K = 0,3;$

ℓ – kaeveõõne (kambri) laius, m;

$\Delta\ell$ – külgseintes lõhketööde tagajärjel tekkinud purustustsooni laius:

kui $h = 2,8$ m, siis $\Delta\ell = 0,6;$

10,2 – mõõtühikuta empiiriline võrdetegur;

10 – mõõtühikuga empiiriline võrdetegur (t/m²).

Arvutustulemused on antud alljärgnevatel tabel 9 ja tabel 10 :

Tabel 9. Arvutustulemused kambrite jaoks väljatava paksusega $h=2,8$ m

Lisakoormustegur, K	Kambrite laius L , m	Ühe ankruga poolt ülalhoitav pind S , m ²	Ankrute lubatud samm, m
0,1	7,2	3,14	2,18
0,1	7,3	3,06	2,10
0,1	7,5	2,92	1,94
0,1	7,6	2,85	1,87
0,3	7,2	2,30	1,60
0,3	7,3	2,25	1,54
0,3	7,5	2,15	1,43
0,3	7,6	2,11	1,39

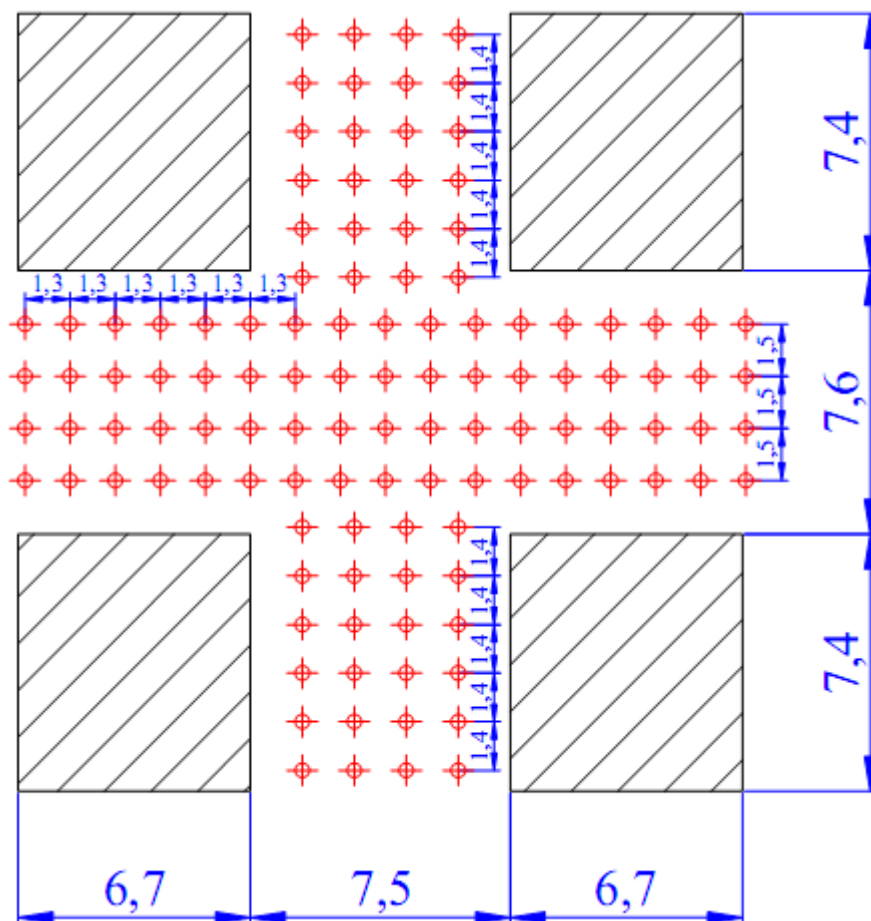
Toetus – 4 ankruga reas; ankrute keskmine vahekaugus: 1,48 m.

Tabel 10. Toestamiseks valime 4 ankruga reas

Kambrite laius L , m	Lae kõrgus H , m	Ankrute keskmine vahekaugus, m	Vastuvõetud ankrute samm, m
7,2	2,8	1,48	1,5
7,3	2,8	1,48	1,5
7,5	2,8	1,48	1,4
7,6	2,8	1,48	1,3-1,4

Vastavalt ankurtoestiku arvutustele saab koostada ankrute paigaldamise skeemid ning välja arvutada ankrute kaod 1000 m³ kaevise väljamisel. Arvutused on toodud Exceli failis “Ankurtoestiku kadude arvutus”. Arvutustulemused on antud tabel 11.

Poolplokis 3904-2, kus väljatava kihi paksus on 2,8 meetrit, toimub ankrute paigaldamine 4 reas ning reavahega 1,3-1,5 (vt. joonis 18).



Joonis 18. Toestamise skeem KP 3904-2 (autori joonis)

Tabel 11. Ankurtoestiku kulu

Ühe ankru poolt ülalhoitav pind S, m ²	2.31
Ankrute kogus 1m ² lahislael, tk	0.43
Ankrute kogus 1000 m ³ väljamiseks, tk	155
Ankrute taaskasutus, %	77%
Ankrute kulu 1000 m ³ peale	35.6

Arvutuste põhjal saadi, et 4 terviku vahel vajab ankurdamist 270 m² suurune vahelagi. Ankurtoestiku arvutuste põhjal 4 ankrut reas vahega 1,3-1,5 meetrit saadi tulemuseks, et toestamiseks on vajalik 116 ankrut. 1 m² toestamiseks läheb vaja 0,43 ankrut, sest iga ankur hoiab 2,31 m² vahelage. Kokku 1000 m³ kaevisel väljamisel läheb vaja 155 ankrut. Kuna ligi 77% ankrutest saab taaskasutada, siis ülejäänud loetakse kaoks, mis moodustab 35,6 tk iga 1000 m³ kohta.

4.8. Tuulutustõkete ehitamise sammu optimeerimine

Tuginedes kogemusele ja kambriploki projekteeritavale koormusele 1750 m³ kaevist ööpäevas, poolplokides 11 ja 13 kambrit. Suheldes tootmisjaoskondade juhatajatega selgus, et eeerinna igakuine edasinihe on vähemalt neli tsüklit ehk 60 meetrit.

Õhu suunamiseks eeerinda tuleb ehitada tuulutustõkkeid kogu ploki ulatuses esimese ja teise poolplokki kambri vahel. Tuulutustõkete ehitamise vähendamiseks ja õhu lekkekohtade miinimumi viimiseks, on esimese ja teise kambri vahele projekteeritud suuremate tõkke- ehk kaitsetervikute kontuurimine. Tervikute mõõtmed jäävad samaks, kui kogu ploki ulatuses, kuid lõhkamine risti kogumisstrekki toimub üle tsükli, läbindamata tsüklis toimub nišside rajamine kadude vähendamiseks (vt. joonis 16). Antud skeemi järgi tervikute kontuurimine lahendab korraga mitu probleemi:

- väiksem kogus tuulutustõkkeid kogu ploki ulatuses
- igast materjalist tuulutustõkke omab õhu lekkeketeguri, seega on vähem õhulekkeid
- kaksiktervik esimese ja teise kambri vahel, millel on sama pindala ja kandetegur kui tõkketervikul
- nišsid kaksiktervikutes vähendavad põlevkivi kadusid.

Vastavalt kambri vaheliste tervikute arvutuste andmetele on kaksikterviku pikkus ligikaudu 21 meetrit, mis on kahe terviku laiuse ja kambri laiuse summa. Ühe kuu jooksul on võimalik töötavas plokis kontuurida kaks sellist tervikut pikki kogumisstrekki. Tagamaks optimaalne kaevisel väljalaadimine ja tuulutus, peab kogumisstrekil olema vähemalt kolm avatud ristikambrit. Seoses eelnevaga, algab tuulutustõkete ehitamine pärast uue kaksikterviku kontuurimist ja laadimiskoha ülestõstmist eeerinda.

Tuulutustõkete sammu määramisel avaldavad suurema mõju kambriplokis läbiviidavad lõhketööd. Lõhketöödega kaasnevad mõjud, mis väikse ehitamise kauguse sammuga kahjustavad või purustavad

tuulutusrajatisi. Seega tuleb arvestada seismika, õhulööklaine ja kildude laiali paiskumise mõjudega.[26]

Lõhketöödega kaasneb maa võnkumine ehk seismiline efekt. Kui allmaa kinnises piirkonnas tervikud ja kaeveõõne põhi võnguvad, võivad tuulutusrajatistes tekkida praod. Tugevama võnkumise puhul võivad rajatised kahjustusi saada.

Lõhketööde projekteerimisel asulates ja ehitiste läheduses määratakse ehitise maksimaalne lubatud võnkekiirus valemiga (11): [26]

$$v_{maks} = v_l F_k, \quad \text{kus} \quad (11)$$

- v_{maks} – kaitstava ehitise maksimaalne lubatud võnkekiirus (cm/s);
- v_l – kaitstava ehitise aluspinnasest ja kaugusest sõltuv suurim lubatav võnkekiirus (cm/s)
- F_k – ehitise liigist sõltuv parandustegur.

Kuna tuulutusdõkked ehitatakse betoonist, milleks on kivistuv valubeton elueaga üle ühe nädala on parandusteguri suuruseks 1,2. Kaitstava ehitise aluspinnases ja seintes lubjakivi ja põlevkivi, kaugus lõhkamiskohast arvutuslikult mitte vähem kui 93 m, seega maksimaalseks lubatud võnkekiirus 1,7 cm/s.[26] Arvutustulemuseks saadi maksimaalse lubatud võnkekiiruse 2,04 cm/s.

Lõhketööde maksimaalne seismiliselt ohutu laengusuurus leitakse valemiga (12):[26]

$$Q_{maks} = \frac{v_{maks}^2 r^{2,7}}{K^2}, \quad \text{kus} \quad (12)$$

Q_{maks} – maksimaalne seimiliselt ohutu laeng (kg);

r – kaugus lõhkamiskohast kaitstava objektini (m);

K – pinnase seismilisuse tegur

Arvutuste tõestuseks on võetud lõhkamiskohast kaugus 93 m. Õhu suunamiseks on vajalikud 3-4 avatud sissepääsu eerinda, arvutusteks võetakse neli kambrit laiusega 7,5 m ja kolm kaksiktervikut pikkusega 21 m. Pinnase seismilisuse teguriks võeti K_{max} 300 - veevaene kaljupinnas. Arvutustulemuseks saadi maksimaalne lubatud laengusuurus Q_{max} 9,5 kg. [26]

Lõhiviitlõhkamisel loetakse korraga plahvatavaks laenguks ühes viitegrupis olevate laengute summaarset massi, kui viitesamm on vähemalt 50 ms.[26] Vastavalt Estonia kaevanduses kasutatavate puur- ja lõhketööde passide LP0001 (vt. lisa 5) puuralgmurde kambritele laiusel 6,2...7,0 m ja kõrgusega 2,7 m ja LP0012 (vt. lisa 6) puuritud algmurre kambritele laiusel 6,2...7,5 m ja kõrgusega 2,7 - 2,8 m, viitesamm on 250 ms. Seoses sellega arvestame viitegruppi summaarset massi, mis ei ületa 7,9 kg. [27][28]

Eeltoodud arvutuste põhjal järeldatakse, et 93 meetrise vahekaugusega ehitatud tuulutusrajalised on lõhkamise seisukohast võimelised vastu pidama lõhketöödest tulenevatele seismilistele võnkumistele.

Teiseks lõhketöödega kaasnevaks mõjuriks on õhulööklaine. Õhulööklaine puhul on purustuste tekitamise põhjuseks ülehelikiirusega liikuva lööklaine frondi dünaamiline ülerõhk. [26]

Õhulööklaine liigub õhus ülehelikiirusega kuni kauguseni valemiga (13) :[26][29]

$$R_{LL} = K Q^{1/3} \text{ (m)}, \quad \text{kus} \quad (13)$$

Q - plahvatava lõhkeaine netomass (kg);

K - arvutuslik võrdetegur, K= 100, kuid mõnedes allikates on pakutud välja K teisi väärtusi. [26]

Kaugusest R_{LL} suurematel kaugusel langeb lööklaine kiirus heli kiiruseni õhus ning muutub akustiliseks laineks. Puurlõhketööde passide LP0001 ja LP0012 järgi on lõhkeaine netomass 63,3 kg. [27][28]

Õhulööklaine ülerõhk sõltub peamiselt kahest faktorist: plahvatava lõhkeaine kogusest (plahvatusel vabanevas energia suurusel) ning kaugusest plahvatuskohast. Õhulööklaine ülerõhk suureneb plahvatava lõhkeainekoguse suurenemisel ja väheneb koos laine liikumise kiiruse vähenemisega kauguse kasvades plahvatuse kohast. Arvutustulemuste põhjal õhulööklaine liigub õhus ülehelikiirusega kuni kauguseni 398,5 m, antud kaugusel ei tekitata kahjustusi tuulutustõketele. [29]

Õhulööklaine mõju poolt ohutu kaugus (meetrites) kaitstavate objektideni arvutatakse valemiga (14): [26][29]

$$r = K \sqrt[3]{Q} \quad , \quad \text{kus} \quad (14)$$

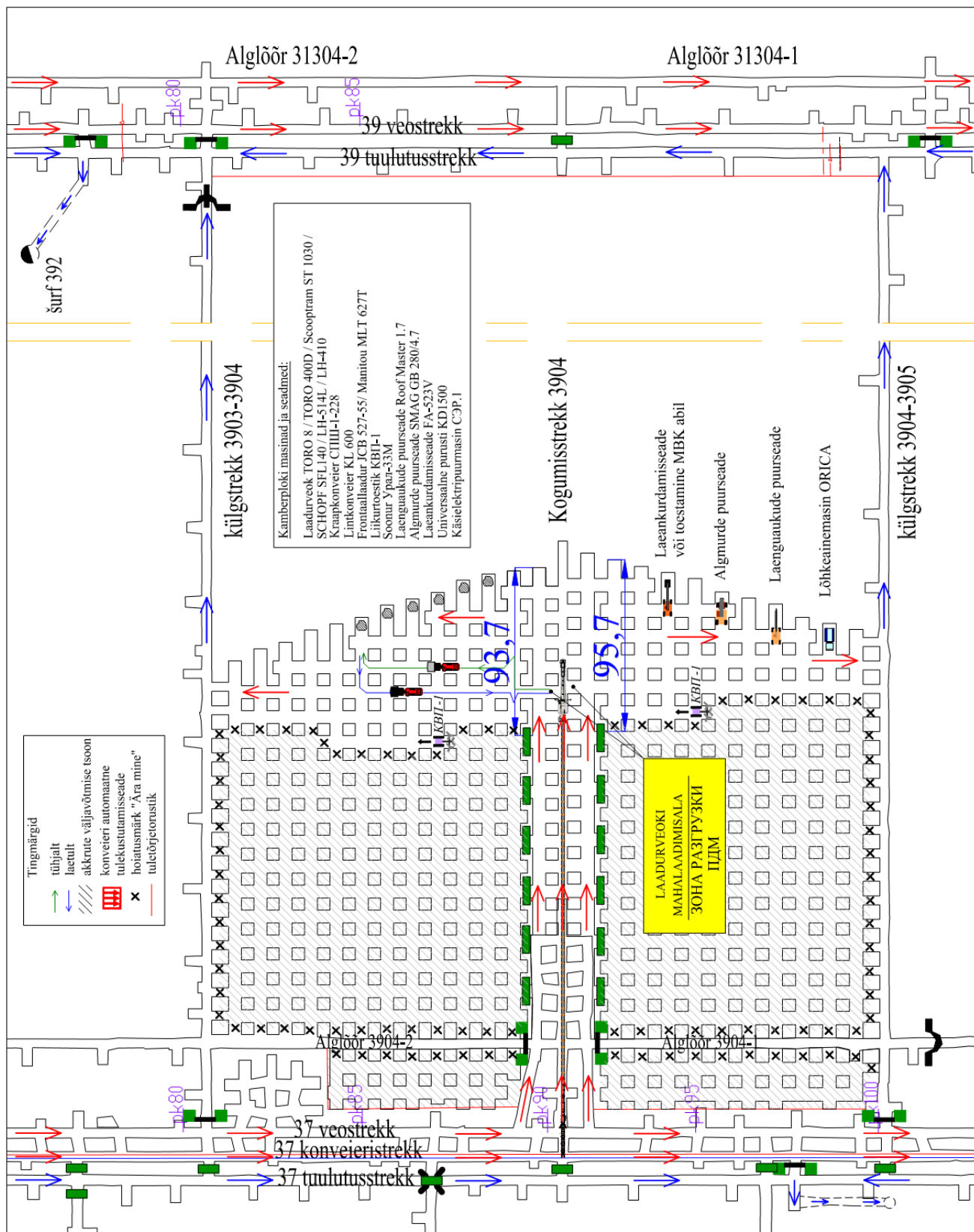
Q – lõhatava laengu mass (kg);

K –ohutustegur, mille väärtus sõltub kahjustuse lubatud ulatusest

Ohutusteguri väärtuseks võetakse 22,2, millele vastavaks tolereeritavaks kahjustuseks on aknaklaaside täielik purunemine, aknaraamide ja uste vähese ulatusega kahjustused, krohvi ja kergete vaheseinte rikkumine. Arvutuste tulemuseks saadi 88,5 m, mis vastab töö autori poolt määratud ehitiste rajamise sammule - 93 m. Kuna kaitsvad objektid ei paikne vahetult õhulööklaine levimise teel vaid tervikute taga, mis töötab varjendina, siis võime arvutuslikku ohutut kaugust vähendada kuni kaks korda. [26]

Ohutu kauguse määramiseks kildude laialipaiskumise järgi kasutatakse Estonia kaevanduse lõhketööde ohutusjuhendit OJ 400, mille kohaselt ohuala välispiir kambriplokis peab olema lõhkamiskohast vähemalt 50 m kaugusel. [30]

Eeltoodud arvutustele tuginedes, võetakse tuulutustõkete paigutussammuks 21 meetrit ehk üle ühe kaksikterviku esimese ja teise kambri vahel, kuid mitte lähemal kui 93 meetrit eerinast (vt. joonis 19).



Joonis 19. Kambriploki 3904 tuulutus- ja lõigustamisskeem

5. TEHNOLOOGILISE SKEEMI OPTIMEERIMINE VASTAVALT JÄRGMISTE AASTATE TOODANGULE

Käesoleval ajal on kaevanduses arvel 175 mln tonni varusid või 104,6 mln tonni väljamiseks planeeritud põlevkivi. Neid varusid jätkub praeguse aastatoodangu 8,4 mln tonni kaubapõlevkivi puhul aastani 2029. Pärast määratud aega kaob ühel jaoskonnal tööfront.[31]

Põlevkivikihindi kvaliteet, mis asub kaevanduse mäeeraldise piirides, langeb edela suunas. Tagamaks kvaliteedinäitajate keskmistatud väärtused, on otstarbekas viia läbi mäetööd üheaegselt nii kihindi kõrgemates, kui ka madalamates kvaliteedi alades. Kaevanduse töötamise ajal peeti kinni varude üheaegselt väljamisest kaevevälja erinevatest osadest.

Arendades mäetöid neljas suunas, tinglikult – Kirre, Kagu, Edel ja Loe. Sellisel moel on võimalik juhtida mäemassi kvaliteeti – 50% etest liigub kihindi kvaliteedi languse suunas, 50% etest liigub kihindi kvaliteedi tõusu suunas.[32]

Arvestades sellega, et 2016. aastal on vastuvõetud otsus üle minna kuni 50% ulatuses väljamisel “madalale laele”, kusjuures kaevise kalorsus tõuseb 5,27 MJ/kg kuni 5,8 MJ/kg ja kaubapõlevkivi kütteväärtusega 8,4 MJ/kg väljatulek kaevisest 1,18 t/m³. [31][32]

5.1. Ööpäevase mäemassi vajaliku toodangu määramine

8,4 mln tonni kaubapõlevkivi aastatoodangu puhul, koostatakse töögrafik viiepäevalisest töönalast kahe puhkepäevaga, sest kaevandusel on piisav tehnika ja kogemus antud töökormusel töötamiseks. Eeliseks on ka iga nädal kaks puhkepäeva, millal ei teostata kaevandamistöid ning saab teha remondi-, hooldus- ja montaažitöid. Ööpäevase toodangu määramine on esitatud tabel 12:

Tabel 12. Ööpäevane toodang

Kaevanduse aastatoodang	252 tööpäeva (5 tööpäeva nädalas)
8,4 mln tonni aastas	33600 t/ööp

Mäetööde tulemusi kaevanduses mõõdetakse füüsilise mahu järgi ja arvestatakse m³-tes toodetud mäemassi. Mäetööde protsesside arvutuseks ja projekteerimiseks on vajalik määrata tootmismahud, mis lähevad vaja kaubapõlevkivi tootmise projekti ülesande täitmiseks.

Projekti tingimuste kohaselt vagunitesse väljalaaditava kaubapõlevkivi kalorsus on 8,4 MJ/kg. Lähtudes sellest peab määrama kaevandatava kaevisemahu (m^3), mis läheb vaja etteantud kaubapõlevkivi koguse tootmiseks. Toodetava kaevisemahu vajaliku mahu määramise ülesanne seisneb kaubapõlevkivi saagise (KPV t/m^3) näitajate kindlaks määramises.

Kaubapõlevkivi saagis V_k ette antud kütteväärtusega Q_t üldjuhul sõltub:[32]

- kaevandatava kaevisemahu kütteväärtusest Q_k MJ/kg,
- kaevisemahumassist γ_k t/m^3
- aheraine kütteväärtusest Q_a MJ / kg

ja on seotud nendega vahekorraga (valem 15):

$$V_k = \frac{Q_k - Q_a}{Q_t - Q_a} * \gamma_k, \text{ kus} \quad (15)$$

γ_k – kaevisemahumass t/m^3

Q_k, Q_t, Q_a – kaevisemahu, kaubapõlevkivi, aheraine kütteväärtused, MJ/kg

Sealhulgas,

$$\% \text{kaubapõlevkivi} = \frac{Q_k - Q_a}{Q_t - Q_a} * 100\% \quad (16)$$

$$\% \text{aheraine} = \frac{Q_t - Q_k}{Q_t - Q_a} * 100\% \quad (17)$$

Ülaltoodud võrrandites Q_t väärtus on etteantav suurus.

Estonia kaevanduse tingimustes γ_k väärtus on praktiliselt konstantne ja moodustab 1,97-1,98 t/m^3 . Sellisel viisil kaubapõlevkivi väljatulek on kahe muutujate funktsioon - Q_k ja Q_a .

Kasutades antud valemeid kus kaevisemahu kütteväärtuseks keskmiselt on võetud 5,8 MJ/kg, rikastatud aheraine 2,08 MJ/kg ja kaevisemahumass 1,97-1,98 t/m^3 . Saame kaubapõlevkivi saagis 1,18 t/m^3 . [31]

Toodang, mis on väljendatud kaevisel m^3 -des ja koormus (vt. tabel 13), mis on väljendatud tonnides toodetud kaubapõlevkiviga, on seotud omavahel vahekorraga valemiga (18):

$$V_{\text{kaevis}} = \frac{P}{V_k}, m^3 \quad (18)$$

Tabel 13. Ööpäevase toodangu väärtused

Kaevanduse aastatoodang	252 tööpäeva (5 tööpäeva nädalas)
8,4 mln tonni aastas kaubapõlevkivi aastas	28571 m^3 /ööp

Ülaltoodust lähtudes võetakse ööpäevanne toodang edaspidiseks projekteerimiseks võrdseks 29 000 m^3 -ga.

5.2. Läbindustööde vajaliku mahu määramine

Kaevandusväli on jagatud paneelideks, paneelid on omakorda jagatud kambriplokideks. Paneeli laius on 700 kuni 1000 m piires ja poolploki laiuseks on võetud 230 meetrit.

Lähtudes kaevevälja mäetööde arengukavale määrame läbindustööde erimahu. Kaeveõõnte kogupikkus kaeveväljal lõigustuse järgi on koos lõõride ja nišsidega 521 km .

Estonia kaevevälja geoloogilise tarbevaru (29.04.2016) koos Ahtme II ja Viru kaeveväljadega on 175 671 tuhat tonni. Kokku moodustavad kaod kambriplokkide tervikutes (26%) ja karstivööndites (1%). Arvutuslik väljatava varu maht koos kadude ja juurdelisatud madala kütteväärtusega kihindi vahekihtidega on 104 339 tuh tonni. [31]

Sel juhul moodustab ettevalmistuskaeveõõnte läbindustööde erimaht tuhande tonni kaevandatava varu kohta valem (19):[32]

$$K_{\text{erimaht}} = \frac{521000}{104339} = 5,0 \text{ j m/tuh tonni} \quad (19)$$

Seejuures peab arvestama seda, et viimaste kambriplokkide ettevalmistavad läbindustööd peavad olema teostatud 1 aastat enne kui hakkavad tööle kaevanduse viimased kambriplokid.

Koristustööde tööfrondi õigeaegseks ettevalmistamiseks on vajalik läbinduse kiiruseks 5 meetrit läbindust kaevanduse üldtoodangu 1000 t kohta.

Lähtudes läbinduse ja toodangu üldmahtude vahekorrrast saame ööpäevane läbindustööde mahu, mis saadakse valemiga (20):

$$5 \times \frac{33600}{1000} = 168 \text{ meetrit/ ööp} \quad (20)$$

Kaeveõõne keskmise laiuse 5,5 meetri ja kaeveõõne keskmine kõrguse 3,55 meetri juures saadakse ööpäevane toodang läbindusest valem (21):

$$168 \times 5,5 \times 3,55 = 3280 \text{ m}^3/\text{ööp} \quad (21)$$

2015. aastal moodustas toodang läbindusest - 3400-3600 m³/ööp.

Seejuures töötas 5 seadmetekomplekti. Üks nendest töötas personali nappuse tingimustes. Vaatamata sellele oli keskmine koormus seadmetekomplektile – 560...640 m³/ööp.

Arvutusliku toodangu tagamiseks läbindusest on piisav omada 6 seadmetekomplekti (2 komplekti iga läbindusjaoskonnale). Ühe komplekti koormuseks võtta 600 m³/ööp.

Kaeveõõne keskmise laiuse 5,5 meetri ja kaeveõõne keskmine kõrguse 3,55 meetri ning keskmise lõhkesammu 2,2 meetri juures vajaminev lõhkamiste arv ööpäevas on valem (22):

$$\frac{600}{5,5 \times 3,55 \times 2,2} \cong 14 \text{ lõhkamist} \quad (22)$$

Maksimaalne läbinduse kiirus saavutatakse, kui iga läbindaja teostades oma operatsiooni (väljaladimine, puurimine, toestamine ja lõhketööd) läheb üle (sõidab) teise eesse, mis on selleks ajaks juba valmis selle operatsiooni teostamiseks.

Selleks, et teostada vähemalt 14 lõhkamist ööpäevas ühe seadmete komplektiga on vaja läbindada üheaegselt 3 kaeveõõnt. Põhioperatsioonide järgi – laadimine, puurimine, toestamine ja lõhketööd. Optimaalne oleks mitte vähem kui 5 kaeveõõnt. Ete suurem arv lubab kompenseerida töömahukuse ebarütmilisust (erinevad kõrgused, erinevad mäenduslikud tingimused) ja osaliselt aja kadu seadmete rikete tõttu. Samuti piisava ete juures ei toimu aja kadu tuulutuse ootamiseks, veekõrvaldussoonte soonimiseks, abitööde teostamiseks – tuulutustorude ülesriputamiseks, seadmete ülekandmiseks. [32]

Mittetootliku ajakao vältimiseks vahetuses on otstarbekas minimiseerida läbindajate liikumised ete vahel jalgsi. Selleks kasutatakse iseliikuvaid puurpinke pneumoratskäigul ja lõhkematerjalide veoks

kasutatavaid autosid. Kaeveõõnte läbindamiseks karstialadel on otstarbekas luua kogenud läbindajate eribrigaade.

Variandina– kasutada allmaa-autotranspordi jaoskonna töölisi, kes tegelevad kaeveõõnte puhastamise ja ümbertoestamisega. Selline lähenemine võimaldab läbindada kaevanduse karstissoonide rikkeid ilma läbinduse kiiruse alandamiseta.

2015. aastal läbindatud kaeveõõnte kogu pikkuseks oli 48,7 km, mis on tingitud ka 6 tööpäevast nädalas. Kogumisstrekkide osakaal sellest oli 8,9 km ehk 18,3% kogu pikkusest. 2014. aastal oli läbindatud kaeveõõnte kogu pikkuseks 42,9 km. Kogumisstrekkide osakaal sellest oli 8,5 km ehk 19,7% kogu pikkusest. Arvestades sellega, et antud aastad oli samasugused nagu antud projektis, võtab töö autoru ka nende aastate keskmise kogumisstrekkide osakaalu kogu läbindatavast pikkusest ehk siis 20 %. Antud arvutuste järgi arvutuslik läbinduste tööaeg on kuni 2028. aastani, kus aasta keskmine kaeveõõnte läbindamise pikkus on 42 km ning nendest 8,0 km moodustavad kogumisstrekid. Antud arvutuste alusel saab järeldada, et töös pakutava tehnoloogilise skeemi kasutuselevõttuga saab vähendada läbindustööde osakaalu kuni 20%, loobudes kogumisstrekkide läbindamisest.

6. UUE TEHNOLOOGILISE VARIANDI KASUTUSELEVÕTU MAJANDUSLIK PÕHJENDATUS

Uue tehnoloogilise skeemi kasutusele võtmisel lahendatakse korraga mitu probleemi, mis eelpool on välja toodud, kuid suurem kasu on majanduslikel näitajatel. Läbindustööde kaevandamise omahinna maksumus on kallim koristustööde omast, kuid koristustöödega kogumisstreki kontuurimisel tuleb ehitada tuulutustõkeid, mis omakord lisanb kulutusi, seega tuleb läbi viia majanduslikud arvutused võimaliku kasumi määramiseks.

Läbindustöödega kaevandatud 1 m³ kaevise omahind on 12,26 eur (vt lisa 7). Koristustööde omahind 1 m³ kohta on 4,90 eur (vt lisa 8). Toodud omahinna näitajad on arvutuslikud tuginedes EE poolt kehtestatud kulunormidele 2015. aastal. Edasiste arvutuste jaoks võtame kambriploki 3904 tööde käigus ilma kogumisstrekit majanduslikud näitajaid ning Estonia kaevanduse järgmiste aastate majanduslikud näitajaid uue tehnoloogilise skeemi kasutusele võtmisega.

6.1. Kambriploki 3904 majanduslikud näitajad

Eelpool tehtud arvutuste põhjal määrati võimalikuks tuulutustõkete ehitamise sammuks 21 m, vastavalt kambriploki tervikute ja lõhketööde mõjuteguritele. Seoses sellega tuleb antud kambriplokis 3904 kogumisstrekki pikkusega 800 m, ehitada mõlemasse poolplokki 28 tuulutustõket ehk kokku 56 tuulutustõkkes. Ehitatakse betoonist 7,3 meetrit lai tuulutustõke, mille ehitusmaksumus on 1300 eur/tk.

Vastavalt kambriploki tervikute ja kambrite arvutusele toimub kogumisstreki kontuurimine kõrgusel 2,8 meetrit ja laiusega 5,3 meetrit. Seega on kokku vajalikuks tööde mahuks 11872 m³. Arvestades koristustööde omahinda saadi kogumisstreki läbindamisel kogu maksumuseks 58191 eur. Tuulutusskeemi optimeerimiseks kambriplokis tuleb ehitada kokku 56 tuulutustõket, mille maksumuseks saadi 72800 eur. Kogu kulutused kogumisstreki läbindamisele koos koristustöödega on arvutuste alusel 130991eur.

Arvestades läbindustööde omahinna suurust ja läbindusjaoskondade tehnoloogia kitsaskohtadega, saadi kogumisstreki läbindustööde kogu maksumuseks 204925 eur (vt. tabel 14).

Tabel 14. Kogumisstreki 3904 läbindamise maksumus erinevate meetoditega

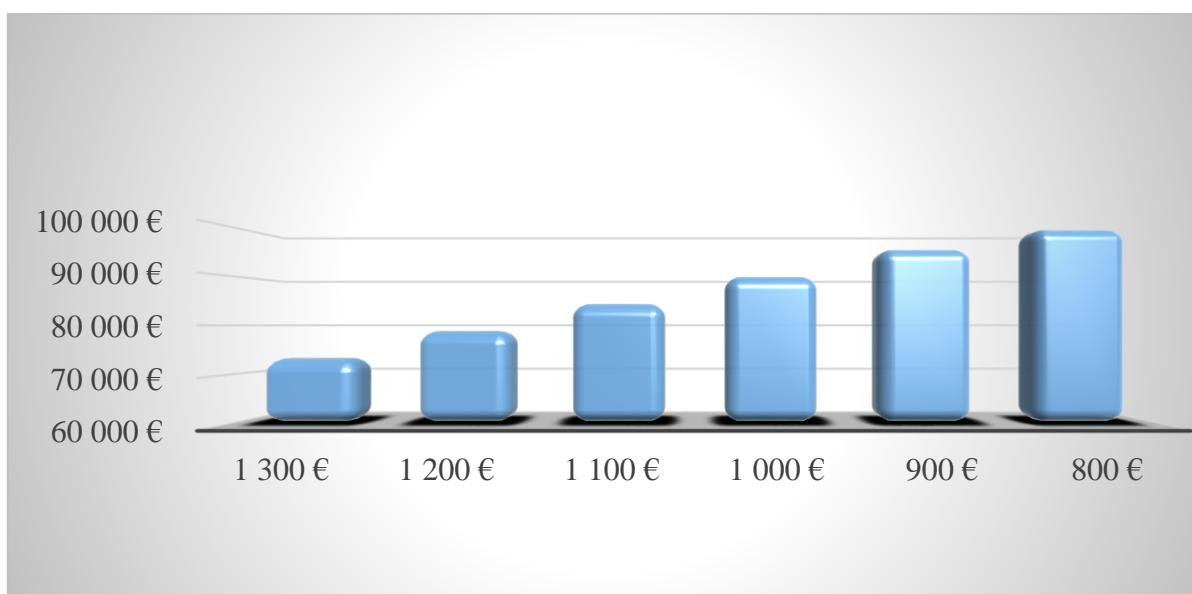
	Läbindustööd	Koristustööd
Läbindatava kogumisstreki kogu pikkus, m	800	800
Kogumisstreki keskmine kõrgus, m	3,8	2,8
Kogumisstreki keskmine laius, m	5,5	5,3
Kogumisstreki läbindustööde kogu maht, m ³	16720	11872
Tööde omahind 1 m ³ kohta, eur	12,26	4,9
Kogumisstreki läbindamise maksumus, eur	204925	58191

Arvestades tuulutustökte ehitamise maksumusega saadi kambriploki 3904 arvutuste tulemusel uue tehnoloogilise skeemi kasutusele võtmisel kasumit summas 73236 eurot (vt. tabel 15).

Tabel 15. Kambriploki 3904 kasum uue tehnoloogilise skeemi kasutusele võtmisega

Tuulutustökke maksumus/ ehitamise samm	1300 €
21 m	73 236 €

Vähendades tuulutustökte ehitamise maksumust, kasutades selleks teisi kompostitmaterjale, on võimalik suurendada kasumit ühe kambriploki ulatuses kordades (vt. joonis 20). Arvutuste tulemused on toodud Excel programmis lehel “Majanduslik põhjendus”.



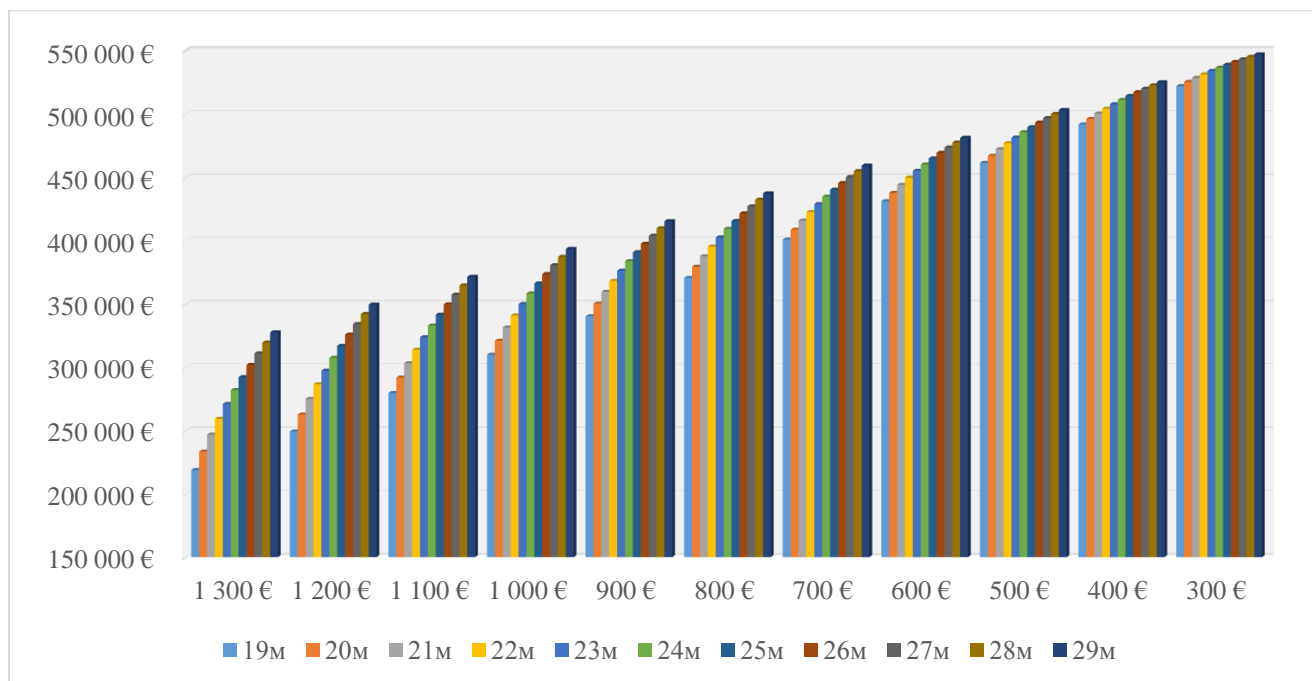
Joonis 20. Kambriploki 3904 kasumi seos tuulutustöke maksumusest

6.2. Majanduslik põhjendus vastavalt järgmiste aastate toodangule

Eelpool teostatud arvutuste alusel määrati aastane keskmine vajalik kogumisstrekkide läbindamise pikkus toodangu 8,4 mln tonni kaubapõlevkivi aastas alusel. Tulemuseks saadi 8 kilomeetrit kogumisstreкке. Lähtudes eelnevast ja arvestades lisaks läbindustööde keskmist läbindamise kõrgust, milleks on 3,4 meetrit ning strekkide laiust, milleks on 5,5 meetrit, saadakse tulemuseks, et aastas läbindatavate kogumisstrekkide maht on 149208 m³. Arvestades eelmise aasta omahinda läbindustöödel 12,26 eur, saadakse kogumisstrekkide aastaseks maksumuseks 1,8 mln eur.

Suuremaid kulusid läbindustöödel on võimalik vähendada, kasutades selleks uut tehnoloogilist skeemi ehk kambriplokkide läbindamist ilma kogumisstrekkideta. Seda seetõttu, et koristustööde jooksul kogumisstreki kontuurimine ja tuulutustõkete ehitamine eeldusel, et kaevanduse aastane kaubapõlevkivi toodang on 8,4 mln t, toob suuremat kasumist ja vähendab kaevandatava põlevkivi omahinda kui vana skeemiga jätkamine.

Eelpool tehtud arvutuste põhjal saadi kambriplokist 3904 majanduslikku kasu, kuid seejuures on antud arvutused tehtud ainult konkreetsele kambriplokile. Erinevate tervikute paigutuse ja mõõtmete tõttu võib teiste kambriplokkide kasum varieeruda. Lähtudes kambriplokkide erinevusest ja kaevandusvälja konfiguratsioonist, mis võimaldab kasutada uut tehnoloogilist skeemi ainult 50% ulatuses kogu kambriplokkidest, saadi arvutuste alusel majanduslikud näitajad, mis on välja toodud lisas 9. Arvutuste läbiviimisel lähtuti asjaolust, et vastavalt kambritevaheliste tervikute arvutusele võib tuulutustõkete ehitamise samm varieeruda 19-29 meetrini ja tuulutustõkete maksumus 1300 – 300 eur (vt. joonis 21).



Joonis 21. Kasum aastatoodangul 8,4 mln tonni

Lähtudes ehituse sammust ja tuulutustõkete ehitamise maksumusest saadi arvutustulemustes aastane kasum vahemikus 218 tuhat – 547 tuhat eurot (vt. joonis 21). Vähendades tuulutustõkke ehitamise maksumust ja ehitamise sammu, saab mitmekordistada kasumi. Arvutuste tulemused on toodud Excel programmis lehel “Majanduslik põhjendus”.

DISKUSSIOON

Uuel tehnoloogilisel skeemil on kasutuseloleva skeemiga võrreldes järgmised eelised:

- Koristustööde ajal kogumisstreki ettevalmistamine on oluliselt odavam, kui selle eelneval läbindamisel.
- Ettevalmistustööde (kogumisstrekkide eelnev läbindamine) mahu vähendamine.

Puudused võrreldes kasutuseloleva tehnoloogilise skeemiga:

- Kasutamiseks sobiv ainult pooltel paneelidel, vastavalt kaevandusvälja konfiguratsioonile.
- Koristustööde tuulutusskeemi muutmine, kus värske õhk liigub kaevandatud alast läbi.
- Tuulutustõkete ehitamise vajadus piki kogumisstreki kogu ploki ulatuses.

Läbiviidud arvutuste järgi saadi tulemusteks, et uue tehnoloogilise skeemi kasutamisega ühe kambriploki tööea jooksul on võimalik saada kasumit 73 tuh. eurot, kui aga loobuda aastas poolte kogumisstrekkide eelnevast läbindamisest, saadakse aastaseks kasumiks 200 – 550 tuh. eurot (vt. joonis 21). Arvutuste aluseks võeti betoonist tuulutustõkked maksumusega 1300 eur. Arvutuste tulemused varieeruvad aastate lõikes, sest sõltuvad kambriploki tervikute suurusest ning sellest tulenevalt tulenevalt erineb ka tuulutustõkete ehitamise samm ja ehitamise maksumus. Seega kui eelnevad tingimused muutuvad, muutub ka kasumi suurus.

Soovitav oleks uurida täpsemalt tuulutustõkete ehitamisest, sest erinevad materjalid võivad vähendada tuulutustõkete rajamise maksumust ja suurendada kasumit. Sobiva materjalina võib vaadelda puitmaterjali, OSB plaate, kasutatud konveierilinte, ehitusplokke jmt. Parim lahendus oleks kasutusele võtta korduvkasutatavad tuulutustõkked. Näiteks võiks selliseks lahenduseks olla puitkarkassil raam OSB plaadiga, kus terviku ja rajatise vahele lastakse polüuretaanvahtu õhulekete vähendamiseks. Kambriploki väljatöötamise järgselt oleks eelpool nimetatud tuulutustõkkeid võimalik kasutada järgmises töötavas kambriplokis, mis omakorda suurendaks kokkuhoidu. Ehitusmaterjalide muutmisel tuleb sooritada uued arvutused, lähtudes lõhketööde mõjust, mis võib suurendada ehitussammu.

Üheks perspektiivikaks ideeks on tulevikus loobuda ka külgstrekkide läbindamisest ja kontuurida need samuti koristustööde ajal, suunates heitõhu tagapaneelides asuvatesse šurfidesse. Kuid antud lahendus nõuaks, et iga külgstreki äärde ehitataks kaks krossingut, et eraldada värske ja heitõhk paneelis. Krossingute ehitamisel külgstrekkide äärde kaob aga kambriplokist varuväljapääs ning jääb

ainsaks sisse- ja väljamisteks kogumisstrekk, seega antud ideed tuleks täiendavalt uurida. Seejuures aga vähendaks kogumisstrekkide ja külgstrekkide läbindamine koristustöödel vähemalt pooltel kaevanduse paneelidel läbindustööde osakaalu ligi 40% võrra. See omakorda mõjutaks põlevkivi kaevandamise omaninda vähenemise suunaas. Välja toodud ideed vajavad täiendavat uurimist ja arvutusi.

KOKKUVÕTE

Antud töö käigus, mis põhineb otsesel kaevandamispraktikal, on analüüsitud põlevkivi allmaakaevandamise uue tehnoloogilise skeemi kasutamise võimalusi Estonia kaevanduse tingimustes. Geoloogiliste ja tehnoloogiliste andmete töötlemise ja analüüsimise käigus töötati ja pakuti välja alternatiivne tehnoloogiline skeem kambriploki kontuurimisega. Uus tehnoloogiline skeem näeb ette kogumisstrekkide eelnevast läbindamisest loobumist kambriploki ettevalmistamisre käigus. Kogumisstreki pikendatakse koristustööde tegemise käigus kambriplokis. Vastavalt väljatöötatud tehnoloogilisele skeemile väheneb ettevalmistustööde maht ligikaudu 20% võrra.

Töö käigus vaadeldi detailselt kambriploki tuulutuse küsimusi. Töötati välja kambriploki uus tuulutusskeem, mille kohaselt kambriplokki suunduv värskeõhujuga eraldatakse kaevandatud alast tuulutusvaheseintega kogumisstreki külgedel kuni kambriploki tööeni. Arvestades geoloogilisi tingimusi, puurlõhketööde ja kasutatava tehnoloogia iseärasusi saadi tuulutustökeste paigutussammuks 21 meetrit. Kambrite optimaalseks tuulutuseks ja laadimistööde tagamiseks, lõhketööde mõju (plahvatuse õhulööklaine ja laialipaiskuvad kivimitükid) arvestades, peavad tuulutusrajatised olema ehitatud vähemalt 93 meetri kaugusele eerinast.

Koristus- ja läbindustööde kaevandamise omahinna võrdlusel selgus, et koristustööde käigus kogumisstreki pikendamine on eelneva läbindamisest oluliselt odavam (152 tuh. eur). Vana ja uut tehnoloogilist skeeme võrreldes jõuti järeldusele, et uue tehnoloogilise skeemi kasutuselevõtul, muutub ettevalmistustööde tehnoloogia lihtsamaks, samuti vähenevad kaevandamiskulud, seda hoolimata täiendavatele kulutustele tuulutusvaheseinte rajamiseks. Autori poolt tehtud kambriploki arvutuste kohaselt on tagatud lähis- ja põhilae stabiilsus.

Majandusarvutuste kohaselt, arvestades kaevanduse plaanilist aastatoodangut (8,4 mln tonni), toob uue tehnoloogilise skeemi kasutuselevõtt ettevõttele kaevandamiskulude kokkuhoidu suurusjärgus 218000-550000 eurot aastas.

KASUTATUD ALLIKAD

- [1] V. Kattai, T. Saadre ja L. Savitski, „Eesti kukersiit - Põlevkivi,“ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 2000.
- [2] Eesti Energia Kaevandused AS, „Estonia kaevanduse Maavara kaevandamise loa KMIN-054 muutmise taotlusele,“ Estonia kaevandus, Väike-Pungerja, 2016.
- [3] Maaamet, „Eesti kaart,“ Maaameti geoportaal, [Võrgumaterjal]. Available: <http://xgis.maaamet.ee/maps/XGis>. [Kasutatud 27 märts 2016].
- [4] Eesti Energia AS, „Estonia kaevanduse sisedokumentatsioon,“ Estonia kaevandus, Väike-Pungerja, 2016.
- [5] Keskkonnaamet, „Maavara kaevandamise luba KMIN-054 Eesti Energia Kaevandused AS,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://eteenus.keskkonnaamet.ee/?page=eklis_view&pid=689131&desktop=0&u=20150825084121. [Kasutatud 27 märts 2016].
- [6] E. Niitlaan, R. Talvik, A. Koger ja O. Sein, „Eesti põlevkivimaardla Estonia kaevevälja Estonia kaevanduse varuplokk nr 16 kontrollmarkšeiderimõõdistamise seletuskiri,“ OÜ Inseneribüroo Steiger, Tallinn, 2014.
- [7] E. Väli ja M. Lohk, „Uus-Kiviõli kaevevälja kaevandamise eelprojekt,“ Eesti Energia Kaevandused AS, Jõhvi, 2013.
- [8] L. Utrobina, „Estonia kaevanduse läbilõige,“ Eesti Energia Kaevandused AS, Väike-Pungerja, 2005.
- [9] V. Vaizene, „Eesti põlevkivimaardla Estonia kaevevälja põlevkivivaru ümberhindamine (seletuskiri),“ Tallinna Tehnikaülikool Mäeinstituut, Tallinn, 2013.
- [10] Eesti Energia AS, „Allmaakaevandamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/polevkivi-kaevandamine#page3>. [Kasutatud 27 jaanuar 2016].
- [11] Eesti Energia Kaevandused AS, „Protsessikäsiraamat,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2015.

- [12] Eesti Energia Kaevandused AS, „Keskkonna- ja kvaliteedi juhtimise integreeritud süsteem,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2004.
- [13] Mäeinstituut, „Maavarade kaevandamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://picasaweb.google.com/118197680824516216376/Allmaakaevandamine?feat=embed_website#5887492568081830162. [Kasutatud 28 märts 2016].
- [14] A. Mihhaltšenkov ja S. Ignatovets, „Kamberploki nr. 1406 koristustööde tegemise pass,“ Estonia Kaevandus, Jõhvi, 2015.
- [15] J. Žigadlo ja R. Kaarlõp, „Estonia kaevanduse kaevandamisjäätmekava,“ Eesti Energia Kaevandused AS, Tallinn, 2013.
- [16] S. Ignatovets, „Põlevkivi rikastamisjääkide ladustamine Estonia kaevanduse näitel,“ Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2014.
- [17] I. Valgma, „Tuulutuse optimeerimine allmaakaevandamisel,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2010.
- [18] З. Ушаков, Рудничная вентиляция, Москва: Недра, 1988, pp. 22-24.
- [19] С. Сабанов ja С. Кобылкин, Анализ системы проветривания на сланцевых шахтах Эстонии, Москва: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011.
- [20] S. Kobylkin, Friction of air in mine Estonia, Moscow: Department of Mine Aerology and Safety Moscow State Mining University, 2012.
- [21] Eesti Energia Kaevandused AS, „Põlevkivikaevanduse tuulutusplaani koostamise juhend,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2004.
- [22] Estonia kaevanduse tuulutusosakond, „2. tootmisosakonna masinapargi heitgaaside mõõtmised 20.03.16,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2016.
- [23] Eesti Põlevkivi, „Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend,“ 2004.

- [24] Eesti Põlevkivi, „Polt-ankurtoestiku kasutamise ajutine juhend,“ 2008.
- [25] Eesti Põlevkivi, „Kiilmuhv-ankurtoestiku kasutamisjuhend põlevkivi kaevandamisel,“ 1999.
- [26] T. Tomberg, „Lõhketööde ohutud kaugused ja laengusuurused,“ Lõhketööde loengumaterjalid, Tallinn, 2015.
- [27] M. Nossikov ja I. Agutin, „Puuralgmurdega kambritele laiusega 6,2-7,0 m ja kõrgusega 2,8 m (LP0001),“ Estonia kaevandus, Väike-Pungerja, 2015.
- [28] M. Nossikov ja I. Agutin, „Puuralgmurdega kambritele laiusega 6,2-7,5 m ja kõrgusega 2,7-2,8 m (LP0012),“ Estonia kaevandus, Väike-Pungerja, 2015.
- [29] S. Olofssen, „Applied explosives technology for construction and mining,“ Sweden, 2012.
- [30] Eesti Energia AS, „Lõhketööde ohutusjuhend OJ 400,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2006.
- [31] K. Mikheev ja L. Utrobina, „Estonia kaevanduse varude ümberhindamine (sisedokument),“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2016.
- [32] Eesti Energia Kaevanduse AS, „Estonia kaevanduse kamberplokkidest ja läbinduseedest kaevisel väljamise optimeerimine,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2016.

LISAD

Lisa 1. Hoidetervikute arvutus [Eesti Energia Kaevandused “Tervik” programm]

3. Расчет целиков в охранных рядах

Формула для расчета :

2.24 Целики двухрядные, параллельно границе охраняемой зоны (длина y - задается)

$$x^2 + \left[\frac{7}{3}h + 2q - \frac{n\gamma Hh(y+b)}{0,3R_t(y-b)} [0,02(l_0 + Htg\omega) + 1] \right] x - q \left(\frac{7}{3}h - q \right) - \frac{0,5n\gamma Hh(y+b)}{0,3R_t(y-b)} [A + (l_0 + Htg\omega)(0,02A + 0,25)](y+b) = 0 \quad (2.24)$$

где

h	- вынимаемая мощность пласта, м	=	2,8
x	- ширина охранных целиков, м	=	8,058
y	- длина охранных целиков вдоль бортового или сборного штрека, м	=	9,3
q	- суммарная ширина зон разрушения стенок целиков взрывными работами, м	=	0,6
n	- коэффициент прочности целиков	=	1,3
γ	- объемный вес пород налегающей толщи, тПа/м	=	0,025
H	- глубина разработки (до кровли пласта), м	=	65
R_t	- кубиковая прочность пород целика при неограниченно долгом поддержании кровли, Ра	=	7
b	- ширина сбоек (внутри полублока-камер) между охранными целиками, м	=	5
A	- ширина камер между целиками охранного ряда и смежного с ним внутреннего ряда, м	=	5,5
l_0	- шаг последующих осадок пород налегающей толщи, м	=	12
ω	- угол излома пород налегающей толщи	=	19
k_k	- коэффициент формы, $k_k = 0,7 + 0,3 \frac{x-q}{h}$	=	1,50
Ширина целиков охранного ряда		=	8,058

Lisa 2. Kambrite arvutus [Eesti Energia Kaevandused “Tervik” programm]

2. Определение допустимого пролета и ширины камер

Формула для расчета :

$$l_{v.l.} = k_h \times k_p \times k_o \times k_a \sqrt{\frac{k_t}{n_l}} \times (K + M \times H_k) \quad (1.3)$$

где

<i>h</i>	- вынимаемая мощность пласта, м	2,8
<i>K_h</i>	- коэффициент, учитывающий важность охраняемого объекта	= 1
<i>K_p</i>	- коэффициент, учитывающий устойчивость кровли в зависимости от горногеологических условий	= 0,7
<i>K_o</i>	- коэффициент, учитывающий ослабление кровли под влиянием карста	= 1
<i>n_l</i>	- коэффициент запаса прочности пород кровли	= 1,8
<i>K</i>	- параметр, зависящий от свойств горных пород	= 7
<i>M</i>	- параметр, зависящий от свойств горных пород	= 0,54
<i>Π_k</i>	- мощность карбонатных пород кровли, м	= 26
<i>k_t</i>	- коэффициент, учитывающий изменение прочности горных пород во времени	= 0,73
<i>n_a</i>	- мощность скрепляемой анкерами пачки пород, м	= 2,14
<i>k_a</i>	- коэффициент, учитывающий влияние анкерной крепи на устойчивость кровли, $k_a = 0.5(1 + \sqrt{h_a})$	= 1,23

Допустимый пролет непосредственной кровли = **11,550**

Предварительные значения : ширина продольной камеры **рассчетная** , b = **7,5**

ширина поперечной камеры, **рассчетная** A = **7,6**

Lisa 3. Kambritevaheliste tervikute arvutus 3904-1 [Eesti Energia Kaevandused “Tervik” programm]

4. Расчет междукамерных целиков

Формула для расчета :

2.31 Прямоугольные в плане целики, вытянутые поперек камерного блока (ширина x - задается)

$$y = \frac{nb\gamma H(x+A) + qR_t k_k (x-q)}{R_t k_k (x-q) - n\gamma H(x+A)} \quad (2.31)$$

где

x - ширина целиков, м

y - длина целиков, м

q - суммарная ширина зон разрушения стенок целиков взрывными работами, м

n - коэффициент прочности целиков

γ - объемный вес пород налегающей толщи, тПа/м

H - глубина разработки (до кровли пласта), м

R_t - кубиковая прочность пород целика при неограниченно долгом поддержании кровли, Ра

b - ширина продольных камер, м

A - ширина поперечных камер, м

k_k - коэффициент формы, $k_k = 0,7 + 0,3 \frac{x-q}{h}$

h	- вынимаемая мощность пласта, м	=	2,8
		=	6,7
		=	7,3
		=	0,6
		=	1,2
		=	0,025
		=	65
		=	7,436
		=	7,6
		=	7,5
		=	1,35
	Длина междукамерных целиков	=	7,336

Взять данные из "Расчета ширины камер"

Lisa 4. Kambritevaheliste tervikute arvutus 3904-2 [Eesti Energia Kaevandused “Tervik” programm]

4. Расчет междукамерных целиков

Формула для расчета :

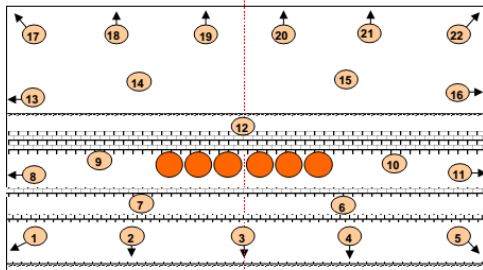
2.31 Прямоугольные в плане целики, вытянутые поперек камерного блока (ширина x - задается) ▾

$$y = \frac{n b \gamma H (x + A) + q R_t k_k (x - q)}{R_t k_k (x - q) - n \gamma H (x + A)} \quad (2.31)$$

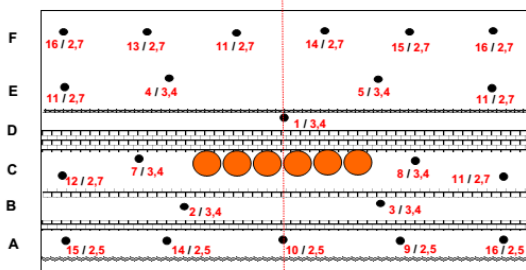
где	h	- вынимаемая мощность пласта, м	=	2,8
x - ширина целиков, м			=	6,7
y - длина целиков, м			=	6,8
q - суммарная ширина зон разрушения стенок целиков взрывными работами, м			=	0,6
n - коэффициент прочности целиков			=	1,2
γ - объемный вес пород налегающей толщи, тПа/м			=	0,025
H - глубина разработки (до кровли пласта), м			=	65
R_t - кубиковая прочность пород целика при неограниченно долгом поддержании кровли, Па			=	7,436
b - ширина продольных камер, м			=	7,3
A - ширина поперечных камер, м		Взять данные из "Расчета ширины камер"	=	7,2
k_k - коэффициент формы, $k_k = 0,7 + 0,3 \frac{x - q}{h}$			=	1,35
		Длина междукамерных целиков =		6,844

Lisa 5. Puur- ja lõhketööde pass LP0001 [Eesti Energia Kaevandused]

Puuralgmurdega kambritele laisusega 6,2 - 7,0 m ja kõrgusega 2,7 m
 Laenguaukude paigutus ja numeratsioon



Elektrisütevõrgu skeem



LP0001

LT passi koondtabel										
Kihi tähis	Laengu nr.	Laenguid ühes kihis	Pikkus, m ühe augu kokku	Kalle kraadi horis. vertik.	Laengu mass ühes augus	kihis kokku	ED viivitus, ms			
F	17,22	2	4,0	8,0	87	87	2,7	5,4	4000	
	18	1	4,0	4,0	90	89	2,7	2,7	3250	
	19	1	4,0	4,0	90	89	2,7	2,7	2750	
	20	1	4,0	4,0	90	89	2,7	2,7	3500	
	21	1	4,0	4,0	87	89	2,7	2,7	3750	
E	13,16	2	4,0	8,0	87	90	2,7	5,4	2750	
	14	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	1000	
	15	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	1250	
D	12	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	250	
	8	1	4,0	4,0	87	90	2,7	2,7	3000	
C	9	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	1750	
	10	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	2500	
	11	1	4,0	4,0	87	90	2,7	2,7	2750	
B	7	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	500	
	6	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	750	
A	1	1	4,0	4,0	85	87	2,5	2,5	3750	
	2	1	4,0	4,0	90	87	2,5	2,5	3500	
	3	1	4,0	4,0	90	87	2,5	2,5	2500	
	4	1	4,0	4,0	90	87	2,5	2,5	2250	
	5	1	4,0	4,0	85	87	2,5	2,5	4000	
Kokku		22						63,3		
Ee edasinihe		- 3,7 m								

LM kulu ja erikulu																			
LA Subtek	LA erikulu, kg / tsükilis	LA erikulu, kg/m ³	ED kulu, tk / tsükli	ED erikulu, tk/m ³	ED seeriad Timestar, 250 ms														
Charge CS	63,3	0,87-0,98	22	0,30-0,34	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
					1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	2	2	3

Algmurde puurauk - 4,2 m
 Lõhkepuurauk - 4,0 m
 Lõhkepuuraugu läbimõõt - 35...37 mm

Märkusi	
Detonaatorid Seeria	Timestar, 250 ms ED viivitus, ms
1	250
2	500
3	750
4	1000
5	1250
7	1750
8	2000
9	2250
10	2500
11	2750
12	3000
13	3250
14	3500
15	3750
16	4000

juhtme pikkus - 5-6 m

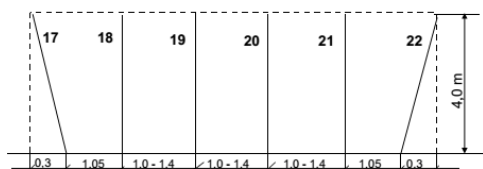
Laengu eskiis



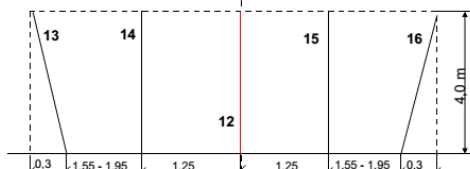
ED - elektridetonaator
 LA - lõhkeaine

Lõhkeaine puuraukude paigutuse skeem (elektrisüतिकute arv: 22)

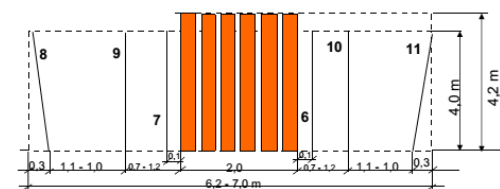
Kihi F horisontaallõige



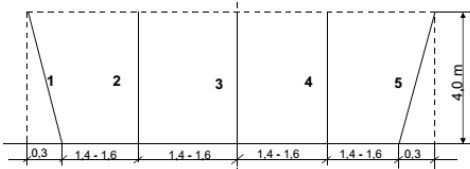
Kihi E ja D horisontaallõige



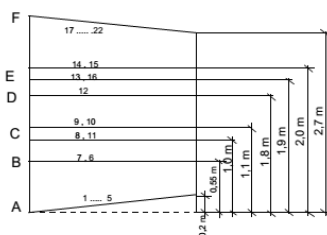
Kihi B ja C horisontaallõige



Kihi A horisontaallõige



Vertikaallõige

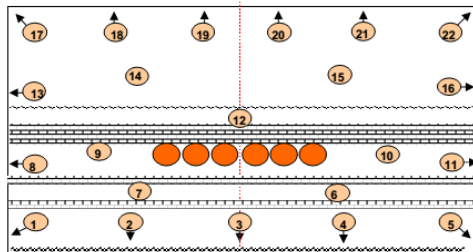


LP0001

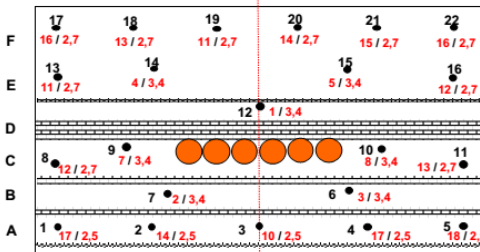
Lisa 6. Puur- ja lõhketööde pass LP0012 [Eesti Energia Kaevandused]

Puuralgmurdega kambritele laiusega 6,2 - 7,5 m ja kõrgusega 2,7-2,8 m
Laenguaukude paigutus ja numeratsioon

LP 0012



Elektrisüütevõrgu skeem



LT passi koordtabel									
Kihi tähis	Laengu nr.	Laenguühik	Pikkus, m	Kalle kraadi	Laengu mass	ED viivitus, ms			
		ühik	kihis, kokku	horis. vertik.	ühis, kihis, kokku				
F	17,22	2	4,0	8,0	87	87	2,7	5,4	4000
	18	1	4,0	4,0	90	89	2,7	2,7	3250
	19	1	4,0	4,0	90	89	2,7	2,7	2750
	20	1	4,0	4,0	90	89	2,7	2,7	3500
	21	1	4,0	4,0	87	89	2,7	2,7	3750
E	13	1	4,0	4,0	87	90	2,7	2,7	2750
	14	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	1000
	15	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	1250
D	16	1	4,0	4,0	87	90	2,7	2,7	3000
	12	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	250
C	8	1	4,0	4,0	87	90	2,7	2,7	3000
	9	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	1750
	10	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	2000
B	11	1	4,0	4,0	87	90	2,7	2,7	3250
	7	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	500
A	6	1	4,0	4,0	90	90	3,4	3,4	750
	1	1	4,0	4,0	85	87	2,5	2,5	4250
A	2	1	4,0	4,0	90	87	2,5	2,5	3500
	3	1	4,0	4,0	90	87	2,5	2,5	2500
	4	1	4,0	4,0	90	87	2,5	2,5	4250
	5	1	4,0	4,0	85	87	2,5	2,5	4500
Kokku		22						63,3	
Ee edasiinhe - 3,7 m									

LM kulu ja erikulu																			
LA Subtek	LA erikulu,	ED kulu,	ED erikulu,	ED seeriad (Timestar, 250 ms)															
kg / tsükliks	kg/m ³	tk / tsükliks	tk/m ³	1	2	3	4	5	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18
63,3	0,82-0,98	22	0,28-0,34	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1

Algmurde puurauk - 4,2 m
Lõhkepuurauk - 4,0 m
Lõhkepuuraugu läbimõõt - 35 ... 37 mm

Märkusi	
Seeria	ED viivitus, ms
1	250
2	500
3	750
4	1000
5	1250
7	1750
8	2000
10	2500
11	2750
12	3000
13	3250
14	3500
15	3750
16	4000
17	4250
18	4500

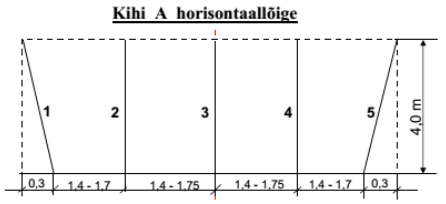
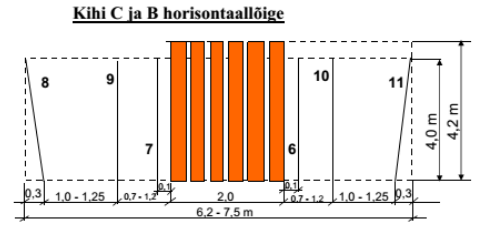
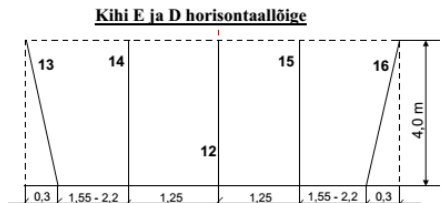
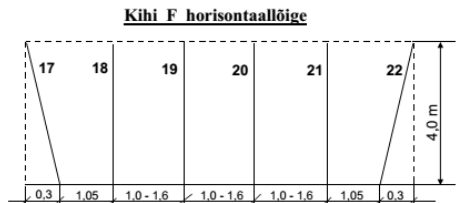
Laengu eskiis



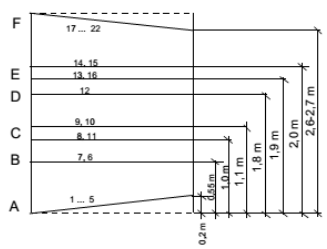
ED - elektridetonator
LA - lõhkeaine

Juhtme pikkus: 5 - 6 m

Lõhkeaine puuraukude paigutuse skeem (elektrisüütkite arv: 22)



Vertikaallõige



LP 0012

Lisa 7. Kaevanduse läbindustööde omahinna näitajad [autori arvutustulemused]

Kaevanduse läbindustööde omahinna näitajad

läbindustööd
<i>kokku</i>
987 394
1 115 894
1,13
46315 m

Kulude nimetus	<i>kokku</i>			
	EUR	EUR/m ³	EUR/t	EUR/m
01 Lõhkematerjalid kokku	1 240 898	1,26	1,11	26,79
1.1 lõhkeained	764 776	0,77	0,69	16,51
1.2 lõhkevahendid	476 122	0,48	0,43	10,28
02 Ankurtoestik	535 576	0,54	0,48	11,56
03 Puurimisinstrument	263 577	0,27	0,24	5,69
3.1 hambad	52 644	0,05	0,05	1,14
3.2 puuripead	58 695	0,06	0,05	1,27
3.3 puurivardad	152 238	0,15	0,14	3,29
04 Kütus	754 064	0,76	0,68	16,28
05 Määrdeained	75 689	0,08	0,07	1,63
06 Tagavaraosad	1 458 994	1,48	1,31	31,50
07 Muud materjalid	234 146	0,24	0,21	5,06
7.1 kaabel	88 715	0,09	0,08	1,92
7.2 tross	2 794	0,00	0,00	0,06
7.3 metsamaterjalid	112 302	0,11	0,10	2,42
7.4 muud materjalid	30 335	0,03	0,03	0,65
08 Elekter	195 372	0,20	0,18	4,22
09 Muud kulud	256 897	0,26	0,23	5,55
10 Palgakulud koos	5 297 658	5,37	4,75	114,38
Kokku kulud ilma amort-ta	10 312 871	10,4	9,2	222,7
11 Amortisatsioon	1 788 924	1,81	1,60	38,63
Kõik kokku	12 101 795	12,26	10,84	261,29
Õöpäevane koormus,m³	3630			

Lisa 8. Kaevanduse koristustööde omahinna näitajad [autori arvutustulemused]

		koristustööd														
		1 jsk			2 jsk			3 jsk			4 jsk			kokku		
Tööde maht	m3 tonnid t/m3	EUR	EUR/m3	EUR/t	EUR	EUR/m3	EUR/t	EUR	EUR/m3	EUR/t	EUR	EUR/m3	EUR/t	EUR	EUR/t	
		1 jsk	2 jsk	3 jsk	4 jsk	3 jsk	4 jsk	3 jsk	4 jsk	3 jsk	4 jsk	3 jsk	4 jsk	3 jsk	4 jsk	3 jsk
		1 386 928	1 554 933	1 151 039	1 553 342	1 554 933	1 151 039	1 855 090	1 534 052	1 880 274	1 553 342	1 880 274	1 21	1 553 342	5 646 242	1,23
		1 699 575	1 855 090	1 534 052	1 880 274	1 855 090	1 534 052	1 855 090	1 534 052	1 880 274	1 855 090	1 534 052	1,33	1 880 274	6 968 991	1,23
		1,23	1,19	1,33	1,21	1,19	1,33	1,19	1,33	1,21	1,19	1,33	1,21	1,19	1,23	1,23
Tööpäevade arv		272														
Kulude nimetus		1 jsk		2 jsk		3 jsk		4 jsk		3 jsk		4 jsk		kokku		
EUR	EUR/m3	EUR	EUR/m3	EUR	EUR/m3	EUR	EUR/m3	EUR	EUR/m3	EUR	EUR/m3	EUR	EUR/m3	EUR	EUR/t	
01 Lõhkematerjalid kokku	1 731 855	1,02	1,22	1,02	1,22	1,02	1,22	1,02	1,22	1,02	1,22	1,02	1,22	6 948 858	1,23	
1.1 lõhkeained	1 294 612	0,93	0,92	0,76	0,77	1 080 336	0,94	0,70	0,74	1 391 932	0,90	0,92	0,74	5 190 113	0,92	
1.2 lõhkevahendid	437 243	0,32	0,30	0,26	0,25	379 833	0,33	0,25	0,25	470 527	0,30	0,25	0,25	1 758 745	0,31	
02 Ankurtoestik	315 662	0,23	0,21	0,19	0,21	669 409	0,58	0,44	0,44	390 250	0,25	0,21	0,21	1 702 615	0,32	
03 Puurimisinstrument	168 427	0,12	0,07	0,10	0,07	89 210	0,08	0,06	0,06	187 058	0,12	0,10	0,10	554 792	0,10	
3.1 hambad	14 399	0,01	0,01	0,01	0,01	19 107	0,02	0,01	0,01	17 929	0,01	0,01	0,01	69 838	0,01	
3.2 puuripead	60 142	0,04	0,03	0,04	0,03	35 974	0,03	0,02	0,02	68 213	0,04	0,04	0,04	213 650	0,04	
3.3 puurivardad	93 886	0,07	0,03	0,06	0,02	34 129	0,03	0,02	0,02	100 916	0,06	0,05	0,05	271 304	0,05	
04 Kütus	502 467	0,36	0,40	0,30	0,33	430 940	0,37	0,28	0,28	609 692	0,39	0,32	0,32	2 157 489	0,38	
05 Määrdeained	30 678	0,02	0,02	0,02	0,02	24 914	0,02	0,02	0,02	41 787	0,03	0,02	0,02	134 158	0,02	
06 Tagavaraosad	841 013	0,61	0,50	0,49	0,42	541 644	0,47	0,35	0,35	855 453	0,55	0,45	0,45	3 019 041	0,53	
07 Muud materjalid	86 116	0,06	0,06	0,05	0,05	97 078	0,08	0,06	0,06	77 437	0,05	0,04	0,04	356 323	0,06	
7.1 kaabel	1 501 2	0,01	0,02	0,01	0,02	14 538	0,01	0,01	0,01	17 260	0,01	0,01	0,01	76 423	0,01	
7.2 tross	168	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65	0,00	0,00	0,00	369	0,00	
7.3 metsamaterjalid	46 264	0,03	0,03	0,03	0,04	63 443	0,06	0,04	0,04	33 144	0,02	0,02	0,02	186 354	0,03	
7.4 muud materjalid	24 672	0,02	0,01	0,02	0,01	19 097	0,02	0,01	0,01	26 968	0,02	0,01	0,01	93 177	0,02	
08 Elekter	89 468	0,06	0,06	0,05	0,05	86 166	0,07	0,06	0,06	100 102	0,06	0,05	0,05	375 074	0,07	
09 Muud kulud	37 786	0,03	0,02	0,02	0,03	39 620	0,03	0,03	0,03	47 690	0,03	0,03	0,03	178 083	0,03	
10 Palgakulud koos	1 834 345	1,32	1,08	1,08	1,32	1 697 654	1,47	1,11	1,11	2 086 064	1,34	1,11	1,11	7 666 984	1,36	
Kokku kulud ilma amort-	5 637 817	4,06	3,90	3,32	3,27	5 136 804	4,46	3,35	3,35	6 257 992	4,03	3,33	3,33	23 093 417	4,11	
11 Amortisatsioon	843 723	0,61	0,84	0,70	0,84	1 423 506	1,24	0,93	0,93	1 014 867	0,65	0,54	0,54	4 581 993	0,83	
Kõik kokku	6 481 540	4,67	4,73	3,97	3,97	6 560 310,00	6,94	4,28	4,28	7 272 859	4,68	3,87	3,87	27 675 410	4,99	
Õöpäevane koormus,m3	5 099					4 232				5 711				20 758		

Lisa 9. Majanduslikud näitajad arvestades aasta toodangu plaani [autori arvutustulemused]

Tuultustõkke maksumus/ ehitamise samm	1 300 €	1 200 €	1 100 €	1 000 €	900 €	800 €	700 €	600 €	500 €
19M	218 824 €	249 162 €	279 501 €	309 840 €	340 178 €	370 517 €	400 856 €	431 194 €	461 533 €
20M	233 271 €	262 498 €	291 725 €	320 953 €	350 180 €	379 407 €	408 635 €	437 862 €	467 090 €
21M	246 697 €	274 891 €	303 086 €	331 280 €	359 475 €	387 670 €	415 864 €	444 059 €	472 253 €
22M	259 206 €	286 438 €	313 671 €	340 903 €	368 135 €	395 368 €	422 600 €	449 832 €	477 065 €
23M	270 890 €	297 224 €	323 557 €	349 891 €	376 224 €	402 558 €	428 891 €	455 225 €	481 559 €
24M	281 827 €	307 320 €	332 812 €	358 304 €	383 796 €	409 288 €	434 781 €	460 273 €	485 765 €
25M	292 087 €	316 790 €	341 493 €	366 196 €	390 899 €	415 602 €	440 305 €	465 008 €	489 711 €
26M	301 731 €	325 692 €	349 653 €	373 615 €	397 576 €	421 537 €	445 498 €	469 459 €	493 421 €
27M	310 813 €	334 075 €	357 338 €	380 600 €	403 863 €	427 126 €	450 388 €	473 651 €	496 913 €
28M	319 380 €	341 983 €	364 587 €	387 190 €	409 794 €	432 398 €	455 001 €	477 605 €	500 208 €
29M	327 475 €	349 455 €	371 436 €	393 417 €	415 398 €	437 379 €	459 360 €	481 341 €	503 322 €