

Põlevkivi kadude analüüs ja optimeerimisvõimalused Estonia kaevanduse näitel

Magistritöö

Üliõpilane: Marina Kovaljova (192216)

Juhendaja: Erik Väli, vanemlektor, PhD

Õppekava: Maapõueressursid (LARM)

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Marina Kovaljova

[allkiri ja kuupäev]

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja: Vanemlektor Erik Väli

[allkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsmiskomisjoni esimees:

[allkiri ja kuupäev]

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Marina Kovaljova

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Põlevkivi kadude analüüs ja optimeerimisvõimalused Estonia kaevanduse näitel“,

mille juhendaja on Erik Väli,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

03.06.2021

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Sisukord

Annotatsioon.....	5
Abstract	6
Jooniste loetelu	7
Tabelite loetelu.....	8
Kasutatud mõistete ja lühendite loetelu.....	9
Elektronilised lisad	10
1 Sissejuhatus.....	11
2 Uuringuala ja probleem.....	12
2.1 Estonia kaevanduse kirjeldus	12
2.1.1 Probleemi kirjeldus.....	13
2.1.2 Varud	14
2.1.3 Geoloogilised tingimused	14
2.1.4 Hüdroteoloogilised tingimused	15
2.1.5 Mäenduslikud tingimused	15
2.1.6 Mäetehnilised tingimused.....	15
3 Uuringuobjekti kirjeldus	16
3.1 KP1906 asukoht ja parameetrid	16
3.2 KP1906 geoloogia	17
4 KP1906 mäetööde ettevalmistusskeem.....	20
4.1 Maapinna stabiilsuse ja ülalhoiu nõuded ja meetmed	20
4.2 Maapinna planšeti nr 342 absoluutkõrgused.....	20
4.3 Maapinna drooniga mõõtmise tehnoloogia.....	22
4.4 Kõrgusvõrk.....	22
5 KP1906 uuringud	24
5.1 KP1906 kohal maapinna drooniga uuring	24
5.2 Maapinna absoluutkõrguste analüüs	25
5.3 Tootuskihindi lasumissügavuse arvutamine	26
5.4 KP1906 kaevandamisprojekti sisu	27
6 KP1906 arvutused	28
6.1 Kambrite arvutus	28
6.2 Tervikute arvutus.....	29
6.2.1 Kaitsetervikute arvutus	29
6.2.2 Kambritevaheliste tervikute arvutus.....	31
6.2.3 Hoidetervikute arvutus.....	33

6.2.4	Topelttervikud esimese ja teise kambri vahel.....	35
6.3	Kambritevaheliste tervikute mõõtmised ja pikikambrite arv	37
6.4	Koormus tervikute ridadele.....	37
6.5	Tervikute markseiderimõõtmised	39
6.6	Lõhketööde seismilise mõju arvutamine altkaevandatud aladel asuvatele pealmaaobjektidele.....	41
6.7	Hoidetsoonide konstrueerimine	46
6.8	Mäetööde ettevalmistusskeemide koostamine.....	47
6.8.1	I variant – Kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega.....	48
6.8.2	II variant – Kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses.....	52
6.8.3	III variant – Kamberploki kaevandamine riskülikukujuliste hoidetsoonidega	54
6.9	Kamberploki 1906 tööga	57
6.10	Majanduslikud näitajad.....	58
7	Tulemused.....	60
	Järeldused ja kokkuvõte.....	61
	Tänuavaldused	62
	Kirjanduse loetelu.....	63
	Lisa 1. Lõputöö ülesanne.....	66
	Lisa 2. GNSS vastuvõtuseadme kontroll-leht	67
	Lisa 3. Lähislae lubatud ava suurus ja kambrite laiused.....	68
	Lisa 4. Kaitseridades kambrite arvutus.....	69
	Lisa 5. Kambritevaheliste tervikute arvutus.....	70
	Lisa 6. Hoidetsoonis kambritevaheliste tervikute arvutus	71

Annotatsioon

Käesolev magistritöö baasiks on Estonia põlevkivikaevanduse kamberploki 1906 tervikute ja kambrite parameetrite õige valik. Parameetrite valik sõltub suures osas põlevkivi tootuskihi lasumissügavusest. Mida sügavam on kihind, seda suurem peab olema maapinda toetava terviku pindala. Mitteametlike andmete ja arvutuste kasutamine põhjustab põhjendamatult põlevkivikadude suurenemist. Põlevkivi kadude ohjamine või vähendamine suurendab kaevanduse nagu ettevõtte efektiivsust.

Magistritöö eesmärgiks on koostada Estonia kamberploki 1906 väljatöötamiseks võimalikud mäetööde ettevalmistusskeemid, mille põhjal saab analüüsida põlevkivi kadusid tervikutes. Töö käigus koostati kolm võimalikku kamberploki mäetööde ettevalmistusskeemi varianti: kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses, kamberploki kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega ning kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega. Kamberploki mäenduslike tingimuste põhjalik uuring andis täiendavat teavet edasiste arvutuste teostamise kohta.

Töö eesmärgi täitmiseks kasutati uuenduslikku lähenemisi – droonimõõtmisi. Tänu sellele sai täpsemalt uurida kamberploki 1906 kohal asuvat maapinda. Samuti arvutati iga võimaliku mäetööde ettevalmistusskeemi variandi jaoks tervikute ja kambrite suurus, võttes arvesse erinevad tootuskihi väljatavad paksused, tervikuridade projekteerimiskoordinaadid ja kõrvalekalded projektist. Lisaks kaasati arvutustesse kamberploki 1906 tööga ning väljatava mäemassi ja võimaliku kaubakivi mahud.

Kõige olulisemaks tulemuseks on kaevandusele tehnoloogiliselt parima ja väiksemate kadudega mäetööde ettevalmistusskeemi väljatöötamine kamberploki 1906 varude väljamiseks. Parimaks osutunud variandi ehk ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki kaevandamise korral on põlevkivi kaod tervikutes teiste mäetööde ettevalmistusskeemidega võrreldes kõige väiksemad ja moodustavad 28,39 % kogu kamberploki 1906 varudest.

Magistritöö tulemusena tehakse kaevandusele efektiivsust parendavaid ettepanekuid. Enne uute kamberplokkide projekteerimist on soovitatav eelnevalt sooritada maapinna seisukorra uuring drooni abil. Estonia kaevandusele soovitatakse kasutada kamberploki 1906 projekteerimisel ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kaevandamise mäetööde ettevalmistusskeemi, kuna sellise meetodika kohaselt jäävad kaod kõige väiksemaks ja kamberploki kaevandamine on tehnoloogiliselt lihtsam.

Analysis of oil shale losses and possibilities for optimization: a case study of the Estonia mine

Abstract

This master's thesis is based on the correct selection of pillar and room parameters of the mining block 1906 of the Estonia oil shale mine. The choice of parameters largely depends on the depth of the oil shale production layer. The deeper the layer, the larger is the area of a pillar supporting the ground. The use of inadequate data and calculations causes unjustified increase in oil shale losses. Controlling or reducing oil shale losses improves the efficiency of the mining company.

The aim of this thesis is to compile possible choices for developing mining operation plans for the mining block 1906 of the Estonia mine. The losses of oil shale can be analyzed in their entirety on the basis of these choices. Three possible options for mining operation plans of the mining block were prepared: mining with barrier pillars throughout the mining block, mining a block with rectangular supporting zones and mining of a block with supporting zones. An in-depth study of mining conditions in the block provided additional information on how to perform further calculations.

An innovative approach was used for fulfilling the goal of this thesis – drone measurements. Thanks to this method, the ground overlying the mining block 1906 could be studied more in detail. The size of pillars and rooms for each possible option of mining operation plans were also calculated, taking into account different thicknesses of the production layer, estimated strength of the rows of pillars and deviations from the estimate. The calculations include also the lifetime of the mining block 1906, and possible volumes of mined rock mass and enriched oil shale.

The most important result of this study is a proposal for the technologically best mining operation plan with minimal losses while extracting the reserves of the chamber block 1906 of the mine. If mining takes place in a mining block with rectangular supporting zones, which proved to be the best option, the oil shale losses in a pillar are the smallest compared to other mining operation plans, forming 28.39% of the total reserves of the block 1906.

As a result of this thesis, the following proposals for improved efficiency are made for the mine. Before designing new mining blocks, it is advisable to perform a survey of ground conditions using a drone. The Estonia mine is advised to use a mining operation plan with rectangular supporting zones when planning the mining block 1906, as such methodology leads to smallest losses. Moreover, in such a case it will be technologically more feasible to mine the mining block.

Jooniste loetelu

- Joonis 1.** Estonia kaevanduse mäeeraldise ja läbindatud allmaakaevetöönte asukoht. (Maa-amet, 2021)
- Joonis 2.** KP1906 kaevetöönded
- Joonis 3.** KP1906 asukoht Estonia kaevetöölal
- Joonis 4.** Külgstreki 1905-1906 profiil nivelleerimisandmete põhjal (Kovaljova, 2018)
- Joonis 5.** Külgstreki 1906-1907 profiil nivelleerimisandmete põhjal (Kovaljova, 2018)
- Joonis 6.** KP1906 tootuskihi läbilõige (Utrobina, 2019)
- Joonis 7.** KP1906 geoloogilise puuraugu nr 445 litoloogiline läbilõige (Utrobina, 2021)
- Joonis 8.** Kamberploki 1906 kaevetöönte ja maapinna planšeti ühendatud plaan kohalikus koordinaatsüsteemis
- Joonis 9.** BK77 ja EH2000 kõrguste erinevused (Maa-amet, 2021)
- Joonis 10.** Töödeldud kamberploki 1906 maapinna mudel PixPro programmis
- Joonis 11.** Kamberploki 1906 allmaakaevetöönte ja maapinna ortofoto ühendatud plaan L-Est koordinaatsüsteemis
- Joonis 12.** Lasumissügavused erinevate väljatava tootuskihi paksusel
- Joonis 13.** Kaitseterviku kuju kogumistreki ääres
- Joonis 14.** Kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral
- Joonis 15.** Kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral
- Joonis 16.** Hoidetsooni kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral
- Joonis 17.** Hoidetsooni kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral
- Joonis 18.** Topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral
- Joonis 19.** Topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral
- Joonis 20.** Hoidetsooni topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral
- Joonis 21.** Hoidetsooni topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral
- Joonis 22.** Terviku tegelik markšeiderimõõtmine I variandi korral
- Joonis 23.** Terviku markšeiderimõõtmise tulemus I variandi korral
- Joonis 24.** Terviku tegelik markšeiderimõõtmine II variandi korral
- Joonis 25.** Terviku markšeiderimõõtmise tulemus II variandi korral
- Joonis 26.** Lõhketööde piirangud Asu talu tsoonis
- Joonis 27.** Hoidetsooni piiride määramine (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019)
- Joonis 28.** KP1906 kaevandamine hoidetsoonidega ettevalmistusskeem (Lisa E1)
- Joonis 29.** Kaitsetervikutega kaevandamine kogu KP1906 ulatuses ettevalmistusskeem (Lisa E2)
- Joonis 30.** KP1906 kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega ettevalmistusskeem (Lisa E3)

Tabelite loetelu

Tabel 1. Lae püsivuskoeffitsient (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019)

Tabel 2. Koormus tavaliste kambritevaheliste tervikute reale

Tabel 3. Koormus hoidetervikute reale

Tabel 4. Lubatud hälve $\pm 5\%$ koormuse sammastervikutel reale

Tabel 5. Ehitise suurim lubatud võnkekiirus sõltuvalt kaugusest ja aluspinnasest (Majandus- ja Taristuminister, 2017)

Tabel 6. Ehitise liigist sõltuv parandustegur (Majandus- ja Taristuminister, 2017)

Tabel 7. KP1906 väljamata pindala (Enefit Power AS, 2021)

Tabel 8. KP1906 tervikud hoidetsoonidega kaevandamisel

Tabel 9. KP1906 pindalakaod kaevandamisel hoidetsoonidega

Tabel 10. Andmed maavara varude suuruse ja kihi tootlikkuse kohta kamberplokk 1906 kaevandamisel hoidetsoonidega

Tabel 11. Tervikud kaevandamisel kogu KP1906 ulatuses

Tabel 12. Pindalakaod kaitsetervikutega kaevandamisel kogu KP1906 ulatuses

Tabel 13. Andmed maavara varude suuruse ja kihi tootlikkuse kohta kaitsetervikutega kaevandamisel kogu kamberploki ulatuses

Tabel 14. KP1906 tervikud ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kaevandamisel

Tabel 15. KP1906 kaod ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki kaevandamisel

Tabel 16. Andmed maavara varude suuruse ja kihi tootlikkuse kohta kamberploki ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kaevandamise korral

Tabel 17. Kamberploki 1906 tööea arvutused

Tabel 18. Majanduslikud näitajad

Kasutatud mõistete ja lühendite loetelu

BK-77 – Balti 1977. aasta kõrgussüsteem ehk Kroonlinna nulli suhtes

EH2000 – Euroopa kõrgussüsteem ehk Amsterdami nulli suhtes

GNSS - globaalse navigatsioonisatelliitide süsteemi püsijaam

KP – kamberplokk

Hoidetervik - hoitava objekti kaitseks mäetööde ohtliku mõju vastu maapõue jäetud tervik (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019)

Hoidetsoon - maa-alune ala, kus väljatakse maavara (kaevist) või tehakse muid mäetöid ja mille piires jäetakse hoitava objekti kahjustuste vältimiseks tavaliselt suuremad tervikud või langatusala levikut piiravad tõkketervikud, või täidetakse maa-alune ala (kaeveõõned) keskkonda mittekahjustava materjaliga (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019)

Kaevandamiskadu – „kaevandustes mitmesugused lae käitlemiseks jäetavad langi- ja plokisisesed tervikud, sealhulgas põlevkivikaevanduste kamberplokkide sammastervikud“ (Reinsalu, 2008, lk 28)

Kamberkaevandamine – „kaevandamisviis, mille puhul põhilage jäetakse hoidma väljamata maavarast ruudu- või ringikujulise põiklõikega tervikud“ (Reinsalu, 2021).

Kamberploki mäetööde ettevalmistusskeem – skeem, kus näidatakse projekteeritud tervikute ja kambrite mõõtmed ning nende asetust teine teise suhtes.

Lankkaevandamine – „allmaa-kaevandamisviis lankideks jaotatud kaevandusväljal“ (Reinsalu, 2021).

Pikikamber – kogumisstrekiiga paralleelne kaeveõõnte ees

Põikkamber – kogumisstrekiiga risti kaeveõõnte ees

Pindalakadu – kihtmaardlate kaevandamisel maavara kogu tootuskihind jääb väljamata (Reinsalu, 2008).

Planšett – paksust paberist leht, mis on jäigale alusele liimitud ning mõeldud sellele markšeideri-või topograafilise mõõdistamise plaani joonestamiseks, millele on joonistatud kaardi (plaani) lehe raamid, geodeetilised punktid, koordinaatvõrk. (Омельченко, 1987, lk 104)

Tervik – allmaakaevandamisel maa alla väljamata jääv maapõue osa, mida ümbritsevad kaeveõõned (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019)

Elektroonilised lisad

[Lisa E1. Kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega ettevalmistusskeem, formaat DWG \(Autocad\)](#)

[Lisa E2. Kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses ettevalmistusskeem, formaat DWG \(Autocad\)](#)

[Lisa E3. Kamberploki kaevandamine riskülikukujuliste hoidetsoonidega ettevalmistusskeem, formaat DWG \(Autocad\)](#)

[Lisa E4. Ortofoto, formaat tiff](#)

[Lisa E5. Absoluutkõrguste analüüs, formaat DWG \(Autocad\)](#)

1 Sissejuhatus

Maailma suurim põlevkivikaevandus „Estonia“ asub Eesti kirdeosas ja see anti töösse 28. detsembril 1972. aastal. Tänapäevaks on kaevandus töötanud juba 49 aastat, kuid väljamata varusid on endiselt piisavalt. On võimalik võtta töösse mitu uut paneeli, kuid selleks tuleb sinna eelnevalt läbindustöödega rajada kapitaalkaevetööd.

Põlevkivi kaevandamine toimub Estonia kaevanduses umbes 70 m sügavusel. Kaevandatavat põlevkivi kasutatakse kütusena elektrijaamades ja toormena õli tootmiseks.

Kaevandus töötab praeguse prognoosi kohaselt 2034. aastani (Enefit Power AS, 2021) Tänapäevaks on 80% kaevanduse pindalast kaevandatud. Järelejäänud varudest 4,9% tuleb ettevalmistuskaevetöödest ja 15,1% prognoositakse kaevandada koristuskaevetöödest (Utrobina, 2020).

Estonia kaevanduse eluea jooksul on kasutatud nii lank- kui ka kamberkaevandamise tehnoloogiaid. Lankkaevandamise tehnoloogiat kasutades olid põlevkivi kaod 27% (Лыгис, 1965, lk 127). Negatiivse nähtusena kaasnesid selle tehnoloogia puhul aga maapinna vajumid. Täna on kasutusel kamberkaevandamisviis, mille oluliseks tunnuseks on tervikute moodustamine maapinna vajumise vältimiseks. 2021. aastal moodustasid põlevkivi kaod 33% (Utrobina, 2020).

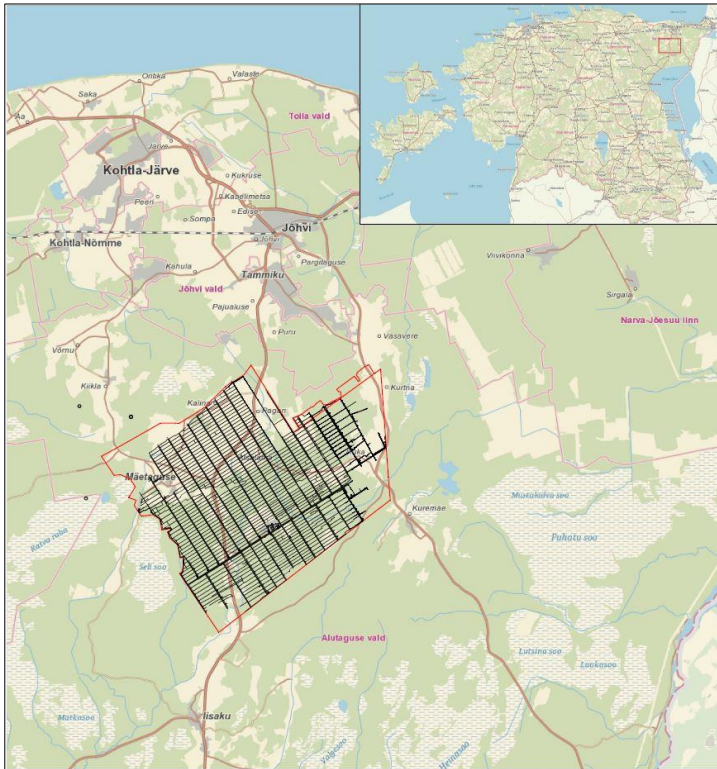
Käesoleval ajal on eriti aktuaalseks muutunud põlevkivi kadude vähendamine, mis toob endaga kaasa rohkem kaubapõlevkivi saamine, mille eest ettevõtte võib saada rohkem kasumit. Samuti on ka oluline tegutseda vastavalt Maapõueseadusele, mis ütleb, et maavara tuleb kaevandada ning muul alusel looduslikust seisundist eemaldada ja kasutada majanduslikult võimalikult otstarbekalt ja säästlikult (Riigikogu, 2016).

Käesoleva töö eesmärgiks ongi uurida võimalusi põlevkivi kadude vähendamiseks tervikutes, rikkumata sealjuures kaevandamisega kehtiva maapinna ja rajatiste kaitsmise korra nõudeid (Riigikogu, 2016). Selleks, et täita töö eesmärki, uurisin põhjalikult mäetööde erinevate ettevalmistusskeemide kasutuselevõtu võimalusi kamberplokkis 1906, kasutades selleks uuenduslikke mõõtmismeetodeid ja tehnikat, seal hulgas droonid. Töö raames analüüsisin, millist mõju avaldab uuenduslike meetodite kasutuselevõtt ettevõtte majandusnäitajatele.

2 Uuringuala ja probleem

2.1 Estonia kaevanduse kirjeldus

Estonia kaevandus kuulub Eesti Energia tütarettevõtte Enefit Power AS koosseisu. Estonia kaevandus asub Ida-Viru maakonnas, Alutaguse vallas Eesti põlevkivimaardla keskosas (Joonis 1). Geostruktuuriliselt paikneb Eesti põlevkivimaardla Läänemere kilbi lõunanõlval, Läänemere basseini põhjaküljel (Лырыс, 1965, lk 46).



Joonis 1. Estonia kaevanduse mäeeraldise ja läbindatud allmaakaevanduste asukoht. (Maa-amet, 2021)

Estonia kaevandus avati 1972. aastal kolme kald ja ühe vertikaalse šahtiga (Лырыс, 1965, lk 120):

- Abikaldšahat 25° kaldenurgaga, mis on mõeldud materjali ja seadmete transportimiseks. Praegu on kaldšahat konserveeritud.
- Keskkonveierikaldšahat 17° kaldenurgaga, mis on mõeldud kaevise kaevandusest transportimiseks rikastusvabrikusse lintkonveieri abil.
- Transpordikaldšahat 12° kaldenurgaga, mis on mõeldud inimeste vedamiseks diiselmootoriga sõidukite abil, samuti materjalide ja seadmete transportimiseks. Kaldšahat läbindati 2003. aastal.
- Vertikaalšahat oli varustatud kongiga ja see oli mõeldud inimeste laskumiseks ja tõusmiseks kaevandusest. Praegu on vertikaalšahat konserveeritud.

Estonia kaevanduses on kasutuses paneelidega kaevandamise ettevalmistamise skeem. Kaevandus on jagatud paneelideks, eraldatud tuulutus-, konveieri- ja veostrekkide abil. Paneelid on jagatud kamberplokkideks, kus toimub vahetu maavara kaevandamine. Allmaakaevandamine toimub

kamberkaevandamisviisiga, milles jäetakse tervikuid, mis toetavad maapinda. Tervikutes asuvaid põlevkivivarusid loetakse tootmiskadudeks. Kamberkaevandamisviisil on tootmiskaod suured ja need moodustavad ~30%.

Kuni 2020. aastani laienes Estonia kavandus kaevevälja kõikides suunas, kuid pärast põlevkivi aastatoodangu vähendamist tekkis vajadus sulgeda (konserveerida) kaevevälja läänetiib. Praegu teostatakse mäetöid ainult idatiivas.

2.1.1 Probleemi kirjeldus

Maavarad on maapõueseadusega kaitstud, mis nõuab maksimaalselt ratsionaalset kaevandamist. Maavarade kaevandamisega tegelev ettevõtte peab välistama maavarade põhjendamatu kadude ja soovimatu keskkonnamõju. Kadude vähendamine on oluline nii maapõuekaitse seisukohast kui ka kaevandusettevõtte majanduse jaoks.

Estonia kaevanduse püüab kasutada loodusvarasid (põlevkivi) võimalikult tõhusalt, sest see on taastumatu ressurss, mida tuleb hoolikalt käsitleda. 2021. aasta planeeritud põlevkivi kaod on suured, seega on vaja neid erinevate võimaluste leidmisega vähendada. Tervikutes põlevkivi kadude vähendamine, rikkumata sealjuures kaevandamisega kehtiva maapinna ja rajatiste kaitsmise korra nõudeid, võimaldab saada rohkem kaubapõlevkivi. Kadude kindlakstegemine toimub mõõdistamise teel markšeideriteenistuse poolt, seega markšeiderimõõdistamised peavad olema väga täpsed.

„Maavara on üldrahvalik vara, mille kasutamise õigus antakse (renditakse) kaevandajale. Maavara kaevandav riigiettevõtte ei saa maavara enda omaks pidada, sest ta kasutab seda kaevandamisõiguse alusel. Maavara on taastumatu ressurss ja ühiskond ei pea selle pillavat kasutamist õigeks, sest taastumatut ressursi ei saa üldjuhul millegi samaväärsega asendada“ (Reinsalu, 2008, lk 28). *„Osa maavarast muutub kaevandamise ja ka mittemäendusliku majandustegevuse käigus kasutamiskõlbmatuks“* (Reinsalu, 2008, lk 28).

Estonia kaevanduses kamberplokkide tervikutes põlevkivi kaod on kaevandamiskaod, mis omakorda on pindalakaod. Maavara kadu mõõdetakse tavaliselt protsentides.

Estonia kaevanduses 2002. aastani kasutati lankkaevandamist, mille esmane tunnus on lae langetamine (Reinsalu, 2019, lk 344). Lankkaevandamisel toimusid maapinna vajumised, mõnikord kuni 2 meetrini (Reinsalu, 2016, lk 309). Täna on sellist tehnoloogiat võimatu kasutada, kuna kaevevälja maapinnal on palju hooneid ja rajatisi, mida tuleb kaitsta. Ettevõtte ei saa lubada mäetööde mõjul maapinna vajumist.

„Kamberkaevandamisviisi puhul hoitakse põhilage üleval sammastervikutega, mille moodustab maavara – põlevkivi. Nii kaob tervikutes olenevalt kaevandamissügavusest 25-30% energeetilisest ressurssist. Samal ajal on see odavaim allmaakaevandamise moodus“ (Reinsalu, 2008, lk 29). *„Kamberkaevandamise alal maakate ei muutu – loodus- ja kultuurkooslus jääb samaks“* (Reinsalu, 2006, lk 12).

Suur kadude protsent tervikutes on seega probleemiks. Oma töös analüüsin ma kolme erinevat mäetööde ettevalmistamise skeemi ja pakun kaevandusele juurutamiseks neist parima, sest ratsionaalseima mäetööde ettevalmistamise skeemi kasutamine mõjutab positiivses mõttes

kaevandatavaid varusid. Varude suurust mõjutavad samuti kaevandatava välja geoloogia, hüdrogeoloogia, mäenduslikud ja mäetehnilised tingimused.

2.1.2 Varud

Maavarade kaevandamisega tegelev kaevandusettevõtte peab järgima maapõueseadusest tulenevaid nõudeid. Maapõueseaduse eesmärk on tagada maapõue säästlik ja majanduslikult otstarbekas kasutamine ning seejuures tekkivate keskkonnanahäiringute vähendamine võimalikult suures ulatuses (Riigikogu, 2016).

„Maavaravaru arvestust peetakse keskkonnaregistri maardlate nimistus, mille vastutav töötleja on Keskkonnaministeerium ja volitatud töötleja Maa-amet. Maavaravaru on geoloogilise uuringu taseme järgi jaotatud tarbe- ja reservvaruks ning kasutamisevõimalikkuse ja majandusliku tähtsuse alusel aktiivseks ning passiivseks varuks. Põlevkivivaru arvutatakse põlevkivikihtide summana, milles määrava tähtsusega on põlevkivikihi leviku pindala, kihindi põlevkivikihtide summaarne paksus ning põlevkivi kvaliteet, mida näitab kuiva massi kütteväärtus ja mahumass kuivas olekus“ (Keskkonnaministeerium, 2015, lk 16)

Kaevandamisluba KMIN-054 põlevkivi kaevandamiseks on välja antud 04.09.2004 Enefit Kaevandused AS-ile ning kehtib kuni 10.08.2049. Kaevandamisloas dokumenteeritud varud mäeeraldisel on 127 415,638 tuh t aktiivset tarbevaru, 8391 tuh t aktiivset reservvaru ja 7976 tuh t passiivset varu. Maksimaalselt tohib aastas kaevandada 10 000 tuh t põlevkivi ning maavara kasutatakse kütusena elektrijaamades ja toormena õli tootmiseks (Kutsar, 2016-2017).

„Tohib kaevandada ainult maavara, mis on aktiivse tarbevaruna arvele võetud või aktiivse reservvaruna kaevandatavaks ja kasutatavaks tunnistatud“ (Riigikogu, 2016, §42 (2)). „Maavara tuleb kaevandada ning muul alusel looduslikust seisundist eemaldada ja kasutada majanduslikult võimalikult otstarbekalt ja säästlikult“ (Riigikogu, 2016, §16 (4)).

„Eesti põlevkivivaru säästvaks kasutamiseks tuleb piirata allmaakaevandamise tehnoloogilise koo suurenemist ja ära kasutada suurema energiasaldusega põlevkivialadel kaevandamise peatamisel väljamata jäänud põlevkivivarud“. (Metsur ja Tamm, 2014, lk 24)

2.1.3 Geoloogilised tingimused

Geoloogilised uurimistööd Estonia kaevanduses kaevevälja põhjaosas tehti ajavahemikul 1946-1948 a. ja kaevevälja lõunaosas 1961-1965 a. (Лыгус, 1965, lk 8).

Kaevevälja pind on tasane, väikese kaldega lõunasse. Maapinna absoluutkõrgused on vahemikus 49 m lõunas kuni 77 m põhjas (Лыгус, 1965, lk 10).

Pinnakatte paksus on mäeeraldisel alal valdavalt 2-5 m, paiguti on alasid kus pinnakate on alla 1 m. Pinnakate koosneb valdavalt alla 3 m paksusest moreenist, mida laiguti katab saviliiv ja liivsavi. (Kutsar, 2016-2017)

Estonia kaevanduse geoloogilises struktuuris osalevad eelkambriumi kristalsed kivimid, Kambriumi ja Ordoviitsiumi settekivimid, mis kattuvad Kvaternaari setete õhukese kattega. Kivimite rõhtsiht on

sublatituaalne, kallakus on lauge, horisontaalne maardla keskmise langusega $0^{\circ} 08'$, mis on 2,30 m 1 km kohta. Hooajaline mullakihi külmumine ei ületa 0,5 m (Лыгьс, 1965, lk 32).

Maardla lihtne geoloogiline struktuur ja tootuskihi üldine vaikne monoklinaalne lasumus on raskendatud tektooniliste rikete piirkondlike tsoonidega, kivimite lõhelisuse ja karstumisega, ebatasasustega põhja hüpsomeetrias ja kihindi uhega (Лыгьс, 1965, lk 46).

„Põlevkivi tootuskihi paksus on maksimaalne Eesti põlevkivimaardla põhja- ja idaosas ning väheneb maardla lõuna ja lääne suunas. Tootuskihi lasumissügavus on väikseim maardla põhjaosas ning suurim maardla lõunapiiril. Kihindi kvaliteet on kõrgeim maardla keskosas ja langeb äärealade suunas. Suuremad mäeeraldised paiknevad Eesti põlevkivimaardla kesk- ja idaosas“ (Keskkonnaministeerium, 2015, lk 13).

2.1.4 Hüdroteoloogilised tingimused

Estonia kaevandus asub Balti arteesia basseini kirdeosas. Kaevandus omab võimsat dreneažiefekti põhjaveekihtidele, mis asuvad tootuskihi kaeveõõne põhjas ja laes (Лыгьс, 1965, lk 85).

Vee sissevoolu kaeveõõntesse põhjustavad Ordoviitsiumi karbonaatkivimite kompleksi põhjaveekihi. Tootuskihi lae hüdroteoloogiline struktuur näitab, et põhjaveekihi on tegelikult eraldi karstiveekihtide tsoonid. Lõhelisuse korral muutub põlevkivi vett läbilaskvaks, kuna see loob lõhede kaudu vee ringluse võimaluse (Лыгьс, 1965, lk 110,).

Põhiline veekogus satub kaevandusse kaeveõõnte laest. Vee tungimine kaevandusse sõltub suuresti kaevandatud ala pindalast ja aastaajast. Estonia kaevanduses pumbatakse iga tonni põlevkivi kohta keskmiselt 10 m³vett (Лыгьс, 1965, lk 110).

2.1.5 Mäenduslikud tingimused

Eesti territooriumil põlevkivi lasumisel sügavamal kui 30 m kasutatakse allmaakaevandamist. Seda tüüpi kaevandamist kasutatakse Estonia kaevanduses, kus põlevkivikiht asub 40-70 m sügavusel. Maardla ekspluateerimine toimub lihtsates kaevandamis- ja geoloogilistes tingimustes (Лыгьс, 1965, lk 112).

2.1.6 Mäetehnilised tingimused

Kaeveälja kaevandamise soodsad geoloogilised tegurid on järgmised: tootuskihi püsiv ja suhteliselt kõrge võimsus, peaaegu horisontaalne lasumine ja külgkivimite kõrge stabiilsus (Лыгьс, 1965, lk 113).

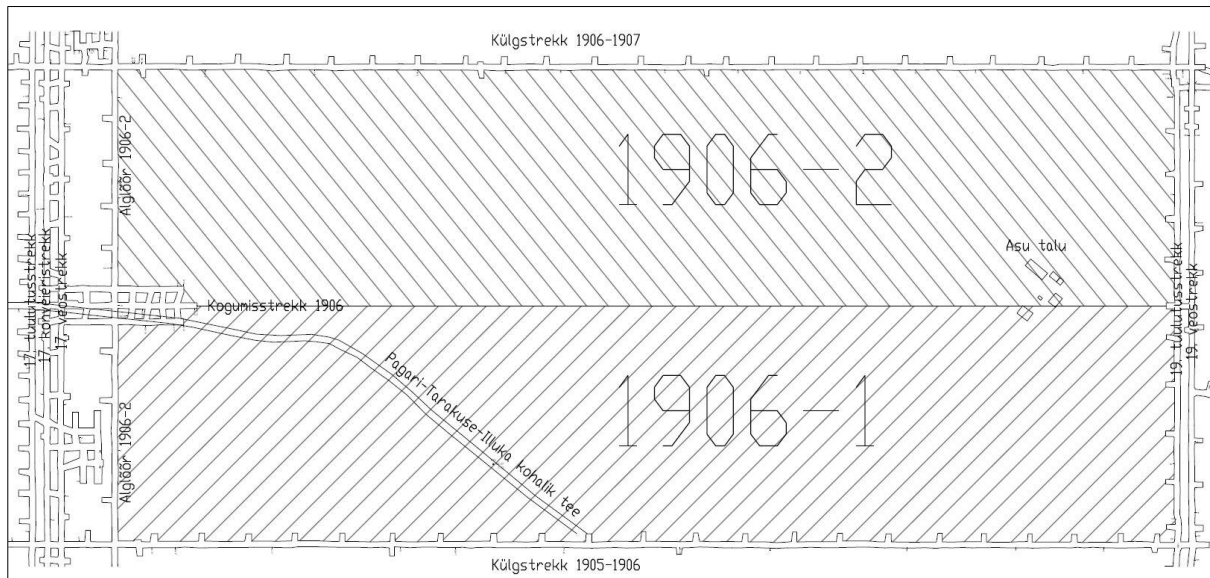
Nähtused, mis põhjustavad raskusi mäetööde käigus on järgmised: karsttektoonilised rikketsoonid, lähislae ebastabiilsus ja suhteliselt kõrge veesisaldus. Karsttektoonilised rikketsoonid on vett läbilaskvad teed ja lae äkiliste varisemistega alad (Лыгьс, 1965, lk 113).

Suur veesisaldus ei põhjusta tänapäevaste pumpamiseadmetega tõsiseid probleeme. Põhiline veekogus satub kaevandusse kaeveõõnte laest, mis halvendab ka töötingimusi töösides.

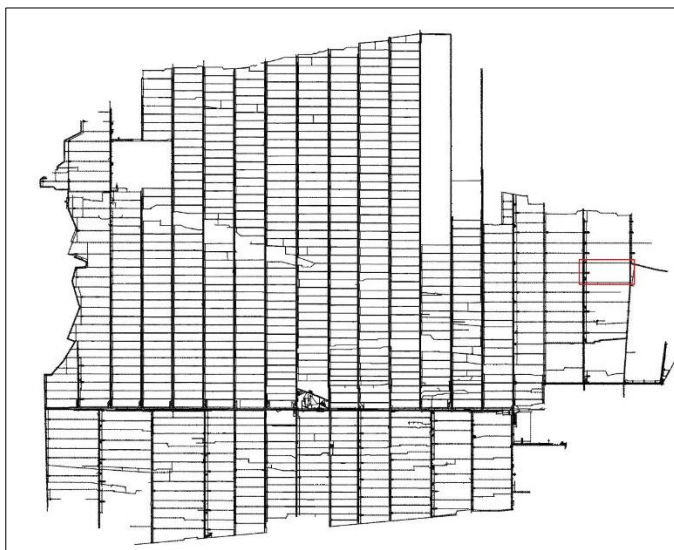
3 Uuringuobjekti kirjeldus

3.1 KP1906 asukoht ja parameetrid

Kamberplokk 1906 asub Estonia kaevanduse kirdeosas 17. paneeli ja 19. paneeli ning külgstrekkide 1905-1906 ja 1906-1907 vahel. 17. paneel on läbindatud tuulutus-, konveieri- ja veostrekkidega. 19. paneel on läbindatud tuulutus- ja veostrekkidega (Joonis 2). Kogumisstrekk läbindatakse koos koristustöödega ja koristustööde edenemisega pikendatakse konveierit 17. paneelist 19. paneelini. 17. paneel läbindati 2016. aasta veebruaris. Külgstrekid ja 19. paneeli tuulustusstrekki läbindati aastatel 2018-2019 (Enefit Power AS, 2021). KP1906 asukoht Estonia kaeveväljal on kujutatud punase ristkülikuga (Joonis 3).

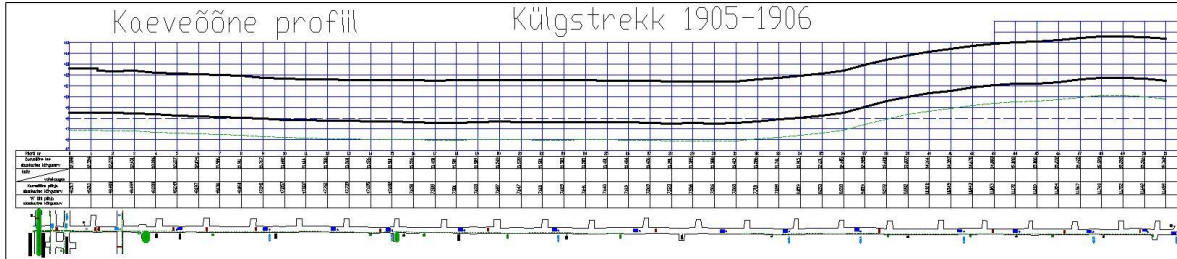


Joonis 2. KP1906 kaeveõõned

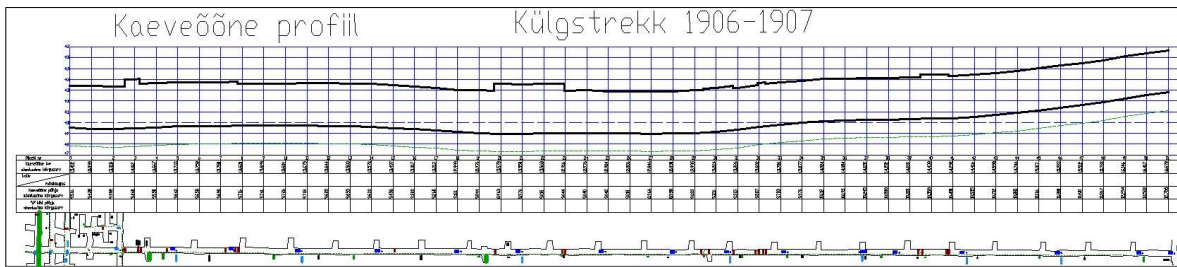


Joonis 3. KP1906 asukoht Estonia kaeveväljal

Strekkidel on tehtud kaeveõõnte põhja nivelleerimine Balti kõrgussüsteemis. Geomeetriline nivelleerimine viiakse läbi maa-aluse markšneiderivõrgu punktide absoluutkõrguse määramiseks. Töö teostamiseks on vajalik nivelliir, mis kinnitatakse statiivile ja latt, mis markšneideripunktidele ja kaeveõõne põhjale paigaldatakse (Омельченко, 1979, lk 132). Nivelleerimisandmete põhjal koostatakse kaeveõõne pikiprofiili Autocadis. Külgstrekkide profiilid (Joonis 4 ja Joonis 5) näitavad kihindi lasumissügavuse vähenemine 19. paneeli suunas (Enefit Power AS, 2021).



Joonis 4. Külgstreki 1905-1906 profiil nivelleerimisandmete põhjal (Kovaljova, 2018)



Joonis 5. Külgstreki 1906-1907 profiil nivelleerimisandmete põhjal (Kovaljova, 2018)

KP1906 pikkus 17. veostreki 19. tuulutustreki on 1027 m, kamberplokki laiuse külgstrekkide vahel on 434,8 m. Väljamata kamberplokki pindala on 437 556 m² (Enefit Power AS, 2021).

3.2 KP1906 geoloogia

Tootsa kihindi moodustavad Kukruse lademe Kiviõli kihistiku alumise osa seitse kukersiidi (alt ülespoole A, A', B, C, D, E, F1) ja kuus lubjakivi vahekihti (A/A', A'/B, B/C, C/D, D/E, E/F1). Tootsa kihindi paksus on üks mäenduslike tingimuste põhinäitajaid. Sellest sõltub kaevandamisviisi, tehnoloogia ja tehnika valik. (Лыгус, 1965, lk 61)

Kamberplokki 1906 kihindi väljatav paksus on 2,79 m, millest on põlevkivikihtide summaarne paksus 2,11 m (Joonis 6). Kihindi keskmine kütteväärtus on 8,29 MJ/kg (1980 kcal/kg) (Enefit Power AS, 2021).

Mäeeraldil koosneb kolmest tegutsevatest geoloogilisest varuplokist ning KP1906 on osa geoloogilisest varuplokist nr 10, täpsemalt alaplokist 10-7, mille varu seisuga 01.01.2018 on 28176,95 tuhat t aktiivset tarbevaru. Alaploki pindala on 8 505 734 m². Kuiva põlevkivi üldtunnustatud mahukaal on 1,57 t/m³. Kihindi tootlikkus on põlevkivikihtide summaarne paksus korrutatuna kuiva põlevkivi mahukaaluga ning võrdub 3,31 t/m³ (Utrobina, 2020).

Kamberplokki mäetööde ettevalmistusskeemi koostamiseks on vajalik kaeveõõnte lae püsivuse stabiilsuse koefitsient. Selleks on vaja teada kaeveõõnte lae tektooniliste lõhede vahekaugust.

Paralleelselt külgstrekkide läbindamisel kaevanduse geoloog viis läbi lae lõhede visandamine. Keskmise lõhede vahekaugus on 6,8 m (Enefit Power AS, 2021). Kamberplokis 1906 valitseb „madala“ lae stabiilsus, mille koefitsient on 0,7 (Tabel 1). Poolplokis 1906-1 domineerib kaltsiidilõhe soon paksusega 0,02 m. Selline kaltsiidilõhe soon ilmus ka kamberplokil 1905, kuid seda suudeti hoida tervikutes, mis ei toonud kaasa märkimisväärset kadude suurenemist.

Kamberplokis 1906 on geoloogiline puurauk nr 445, mille litoloogiline läbilõige on toodud Joonis 7.


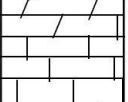
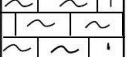

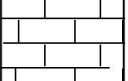
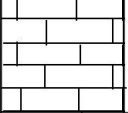

Geoloogilised tingimused mõjutavad tervikute suuruse valikut. Keerulistes geoloogilistes tingimustes, nagu karstivõõndid ja tektooniliste vigade tsoonid, tervikud ebapiisavalt mõõtmetega võivad mäerõhu avaldumise tõttu olla potentsiaalselt ohtlikud, mis võib põhjustada pinna vajumist.

Tabel 1. Lae püsivuskoeffitsient (*Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019*)

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

Kihi indeks	Lõige	Lõige		Kivimite lühikirjeldus
		Paksus	Kõrgus A kihist	
F _{al}		0,45	2,79	Lubjakivimugulatega savikas põlevkivi
E _{ül}		0,28	2,34	Rohkete lubjakivimugulatega savikas põlevkivi
E _{al}		0,30	2,06	Lubjakivimugulatega pruun põlevkivi
D/E		0,06	1,76	Bituminoosne lubjakivi
D		0,08	1,70	Savikas põlevkivi
C/D		0,28	1,62	Lubjakivi
C		0,39	1,34	Lubjakivimugulatega pruun põlevkivi
B/C		0,13	0,95	Bituminoosne lubjakivi
B		0,41	0,82	Üksikute detriitsete lubjakiviläätsedega pruun põlevkivi
A/B		0,19	0,41	Savikas lubjakivi
A ₁		0,07	0,22	Savikas põlevkivi
A/A ₁		0,02	0,15	Bituminoosne lubjakivi
A		0,13	0,13	Puhas põlevkivi

Joonis 6. KP1906 tootuskihindi läbilõige (*Utrobina, 2019*)

Geol. Indeks	Sügavus, m		Paksus, m	Läbilõige	Kivimite kirjeldus
	alates	kuni			
Q	0,0	5,25	5,25		Liivsaht, liivad
O _{3 rk}	5,25	12,60	7,35		Tühikulised dolomiidid peeneteralised lubjakivid. Kivimid kohati purunenud.
O _{3 on}	12,60	14,10	1,50		Mergel lubjakivid
O _{3 kl}	14,10	26,50	12,40		Monoliitsed savikad lubjakivid. Kohati purunenud.
O _{3 hl}	26,50	43,65	17,15		Savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega.
O _{3 kk}	43,65	60,75	17,10		Savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega.
					Tootuskiht

Joonis 7. KP1906 geoloogilise puuraugu nr 445 litoloogiline läbilõige (*Utrobina, 2021*)

4 KP1906 mäetööde ettevalmistusskeem

4.1 Maapinna stabiilsuse ja ülalhoiu nõuded ja meetmed

Kaevandamine põhjustab maapõues tühimike tekkimist. Neid tühimikke ümbritsevad kivimid hakkavad liikuma raskusjõu mõjul, põhjustades kivimite nihkumisprotsessi. Kivimite ja maapinna nihkumine ja deformatsioon tekitavad probleeme maardla kaevandamisel ning kaeveõõnte piirkondades hoonete ja rajatiste ehitamisel (Оглоблин, 1972, lk 461). Kui kivimite nihkumisprotsessi mõju ulatub maapinnani, siis see deformeerib maapinda ning sellel olevaid hooneid ja rajatisi. Ehitiste altkaevandamine põhjustab ehitiste seintesse ja vundamentidesse pragusid, fassaadi purunemisi ja see nõuab kokkuvõttes mahukat ehitiste kapitaalremonti (Оглоблин, 1972, lk 463).

Kivimite nihkumisprotsessi kahjuliku mõju vähendamine objektidele nõuab vajalike meetmete rakendamist. Üheks objektide kaitsmise meetodiks kaevandamise kahjulike mõjude eest on hoidetervikute jätmine, ehk jäetakse kaevandamata maavara osa, mis asetseb kaitstava objekti all (Омельченко, 1979, lk 459). Maapinda toetavaid maavaraosasid nimetatakse tervikuteks. Kuna tervikuid arvatatakse lähtuvalt lasumissügavusest, siis selleks on vaja teada allmaakaevõõnte lamami ja maapinna absoluutkõrgusi

Kaevandamise kahjulike mõjude eest ehitiste kaitsmise meetmed kehtivad sõltuvalt nende konstruktsioonide kaitsekategooriast, nende konstruktsiooniomadustest, suhtest H:m (kus H – lasumissügavus, m – väljatava tootuskihi paksus) (Оглоблин, 1972, lk 514). Estonia kaevanduses kaitsmismeetmete valikut reguleerib „Estonia kaevanduse allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend“.

Käesoleval ajal kontrollitakse visuaalselt enne mäetööde alustamist visuaalselt kaevandamisele kuuluva ala maapinna ja sealasuvate objektide seisukorda. Pärast mäetöid tehakse samalaadne visuaalne kontroll uuesti. Üks põhjustest seda teha on asjaolu, et lõhketööd mõjutavad maapinnal asuvaid ehitisi ja objekte, mida ettevõtte on kohustatud kaitsma. Kamberploki 1906 piirkonnas tehti viimane ülevaatus 2018. aastal pärast selles piirkonnas paneelide ja külgstrekkide läbindustöid.

Edaspidi soovitan enne uute kamberplokkide projekteerimist viia läbi lisaks visuaalsele maapinnauuringu maapinna uuringud drooni abil. Mäetööde kestvus kamberplokis on kavandatud umbes 2 aastaks, pärast mida saab drooni abil maapinda uuesti uurida, et selgitada välja, kas ja kuidas mõjutasiid mäetööd maapinda.

Kamberploki 1906 kohal maapinnal asuvad III kaitseklassi kuuluv kohalik sõidutee Pagari-Tarakuse-III loka T13204, Asu talu hooned katastriüksusega 22901:002:0039 ja geoloogiline puurauk nr 445 (Enefit Power AS, 2021), (Maa-amet, 2021). Mäetööde läbiviimisel on vaja järgida ettevõttesiseseid juhiseid maapinna ja rajatiste kaitsmiseks allmaakaevandamisel.

4.2 Maapinna planšeti nr 342 absoluutkõrgused

Narva karjääri tollaegne peamarkšeider E. Kolpakov iseloomustas (suuline teave, 2021) mõõdistamiste käiku ja iseärasusi järgnevalt:

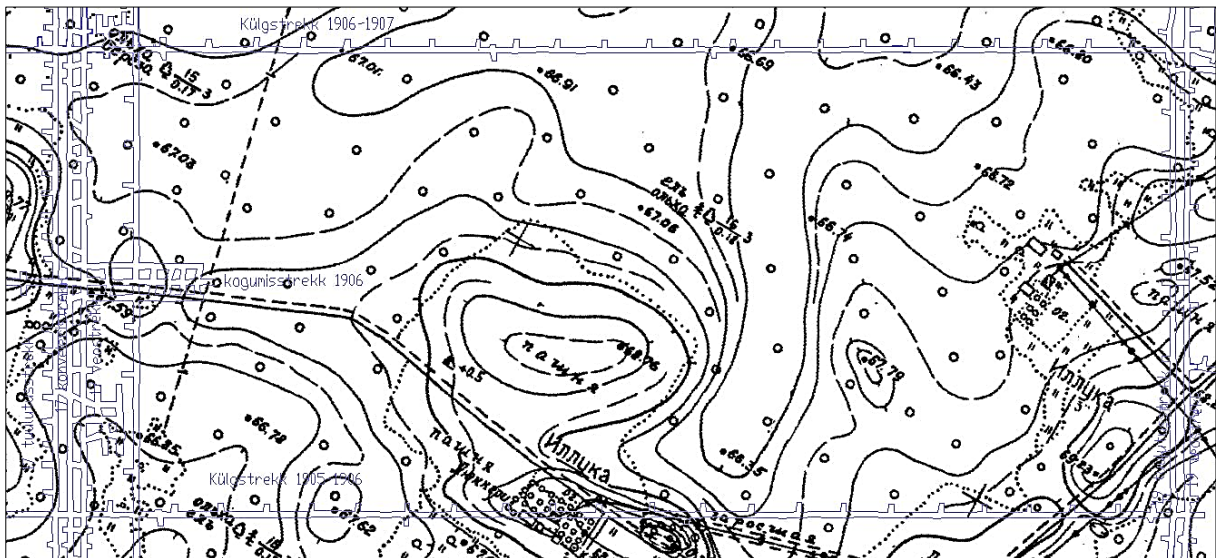
„1973. aastal tehti Estonia kaeveväljal maapinna kombineeritud mõõdistamine. See meetod põhineb aerofotode kasutamisel koos maapealse geodeetilise mõõdistamisega. Kõigepealt kasutatakse kombineeritud mõõdistamist tasandikuala andmete saamiseks. Aerofotomõõdistamist kasutatakse andmete saamiseks antud ala olukorra tunnuste kohta, aga maapealne mõõdistamine annab andmeid reljeefi kohta. See tehnika annab maksimaalse täpsuse piirkonna topograafiliste plaanide ja kaartide loomisel. 1973. aastal topograafilise mõõdistamise viis läbi Loode-Aerogeodeetilise tootmise ühing.

Aerofotode tegemisel peaks igal planšetil olema kolmekordne kattuvus, kolm horisontaalselt ja kolm vertikaalselt. Samuti peaks olema 9 tunnusmärki, mille abil seoti aerofotod koordinaatide abil. Kujutised kombineeriti stereoprojektoril, asetades täpselt üksteise peale ja viidi läbi fotogramm-meetriline stereotöötlus. Nii saadi ala reljeefne maapind. Raskesti ligipääsetavates kohtades, kus on võimatu näha aerofotomõõdistamiselt reljeefi üksikasju, viidi läbi mensulmõõdistamist.

Selleks oli vaja teodoliitkäigud panna raskesti ligipääsetavatesse kohtadesse. Pärast mõõdistamise mahulise mudeli loomist stereoprojektoril valiti teatud punktid absoluutkõrgustega, peamiselt reljeefile iseloomulikel vormidel (küngas, lohk, süvend).“

Projekteeritava piirkonna jaoks võeti 1973. aasta planšett nr 342 planšettide nomenklatuuri järgi. Planšeti skaala 1:5000 kohalikus koordinaatsüsteemis, võetud Nõukogude Liidu ja Balti kõrgussüsteemis. Igal piirkonnal oli oma koordinaatsüsteem, mida ei olnud võimalik salastatuse ja turvalisuse huvides üheks kombineerida. Kohalik Kohtla-Järve koordinaatsüsteem kehtib kogu allmaakaevanduse piirkonnas. Triangulatsioonipunkt võeti kohaliku süsteemi algusena.

Joonis 8 on kujutatud kamberploki 1906 kaeveõõnte ja maapinna planšeti nr 342 ühendatud plaan kohalikus koordinaatsüsteemis. Maapinna planšett on vajalik maapinna absoluutkõrguste kohta teabe kogumiseks, mille põhjal arvutatakse lasumissügavus.



Joonis 8. Kamberploki 1906 kaeveõõnte ja maapinna planšeti nr 342 ühendatud plaan kohalikus koordinaatsüsteemis

4.3 Maapinna drooniga mõõtmise tehnoloogia

Droon võeti Estonia kaevanduses kasutusele 2020. aasta kevadel markšeiderimõõdistuse läbiviimiseks. Droonid võimaldavad üle lennata aladest, kuhu inimesel on keeruline või ohtlik ligi pääseda ja hoiavad kokku välitöödele kuluvat aega. Samuti on nende eeliseks andmete täpsus ja põhjalikkus.

Drooniga mõõdistamisel kasutatakse fotogramm-meetria tehnoloogiat – pildistatakse ülekattega kogu mõõdistatav ala ning hilisema töötuse käigus moodustatakse kõrgusandmed, mida saab kasutada tööülesannete täitmisel (mahtude arvutamine, piiride kontrollimine). (Majandus- ja taristuminister, 2019)

Estonia kaevanduses foto- ja videofilmide tegemiseks drooni abil peab olema Lennuameti ühekordne luba, mis kehtib üks aasta (Transpordiamet, 2021).

Mehitamata õhusõiduki kasutamisel arvestatakse fotogramm-meetrilise mõõdistuse nõuetega (Majandus- ja taristuminister, 2019)

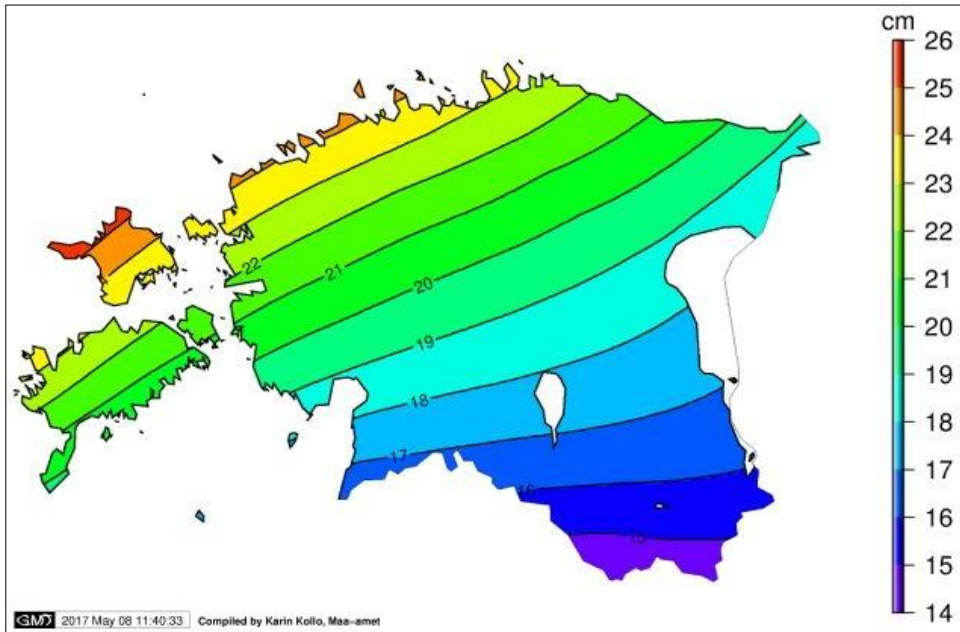
„Lennuprojekt koostatakse mõõdistusobjektist vähemalt kahe lennujoone võrra suuremana, arvestades, et fotode tasandamise käigus suuremad vead koonduvad projekti servadesse. Minimaalne aerofotode piki ülekate lennujoonte suunas peab olema 80% ja põiki ülekate 65%. Aerofotode sidumiseks projekteeritakse lennujoonte ploki peale samade piki ja põiki ülekate parameetritega ristisuunaline teine lennujoonte plokk“ (Majandus- ja taristuminister, 2019).

4.4 Kõrgusvõrk

„2018. aastast arvestatakse Eestis sarnaselt teiste Euroopa riikidega absoluutset kõrgust ja sügavust Euroopa kõrgussüsteemi ehk Amsterdam nulli suhtes. Kroonlinna nullist, mis oli seni kõrgussüsteemi aluseks, Eestis loobuti“ (Maa-amet, 2019).

„Kõrgussüsteemilt BK77 Euroopa kõrgussüsteemile üleminekul lisandus absoluutsetele kõrgusväärtustele sõltuvalt piirkonnast 15-24 sentimeetrit“ (Joonis 9) (Maa-amet, 2019).

Alates kaevanduse rajamisest tänapäevani on maa-aluse markšeideritugivõrgud säilinud kohalikus koordinaatsüsteemis ja Balti kõrgussüsteemis. Praegu kasutatakse maapinnal L-EST koordinaatsüsteemi ja EH2000 kõrgussüsteemi. BK-77 ja EH2000 kõrguse vahe kamberploki 1906 piirkonnas on 0,193 cm (Maa-amet, 2016).



Joonis 9. BK77 ja EH2000 kõrguste erinevused (*Maa-amet, 2021*)

5 KP1906 uuringud

5.1 KP1906 kohal maapinna drooniga uuring

Nagu eelpool öeldud tuleks enne uue kamberploki projekteerimist teostada maapinna uuringud drooniga parima ettevalmistusskeemi juurutamisega kadude vähendamise eesmärgil. 06.04.2021.a. tegin maapinna uuringu kamberploki 1906 kohal mehitamata õhusõiduki ehk drooni ning Trimble R10 GNSS vastuvõtja abil. Allpool ma kirjeldan samm-sammult tehtud tööd.

Kõigepealt ma märgistasin lennupiirid ehk polügooni Google Earth Pro abil. Fail luuakse KML formaadis, mis sisaldab polügooni kartograafilisi andmeid. Hõiveväli on vajalikust mahust laiem, mis viiakse kohe polügooni. Lennupiirkonna pindala on 688758,2 m² 80 m kõrgusel maapinnast. Droon arvutab lennukiiruse automaatselt vastavalt piirkonnale ja kõrgusele. See töö võttis 2D fotogramm-meetria režiimis aega 71 minutit ja 45 sekundit horisontaalne kattuvusega – 70%, vertikaalse – 80%.

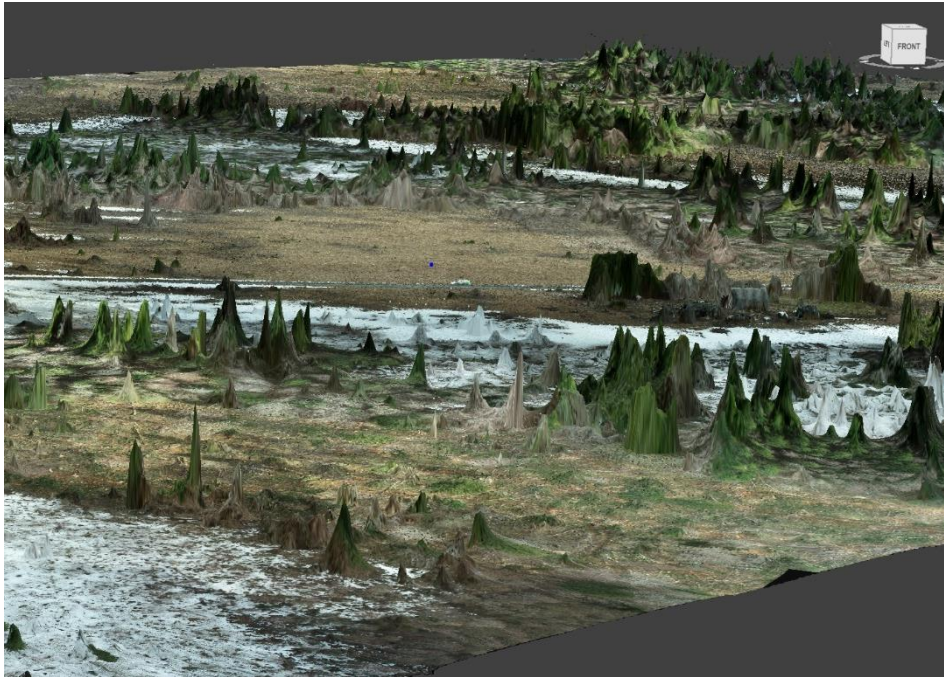
Kuna töös kasutati ka GNSS vastuvõtuseadet, siis tuli veenduda, et see töötab korralikult. „GNSS-i vastuvõtuseadme mõõtmistulemuste kontrollimiseks on lubatud kasutada riikliku geodeetilise võrgu 1. ja 2. klassi punkte või tihendusvõrgu punkte või kohaliku geodeetilise võrgu 1. ja 2. järgu punkte“ (Majandus- ja taristuminister, 2019, §1 (4))

Enne drooni lennutamist mõõtsin riigi geodeetilise põhivõrgu punkti II klassi Väike-Pungerja97 Trimble GNSS R10 abil, kasutades tugipunkti režiimi. RGPV punkt asub „Jõhvi-Tartu maantee Väike-Pungerja bussipeatusest 0,5 km Tartu poole, teelt 22 m paremal lääne suunas künkal“ (Maa-amet, 2016) ning see on lähim Riigi geodeetiline põhivõrgu punkt Estonia kaevanduse tööstusterritooriumilt.

Ümber polügooni perimeetri panin välja 5 märki, ühte neist kasutasin drooni õhku laskmiseks. Kõik märgid on mõõdetud tugipunkti režiimis Trimble R10 GNSS abil. Maapind mõõdeti DJI Phantom 4 RTK drooni abil, kasutades eelnevalt programmeeritud KML faili. Mõõtmistulemuseks on 1715 fotot, mis töötlesin programmis PixPro, mis loob fotode põhjal 3D-struktuuri. Pärast 3D-struktuuri loomist saadakse hõre punkt pilv. On vaja sisestada 5 märgi koordinaadid, mille põhjal korrigeerimine toimub. Pärast tehtud tööd lõin tiheda punkt pilve, väljundiks on iga punkti valmis koordinaadid. Pärast tiheda punkt pilve loomist lõin digitaalse maapinnamudeli (Joonis 10), mille põhjal saan ortofoto ([Lisa E4](#)) ja valmis mõõdistamispildi. Pärast drooniga mõõdistamist teist korda mõõtsin kõrgklassi riigi põhivõrgu punkti. See on vajalik tõestamiseks mõõtmiste õigsust ja mõõtevahendite vastavust standarditele.

GNSS-i vastuvõtuseadme mõõtmistulemuse täpsuse kontrollisin enne ja pärast igat mõõdistust geodeetilisel punktil, mille andmed on geodeetiliste punktide andmekogus. „GNSS-i vastuvõtuseadmega mõõdetud koordinaatide erinevus geodeetiliste punktide andmekogus esitatud koordinaatidest ei või kontrollmõõtmisel ületada horisontaalselt 3 cm ja kõrguslikult 7 cm“ (Majandus- ja taristuminister, 2019, §1 (4)). „GNSS-i vastuvõtuseadme kontrollmõõtmisel dokumenteeritakse kontrollpunktis seadmega saadud koordinaadid, geodeetiliste punktide andmekogus olevad koordinaadid, kasutatud seadme mark, mõõtmise aeg ja mõõtmisviis“ (Majandus- ja taristuminister, 2019, §1 (5))

Vastavalt saadud andmetele (Lisa 2. GNSS vastuvõtuseadme kontroll-leht) võib järeldada, et mõõdistamistulemused vastavad nõuetele (Majandus- ja taristuminister, 2019) Trimble R10 GNSS vastuvõtuseadme töötab korralikult.



Joonis 10. Töödeldud kamberploki 1906 maapinna mudel PixPro programmis

5.2 Maapinna absoluutkõrguste analüüs

Maapinna absoluutkõrguste võrdleva analüüsi tegemiseks kasutasin järgmisi andmeid:

- Maapinna absoluutkõrgused maapinna planšetilt 1973. aastast BK-77
- Maapinna absoluutkõrgused drooniga mõõtmisest 06.04.2021 a. EH2000
- Allmaakaevõõnte lamami absoluutkõrgused 2018. aasta BK-77

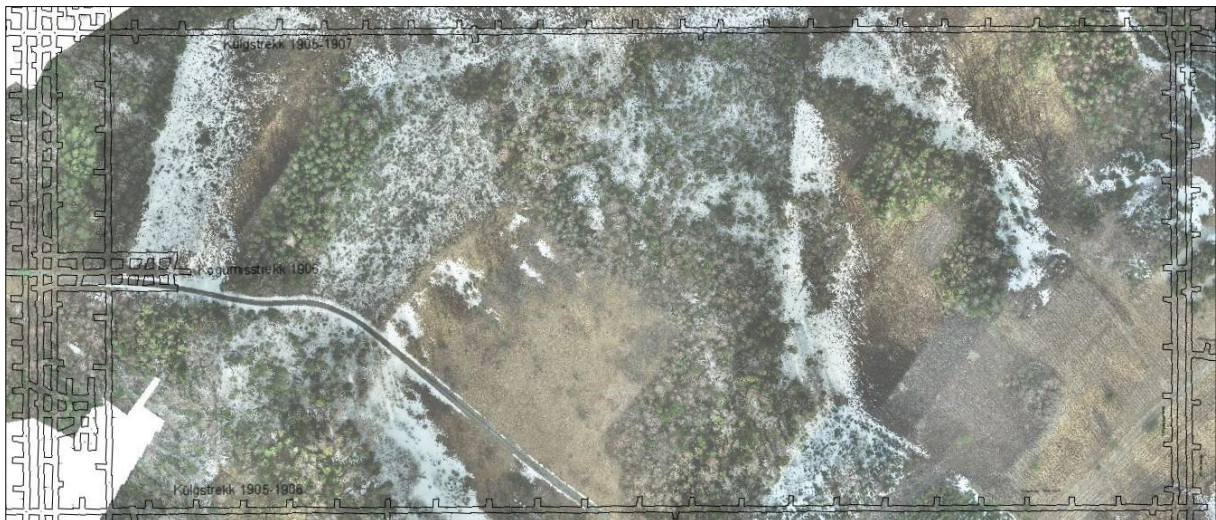
Kahe maapinna absoluutkõrguste variandi olemasolul on võimalik teha 48 aasta jooksul toimunud maapinna muutuse analüüs, mis näitab, kas antud piirkonnas on toimunud pinna vajumine. Selleks tuleb maapinna absoluutkõrgused planšetilt 1973. aastast viia üle EH2000. Võtsin samade iseloomulike punktide absoluutkõrgused ja viisin läbi analüüsi.

Ettevõttes on olemas KP1906 plaan kohalikus koordinaatsüsteemis maapinna absoluutkõrgustega BK-77, aga ka võrdsustatud punktipilv drooniga mõõtmistest, mis on L-EST koordinaatsüsteemis ja EH2000. Võrdleva analüüsi jaoks oli vaja ühendada kaks koordinaatsüsteemi üheks, ehk L-EST, kuna see on riiklik koordinaatsüsteem. Autocadis märkisin kohalikus koordinaatsüsteemis 4 punkti piki kamberploki kontuuri. Geodeetilise kalkulaatori abil (Maa-amet, 2016) arvestasin koordinaadid kohalikest süsteemist L-EST-ks ümber. Seega sain KP1906 plaani asetada tasandatud punktipilvele pöördenurgaga $2,56029902^\circ$. Sellega sai viidud KP1906 plaan koos maapinnakõrgustega L-EST koordinaatsüsteemi. Joonis 11 on kujutatud kamberploki 1906 allmaakaevõõnte ja maapinna ortofoto ühendatud plaan L-EST koordinaatsüsteemis.

Samuti oli võrdleva analüüsi jaoks vaja ühendada kaks kõrgussüsteemi üheks ehk EH2000, mis on riiklik kõrgussüsteem. Geodeetilise kalkulaatori abil (Maa-amet, 2016), sisestades L-EST süsteemi koordinaadid ja maapinna kõrguse BK-77, saan EH2000 kõrguse. KP1906 piirkonna kõrgussüsteemide vahe on 0,193 m. See tähendab, et EH2000 on BK-77-st kõrgem 0,193 m võrra.

Teisendades maapinna absoluutkõrgused 1973. aasta planšetilt EH2000 kõrgussüsteemi, sain analüüsida maapinna absoluutkõrgusi.

Kahe maapinna absoluutkõrguste variandi olemasolul analüüsisin konkreetseid asukohti ([Lisa E5](#)), kus kahe kõrgussüsteemi kõrgused langevad kokku. Järeldus on, et 48 aasta jooksul selles piirkonnas maapinna vajumist ei toimunud. Pagari-Tarakuse-Illuka teel on teekatte tõttu vähesel määral kõrguse muutusi. Tänu drooniga maapinna mõõdistamisele, saan nüüd julgelt kasutada maapinna absoluutkõrgusi 1973. aasta planšetilt. Pärast mäetööde lõppu selles piirkonnas saan seal teha drooniga maapinna kordusmõõtmised, et välja selgitada, kas maapind on kaevandamise tõttu muutunud või mitte.



Joonis 11. Kamberploki 1906 allmaakaevõõnte ja maapinna ortofoto ühendatud plaan L-Est koordinaatsüsteemis

5.3 Tootuskihindi lasumissügavuse arvutamine

Nivelleerimise andmete põhjal on allmaakaevõõntes märgistatud kihindi hüpsomeetria. Kaeveõõnte lamami ja maapinna absoluutkõrguste abil on võimalik teha interpoleerimist ja teada saada lasumissügavus kamberploki mis tahes kohas. Maapinna absoluutkõrgused varieeruvad vahemikus 66,35-69,23 m BK-77 järgi ehk 66,54-69,42 m EH2000 järgi. Allmaakaevõõnte lamami absoluutkõrgused varieeruvad vahemikus 7,75-11,67 m BK-77 järgi ehk 7,94-11,86 m EH2000 järgi.

Lasumissügavuse väljaselgitamiseks on vaja maapinna absoluutkõrgusest lahutada allmaakaevõõne lamami absoluutkõrgus ja lisada kaevandamise kõrgus. Selleks peavad kõik absoluutkõrgused olema samas kõrgussüsteemis.

Minimaalne sügavus kaeveõõne lamamini on 56 m, maksimaalne sügavus – 60,6 m ja keskmine sügavus – 57,9 m BK-77 järgi. Seega varieerub KP1906 kaevandamissügavus vahemikus 56 – 60,6 m.

Kambrite ja tervikute arvutamisel kasutatakse ohutuse tagamiseks ja maapinna vajumise vältimiseks maksimaalne lasumissügavuse suurus, sest mida sügavam on kihind, seda suurem peab olema terviku pindala, mis maapinda toetab.

5.4 KP1906 kaevandamisprojekti sisu

Kaevandamissügavus sõltub mäenduslikest tingimustest. Kamberplokki 1906 keskmise lõhelisust 6,80 m peetakse kaeveõõnte lae stabiilsuse mõistes normaalseks ja see võimaldab töötada kamberplokis kaeveõõnte kõrgusega 2,80 m. Poolplokis 1906-1 asub kaltsiidilõhe veen paksusega 0,02 m, mis võimaldab teostada mäetöid 2,80 m kõrgusel, kuid jätma peab tugevdatud tervikud. See meede on vajalik juhul, kui lõhe asetseb kambri keskel.

Tootmisjaoskonna ametikirjast tulenevalt soovitakse KP1906 mäetööde ettevalmistuskeem koostada järgmiste tervikute parameetritega: 3,80 m kõrgusel pikikambri laius on 6,90 m ja põikikambri laius - 6,80 m. Kambrite tavapärasel kõrgusel 2,80 m oleks pikikambri laius - 7,20 m ja põikikambri - 7,20 m ning kambritevahelised tervikud kogumisstreki ristil on 7,20 m ja kogumisstreki paralleelselt - 6,80 m.

KP1906 kogumisstreki paigaldamiseks konveier. Konveieri paigaldamiseks on vaja kogumisstreki telge nihutada. Projekti kohaselt peab kogumisstreki laius olema 6 m.

14.05.2021.a. teostasin kamberplokki kogumisstreki 1906 konveieritelje märkimist. Selleks kasutasin markšeideripunkti nr 246 andmeid, mis asub kogumisstreki ja alglõõride ristumiskohas ja millest nihutasin mõõdulindi abil 0,30 m poolplokki 1906-1 suunas. Samuti projekteerisin sirgjoone asimuudiga 60°10'00" ja tõmbasin konveieritelje sellest punktist läbi. Tulemuseks sain, et markšeideripunkti nr 240, mis asub 17. paneeli konveieristrekil, on vaja nihutada telge 0,345 m 1906-1 suunas. Seega uued nihutatud punktid, mis on ka kogumisstreki konveieritelje punktideks, on KP1906 edasise projekteerimise aluseks ja kohaks, kustkohast kogumisstrekk ühtib 19. paneeli suunas projekteeritava asimuudiga. Pärast telje nihutamist on 1906-1 laiuseks 214,3 m ja 1906-2 laiuseks 214,5 m.

6 KP1906 arvutused

6.1 Kambrite arvutus

Vahemaa külgnevate tervikute vahel ehk kambri ava arvutatakse selleks, et teada saada maksimaalset väärtust, mis juhul lae vajumine ei esine.

Kambrite arvutamist teostasin vastavalt „Estonia kaevanduse allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend 30.04.2019“. Juhend on koostatud tuginedes eelmisele kehtivale Maapõueseadusest tuleneva Majandusministri 24. juuli 1997. aasta määrusele nr.28 „Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise kord“ (Majandusminister, 1997).

Kambrite arvutamise lihtsustamiseks kasutasin ettevõttes olemasolevat automatiseeritud IT keskkonda „Tervik“. Selles keskkonnas leiduvad valemid tervikute ja kambrite parameetrite arvutamiseks on võetud eelmisest kehtivast Maapõueseadusest tuleneva Majandusministri 24. juuli 1997. aasta määrusest nr.28 „Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise kord“ (Majandusminister, 1997)

Kamberkaevandamisel määratakse kambrite laius lubatud ava suuruse järgi, kus on arvesse võetud ka ankrutoestiku mõju lae püsivusele.

Lisa 3. Lähislae lubatud ava suurus ja kambrite laiused on toodud automatiseeritud keskkonnast „Tervik“ lähislae lubatud ava suuruse ja kambrite laiuste arvutus, kus on vaja määrata esimese kolme koefitsiendi väärtused, ülejäänud on Estonia kaevanduse kambriplokkide mäetööde ettevalmistusskeemi koostamisel konstantsed.

Lähislae lubatud ava suurus arvutatakse järgmise valemi abil arvestusega, et karbonaatsete kivimite paksus (H_k) on suurem kui 26,0 m (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019):

$$l_{l,l} = k_n k_p k_o k_a \sqrt{\frac{k_t}{n_l} (K + M H_k)}, \quad \text{Valem 1}$$

kus k_H - hoitava objekti tähtsust arvestav koefitsient. Taluhoonete, metsade, põllumajandusliku maa puhul $k_H = 1,0$ aga II klassi objektide puhul $k_H = 0,75$;

k_p - lae püsivuskoefitsient tektooniliste lõhede vahemaa laes (Tabel 1);

k_o - koefitsient, mis arvestab lae nõrgenemist karsti mõjul. Kui mäetööde kaugus karstisoonist on kuni 60 m, siis $k_o = 0,8$, kui üle 60 m, siis $k_o = 1$.

n_l - laekivimite tugevuse varutegur (kui kambrite iga ei ületa 2 kuud, siis $n_l = 1,8$);

K ja M - parameetrid, mis sõltuvad kivimite omadustest (K - meetrites, M - dimensioonita suurus); lähislae alumise, ühemeetrise kihistiku jaoks $K = 7$ m ja $M = 0,54$ (kui $5 \leq H_k \leq 26$ m); kui $H_k > 26$ m, siis lähislae lubatud ava on sama suur kui $H_k = 26$ m puhul;

k_t - kivimite tugevuse muutumist ajas (kui kambrite iga on 2 kuud, siis $k_t = 0,73$);

h_a - ankrutega toetatava kihistiku paksus. Estonia kaevandusel on kasutuses ankrud pikkusega 2,14 m;

k_a - koefitsient, mis võtab arvesse ankurtoestiku mõju lae püsivusele ja mille väärtus arvutatakse järgmise valemi abil: $k_a = 0,5(1 + \sqrt{h_a})$ ehk $k_a = 0,5(1 + \sqrt{2,1}) = 1,22$

Kuna projekteeritava kambriploki kohal on vaid III klassi kohalik sõidutee ja talu, siis ma arvestan $k_H = 1,0$.

Varem oli mainitud, et keskmine lõhede vahekaugus kamberplokis 1906 on 6,80 m. Selline vahekaugus kuulub „madalale“ laetüübile lae püsivuskoefitsiendiga $k_p = 0,7$ (Tabel 1).

Kuna KP1906 piirkonnas karstisoone ei leitud, siis võtame koefitsiendiks $k_0 = 1$.

Valem 1 alusel arvutasin lähislae lubatud ava tootuskihi jaoks, mille väljatav paksus on nii 2,80 m kui ka 3,80 m jaoks:

$$0,75 * 0,7 * 1 * 1,22 * \sqrt{\frac{0,73}{1,8}} * (7 + 0,54 * 26) = 11,486 \text{ m}$$

Maksimaalsed lubatud piki- ja põikikambri laiused on 7,5 m (Lisa 3. Lähislae lubatud ava suurus ja kambrite laiused).

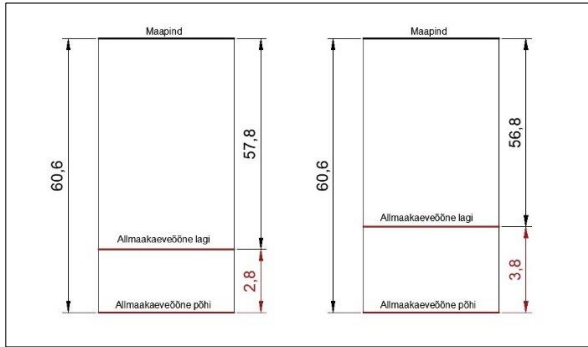
6.2 Tervikute arvutus

6.2.1 Kaitsetervikute arvutus

Estonia kaevanduses arvutatakse tervikuid piiramatuks ajaks.

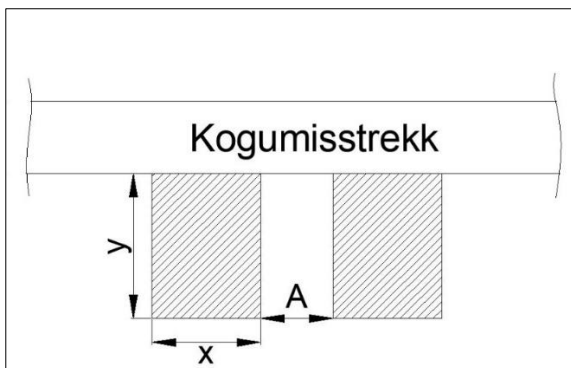
Kogumisstreki ja külgstreki paralleelselt piirnevaid tugevdatud tervikuid nimetatakse kaitsetervikuteks. Kaitsetervikud võivad moodustada kaitsetervikute rea. Kamberploki 1906 kogumisstreki läbindamine toimub üheaegselt koristustöödega 3,80 m kõrgusel. Esimesel võimalusel minnakse aga üle madalamale laele ehk 2,80 m. Kamberploki projekteerimisel kasutan kaitseridade tervikuid lae kõrgusel 3,80 m.

Võttes arvesse allmaakaevetööne lamami maksimaalset sügavust 60,6 m BK-77 järgi, arvutan lasumissügavuse nii 2,80 m kui ka 3,80 m väljatavale paksusele. Joonis 12 on toodud läbilõiked maapinnast allmaakaevetööne põhjani. Tulemuseks sain, et mäetööde puhul lae kõrgusel 2,80 m on lasumissügavus 57,8 m ja 3,80 m puhul – 56,8 m.



Joonis 12. Lasumissügavused erinevate väljatava tootuskihindi paksusel

Alustuseks tuleb valida, milliseid tervikuid kogumisstreki äärde peab projekteerima, selleks sai väljavalitud teiste seast sobivaim valem. Valem 2 annab terviku kuju (Joonis 13), kus x on piki kogumisstreki paikneva kaitseterviku laius ja y on põiki kogumisstreki paikneva kaitseterviku pikkus. Arvestades kogumisstreki ja kaitsetervikute vahelist laiust 6 m, samuti tootmisjaoskonna soovi märkida esialgne samm piki kogumisstreki 14,0 m, pakkusin terviku laiuseks – 8,0 m.



Joonis 13. Kaitseterviku kuju kogumisstreki ääres

Seega, kui tervikud on kaherealised, siis nende pikkus (y) arvutatakse järgmise valemi abil (tervikute laius x antakse ette) (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019):

$$y = \frac{0,5n\gamma H(A + l_o + Htg\omega)(0,02A + 0,25)(x + b) + k_k q R_t(x - q)}{k_k R_t(x - q) + n\gamma H(x + b)[1 + 0,02(l_o + Htg\omega)]} \quad \text{Valem 2}$$

Kus q - lõhketööde mõjul toimunud kambri seinte purunemise summaarne sügavus, $q = 0,6$ m (0,3 m kummaltki poolt);

n - tervikute tugevuse varutegur hoidetsoonis $n = 1,3$;

γ - kattekivimite keskmine tihedus ($\gamma = 2,5 \times 10^{-2}$ MPa/m);

H - kattekihtide paksus, m;

R_t – kivimite kestustugevus. Kui tervikute vajalik iga on üle 5 aasta, siis tuleb tervikute arvutus teha kestustugevuse alampiiri järgi, s.t. võtta $R_t = R_\infty$, kus $R_\infty = 7$ MPa;

ω - kattekivimite murdenurk; kui $H_k > 20$ m, siis $\omega = 19^\circ$;

l_0 - põhilae järelvajumissamm (murduvate kattekivimiplokkide pikkus; kui $H_k \leq 20$ m, tuleb arvutustes võtta $l_0 = 9$ m; kui $30 \text{ m} < H_k \leq 40$ m, siis $l_0 = 11$ m ja kui $H_k > 40$ m, siis $l_0 = 12$ m);

k_k – terviku kujutegur, mille väärtus arvutatakse järgmise valemi abil: $k_k = 0,7 + 0,3((x-q)/h)$.

Ülaltoodud väärtused on Estonia kaevanduse tingimustes konstantsed väärtused kaitseridade tervikute arvutamiseks. Lisa 4. Kaitseridades kambrite arvutus on näidatud tervikute arvutus kaitseridades automatiseeritud IT keskkonnast „Tervik“ ja kust sain ka kaitsetervikute laiuse 8 m ja pikkuse 9,016 m ehk $\sim 9,0$ m. Terviku pindala kokku on seega 72 m².

Külgstrekkide äärde projekteeritakse kaitsetervikud, mis erinevad projektist külgstrekkide läbindustööde käigus läbitud nišside tõttu. Tervikute parameetrite arvutamisel kasutan Valem 2, nagu kogumisstreki ääres asuvate tervikute arvutamisel.

Arvestades asjaolu, et külgstrekkide läbindustööde käigus lõigati kaevanduskäiku ka abinišid (tuulutusseadme paigaldamiseks, kaevise mahalaadimiseks), tuleb arvestada ettevalmistusskeemi tervikute plaani arvutamisel ja joonistamisel tervikute suurendamisega. Mäetööde plaanil võib märgata, et külgstrekkide läbindustöödel lõigati need nišid 17. paneelist 19. paneeli suunas vaadatuna vasakule poole.

Mäetöödel lae kõrgusega 2,80 m arvutatud külgstreki äärnetervik on laiusega 7,5 m ja pikkusega – 8,074 m ehk $\sim 8,1$ ning pindalaga - 60,8 m². See on minimaalne suurus külgstreki äärde projekteeritava terviku jaoks. Lähtuvalt asjaolust, et külgstrekid läbindatakse tavaliselt veidi kõveralt, muudan ma tervikuid oma äranägemise järgi, jälgides kamberploki märkimise sammu ja samas vähendamata terviku pindala.

6.2.2 Kambritevaheliste tervikute arvutus

Peamisteks kamberploki elementideks kamberkaevandamise tehnoloogia korral on kambrid ja nendevahelised tervikud. Kambrite ja nendevaheliste tervikute mõõtmete õigest valikust sõltuvad mäetööde tehnilis-majanduslikud näitajad ja maavara kaod.

Kambritevaheliste tervikute arvutuseks kasutan Valem 2, mis arvutab ristkülikukujulise ristlõikega tervikuid, kui nende pikem telgjoon on risti kogumisstrekiga. Arvestades märkimise sammuks piki kogumisstreki 14,0 m, sobitan terviku laiuse põikikambri ette nii, et märkimise samm ei ületaks 14,0 m. Tuleb meeles pidada, et maksimaalsed kambrite laiused saavad olla 7,5 m.

Kui 1906-1 laius on 214,3 m ja 1906-2 laius on 214,5 m ning tootmisjaoskonna soovil peaks kambrite arv olema 14, sain märkimise sammuks risti kogumisstrekiga 14,6 m. Sellest sammust tulenevalt arvutasin terviku pikkuse. Lisa 5. Kambritevaheliste tervikute arvutus on näidatud automatiseeritud IT keskkonnast „Tervik“ kambritevaheliste tervikute arvutus, mis annab ette minimaalseid tervikute parameetreid.

Kui tervikute laius (x) antakse ette, siis nende pikkus (y) arvutatakse järgmise valemi abil (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019):

$$y = \frac{0,5n\gamma H(A + l_o + Htg\omega)(0,02A + 0,25)(x + b) + k_k q R_t(x - q)}{k_k R_t(x - q) + n\gamma H(x + b)[1 + 0,02(l_o + Htg\omega)]},$$

kus x - terviku laius, m;

y – terviku pikkus, m;

q - lõhketööde mõjul toimunud kambri seinte purunemise summaarne sügavus, $q = 0,6$ m väljavata paksusega 2,80 m – 0,6 m (0,3 m kummaltki poolt), aga 3,80 m – 1 m (0,5 m kummaltki poolt);

n - tervikute tugevuse varutegur, tavaliste tervikute puhul $n = 1,2$;

γ - kattekivimite keskmine tihedus ($\gamma = 2,5 \times 10^{-2}$ MPa/m);

H - kattekihtide paksus, väljavata paksusega 2,80 m - 57,8 m ja 3,80 m – 56,8 m;

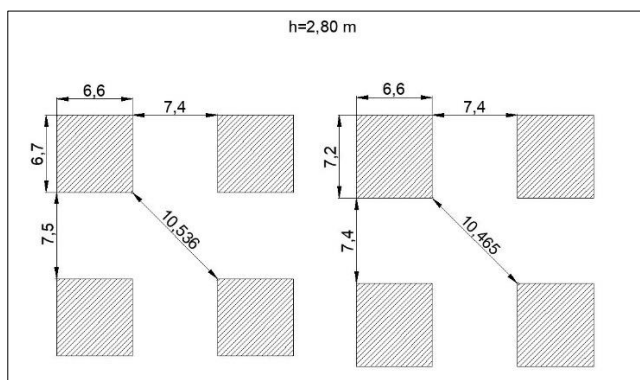
R_t – kivimite kestustugevus. Kui tervikute vajalik iga on üle 5 aasta, siis tuleb tervikute arvutus teha kestustugevuse alampiiri järgi, s.t. võtta $R_t = R_\infty$, kus $R_\infty = 7$ MPa;

b – pikikambri laius, väljavata paksusega 2,80 m - 7,5 m ja 3,80 m – 6,7 m;

A – põikikambri laius, väljavata paksusega 2,80 m - 7,4 m ja 3,80 m – 6,9 m;

k_k – terviku kujutegur, mille väärtus arvutatakse järgmise valemi abil: $k_k = 0,7 + 0,3((x - q)/h)$.

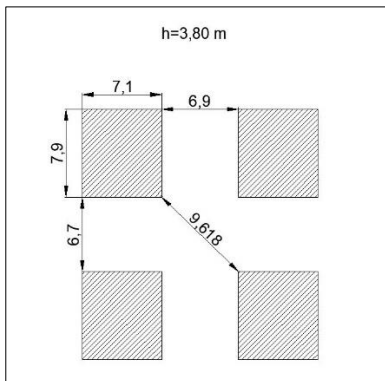
Väljavata paksuse 2,80 m jaoks sain terviku laiuse 6,6 m ja pikkuse 6,7 m ning pikikambri laiuse 7,5 m ja põikikambri laiuse 7,4 m (Lisa 5. Kambritevaheliste tervikute arvutus). Selle põhjal võin järeldada, et terviku laius põikikambri suhtes on võrdne 14,0 m sammuga. Terviku pikkus pikikambri suhtes on 14,2 m, võttes arvesse, et valitud maksimaalne lubatud kambri laius 7,5 m. Nagu juba mainisin varem, on vajalik kogumistrekiga risti märkimise samm 14,6 m. Selleks sai vähendatud kambri laiust 0,10 m võrra ja suurendatud terviku pikkust 0,50 m võrra. Seda tehakse kambri läbindamiseks kahe lõhkamisega ilma lõhkematerjali kaota. Terviku pindalaks on sel juhul 47,52 m² ehk 47,5 m². Kontrollisin lähislae lubatud ava suurust mille väärtuseks on ~10,5m ning see ei ületa maksimaalset ava suurust (Joonis 14).



Joonis 14. Kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljavata kihindi paksuse 2,80 m korral

On oluline hoida märkimise samm nii madalal, kui ka kõrgel lael. See on vajalik juhuks, kui minnakse üle teisele lae kõrgusele. Lisa 5. Kambritevaheliste tervikute arvutuse näidatud ka kambritevahelised tervikud 3,80 m kõrgusel.

Väljatava paksusega 3,80 m arvutasin terviku laiuks 7,1 m ja pikkuseks 7,9 m ning pikikambri laiuks 6,7 m ja põikikambri laiuks 6,9 m (Lisa 5. Kambritevaheliste tervikute arvutus). Sellest võin järeldada, et märkimise samm piki kogumisstrekki on 14,0 m ja põiki kogumisstrekki on 14,6 m, mis tähendab, et sammud kattuvad. Terviku pindala on 56,09 m² ehk 56,1 m². Lähislae lubatud ava suuruse kontrollimine näitas, et see võrdub ~9,6 m ning ei ületa maksimaalset ava suurust (Joonis 15).



Joonis 15. Kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral

6.2.3 Hoidetervikute arvutus

Hoidetervikuid projekteeritakse maapinnal asuva objekti hoidmiseks. Erinevus tavalistest kambritevahelistest tervikutest on tervikute tugevuse varutegur n . Kui tavaliste kambritevaheliste tervikute puhul varutegur on 1,2, siis hoidetsoonis $n = 1,3$. Hoidetsoon on maa-alune ala, kus väljatakse maavara ja tehakse mäetöid ja mille piires jäetakse hoitava objekti kahjustuste vältimiseks tavaliselt suuremad tervikud (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019).

Kui tervikute laius (x) antakse ette, siis nende pikkus (y) arvutatakse järgmise valemi abil (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019):

$$y = \frac{0,5n\gamma H(A + l_o + Htg\omega)(0,02A + 0,25)(x + b) + k_k q R_t(x - q)}{k_k R_t(x - q) + n\gamma H(x + b)[1 + 0,02(l_o + Htg\omega)]},$$

kus x - terviku laius, m;

y – terviku pikkus, m;

q - lõhketööde mõjul toimunud kambri seinte purunemise summaarne sügavus, $q = 0,6$ m väljavata paksusega 2,80 m – 0,6 m (0,3 m kummaltki poolt), aga 3,80 m – 1 m (0,5 m kummaltki poolt);

n - tervikute tugevuse varutegur, hoidetsoonis $n = 1,3$;

γ - katte kivimite keskmine tihedus ($\gamma = 2,5 \times 10^{-2}$ MPa/m);

H - kattekihtide paksus, väljatava paksusega 2,80 m - 57,8 m, aga 3,80 m – 56,8 m;

R_t – kivimite kestustugevus. Kui tervikute vajalik iga on üle 5 aasta, siis tuleb tervikute arvutus teha kestustugevuse alampiiri järgi, s.t. võtta $R_t = R_\infty$, kus $R_\infty = 7$ MPa;

b – pikikambri laius, väljatava paksusega 2,80 m – 7,20 m, aga 3,80 m – 6,60 m;

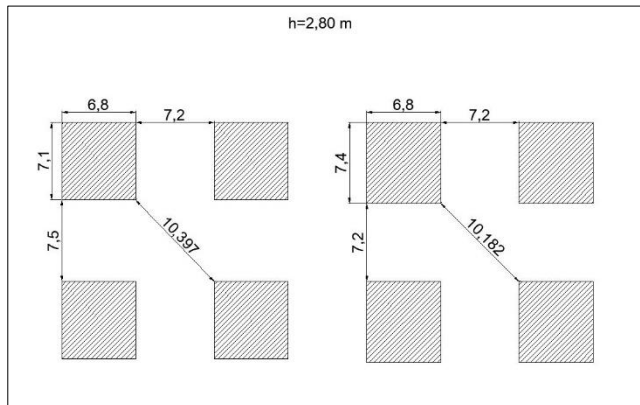
A – põikikambri laius, väljatava paksusega 2,80 m - 7,20 m, aga 3,80 m – 6,60 m;

k_k – terviku kujutegur, mille väärtus arvutatakse järgmise valemi abil: $k_k = 0,7 + 0,3((x-q)/h)$.

Lisa 6. Hoidetsoonis kambritevaheliste tervikute arvutus on toodud automatiseeritud keskkonnast „Tervik“ kambritevaheliste hoidetervikute arvutus, mis annab minimaalseid tervikute parameetrid. Erinevalt tavalistest kambritevahelistest tervikutest peavad hoidetsooni tervikud olema suuremad, aga kambriid väiksemad.

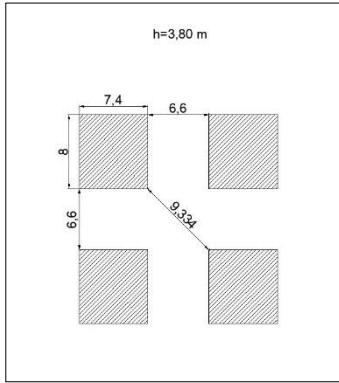
Väljavata paksusega 2,80 m sain hoidetsooni terviku laiuseks 6,80 m ja pikkuseks 7,10 m ning pikikambri laiuseks 7,50 m ja põikikambri laiuseks 7,20 m. Sellest saab järeldada, et terviku laius põikikambriiga on võrdne 14,0 m sammuga. Terviku pikkus pikikambriis on 14,6 m. Arvestades, et tavalise terviku pikkus on 7,20 m ja pikikambri laius on 7,4 m, siis selline arvutuskäik hoidetsooni tervikute esialgseks arvutamiseks ei sobi, kuna selle mõõtmed peaksid olema suuremad kui tavalisel tervikul.

Järgnevalt saigi vähendatud kambri pikkust 30 cm võrra ja seega suurenes terviku pikkus selle suuruse võrra. Terviku pindalaks on nüüd 50,32 m² ehk 50,3 m². Kontrollisin lähislae lubatud ava suurust, mille väärtuseks on ~10,20 m ning see ei ületa maksimaalset ava suurust (Joonis 16).



Joonis 16. Hoidetsooni kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral

Väljatava paksuse 3,80 m korral sain terviku laiuseks 7,40 m ja pikkuseks 8,0 m ning pikikambri laiuseks 6,60 m ja põikikambri laiuseks 6,60 m. Siit võisin järeldada, et märkimise samm piki kogumistreki on 14,0 m ja põiki kogumistrekiga on 14,6 m. Terviku pindala on 59,2 m². Kontrollisin lähislae lubatud ava suurust, mille väärtuseks on ~9,30 m ning see ei ületa maksimaalset ava suurust (Joonis 17).

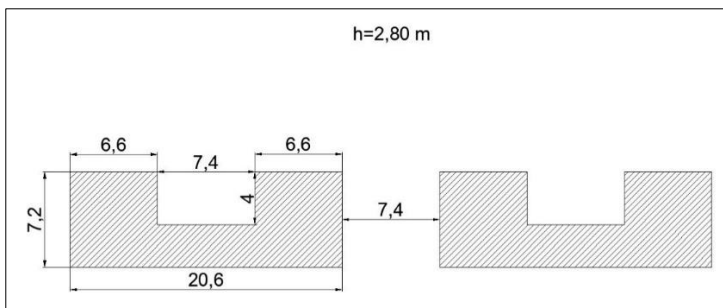


Joonis 17. Hoidetsooni kambritevaheliste tervikute ja kambrite parameetrid väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral

6.2.4 Topelttervikud esimese ja teise kambri vahel

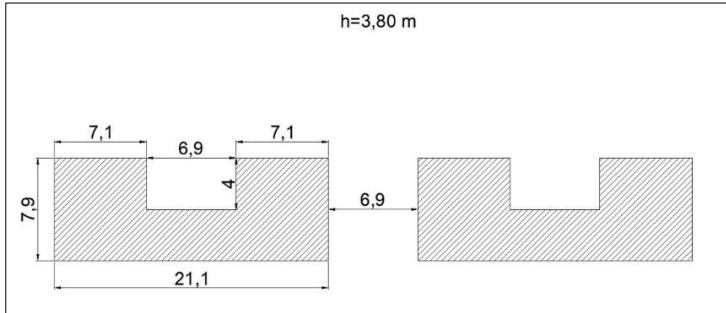
Juhul, kui mäetööde käigus läbindatakse kogumisstrekk üheaegselt koristustöödega, tuleb vältida erinevaid õhu lekkeid kamberplokkides. Selle jaoks projekteerisin esimese ja teise kambri vahele topelttervikud, mis üle ühe rea lüüakse läbi. Topelttervik koosneb kahest ühendatud kambritevahelisest tervikust, kus kadude vähendamiseks tehakse 4,0 m väljamine koristustööde käigus käigus.

Joonis 18 on kujutatud topeltterviku 1. ja 2. kambri vahel pindalaga 118,7 m² 2,80 m paksuse väljatava kihindi korral.



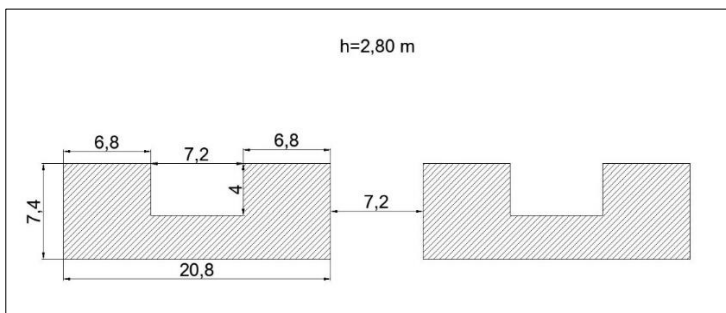
Joonis 18. Topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral

Joonis 19 on kujutatud topeltterviku 1. ja 2. kambri vahel pindalaga 139,1 m² 3,80 m paksuse väljatava kihindi korral.



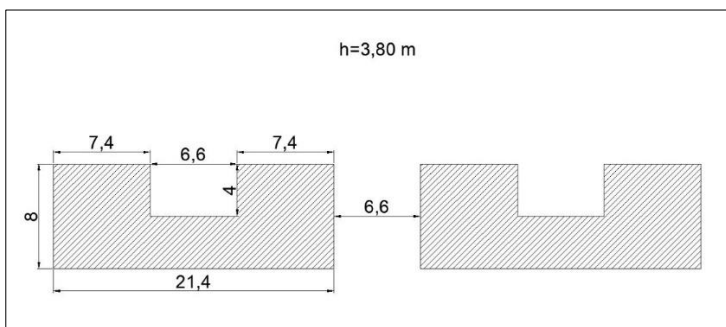
Joonis 19. Topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral

Joonis 20 on kujutatud hoidetsooni topeltterviku 1. ja 2. kambri vahel pindalaga 125,1 m² 2,80 m paksuse väljatava kihindi korral.



Joonis 20. Hoidetsooni topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 2,80 m korral

Joonis 21 on kujutatud hoidetsooni topeltterviku 1. ja 2. kambri vahel pindalaga 144,8 m² 3,80 m paksuse väljatava kihindi korral.



Joonis 21. Hoidetsooni topeltterviku parameetrid 1. ja 2. kambri vahel väljatava kihindi paksuse 3,80 m korral

Ee-rinna edasinihke korral värske õhu voo katkestamiseks ehitatakse topelttervikute vahele betoonist tuulutustökked. Tuulutustökete ehitamisel tuleb arvestada ehituskulude, värske õhu lekete ja lõhketööde mõjuga.

Estonia kaevanduse pealmaa territooriumil on 8 edasinihutusšurfi, mis on varustatud ventilatsiooniseadmetega. Praegu töötab nendest ainult 4 ventilaatorit: №2, 3, 5, 7. Nende kaudu

antakse värske õhk kaevandusse ja sealt edasi levib õhuvool mööda peapaneele ja siseneb lõpuks kambriplokki 1906, kust ärakasutatud õhk väljub maapinnale väljuva surfi №192 kaudu.

6.3 Kambritevaheliste tervikute mõõtmed ja pikikambrite arv

Kambriploki 1906 mäetööde ettevalmistusskeemi koostamiseks on vaja igas poolplokis teha kambrite ja tervikute kontrollarvutus. Peale konveieritelje poolploki 1906-1 suunas nihutamist, sain poolploki 1906-1 keskmiseks laiuks 214,3 m kogumisstreki servast. Selleks, et arvutada, kui palju kambreid ja tervikuid sellise laiuse juures moodustub tuli kasutada automatiseeritud IT keskkonda „Tervik“, milles kasutasin „esialgseid andmeid“ arutamiseks. Arvutuste õigsuse kontrollimiseks kasutasin tavalisi kambritevahelisi tervikuid väljatava paksusega 2,80 m korral. Teades terviku ja pikikambri laiust, tuli otsida, millises veerus need on. Esialgsed arvutused ilmusid veergu, mis näitab, et väljatava tootuskihi paksuse 2,80 m juures ja poolploki laiuse 214,3 m korral on kambrite arv – 14 ja tervikute arv – 13 (sealhulgas topelttervik). Kontrollimiseks kasutasin järgmist valemit:

$$K * b + T * x + T_x = X, \quad \text{Valem 3}$$

kus K – kambrite arv poolplokis

b – pikikambri laius, 7,4 m;

T- tervikute arv poolplokis

x- terviku laius, 7,2 m;

T_x – kaitsetervikute laiused (kogumisstreki ääres – 9 m, külgstreki ääres – 8,1 m)

X - poolploki laius

$$14 * 7,4 + 13 * 7,2 + 9 + 8,1 = 214,3 \text{ m}$$

Tulemuseks sain, et poolploki 1906-1 laius on 214,3 m. Sellest järeldan, et tervikute ja kambrite arvutused sobivad.

Poolploki 1906-2 laius on 214,5 m, mis erineb eelmisest väärtusest +0,20 m võrra, mis tähendab, et külgstreki ääres olevat kaitsetervikut tuleb veidi suurendada.

6.4 Koormus tervikute ridadele

Tervikuterea koormus arvutatakse Estonia kaevanduses ühesugustele tervikutele samal kõrgusel. Koormuse arvutamise tsoon peab olema vähemalt 70 m pikkune.

Tervikute asukoha projekteerimisel paigutasin ma tervikud nii, et nad oleksid ristkülikukujulise ristlõikega ja nende pikem telgjoon oleks risti kogumisstreki. Sel juhul arvutatakse koormus sammastervikute reale järgmise valemi abil (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019):

$$P = \frac{(x + A)(y + b)\gamma H}{xy} \quad \text{Valem 4}$$

kus x - terviku laius, m;

y – terviku pikkus, m;

A - põikikambri laius, m;

b - pikikambri laius, m;

γ - kattekivimite keskmine tihedus ($\gamma = 2,5 \times 10^{-2}$ MPa/m);

H - kattekihtide paksus, m.

Leningradi instituudis VNIMI väljatöötatud meetodika kohaselt ei tohiks tervikute rea maksimaalne koormus ületada 700 t/m^2 . Töö käigus valisin neli tervikut ja arvutasin neile mõjuva koormuse suuruse: nii väljatava kihindi paksuse 2,80 m kui ka 3,80 m korral ning samuti kambritevahelistele tervikutele. Valem 4 abil arvutasin iga tervikute reale projekteeritava koormuse, mille väärtused on toodud Tabel 2 ja Tabel 3).

Tabel 2. Koormus tavaliste kambritevaheliste tervikute reale

Parameetrid	Madal lagi $h=2,80 \text{ m}$	Kõrge lagi $h=3,80 \text{ m}$
$x \text{ (m)}$	6,6	7,1
$y \text{ (m)}$	7,2	7,9
$A \text{ (m)}$	7,4	6,9
$b \text{ (m)}$	7,4	6,7
$\gamma \text{ (Pa/m)}$	2,5	2,5
$H \text{ (m)}$	57,8	56,8
$P \text{ (t/m}^2\text{)}$	622	517

Tabel 3. Koormus hoidetervikute reale

Parameetrid	Madal lagi $h=2,80 \text{ m}$ hoidetsoonis	Kõrge lagi $h=3,80 \text{ m}$ hoidetsoonis
$x \text{ (m)}$	6,8	7,4
$y \text{ (m)}$	7,4	8
$A \text{ (m)}$	7,2	6,6
$b \text{ (m)}$	7,2	6,6
$\gamma \text{ (Pa/m)}$	2,5	2,5
$H \text{ (m)}$	57,8	56,8
$P \text{ (t/m}^2\text{)}$	587	490

Saadud tulemuste põhjal võin kinnitada, et kamberploki ettevalmistuskeemi projekteerimisel on arvestatud meetmetega, mis tagavad maapinna stabiilsuse, sest projekteeritud koormus tervikutele ei ületa 700 t/m^2 .

Koristustööde ajal kamberplokis on perioodiliselt vaja monitoorida tegelikku koormust sammastervikute reale. Pärast tervikute rea moodustamist tuleks arvutada koormus, mille kõrvalekalle peab olema $\pm 5\%$. Lubatud koormuse hälve $\pm 5\%$ sammastervikut reale on esitatud Tabel 4.

Tabel 4. Lubatud hälve $\pm 5\%$ koormuse sammastervikutel reale				
Koormus	Madal lagi h=2,80 m	Kõrge lagi h=3,80 m	Madal lagi hoidetsoonis h=2,80 m	Kõrge lagi hoidetsoonis h=3,80 m
P (t/m ²)	622	517	587	490
+5%	653	543	616	515
-5%	591	491	558	466

6.5 Tervikute markšeiderimõõtmised

Markšeideriteenistuse töömaht on tulptervikutega kamberplokkides mitu korda suurem kui laavakaevandamisega tehnoloogia kasutamisel. Nõudmised mõõtmiste ja toodangu mahu arvutustele täpsusele on tunduvalt suurenenud. Lisandusid väljatöötatud aladega piirnevate ja allesjäänud tervikute mõõtmine, erinevate lisadetailide fikseerimine kamberplokkides. (Сливкин, 1971, lk 38)

Tulptervikutega kamberplokkide detailide mõõdistamiseks kasutati ristsirgete meetodit pika mõõdulindiga joendamist ja mõõdistuspunktide vaatejooni. Ristsirgete meetodit iseloomustab lihtsus ja suhteline kiirus. (Сливкин, 1971, lk 38)

Ristsirgete meetodi olemus seisneb venitatud mõõdulindiga vaatejoone märkimiseses koristusesides, piki kamberploki kogumis- ja külgstrekke ning kamberploki üksikasjade vaatejoonest mõõdistamises. Kaevanduses koristusala mõõdistamisel, mõõdetakse lisaks ka kambrite laiust, et kontrollida kaeveõõnte mõõtmiseid. (Сливкин, 1971, lk 39)

Seda ristsirgete meetodit hakati kasutama Viru kaevanduses 1968. aastal ja peagi rakendati samasugust tervikute mõõtmise meetodit ka Estonia kaevanduses.

Praegu kasutatakse ristsirge meetodi puhul mõõdulindi asemel laserkaugusmõõtjat. Tervikute plaanile kandmiseks peab laserkaugusmõõtja abil mõõtma nende gabariite, nurki ja külgi kaeveõõntes. Terviku nurki ja gabariite mõõdetakse mõõdistuspunktide vaatejoonel, tervikute külgi mõõdetakse nurgast nurka. Kamberploki igas kolmandas tsüklis rajatakse teodoliitkäigud tervikute ja kambrite projektimõõtmete järgimiseks ning mõõtmiste täpsuse kontrollimiseks. Igast tsüklis võetakse kaks põiktelge täpsemate markšeiderimõõtmiseks. Markšeideripunktid on tähistatud numbriga, nööri ja helkuriga, mis võimaldab kamberploki üksikasjade kiiret jäädvustamist suurtel kaugustel.

Koristustööde ajal, kui toimub tervikute moodustumine on kaevanduse markšeideri ülesanne nende suuruse mõõtmine. Kontuuritud terviku õige mõõtmine annab teavet kõrvalekaldest projekteeritud suurusest.

Hetkel töös olevas kamberplokkis 1905 sooritasin kontuuritud terviku mõõdistamise kahel allpool kirjeldatud meetodil, kasutades selleks laserkaugusmõõtjat Leica Disto D410.

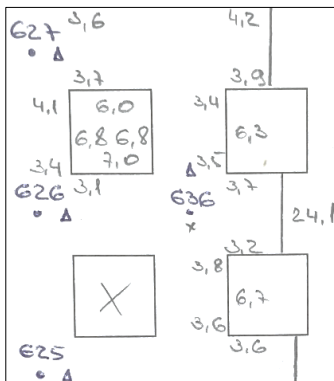
- I. Terviku esimeste nurkade ja gabariitide mõõtmine kamberploki ee suunas ning kõik terviku küljed (Joonis 22)
- II. Nurkade ja gabariitide mõõtmine kogu terviku kontuuri ulatuses (Joonis 24)

Kamberplokis 1905 on kambritevaheliste tervikute pindala on $44,9 \text{ m}^2$. Arvestades juurde +5% lubatud kõrvalekallet projekteeritust, oleks terviku pindala $47,1 \text{ m}^2$, arvestades projektiga lubatud kõrvalekallet -5%, oleks terviku pindala $42,6 \text{ m}^2$.

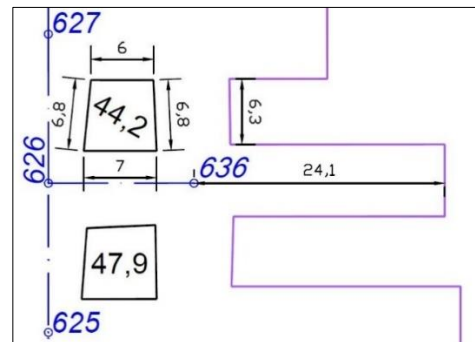
CREDO inseneritarkvara abil kandsin mäetööde plaanile mõõdetud väärtused ja sain sealt järgmised andmed:

- I. Terviku mõõtmise esimese variandi korral sain terviku pindalaks $44,2 \text{ m}^2$. Terviku suurus on lubatud tolerantsi piires (Joonis 23).
- II. Terviku mõõtmise teise variandi korral sain terviku pindalaks $48,3 \text{ m}^2$. Terviku suurus suurenes 2,5% võrra maksimaalsest lubatud projekti kõrvalekaldest. Seega selle variandi juures kaasneb põlevkivi kadu (Joonis 25).

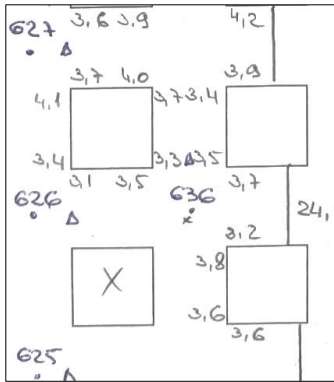
Järeldus: Kamberploki terviku mõõtmise esimene variant on tõhusam, kuna see annab terviku kohta üksikasjalikumad teavet ja ei tekita tarbetuid kadusid.



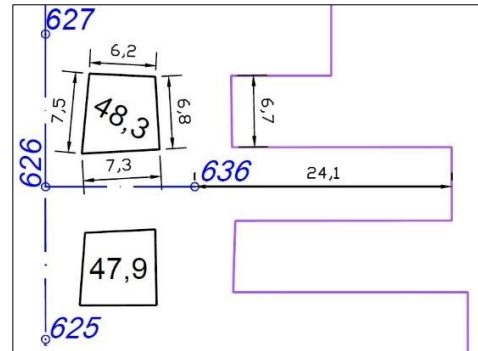
Joonis 22. Terviku tegelik markšneiderimõõtmine I variandi korral



Joonis 23. Terviku markšneiderimõõtmise tulemus I variandi korral



Joonis 24. Terviku tegelik markšneiderimõõtmine II variandi korral



Joonis 25. Terviku markšneiderimõõtmise tulemus II variandi korral

6.6 Lõhketööde seismilise mõju arvutamine altkaevandatud aladel asuvatele pealmaaobjektidele

Pealmaaobjektide ja rajatiste kaitsmiseks allmaakaevandamise kahjulike mõjude eest kasutab Estonia kaevandus mäetehnilisi kaitsemeetmeid. Meetmete eesmärk on vähendada maapinna ja objektide altkaevandamisel tekkivaid deformatsioone. Selleks kasutatakse spetsiaalseid kaevandamismeetodeid s.h. tugevdatud tervikute jätmist. Enne mäetööde alustamist tuleb arvutada lõhketööde seismiline mõju maapinnal asuvatele kaitstavatele objektidele.

Valemite ja tabelite abil arvutatakse altkaevandatud objektiseismilise mõju suuruse ning lubatud seismiliselt ohutute laengute maksimaalsed väärtused lõhketöödel otse objekti all. Arvutused viisin läbi vastavalt Majandus- ja Taristuministri 08.09.2017 määrusele nr 49 „Lõhkematerjali kasutamise ja hävitamise nõuded“ Lisa „Ohuala ja ohutute laengute määramine“

Maksimaalsete seismiliselt ohutute laengu suuruste arvutusvalemid Eesti põlevkivikaevandustele kaevandamissügavusel 60 m arvutatakse järgmise valemi abil (Majandus- ja Taristuminister, 2017):

$$Q_{\max} = [d / (6657 / V_{\max})^{0.459}]^2 \quad \text{Valem 5}$$

Q_{\max} – Maksimaalne seismiliselt ohutu laengu suurus (kg)

d – kaugus lõhkamiskohast ohustatud objektini (m)

V_{\max} – ohustatud objekti maksimaalne lubatud võnkekiirus (mm/s)

Lõhketööde projekteerimisel arvutatakse ehitise maksimaalne lubatud võnkekiirus järgmise valemi abil (Majandus- ja Taristuminister, 2017):

$$V_{\max} = V_1 F_k \text{ (cm/s)} \quad \text{Valem 6}$$

v_1 – kaitstava ehitise kaugusest ja tema aluspinnasest sõltuv suurim lubatud võnkekiirus (cm/s)

F_k – ehitise liigist sõltuv parandustegur

Tabel 5. Ehitise suurim lubatud võnkekiirus sõltuvalt kaugusest ja aluspinnasest (Majandus- ja Taristuminister, 2017)

Kaugus ehitiseni (m)	Suurim lubatud võnkekiirus v1 (cm/s)		
	Ehitise aluspinnas		
	Savi, kruus, liiv, pehme moreen	Tugev moreen, kildad, pehme lubjakivi, liivakivi	Graniit, gneiss, tugev lubjakivi/liivakivi
1	1,8	3,5	14
5	1,8	3,5	8,5
10	1,8	3,5	7
20	1,5	2,8	5,5
30	1,4	2,5	4,5
50	1,2	2,1	3,8
100	1	1,7	2,8
200	0,9	1,4	2,2
500	0,7	1,1	1,5
1000	0,6	0,9	1,2
2000	0,5	0,7	0,9

Võnkekiiruse arvutamisel Asu talu jaoks kasutan esimest veergu ehitise aluspinnast (Tabel 5). Võttes lasumissügavuseks 57,8 m, arvutan suurima lubatud võnkekiiruse järgmiselt:

1. Valin sügavusvahemiku 50,0 m ja 100,0 m
2. Arvutan nende sügavuste vahel võnkekiiruse, milleks tuleb 0,2 cm/s
3. Arvutan võnkekiiruse iga sügavuse ühe(1)meetri kohta, milleks tuleb 0,004 cm/s
4. Arvutan võnkekiiruse 7,80 m sügavusel, milleks tuleb 0,0312 cm/s
5. Arvutan võnkekiiruse 57,8 m sügavusel, saan lubatud võnkekiiruseks 1,1688 cm/s

Tabel 6. Ehitise liigist sõltuv parandustegur (Majandus- ja Taristuminister, 2017)

Nr	Ehitise liik	Parandustegur Fk
1	Rasked ehitised, nagu sillad ja sadamakaid	2
2	Betoon-, raudbetoon- ja teraskonstruksioonid, eelmainitud konstruktsioonidest tööstushooned, pritsbetooniga kaetud allmaarajatised	1,5
3	Tellistest ja betoonist büroo- ja ühiskondlikud hooned, betoonvundamendile või kaljupinnasele ehitatud puuhooned	1,2
4	Betoonist või tellistest elumajad (ehitises ei tohi olla kasutatud kergbetooni ega silikaattelliseid), allmaakaablid. Kivistuv valubeton eaga üle ühe nädala	1
5	Kergbetoonehitised (ka kõik muud ehitised, milles on kasutatud kergbetooni). Kivistuv valubeton eaga 3–7 ööpäeva	0,75
6	Eriti vibratsioonitundlikud ehitised, nagu muuseumid, kirikud ja teised kõrgete võlvide ja suurte pingeväljadega hooned, silikaattellistest hooned. Kivistuv valubeton eaga kuni 3 ööpäeva	0,65
7	Varinguohtlikud ajaloo- ja arhitektuurimälestised, varemed	0,5

Kamberploki 1906 kohal asub Asu talu, mis kuulub III kaitseklassi, mille taluhooned on kergbetoonehitised, mille parandustegur F_k põhjal on 0,75 (Tabel 6).

Asu talu jaoks maksimaalne lubatud võnkekiirus on:

$$V_{\max} = 11,688 \text{ mm/s} \times 0,75 = 8,8 \text{ mm/s}$$

Arvutumeetodi koostamisel lõhkeaine standardiks võetakse ammoniit 6ŽV. Kamberplokkidel lõhkeaine „Subtek Charge CS“ kasutamisel tuleks arvutustulemused korrutada 1,3 – ga (Nurklik, 2004).

Otse objekti all mäetööde sügavusel $H=57,8$ m ($d=57,8$) on seismiliselt ohutu laengu (aeglustusrühma) maksimaalne väärtus:

$$Q_{\max} = [57,8 / (6657/8,8)^{0.459}]^2 = 7,6 \text{ kg ammoniidi 6ŽV jaoks}$$

$$\text{Lõhkaine „Subtek Charge CS“ puhul} - 7,6 \text{ kg} \times 1,3 = 9,9 \text{ kg}$$

Kamberploki 1906 puur- ja lõhketööde seismilise passi järgi määratud ühe kambri jaoks ühe plahvatusseeria maksimaalse laengu suuruse – 7kg.

Saadud andmete põhjal määratakse üheaegselt lõhatavate kambrite arv ühes lõhkeseerias objektidest teatud kaugusel (Nurklik, 2004):

$$n = q_{\max} / q, \quad \text{Valem 7}$$

kus n – samaaegselt lõhatavate kambrite arv

q_{\max} – maksimaalne seismiliselt ohutu laengu suurus objektist teatud kaugusel (kauguse horisontaalne projektsioon)

q – ühe lõhatava seeria maksimaalne laengu suurus ühes kambri, mis on määratud lõhatava kambri puur-ja lõhketööde passi järgi.

$$n = 9,9 / 7 = 1,41 - \text{objekti all korraga lõhatavate kambrite arv}$$

Kamberploki 1906 asukohal kaitstavatele objektidele arvutatakse seismiline mõju selleks, et teada saada, mitu kambrit saab kaitstava objekti all korraga lõhata. Seda tehakse selleks, et tagada ohutus lähimate hoonete ja rajatiste lõhkamistoimingutest tingitud seismiliste mõjude korral. Samuti võib ettevõtte saada perioodiliselt kaitstavate objektide omanikult pöördumisi ja mis toob kaasa järelevalvet teostavate asutuste plaanivälise kontrolli.

Seismilise mõju arvutamisel kaitstavatele objektidele võetakse ette mitte rohkem kui 4 kambrit, sest see on samaaegselt lõhatavate kambrite maksimaalne suurus. Seismilise mõju tsoonid näitavad, kui palju sellises tsoonis kambreid on lubatud korraga lõhata. See on piiranguks ja mis on seotud kaevetööde lähenemisega kaitstavatele objektidele.

Vahemaa kaeveõone laest kaitstava objektini maapinnal on 57,8 m, kui väljatava tootuskihi paksus on 2,80 m. Seismilise tsooni arvutamiseks pidin rakendama Pythagorase teoreemi. Esimene kaatet on lasumissügavus kaitstava objektist maapinnal allmaakaevetööde laeni vertikaalses projektsioonis, see

väärtus on teada. Teine kaatet on kaugus kaitstavast objektist seismilise tsoonini horisontaalses projektsioonis. Hüpotenuus on kaugus kaitstava objektist seismilise tsoonini, mille väärtus tuleb arvutada teise kaateti väärtuse väljaselgitamiseks.

Kaitstavast objektist seismilise tsooni kaugus ühe kambri jaoks arvutatakse järgmiselt (Nurklik, 2004):

$$d = \sqrt{q} * \sqrt{\left(\frac{6657}{V_{max}}\right)^{0,459}}, \quad \text{Valem 8}$$

kus d - kaitstavast objektist seismilise tsooni kaugus, m;

q - ühe plahvatuse seeria maksimaalne laengu väärtus ühes kambri, kg;

V_{max} - ohustatud objekti maksimaalne lubatud võnkekiirus, mm/s).

Kasutades $d = \sqrt{q} * \sqrt{\left(\frac{6657}{V_{max}}\right)^{0,459}}$, Valem 8 arvutasin hüpotenuusi ehk kaitstava objektist seismilise tsooni kauguse ühe, kahe, kolme ja nelja korraga lõhatava kambri jaoks.

Ühe lõhatava kambri jaoks:

$$d_1 = \sqrt{7} * \sqrt{\left(\frac{6657}{8,8}\right)^{0,459}} = 55,5 \text{ m}$$

Kahe samaaegselt lõhatava kambrite jaoks:

$$d_2 = \sqrt{2 * 7} * \sqrt{\left(\frac{6657}{8,8}\right)^{0,459}} = 78,6 \text{ m}$$

Kolme samaaegselt lõhatava kambrite jaoks:

$$d_3 = \sqrt{3 * 7} * \sqrt{\left(\frac{6657}{8,8}\right)^{0,459}} = 96,2 \text{ m}$$

Nelja samaaegselt lõhatava kambrite jaoks:

$$d_4 = \sqrt{4 * 7} * \sqrt{\left(\frac{6657}{8,8}\right)^{0,459}} = 111,1 \text{ m}$$

Pythagorase teoreemi rakendades arvutan horisontaalses projektsioonis kauguse kaitstava objekti seismilise tsoonini:

$$D = \sqrt{d^2 - H^2}, \quad \text{Valem 9}$$

kus D - horisontaalses projektsioonis kaugus kaitstava objekti seismilise tsoonini, m;

d - kaitstavast objektist seismilise tsooni kaugus, m;

H - lasumissügavus kaitstavast objektist maapinnal allmaakaevetõõne laeni vertikaalses projektsioonis, m.

Tulemusena saan horisontaalses projektsioonis kaugused kaitstava objekti seismilise tsoonini.

Ühe lõhatava kambri jaoks:

$$D_1 = \sqrt{55,5^2 - 57,8^2} = \sqrt{-260,6}$$

Ühe lõhatava kambri jaoks sain negatiivse väärtuse. Seda väärtust ei võeta arvesse, mis tähendab et D_2 tuleks pidada seismiliseks tsooniks, milles saab korraga lõhata ainult ühe kambri.

Ehk nüüd uue ühe lõhatava kambri horisontaalses projektsioonis kaugus kaitstava objekti seismilise tsoonini on:

$$D_2 = \sqrt{78,6^2 - 57,8^2} = 53,2 \text{ m}$$

Kahe lõhatava kambri jaoks:

$$D_3 = \sqrt{96,2^2 - 57,8^2} = 76,9 \text{ m}$$

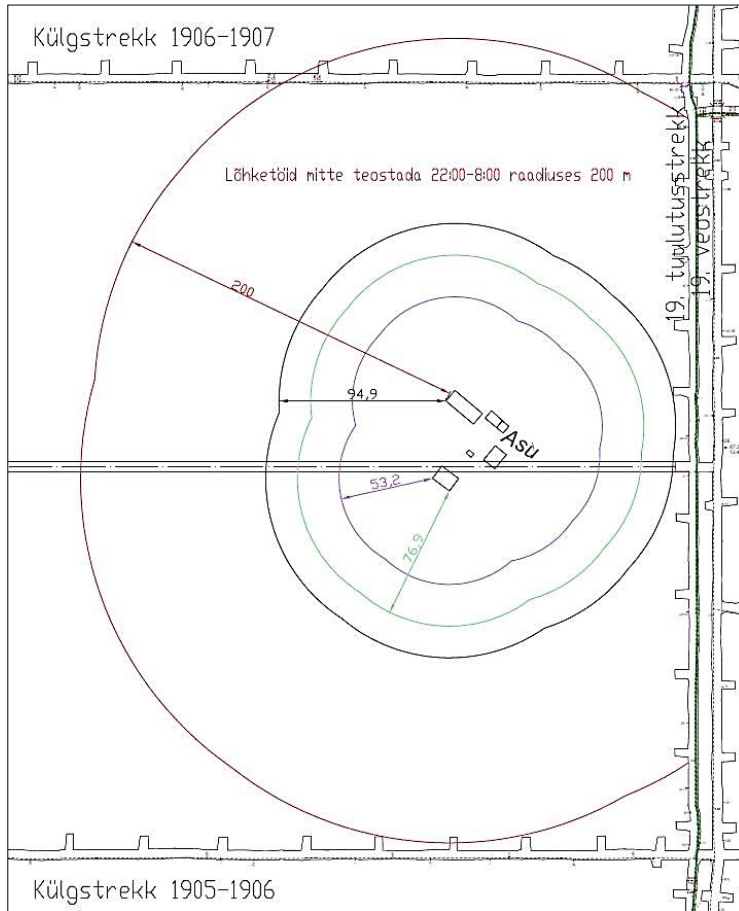
Kolme lõhatava kambri jaoks:

$$D_4 = \sqrt{111,1^2 - 57,8^2} = 94,9 \text{ m}$$

Lõhketööde seismiline mõju algab 200 m raadiuses kaevetöödest kaitstava altkaevandatud objektini. Selles tsoonis on elamute all keelatud lõhketöid teostada ajavahemikus 22:00 – 8:00.

Samuti on seatud piirangud korraga lõhatavate kambrite arvule lõhketöödel. Elamutest 53,2 m kaugusel on lubatud teostada lõhkamist ainult üks kamber korraga. Elamutest 76,9 m kaugusel on lubatud teostada lõhkamist kahes kambri korraga. Elamutest 94,9 m kaugusel on lubatud teostada lõhkamist kolmes kambri korraga.

AutoCADis, kaitstava objekti igast nurgast kantakse plaanile D_2, D_3, D_4 , mille järel moodustuvad seismilise mõju tsoonid, kus kehtivad lõhketööde piirangud (Joonis 26). Kui kamberploki mäetööd lähenevad kaitstava objekti 200-meetrisele tsoonile, teavitab markšneider sellest allmaa tootmisjaoskonda, pärast mida peatatakse öised lõhketööd. Samuti on vaja teavitada, kui mäetööd lähenevad piirangutega seismilistele tsoonidele. Kusjuures kohustuslik on korraldada töid vastavalt kamberploki mäetööde ettevalmistusskeemile.



Joonis 26. Lõhketööde piirangud Asu talu tsoonis

6.7 Hoidetsoonide konstrueerimine

Maapealsete objektide hoidemeetmeteks on valitud hoidetervikutega kaevandamine. Hoidetsooni maa-ala määramisel lähtutakse perve laiuusest, mis on II ja III hoiuklassi objektidele 5,0 m. Kaitstav kontuur, mis on jäetud objektile teatud ohutusvaruks, suureneb ühtlaselt igas suunas teatud suuruse võrra ja seda ala nimetatakse kaitsevööndiks. Kaitstava objekti piiride määramisel lähtusin selle objekti mõõtmetest ja varuala laiuusest, mis võib olla kuni 5,0 m. Kui tegemist on mitme hoone ja ehitisega, siis tuleb varuala moodustamisel lähtuda kõige kaugematest objektidest. Ehitiste ja rajatiste jaoks hoidetervikute piirid määratakse nihkenurga abil (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019).

Minimaalne lubatud vahemaa objektist kuni hoidetsooni piirini (Joonis 27) määratakse järgmise valemi abil (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019):

$$R = h_k \operatorname{ctg} \delta' + (H_k + h) \operatorname{ctg} \delta + B, \quad \text{Valem 10}$$

Kus h_k - pinnase paksus (2,5 m)

δ' - pinnase nihkenurk ($\delta' = 50^\circ$)

H_k - karbonaatsete kivimite paksus (55,3 m)

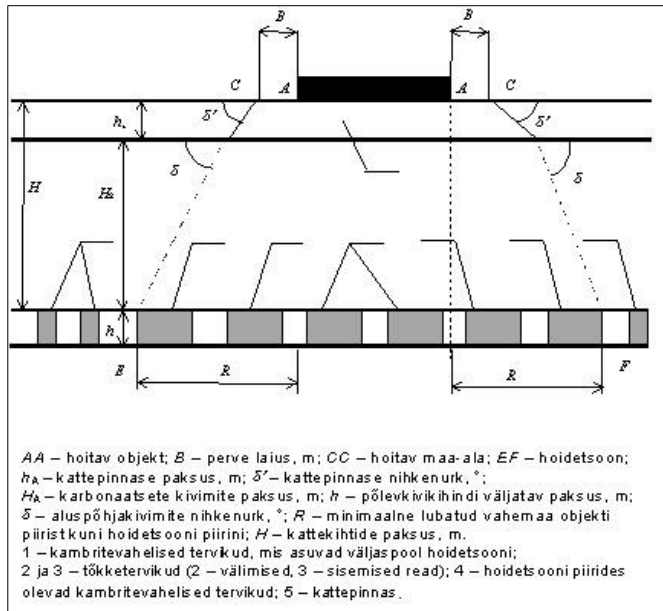
h - põlevkivikihi väljatav paksus (2,80 m)

δ -aluspõhjakivimite nihkenurk ($\delta = 70^\circ$)

B - kaitseperve laius (5 m)

Lubatav vahemaa hoitavast objektist kuni hoidetsooni piirini:

$$R = 2,5ctg50^\circ + (55,3 + 2,80)ctg70^\circ + 5 = 28,2 \text{ m}$$



Joonis 27. Hoidetsooni piiride määramine (Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus, 2019)

6.8 Mäetööde ettevalmistuskeemide koostamine

Kamberploki 1906 mäetööde ettevalmistuskeemi koostamiseks valisin 3 võimalikku varianti. Geoloogilistest tingimustest tulenevalt saab kamberploki 1906 projekteerida tervikud alale, kus väljatava kihindi paksus on 2,80 m. Esimene variant - kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega (Joonis 28) . Teine variant – kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses (Joonis 29). Kolmas variant – kamberploki kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega (Joonis 30). Joonistel 28, 29 ja 30 välja toodud skeemid koostasid tarkvaras Autocad. Nende Autocadi originaalfailid DWG-formaadis on esitatud elektrooniliste lisadena: [Lisa E1](#) (kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega), [Lisa E2](#) (kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses) ja [Lisa E3](#) (kamberploki kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega).

Enne projekteerimise alustamist nihutasin konveieri telge poolploki 1906-1 suunas. Kusjuures kontrollisin, et konveieri projekteerimistelje asimuut oleks $60^\circ 10' 00''$. Kogumisstreki laius on 6,0 m.

Tabel 7. KP1906 väljamata pindala (Enefit Power AS, 2021)		
1906-1	Väljamata osa	1906-2
6 918 m ²	Alglõõridest 17. paneeli suunas	8 476 m ²
210 523 m ²	Alglõõridest 19. paneeli suunas (sh kogumisstrekk)	211 639 m ²

217 441 m ²	Kokku 437 556 m ²	220 115 m ²
------------------------	------------------------------	------------------------

Kamberplokki 1906 on kujundlikult jagatud neljaks osaks (Tabel 7):

1. Alglõõrist 1906-1 17. paneeli suunas väljamata KP1906 osa, mille pindala on 6918 m²
2. Alglõõrist 1906-1 19. paneeli suunas väljamata KP1906 osa, mille pindala on 210523 m²
3. Alglõõrist 1906-2 17. paneeli suunas väljamata KP1906 osa, mille pindala on 8476,3 m²
4. Alglõõrist 1906-2 19. paneeli suunas väljamata KP1906 osa, mille pindala on 211638,9 m²

Kõigi kolme kamberploki ettevalmistusskeemi koostamise korral jäävad kogumisstreki kaitsetervikud muutumatuks, millest igapähe pindala on 72 m². Arvutuste kohaselt asetan kaitsetervikud piki kogumisstreki märkimise sammuga 14,0 m. Tervikute vahel lõõride laius on 6,0 m. Samuti on kogumisstreki alguses 2 tervikut, mis ei sobi samasugusesse sammu, mistõttu nende suurust suurendan. Esimese terviku pindala poolplokis 1906-1 on 182,9 m², aga 1906-2 – 171,4 m². Kokku poolplokis 1906-1 kogumisstreki äärsete tervikute pindalakaod on 4718,9 m² ja poolplokis 1906-2 – 4707,4 m².

Poolplokis 1906-1 on geoloogiline puurkaev nr 445, mida Estonia kaevandus peab kaitsma vee sissevoolu eest kaevandusse, jättes selleks 10,0 m raadiusega terviku, milleks ma projekteerisin puurkaevu alla kaitseterviku pindalaga 457,6 m².

Töö käigus projekteerisin esimesed 2 tervikute rida alglõõridest 19. paneeli suunas ja tervikud 17.paneeli suunas lae kõrgusel 3,80 m. Tegin seda selleks, et saaks hinnata kamberploki lae seisukorda ja oleks sujuvam üleminek ühelt kõrguselt teisele.

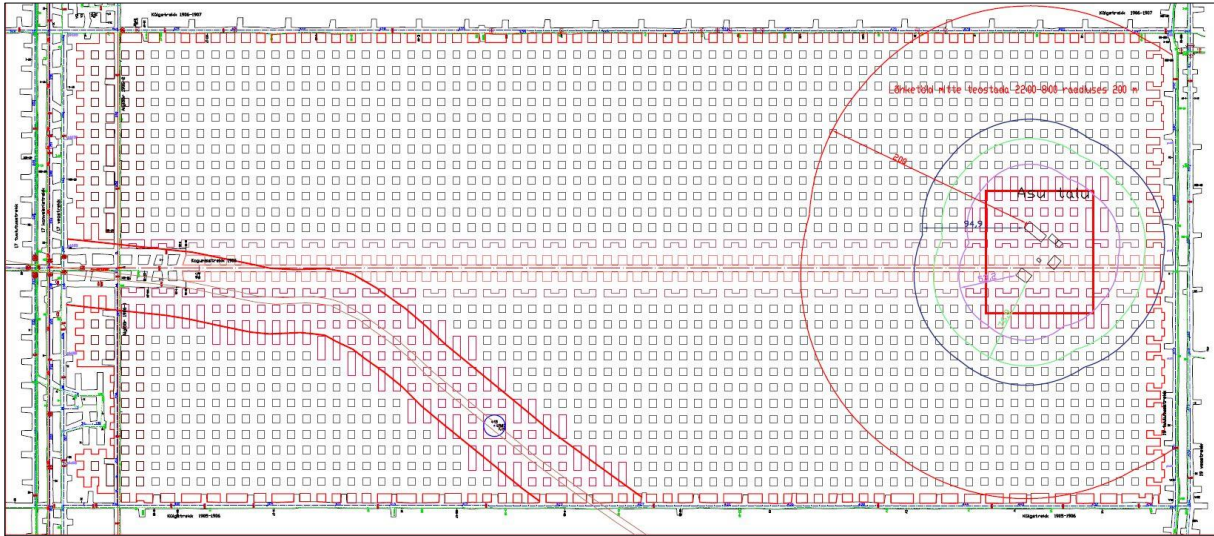
Hoideterviku laius alglõõrist 17. paneeli suunas ja 17. veostreki ning kamberploki lõpu ja 19. tuulutustreki vahel on 8,0 m. Kamberploki mäetööde ettevalmistusskeemi koostamisel tekkivate kadude vähendamiseks jätan 4,0 m kuni paneeli niššini, et ei toimuks läbilöömist paneelile.

6.8.1 I variant – Kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega

Kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega tähendab, et maapinnal asuvate ehitiste ja rajatiste alla kaevanduses projekteeritakse hoidetsoon, mis hoiab kaitstavat objekti.

KP1906 kohal on erinevates kohtades kaks kaitstavat objekti. Kamberploki 1906 mäetööde ettevalmistusskeemi koostamisel projekteerisin sinna eraldiseisva hoidetsooni. Maapealne sõidutee on lineaarne objekt ja kogu selle pikkuses tuleb projekteerida kaitsetsoonid, mis on kujutatud punase kõvera joonega (Joonis 28) . Mõlemast teepoolest mõõdan 28,2 m, mis jääb hoidetsooniks maantee jaoks ning mis püsib tugevdatud kaitsetervikutel.

Taluhoonete kaitsetervikute projekteerimisel määrasin kaitseala kujuks riskküliku (Joonis 28). Asu talu igast hoonest mõõtsin 28,2 m, mis on hoidetsooniks talu jaoks ning mis põhineb tugevdatud kaitsetervikutel.



Joonis 28. KP1906 kaevandamine hoidetsoonidega ettevalmistusskeem ([Lisa E1](#))

Tabel 8 on toodud tervikute liik ja kogus, mis kasutasin kamberploki ettevalmistusskeemi koostamisel ning mida on üksikasjalikumalt kirjeldatud allpool.

Enne hoidetsooni projekteerisin tavalised kambritevahelised tervikud pindalaga 47,5 m². Hoidetsoonis projekteerisin tugevdatud tervikud pindalaga 149,6 m², sest tulenevalt moodustuvad hoidetervikud pindalaga 50,3 m². Hoidetsoon peab lõppema tugevdatud tervikutega. Peale hoidetsooni jätkub kamberploki kaevandamine tavaliste kambritevaheliste tervikutega.

Esimese ja teise kambri vahele projekteerin topelttervikud. Mõlemas poolplokis alglõõridest 19. paneeli suunas esimesed tervikud on arvatud väljavata paksusega 3,80 m, igäühe pindala on 144,8 m².

Poolplokki 1906-1 hoidetsoonis projekteerisin 9 topelttervikut kohaliku sõidutee Pagari-Tarakuse-III loka alla ja 5 samasugust tervikut Asu talu alla väljavata paksusega 2,80 m, iga terviku pindalaks on 125,1 m². Alale, kus väljavata kihindi paksus on 3,80 m projekteerisin kaks tugevdatud tervikut, igäühe pindalaks on 167,2 m². Alale, kus väljavata kihindi paksus on 2,80 m – projekteerisin 40 tugevdatud tervikut, igäühe pindalaks on 149,6 m². Tugevdatud tervikute vahele projekteerisin 61 hoidetervikut, igäühe pindalaks on 50,3 m². Asu talu hoidetsoonis projekteerisin 9 tugevdatud tervikut, igäühe pindalaks on 149,6 m².

Poolplokki 1906-1 hoidetsoonist väljaspoole projekteerisin 19 topelttervikut, igäühe pindalaks on 118,7 m². Alglõõrist 1906-1 19. paneeli suunas projekteerisin 20 kambritevahelist tervikut väljavata kihindi paksusega 3,80 m, iga terviku pindalaks on 56,1 m². Samuti projekteerisin 633 tavalist kambritevahelist tervikut, iga terviku pindalaks on 47,5 m² ja need asuvad alal, kus väljavata kihindi paksus on valdavalt 2,80 m.

Poolplokki 1906-2 hoidetsooni projekteerisin 6 topelttervikut, igäühe pindalaks on 125,1 m² ning üks neist asub kohaliku sõidutee all. Väljavata paksusega 2,80 m alale projekteerisin Asu talu alla 13 tugevdatud tervikut, igäühe pindalaks on 149,6 m² ning 12 hoidetervikut, igäühe pindalaks on 50,3 m².

Poolplokki 1906-2 hoidetsoonist väljapoole projekteerisin 27 topelttervikut väljatavale alale paksusega 2,80 m, igaühe pindalaks on 118,7 m². Alglõõrist 1906-2 19. paneeli suunas projekteerisin 24 kambritevahelist tervikut, igaühe pindalaks on 56,1 m². Samuti projekteerisin 756 tavalist kambritevahelist tervikut, igaühe pindalaks on 47,5 m². Väljatava kihindi paksus seal on 3,80 m.

Osa alglõõridest 17. paneeli suunas asuvaid tervikuid erinevad projektist, sest ettevalmistuskaeveõõnte läbindamisel läbindati niššid tehnoloogiliselt mugavates kohtades, teadmata eelnevalt tulevase kamberplokki mäetööde ettevalmistuskeemi. Seega poolplokis 1906-1 projekteerisin 7 kambritevahelist tervikut, igaühe pindalaks on 56,1 m² ja ühe terviku - 140 m² väljavata paksusega 3,80 m alale. Samuti poolplokis 1906-2 projekteerisin 14 kambritevahelist tervikut, igaühe pindalaks on 56,1 m² ja 7 tervikut kogupindalaga 748,2 m² väljatava kihindi paksusega 3,80 m alale.

Tabel 8. KP1906 tervikud hoidetsoonidega kaevandamisel				
	Terviku liik	Terviku pindala	Tervikute arv	
			1906-1	1906-2
Hoidetsoonist väljas	Topelttervik (h=2,80 m)	118,7 m ²	19	27
	Topelttervik (h=3,80 m)	144,8 m ²	1	1
	Kambritevaheline tervik (h=2,80 m)	47,5 m ²	633	756
	Kambritevaheline tervik (h=3,80 m)	56,1 m ²	20	24
Kohaliku sõidutee hoidetsoon	Topelttervik (h=2,80 m)	125,1 m ²	9	1
	Hoidetervik (h=2,80 m)	50,3 m ²	61	-
	Tugevdatud tervik (h=2,80 m)	149,6 m ²	40	-
	Tugevdatud tervik (h=3,80 m)	167,2 m ²	2	-
Asu talu hoidetsoon	Topelttervik (h=2,80 m)	125,1 m ²	5	5
	Hoidetervik (h=2,80 m)	50,3 m ²	-	12
	Tugevdatud tervik (h=2,80 m)	149,6 m ²	9	13

Tabel 9 on toodud tervikutes pindalakaod. Alglõõridest 17. paneeli suunas tervikute, külgstreki tervikute ning 17. ja 19. paneeli ääres tervikute pindalad on arvatud Autocadi originaalfailis.

Tabel 9. KP1906 pindalakaod kaevandamisel hoidetsoonidega		
1906-1	PINDALAKAOD	1906-2
4718,9 m ²	Kogumisstreki kaitsetervikud	4707,4 m ²
4151,5 m ²	Topelttervikud	4100,3 m ²
30067,5 m ²	Kambritevahelised tervikud (h=2,80 m)	35910 m ²
1122 m ²	Kambritevahelised tervikud (h=3,80 m)	1346,4 m ²
10856,3 m ²	Hoidetsoonis tervikud (h=2,80 m)	2548,4 m ²
334,4 m ²	Hoidetsoonis tervikud (h=3,80 m)	-
532,7 m ²	Alglõõridest 17. paneeli suunas tervikud	1533,6 m ²
5534,2 m ²	Külgstreki kaitsetervikud	4797,2 m ²
4066,4 m ²	17. paneeli ääres tervik	2873,5 m ²
2568,8 m ²	19. paneeli ääres tervik	3050,5 m ²
63952,7 m ²	KOKKU 124 820 m ²	60867,3 m ²

Hoidetsoonidega mäetööde läbiviimisel on 1906 kamberploki kadude suurus tervikutes järgmine: $124\,820/437\,556 * 100\% = 28,53\%$ ehk 28,5%

Tabel 10. Andmed maavara varude suuruse ja kihi tootlikkuse kohta kamberplokk 1906 kaevandamisel hoidetsoonidega	
Kihindi paksus, m	
Üldine (A – F ₁)	2,79
Põlevkivikihtide summaarne paksus	2,11
Väljatav paksus	2,79
Kasulik väljatav paksus	2,11
Põlevkivikihtide keskmine tihedus, t/m ³	1,57
Kihindi tootlikkus, t/m ²	
Kasulik	3,31
Väljatav	3,31
Põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu, t	1 449 492
Kamberploki pindala, m ²	
Summaarne	437 556
Väljatav	312 736
Tervikute summaarne pindala	124 820
Kaod pindala järgi	
Tonni	413 491
%	28,5

Põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu arvutatakse võttes arvesse järgmised parameetrid: põlevkivikihtide summaarne paksus, põlevkivikihtide keskmine tihedus ja kamberploki 1906 summaarne pindala. Siit tulenevalt on põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu on 1 449 492 tonni, millest 28,5% on põlevkivi pindalakaod tervikutes (Tabel 10), mis tähendab kamberplokist väljatava põlevkivi kogus on 1 036 001 t.

Väljatava kaevise kogus arvutatakse järgmiselt:

$$Q_m = S_{väljatav\ varu} * h_{pk}, \quad \text{Valem 11}$$

kus Q_m – mäemassi kogus, m³;

$S_{väljatav\ varu}$ – kamberplokist puhas väljatav pindala, m²;

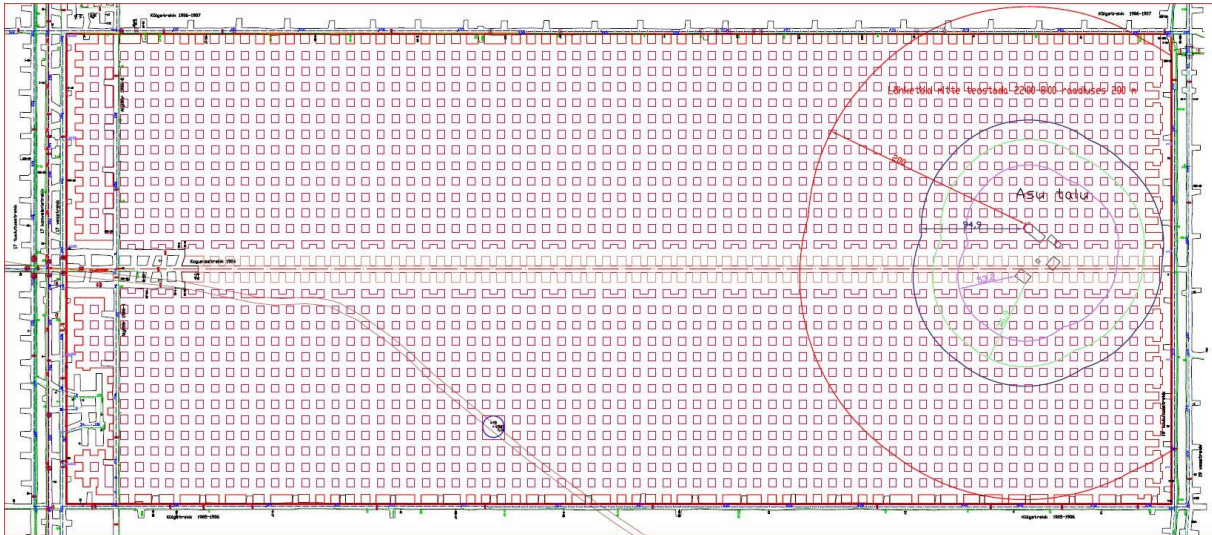
h_{pk} – põlevkivi tootuskihindi paksus.

Kasutades $Q_m = S_{väljatav\ varu} * h_{pk}$, Valem 11, sain kamberplokist väljatava mäemassi koguseks :

$$Q_m = 312\,736 * 2,79 = 872\,533\, m^3$$

6.8.2 II variant – Kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses

Allmaa kamberploki 1906 kohal maapinnal asub kohalik sõidutee Pagari-Tarakuse-Illuka ja Asu talu, mida tuleb kaitsta mäetööde mõju eest. Kaitsetervikutega kaevandamine kogu kamberploki ulatuses mäetööde ettevalmistusskeemi eesmärgiks on kamberploki väljatootamine ilma hoidetsoonide ja tugevdatud tervikuteta, kuna kogu kamberplokk on üks suur hoidetsoon (Joonis 29). Sellise ettevalmistusskeemi korral on pindalakaod tervikutes tavaliselt kõige suuremad, kuid tehnoloogiliselt on kamberplokki sellisel viisil kõige lihtsam välja töötada.



Joonis 29. Kaitsetervikutega kaevandamine kogu KP1906 ulatuses ettevalmistusskeem ([Lisa E2](#))

Tabel 11 on toodud tervikute liik ja kogus, mis kasutasin kamberploki ettevalmistusskeemi koostamisel ning mida on üksikasjalikumalt kirjeldatud allpool.

Kui ühe hoideterviku pindalaks võtame $50,3 \text{ m}^2$ ja tavalise kambritevahelise terviku suuruseks $47,5 \text{ m}^2$, saame hoideterviku suuruseks 5,6% suurema arvu kui tavalisel tervikul.

Tabel 11. Tervikud kaevandamisel kogu KP1906 ulatuses			
Terviku liik	Terviku pindala	Tervikute arv	
		1906-1	1906-2
Hoidetervikud (h=2,80 m)	$50,3 \text{ m}^2$	792	795
Hoidetervikud (h=3,80 m)	$59,2 \text{ m}^2$	24	24
Topelttervikud (h=2,80 m)	$125,1 \text{ m}^2$	33	33
Topelttervikud (h=3,80 m)	$144,8 \text{ m}^2$	1	1

Esimese ja teise kambri vahele projekteerin igas poolplokis 34 topelttervikut. Esimene topelttervik alates alglõõridest 19. paneeli suunas projekteerin 3,80 m kõrguse väljatava kihindiga alal ja selle pindalaks on $144,8 \text{ m}^2$. Ülejäänud 33 topelttervikut projekteerin 2,80 m paksusega alale ja iga terviku pindalaks on $125,1 \text{ m}^2$. Mõlemas poolplokis projekteerin kaks esimest rida alglõõridest 19. paneeli suunas 24 hoidetervikut 3,80 m paksusega alale, igaühe pindalaks on $59,2 \text{ m}^2$. Poolplokki 1906-1 projekteerin 792 hoidetervikut ja poolplokki 1906-2 – 795 hoidetervikut, iga terviku pindalaks on $50,3 \text{ m}^2$.

Alglõõridest 17. paneeli suunas projekteerisin tervikuid alale, kus väljatav kihindi paksus on 3,80 m. Seega poolplokki 1906-1 projekteerisin 8 hoidetervikut, igaühe pindalaks on 59,2 m² ning ühe terviku pindalaks 147,1 m². Poolplokki 1906-2 projekteerin 15 hoidetervikut, igaühe pindalaks 59,2 m² ning 7 tervikut kogupindalaga 778,3 m².

Tabel 12 on toodud tervikutes pindalakaod. Alglõõridest 17. paneeli suunas tervikute, külgstreki tervikute ning 17. ja 19. paneeli ääres tervikute pindalad on arvatud Autocadi originaalfailis.

Tabel 12. Pindalakaod kaitsetervikutega kaevandamisel kogu KP1906 ulatuses		
1906-1	PINDALAKAOD	1906-2
4718,9 m ²	Kogumisstreki kaitsetervikud	4707,4 m ²
4273,1 m ²	Topelttervikud	4273,1 m ²
40295,2 m ²	Hoidetsoonis tervikud (h=2,80 m)	39988,5 m ²
1420,8 m ²	Hoidetsoonis tervikud (h=3,80 m)	1420,8 m ²
620,7 m ²	Alglõõridest 17. paneeli suunas tervikud	1666,3 m ²
5581,7 m ²	Külgstreki kaitsetervikud	4978,7 m ²
3902,5 m ²	17. paneeli ääres tervik	2750,8 m ²
2687,3 m ²	19. paneeli ääres tervik	2824,6 m ²
63500,2 m ²	KOKKU 126110,4 m ²	62610,2 m ²

Kaitsetervikute projekteerimisel kogu 1906 kamberploki ulatusse korral on kadude suurus arvatav järgmiselt: $126110,4/437556*100\% = 28,82\%$ ehk 28,8%

Tabel 13. Andmed maavara varude suuruse ja kihi tootlikkuse kohta kaitsetervikutega kaevandamisel kogu kamberploki ulatuses	
Kihindi paksus, m	
Üldine (A – F ₁)	2,79
Põlevkivikihtide summaarne paksus	2,11
Väljatav paksus	2,79
Kasulik väljatav paksus	2,11
Põlevkivikihtide keskmine tihedus, t/m ³	1,57
Kihindi tootlikkus, t/m ²	
Kasulik	3,31
Väljatav	3,31
Põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu, t	1 449 492
Kamberploki pindala, m ²	
Summaarne	437 556
Väljatav	311 446
Tervikute summaarne pindala	126 110
Kaod pindala järgi	
Tonni	417 766
%	28,8

Põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu arvutatakse korrutisena järgmistest parameetritest: põlevkivikihtide summaarne paksus, põlevkivikihtide keskmine tihedus ja kamberploki 1906 summaarne pindala. Seega põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu on 1 449 492 t, millest 28,8% on põlevkivi pindalakaod tervikutes (Tabel 13), mis tähendab kamberplokist väljatava põlevkivi kogus on 1 031 726 t.

Väljatava mäemassi kogus arvutasin $Q_m = S_{väljatav\ varu} * h_{pk}$, Valem 11 järgnevalt:

$$Q_m = S_{väljatav\ varu} * h_{pk},$$

kus Q_m – mäemassi kogus, m³;

$S_{väljatav\ varu}$ – kamberplokist puhas väljatav pindala, m²;

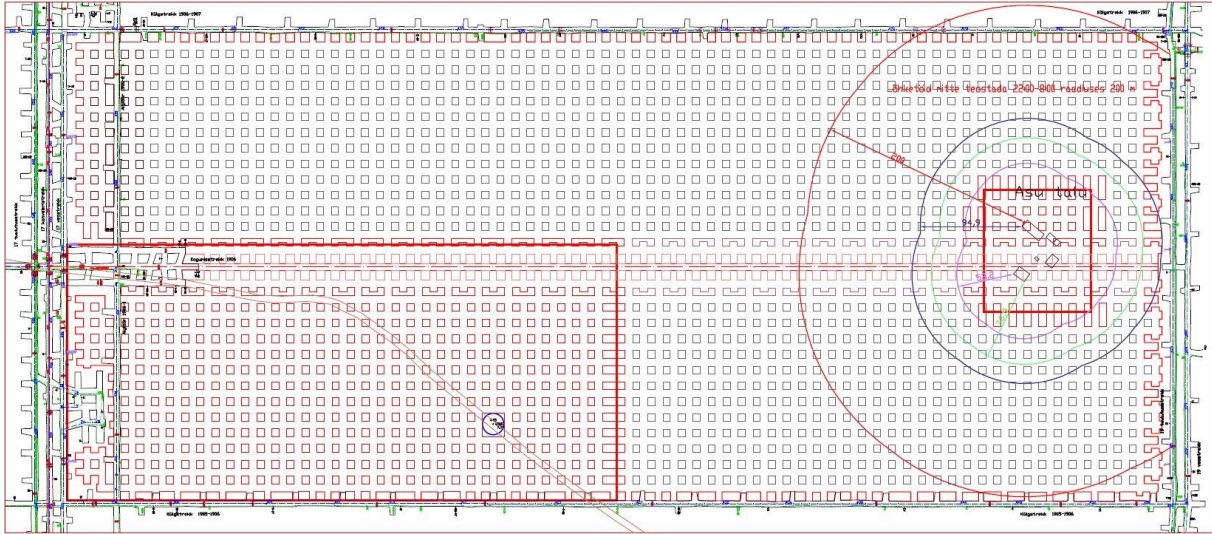
h_{pk} – põlevkivi tootuskihindi paksus.

$Q_m = S_{väljatav\ varu} * h_{pk}$, Valem 11 sain, et kamberplokist väljatava mäemassi kogus on:

$$Q_m = 311446 * 2,79 = 868\ 933\ m^3$$

6.8.3 III variant – Kamberploki kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega

Kamberploki kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega eeldab ristkülikukujuliste hoidetsoonide määratlemist, millesse on projekteeritud hoidetervikud. Kuna kaitstav objekt nagu kohalik sõidutee algab kamberploki tugevdatud tervikute alal maapinnal, siis ei ole vaja hoidetsooni ette tugevdatuid tervikuid enam projekteerida. Selle põhjuseks ongi olemasolevad hoidetervikud 17. veostreki ja alglõõri 1906-1 vahel. Piiritletud ristkülik asub peamiselt 1906-1 poolplokis ja mõjutab 1906-2 poolploki esimest kambrit (Joonis 30). Hoidetsooni lõpuossa projekteerisin tugevdatud tervikud. Pärast piiritletud ristkülikulist tsooni kaitstava kohaliku sõidutee alla projekteerisin tavalised kambritevahelised tervikud kuni Asu talu hoidetsoonini. Seda tsooni iseloomustab joonistatud ristkülik hoonete ümber (Joonis 30).



Joonis 30. KP1906 kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega ettevalmistusskeem ([Lisa E3](#))

Tabel 14 on toodud tervikute liik ja kogus, mis kasutasin kamberploki ettevalmistusskeemi koostamisel ning mida on üksikasjalikumalt kirjeldatud allpool.

Esimese ja teise kambri vahele projekteerisin topeltterviku. Mõlemas poolplokis projekteerisin hoidetsooni esimese topeltterviku alglõõridest 19. paneeli suunas alale, kus väljatava kihindi paksus on 3,80 m, ja kus ala pindala on 144,8 m².

Poolplokki 1906-1, kohaliku maapealse sõidutee hoidetsooni alglõõrist 19. paneeli suunas projekteerisin 24 hoidetervikut, igaühe pindalaks on 59,2 m² ja alal väljatav paksus on 3,80 m. Kohaliku sõidutee alla projekteerisin 356 hoidetervikut, igaühe pindalaks on 50,3 m², samuti 12 tugevdatud tervikut, millest igaühe pindala on 153,9 m² väljavata paksusega 2,80 m. Asu talu alla projekteerisin 9 tugevdatud tervikut, igaühe pindalaks on 153,9 m² väljavata paksusega 2,80 m. Esimese ja teise kambri vahele kohaliku sõidutee alla projekteerisin 16 topelttervikut ja Asu talu alla 5 tervikut, igaühe pindalaks on 125,1 m² väljavata paksusega 2,80 m alale.

Poolplokki 1906-2 Asu talu hoidetsooni projekteerisin 13 tugevdatud tervikut, igaühe pindalaks on 149,6 m² ja 12 kaitsetervikut, millest igaühe pindala on 50,3 m² väljavata paksusega 2,80 m alale. Esimese ja teise kambri vahele projekteerisin 5 topelttervikut, kus igaühe pindalaks on 125,1 m² väljavata paksusega 2,80 m alal.

Hoidetsooni väljaspool poolplokki 1906-1 projekteerisin 394 kambritevahelist tervikut, igaühe pindala on 47,5 m², samuti 12 topelttervikut, igaühe pindala on 118,7 m² väljavata paksusega 2,80 m.

Hoidetsooni väljaspool poolplokki 1906-2 projekteerisin alglõõrist 19. paneeli suunas 24 tervikut, igaühe pindalaks on 56,1 m² väljavata paksusega 3,80 m ning 756 kambritevahelist tervikut, igaühe pindalaks on 47,5 m² väljavata paksusega 2,80 m. Samuti 12 topelttervikut, igaühe pindalaks on 118,7 m² väljavata paksusega 2,80 m.

Poolplokis 1906-1 alglõõrist 17. paneeli suunas projekteerisin 8 hoidetervikut väljavata paksusega 3,80 m, igaühe pindalaks on 59,2 m², samuti veel ühe terviku, mille pindalaks on 147,1 m².

Poolplokis 1906-2 alglõõrist 17. paneeli suunas projekteerisin 14 tavalist kambritevahelist tervikut väljatava paksusega 3,80 m, igäühe pundalaks on 56,1 m², samuti 7 tervikut kogupindalaga 748,2 m².

Tabel 14. KP1906 tervikud ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kaevandamisel

	Terviku liik	Terviku pindala	Tervikute arv	
			1906-1	1906-2
Hoidetsooni väljaspool	Kambritevaheline tervik (h=2,80 m)	47,5 m ²	394	756
	Kambritevaheline tervik (h=3,80 m)	56,1 m ²	-	24
	Topelttervik (h=2,80 m)	118,7 m ²	12	
Kohaliku sõidutee hoidetsoon	Hoidetervik (h=2,80 m)	50,3 m ²	356	-
	Hoidetervik (h=3,80 m)	59,2 m ²	24	-
	Topelttervik (h=2,80 m)	125,1 m ²	16	-
	Topelttervik (h=3,80 m)	144,8 m ²	1	1
	Tugevdatud tervik (h=2,80 m)	153,9 m ²	12	12
Asu talu hoidetsoon	Hoidetervik (h=2,80 m)	50,3 m ²	-	12
	Topelttervik (h=2,80 m)	125,1 m ²	5	5
	Tugevdatud tervik (h=2,80 m)	149,6 m ²	9	13

Tabel 15 on toodud tervikutes pindalakaod. Alglõõridest 17. paneeli suunas tervikute, külgstreki tervikute ning 17. ja 19. paneeli ääres tervikute pindalad on arvatatud Autocadi originaalfailis.

Tabel 15. KP1906 kaod ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki kaevandamisel

1906-1	PINDALAKAOD	1906-2
4718,9 m ²	Kogumisstreki kaitsetervikud	4707,4 m ²
4196,3 m ²	Topelttervikud	4196,3 m ²
18715 m ²	Kambritevahelised tervikud (h=2,80 m)	35910 m ²
-	Kambritevahelised tervikud (h=3,80 m)	1346,4 m ²
21557,6 m ²	Hoidetsoonis tervikud (h=2,80 m)	2548,4 m ²
1420,8 m ²	Hoidetsoonis tervikud (h=3,80 m)	-
620,7 m ²	Alglõõridest 17. paneeli suunas tervikud	1533,6 m ²
5510,3 m ²	Külgstreki kaitsetervikud	4797,2 m ²
3902,5 m ²	17. paneeli ääres tervik	2901,5 m ²
2568,8 m ²	19. paneeli ääres tervik	3050,7 m ²
63210,9 m ²	KOKKU 124202,4 m ²	60991,5 m ²

Ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki 1906 projekteerimisel moodustavad pindalakaod tervikutes $124202,4/437556 * 100\% = 28,39\%$ ehk 28,4 %

Tabel 16. Andmed maavara varude suuruse ja kihi tootlikkuse kohta kamberploki ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kaevandamise korral

Kihindi paksus, m	
Üldine (A – F ₁)	2,79
Põlevkivikihtide summaarne paksus	2,11

Väljatav paksus	2,79
Kasulik väljatav paksus	2,11
Põlevkivikihtide keskmine tihedus, t/m ³	1,57
Kihindi tootlikkus, t/m ²	
Kasulik	3,31
Väljatav	3,31
Põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu, t	1 449 492
Kamberploki pindala, m ²	
Summaarne	437 556
Väljatav	313 354
Tervikute summaarne pindala	124 202
Kaod pindala järgi	
Tonni	411 445
%	28,4

Põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu arvutatakse korrutisena järgmistest parameetritest: põlevkivikihtide summaarne paksus, põlevkivikihtide keskmine tihedus ja kamberploki 1906 summaarne pindala. Sellest selgub et põlevkivikihtide summaarne bilansiline varu on 1 449 492 t, millest 28,4% on põlevkivi kaod tervikutes (Tabel 16), mis tähendab kamberploki väljatav põlevkivi kogus on 1 038 046 t.

Väljatava kaevise kogus arvutatakse valemi 10 järgnevalt:

$$Q_m = S_{väljatav\ varu} * h_{pk}$$

kus Q_m – kaevise kogus, m³;

$S_{väljatav\ varu}$ – kamberploki puhas väljatav pindala, m²;

h_{pk} – põlevkivi tootuskihindi paksus.

Seega kamberploki väljatav kaevise kogus on:

$$Q_m = 313\ 354 * 2,79 = 874\ 257\ m^3$$

6.9 Kamberploki 1906 tööiga

Kamberploki tööeaks peetakse 2 aastat. Kui on teada kamberploki ööpäevane, kuu või aastane tootmiskoormus ja väljatava ala pindala, on võimalik kõigi kolme mäetööde ettevalmistusskeemi jaoks arvutada kamberploki võimalik tööiga.

Hetkel on Estonia kaevanduse kamberplokkide toodangu ööpäevane tootmiskaht ca 1500 m³, see on tingimustes, kus kaevandus töötab kahes vahetuses.

Esitan andmed kamberploki 1906 tööeas sõltuvalt väljatava mäemassi mahust (Tabel 17). Esimese variandi korral toimub kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega, mis piiritlevad kaitstavaid objekte, teise variandi korral toimub kamberploki kaevandamine kaitsetervikutega ning kolmanda

variandi korral toimub kamberploki kaevandamine riskülikukujuliste hoidetsoonidega, mis toetavad kaitstavat objekti. Arvutused on tehtud kamberploki koormusel 1500 m³ kaevist ööpäevas ja väljatava kihindi paksuse korral ja lae kõrgusel 2,80 m. Arvestades sellega, et 2021. aastal on 254 tööpäeva, oli lihtne arvutada kamberploki tööeaaks ~ 2 aastat.

Tabel 17. Kamberploki 1906 tööea arvutused			
	I variant	II variant	III variant
Väljatav mäemass	872 533 m ³	868 933 t	874 257 t
KP1906 tööiga	581 ööp	579 ööp	582 ööp

6.10 Majanduslikud näitajad

Kamberplokist 1906 väljatud pindalalt ja hilisemalt kaubastatud kaevise eest teenib ettevõtte kasumit. Seetõttu on loomulik, et tervikutes põlevkivi kadude vähendamisel saadakse rohkem kaubapõlevkiviks töödeldavat kaevist. Seejuures ei tohi rikkuda kaevandamisega kehtiva maapinna ja rajatiste kaitsmise korra nõudeid.

Aprillist-juunini 2021. aasta prognoositav põlevkivi kaevandamisõiguse tasumäär on 1,380 EUR iga kaevandatud ja kasutuskõlbmatuks muudetud põlevkivi tonni eest. Võrreldes eelmise 2020. aastaga on tasumäär tõusnud 5 korda. 2020. aastal oli tasumäär 0,275 EUR/t. Maksmine ressursside eest toimub kord kvartalis ja see tasu sisaldub põlevkivi omahinnas.

Põlevkiviõli müügihind sõltub suurel määral nafta hinnast maailmaturgudel. „Ühest tonnist standardse kvaliteediga põlevkivist saab 11-12,5% õliprodukte, lihtsuse mõttes põlevkiviõli. Ühe tonni põlevkiviõli tootmiseks kulub ca 8 tonni põlevkivi“ (Purga, 2020).

Näiteks võiks tuua põlevkivi 5 EUR/t omahinna struktuuri ja näitan millistest kulukomponentidest see koosneb (Enefit Power AS, 2021):

- Otsekulud toodangu valmistamiseks (lõhkeaine, lõhkevahendid, puurinstrumentid, ankurtoestik, metsamaterjal, magnetiit, lõhketraat)
- Kulud töövahenditele ja transpordivahenditele (materjalid ja varuosad, määrdeained, kütus, hooldus- ja remonditööd, rent, tootmisinventaar)
- Tööjõukulud
- Kütusekulud
- Maapealne ja allmaa elektrikulu
- Veeressursimaks ja põlevkivi ressursitasu

2020. aasta kevadel „nafta hind langes nädala alguses alla 20 USD/barrel, sellise hinna juures on põlevkiviõli tonni müügihind 100-140 USD/t“ (Purga, 2020). 19. aprillil 2021 võrdus 1 USD = 0,83 EUR. Võtsin võrdleva analüüsi jaoks eelmise aasta põlevkiviõli tonni müügihinna ja sain 82,78 – 115.89 EUR/t.

Tabel 18 on esitatud arvutuslikul teel saadud näitajad kõigi kolme kamberploki 1906 ettevalmistusskeemi kohta, kus esimese variandi korral toimub kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega, mis piiritlevad kaitstavat objekti, teise variandi korral – kamberploki kaevandamine

toimub kaitsetervikutega kogu kamberploki ulatuses ning kolmanda variandi korral – kamberploki kaevandamine toimub riskülikukujuliste hoidetsoonidega. Arvutused tõestasid, et kolmanda variandi korral saab ettevõtte rohkem kasumit tänu suuremale väljatava põlevkivi mahule.

„Põlevkivi kaevandamise efektiivsuse tõstmise peamiseks tingimuseks on allmaakaevandamisega kaasneva põlevkivivaru kao vähendamine“ (Keskkonnaministeerium, 2015, lk 12).

Tabel 18. Majanduslikud näitajad			
	I variant	II variant	III variant
Väljatav põlevkivi	1 036 001 t	1 031 726 t	1 038 046 t
Põlevkivi omahind	5 180 003 €	5 158 629 €	5 190 232 €
Toodetud põlevkiviõli	129 500 t	128 966 t	129 756 t
Põlevkiviõli müügihind	10 720 016 €	10 675 783 €	10 741 186 €
Tulu	5 540 013 €	5 517 154 €	5 550 954 €

7 Tulemused

Käesoleva töö käigus projekteerisin kamberploki 1906 jaoks kolm erinevat kamberploki mäetööde ettevalmistusskeemi. Esitan alljärgnevalt töö käigus saadud olulisemad erisused nende skeemide vahel ja annan ülevaate nendest efektiivseima skeemi rakendamise põhjuste kohta:

1. Kaitsetervikutega kaevandamisel kogu kamberploki ulatuses moodustavad kaod tervikutes 28,82% kogu kamberploki 1906 töötlemata pindalast. See on tehnoloogiliselt kõige mugavam variant allmaajaoskonna töökorralduse ja allmaatehnika tootlikkuse tõstmiseks, kuid toob kaasa kadude suurenemise.
2. Ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki kaevandamisel moodustavad kaod tervikutes 28,39% kamberploki 1906 pindalast. Sel variandi puhul on põlevkivi kaod tervikutes võrreldes teiste mäetööde ettevalmistusskeemidega kõige madalamad. Selline mäetööde ettevalmistusskeem on kamberplokis töötamiseks tootjatele küllaltki mugav, sest kaitsvaid objekte piiritleb ristkülik, mis on paralleelne poolplokkide piiridega.
3. Kamberploki kaevandamisel hoidetsoonidega, mis piiritlevad kaitstavat objekti, moodustavad kaod tervikutes 28,53% kogu kamberploki 1906 pindalast. Tugevdatud kaitsetervikud kohaliku sõidutee Pagari-Tarakuse-Iluka kogupikkuses suurendavad põlevkivi kadusid. See variant on tootjatele kamberplokis töötamiseks kõige ebamugavam. Sellise skeemi korral on häiritud kamberploki tuulutus mis takistab koristuse tuulutamist pärast lõhketööd. Allmaa koristustehnika diislikütuse kulu suurenemise põhjuseks on pikenevad sõiduteed suuremõõtmeliste tervikute vahel manööverdades.
4. Kaevanduse jaoks on kasumlikum kamberploki 1906 kaevandamine ristkülikukujuliste hoidetsoonidega skeemi järgi. Minu poolt tehtud arvutuste kohaselt suurendab selline innovatsioon kaevandusele tulu kahe aasta peale kokku innovatsiooniga suurenev tulususe rahaline olla 5 550 954 €.
5. Ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki kaevandamise skeemi rakendamise tulu on 10 941 € võrra suurem kamberploki kaevandamise hoidetsoonidega skeemist ning 33 800 € võrra tulusam kamberploki kaitsetervikutega kaevandamise skeemi kasutuselevõtu korral.

Järeldused ja kokkuvõte

Estonia kaevandus on maailma suurim põlevkivi kaevandamise ettevõtte. Vastavalt mäetööde arengukavale töötab Estonia kaevandus 2034. aastani.

Käesoleva magistr töö käigus projekteerisin mäetööde läbiviimiseks normaalsetes mäetehniliste tingimustega kamberplokis nr 1906 kolm erinevat ettevalmistusskeemi: kamberploki kaevandamine kaitsetervikutega kogu ploki ulatuses, ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberploki kaevandamine ning kamberploki kaevandamine hoidetsoonidega, mis piiritlevad kaitstavat objekti.

Kolme erineva mäetööde ettevalmistusskeemi koostamise eesmärgiks oli tervikutes põlevkivi kadude analüüs. Igas skeemi korral arvutasin välja kambrite ja tervikute parameetrid, koormused tervikute reale, kamberploki tööiga ja skeemi juurutamisest tulenev majanduseffekt.

Töö käigus pakkusin välja ka muid võimalusi põlevkivi kadude vähendamiseks, rikkumata sealjuures kaevandamisega kehtiva maapinna ja rajatiste kaitsmise korra nõudeid.

Kuna kambrite ja tervikute parameetrite valik sõltub suuresti tootuskihi lasumissügavusest, siis uurisin, mõõtsin, analüüsisin täiendavaid andmeid, millised sain lennutades uuenduslikku töövahendit – drooni kamberploki 1906 maapinda kohal. Tänu sellele sain andmed, mille abil sai arvutada täpset tootsa kihi lasumissügavust .

Parimaks minu poolt analüüsitud kolmest variandist osutus ristkülikukujuliste hoidetsoonidega kamberplokist varude väljamine. Selle variandi puhul osutusid pindalakaod tervikutes kõige väiksemateks ja on nii töökorralduselt kui ka tehnoloogiliselt mugavamaks variandiks kaevandajatele.

Arvestades asjaolu, et Estonia kaevanduse territooriumil on väga palju hooneid ja rajatisi, mida ettevõtte on kohustatud kaitsma kaevandamise mõjude eest, siis minu poolt projekteeritud kamberkaevandamisviisi juurutamine on hetkel parim moodus maapinnal asuvate objektide kaitsmiseks.

Teadaolevalt olid 2021. aastal põlevkivi kaod Estonia kaevanduses 33%. Minu poolt magistr töö raames tehtud erinevate ettevalmistusskeemide võrdlev analüüs tõestab, et parima variandi rakendamisel moodustavad kamberplokis nr 1906 põlevkivi kaod 28,39%.

Tänuavaldused

Tänan enda lõputöö juhendajat Erik Väli heade nõuannete ja kiire reageerimise eest minu pöördumistele. Tänan vanemlektorit Heidi Elisabet Soosalu magistritöö inglise keele korrektuuride eest. Tänan Estonia kaevanduse geolooge ja markšeidereid abi eest välitööde läbiviimisel, vajaliku dokumentatsiooni ja abi eest põlevkivitööstuse arhiveeritud andmete otsingutel.

Kirjanduse loetelu

- Enefit Power AS. (01 2021. a.). Estonia kaevanduse mäetööde arengukava 2021-2025. Väike-Pungerja, Eesti.
- Enefit Power AS. (01 2021. a.). Estonia kaevanduse mäetööde plaan 2021-2025. Väike-Pungerja, Eesti.
- Enefit Power AS. (01 2021. a.). Estonia kaevanduse omahind. Väike-Pungerja, Eesti.
- Estonia Kaevandused AS Estonia kaevandus. (30. 04 2019. a.). Estonia kaevanduse allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise juhend. Väike-Pungerja, Eesti.
- Keskkonnaministeerium. (2015). *Riigi Teataja*. Kasutamise kuupäev: 03 2021. a., allikas Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030:
https://www.riigiteataja.ee/akt/3180/3201/6002/RKo_16032016_Lisa.pdf#
- Keskkonnaminister. (17. 12 2018. a.). *Üldgeoloogilise uurimistöö ning maavara geoloogilise uuringu kord ja nõuded ning nõuded fosforiidi, metallitoorme, põlevkivi, aluskorra ehituskivi, järvelubja, järvemuda, meremuda, kruusa, liiva, lubjakivi, dolokivi, savi ja turba omaduste kohta maavarana*. Kasutamise kuupäev: 20. 03 2021. a., allikas Riigi Teataja:
<https://www.riigiteataja.ee/akt/114012020009?leiaKehtiv>
- Kovaljova, M. (2018). Estonia kaevanduse kaeveõonte profiilid. Väike-Pungerja, Eesti.
- Kutsar, R. (2016-2017). *AS Enefit Kaevandused Estonia kaevanduse maavara kaevandamisloa KMIN-054 pikendamise taotluse keskkonnamõju hindamine (Töö nr 2596/16)*. Kasutamise kuupäev: 5. 04 2021. a., allikas Envir:
https://www.envir.ee/sites/default/files/estonia_kaevanduse_kaevandusloa_pikendamise_kmh_programmi_lisad_17_11_2016.pdf
- Maa-amet. (2016). *BK77 ja EH2000 kõrguste ülemineku kalkulaator*. Kasutamise kuupäev: 9. 04 2021. a., allikas Maa-ameti geoportaal: <https://gpa.maaamet.ee/calc/ymudel/>
- Maa-amet. (2016). *Põhivõrgupunkt VÄIKE-PUNGERJA97*. Kasutamise kuupäev: 7. 04 2021. a., allikas Geodeetiliste punktide andmekogu: https://gpa.maaamet.ee/?refnr_id=63395
- Maa-amet. (25. 11 2019. a.). *Euroopa kõrgussüsteem*. Kasutamise kuupäev: 05 2021. a., allikas Maaamet: <https://www.maaamet.ee/et/eesmargid-tegevused/geodeesia/euroopa-korgussusteem>
- Maa-amet. (19. 01 2021. a.). *BK77 kõrguste ja EH2000 kõrguste vahelised üleminekuparameetrid*. Kasutamise kuupäev: 10. 04 2021. a., allikas Maa-ameti geoportaal: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Geodeetilised-andmed/Eesti-geodeetiline-susteem-p223.html>
- Maa-amet. (4. 05 2021. a.). *Maa-ameti geoportaal*. Kasutamise kuupäev: 8. 05 2021. a., allikas Eesti kaart: <https://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis>
- Majandus- ja Taristuminister. (8. 09 2017. a.). *määrus nr 49 "Lõhkematerjali kasutamise ja hävitamise nõuded" Lisa „Ohuala ja ohutute laengute määramine“*. Kasutamise kuupäev: 04 2021. a., allikas Riigi Teataja:
https://www.riigiteataja.ee/akt/1120/9201/7004/MKM_08092017_m49_lisa.pdf#

- Majandus- ja taristuminister. (3. 05 2019. a.). *määrus nr 32 "Markšeiderimöödistuse täpsustatud nõuded ja kord"*. Kasutamise kuupäev: 03. 2021. a., allikas Riigi Teataja: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107052019005?leiaKehtiv>
- Majandus- ja taristuminister. (3. 05 2019. a.). *määruse nr 32 Lisa "Fotogramm-meetrilise möödistuse nõuded mehitamata õhusõiduki kasutamisele markšeiderimöödistusel"*. Kasutamise kuupäev: 3. 04 2021. a., allikas Riigi Teataja: https://www.riigiteataja.ee/akt/1180/8202/0004/MKM_12082020_m48lisa.pdf#
- Majandusminister. (1997). *Allmaakaevandamisel maapinna ja ehitiste hoidmise kord*. Allikas: Riigi Teataja: <https://www.riigiteataja.ee/akt/32192>
- Metsur, M., ja Tamm, I. (12. 2014. a.). *Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016-2030 keskkonnamõju strateegiline hindamise aruanne*. Kasutamise kuupäev: 04. 2021. a., allikas Envir: https://www.envir.ee/sites/default/files/pak_ksh_heakskitmiseks_03.12.2014.pdf
- Nurklik, T. (27. 01 2004. a.). *Maapealsete hoonete kaitseprojekt arvestades lõhketööde seismilist mõju*. Väike-Pungerja, Eesti.
- Purga, J. (4. 04 2020. a.). *Uut põlevkiviõlitehast ei tule*. Kasutamise kuupäev: 5. 05 2021. a., allikas Põhjarannik: <https://pohjarannik.postimees.ee/6941957/jaanus-purga-uut-polevkiviolitehast-ei-tule>
- Reinsalu, E. (11. 09 2006. a.). *Erinevate kaevandamistehnoloogiate võimalused ja piirangud*. Kasutamise kuupäev: 10. 05 2021. a., allikas Envir: <https://www.envir.ee/sites/default/files/reinsalukaevandamistehnoloogiad.pdf>
- Reinsalu, E. (2008). *Mäemajandus*. Kasutamise kuupäev: 04. 2021. a., allikas TalTech digikogu: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/b758247b-2bf1-442f-80bf-6eb622296f15>
- Reinsalu, E. (02. 2016. a.). *Eesti mäendus: maapõueinseneri õpik*. Kasutamise kuupäev: 03. 2021. a., allikas TalTech digikogu: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/e7f1382e-e004-44dd-acc4-c1defb847600>
- Reinsalu, E. (2019). *Eesti mäendus III: Diplomeeritud mäeinseneri õpik*. Kasutamise kuupäev: 04. 2021. a., allikas TalTech digikogu: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/b19567af-1af8-4301-8606-089bedb5e9f8>
- Reinsalu, E. (04. 2021. a.). *Eesti väike mäeleksikon*. Kasutamise kuupäev: 4. 05 2021. a., allikas TalTech digikogu: <https://digikogu.taltech.ee/testimine/en/Download/1e0ecc07-43bb-4e9c-877c-1f498e6f8b50>
- Riigikogu. (27. 10 2016. a.). *Maapõueseadus*. Kasutamise kuupäev: 15. 03 2021. a., allikas Riigi Teataja: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110072020059?leiaKehtiv>
- Transpordiamet. (2021). *Mehitamata õhusõiduki ühekordne luba*. Kasutamise kuupäev: 03. 04 2021. a., allikas Ecaa: <https://www.ecaa.ee/et/lennundustehnika-ja-lennutegevus/mehitamata-ohusoidukid-sealhulgas-droonid/uhokordne-luba>
- Utrobina, L. (2019). *Kamberploki 1906 tootuskihi läbilõige*. Väike-Pungerja, Eesti.
- Utrobina, L. (2020). *Estonia kaevanduse varude ümberindamine*. Väike-Pungerja, Eesti.
- Utrobina, L. (2021). *Kamberploki 1906 mäetingimused*. Väike-Pungerja, Eesti.

- Лугус, Э. Ф. (1965). *Отчёт о геолого-разведочных работах на площади шахтного поля Эстония [Estonia kaevanduse geoloogilise uuringu aruanne]*. Kohtla-Järve: Государственный производственный геологический комитет ЭССР.
- Оглоблин, Д. (1972). *Маркшейдерское дело [Markšneideriasjandus]*. Moskva: Недра.
- Омельченко, А. Н. (1979). *Справочник по маркшейдерскому делу [Markšneideriasjanduse käsiraamat]*. Moskva: Недра.
- Омельченко, А. Н. (1987). *Терминологический словарь по маркшейдерскому делу [Markšneideriasjanduse terminoloogiline sõnaraamat]*. Moskva: Недра.
- Сливкин, М. (1971). О съёмке камерных блоков со столбчатыми целиками [Kamberplokkide tulptervikutega mõõdistamisest]. Jõhvi, Eesti.

Lisa 1. Lõputöö ülesanne

Töö ID	LG70LT	Õppekava kood	LARM18/18
Üliõpilane	Marina Kovaljova	Matrikli nr	192216LARM
Töö liik	magistritöö	Õppeaine kood	-
Juhendaja	Erik Väli, LG - geoloogia instituut	Ülesanne kehtib kuni	-
Töö pealkiri	Põlevkivi kadude analüüs ja optimeerimisvõimalused Estonia kaevanduse näitel		
Pealkiri ingl k	Analysis of oil shale losses and possibilities for optimization: a case study of the Estonia mine		
Töö sisu põhipunktid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kamberploki 1906 kohal maapinna uurimine drooniga 2. Tervikute ja kambrite parameetrite õige valik ja arvutus 3. Maapinnal ehitiste ja rajatiste kaitsmiseks meetmed 4. Kamberploki 1906 mäetööde ettevalmistusskeem 5. Iga mäetööde ettevalmistusskeemi põlevkivi kadude võrdlev analüüs 6. Parima variandi valik kamberploki 1906 kaevandamiseks 		
Seotud teadusprojekt ja/või asutus	-		
Lisamärkused	-		
Esitamise kuupäev	24. mai 2021	Kaitsmise kuupäev	4. juuni 2021

Üliõpilane

Juhendaja

Konsultant

nimi

allkiri

kuupäev

Lisa 2. GNSS vastuvõtuseadme kontroll-leht

	Mudel	SN
Seade:	Trimble R10	5732470232
Mõõtmisviis:	Topopunkt	

Kontrollpunkti nr	N	E	Z	Möödistamisaeg
Väike-Pungerja97	6564716.875	691396.747	55.978	

1	6564716.872	691396.757	55.923	06.04.2021 09:49:22
Erinevus	-0.003	0.010	-0.055	

2	6564716.877	691396.764	55.927	06.04.2021 11:47:40
Erinevus	0.002	0.017	-0.051	

Tulemused vastavad Majandus - ja taristuministri määruse "Markšneiderimöödistuse täpsustatud nõuded ja kord" §1 (4) toodud täpsusnõuetele ($\Delta H < 0,03$ m; $\Delta V < 0,07$ m)

Marina Kovaljova

Markšneider

06.04.2021

Lisa 3. Lähislae lubatud ava suurus ja kambrite laiused

Определение допустимого пролета и ширины камер

Формула для расчета :

$$l_{v.l.} = k_h \times k_r \times k_o \times k_a \sqrt{\frac{k_t}{n_1}} \times (K + M \times H_k) \quad (1.3)$$

где

	l	h
k_h - коэффициент, учитывающий важность охраняемого объекта	2,8	3,8
k_r - коэффициент, учитывающий устойчивость кровли в зависимости от горногеологических условий	1	1
k_o - коэффициент, учитывающий ослабление кровли под влиянием карста	0,7	0,7
n_1 - коэффициент запаса прочности пород кровли	1	1
K - параметр, зависящий от свойств горных пород	1,8	1,8
M - параметр, зависящий от свойств горных пород	7	7
H_k - мощность карбонатных пород кровли, м	0,54	0,54
k_t - коэффициент, учитывающий изменение прочности горных пород во времени	26	26
h_a - мощность скрепляемой анкерами пачки пород, м	0,73	0,73
k_a - коэффициент, учитывающий влияние анкерной крепи на устойчивость кровли,	2,1	2,1
	$k_a = 0.5(1 + \sqrt{h_a})$	1,22
		1,22

Допустимый пролет непосредственной кровли =

11,486 **11,486**

Предварительные значения : ширина продольной камеры **расчетная** , b =

7,5 **7,5**

ширина поперечной камеры, **расчетная** A =

7,5 **7,5**

Lisa 4. Kaitseridades kambrite arvutus

Расчет целликов в охранных рядах

Формула для расчета :

2.18 Целлики двухрядные, перпендикулярно границе охраняемой зоны (ширина x - задается)

$$y = \frac{0,5\pi H(A+l_o + Htg\omega)(0,02A + 0,25)(x+b) + k_k q R_r(x-q)}{k_k R_r(x-q) + \pi H(x+b)[1 + 0,02(l_o + Htg\omega)]} \quad (2.18)$$

где

h

- вынимаемая мощность пласта, м

2,8

3,8

x - ширина охранных целликов, м

=

7,5

8

y - длина охранных целликов вдоль бортового или сборного штрека, м

=

8,074

9,016

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

=

0,6

0,6

π - коэффициент прочности целликов

=

1,3

1,3

γ - объемный вес пород налегающей толщ, т/м³

=

0,025

0,025

H - глубина разработки (до кровли пласта), м

=

57,8

56,8

k_t - кубиковая прочность пород целлика при неограниченно долгом подержании кровли, Ра

=

7

7

b - ширина сбоек (внутри полублока-камер) между охранными целликами, м

=

5

5

A - ширина камер между целликами охранного ряда и смежного с ним внутреннего ряда, м

=

6

6

l_o - шаг последующих осадок пород налегающей толщ, м

=

12

12

ω - угол излома пород налегающей толщ

=

19

19

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

=

1,44

1,28

Длина целликов охранного ряда =

8,074

9,016

Lisa 5. Kambritevaheliste tervikute arvutus

Расчет междукammerных целликов

Формула для расчета :

2.31 Прямоугольные в плане целлики, вытянутые попереk камерного блока (ширина x - задается)

$$\gamma = \frac{n \nu H (x + A) + q R k_t k_k (x - q)}{R k_t k_k (x - q) - n \nu H (x + A)} \quad (2.31)$$

где

x - ширина целликов, м

γ - длина целликов, м

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

n - коэффициент прочности целликов

ν - объемный вес пород налегающей толщи, т/м³

H - глубина разрабoтки (до кровли пласта), м

k_t - кубиковая прочность пород целлика при неограниченно долгом подержании кровли, Pa

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 3,8

= 6,6 7,1

= 6,7 7,9

= 0,6 1

= 1,2 1,2

= 0,025 0,025

= 57,8 56,8

= 7 7

= 7,5 6,7

= 7,4 6,9

= 1,34 1,18

Взять данные из "Расчета ширины камер"

Длина междукammerных целликов =

6,721 7,906

Lisa 6. Hoidetsoonis kambritevaheliste tervikute arvutus

Расчет междукамерных целликов

Формула для расчета :

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

$$\gamma = \frac{nb\gamma H(x+A) + qR_k k_k (x-q)}{R_k k_k (x-q) - n\gamma H(x+A)}$$

(2.31)

где

x - ширина целликов, м

γ - длина целликов, м

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

n - коэффициент прочности целликов

γ - объемный вес пород налегающей толщи, т/м³

H - глубина разработки (до кровли пласта), м

k_k - кубиковая прочность пород целлика 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	3,8
-----	---------------------------------	---	-----	-----

= 6,8 7,4

= 7,1 8,0

= 0,6 1

= 1,3 1,3

= 0,025 0,025

= 57,8 56,8

= 7 7

= 7,5 6,6

= 7,2 6,6

= 1,36 1,21

Взять данные из "Расчета ширины камер"

Длина междукамерных целликов =

7,073 7,977