

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut



**PUUR- JA LÕHKETÖÖDE TEHNILISTE  
PARAMEETRITE JUHTIMISE VÕIMALUSTE  
ANALÜÜS PÕLEVKIVI ALLMAAKAEVANDAMISEL  
ESTONIA KAEVANDUSE TINGIMUSTEL**

Bakalaureuse lõputöö AKM40LT

ID 2702

Autor: Andres Kütismaa

Üliõpilaskood: 134961

Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSc

**Tallinn 2016**

## Sisukord

1	TÖÖS KASUTATUD JOONISED JA TABELID.....	5
2	LISAD .....	6
	BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE.....	7
	ABSTRACT .....	8
3	EESSÕNA .....	9
4	SISSEJUHATUS .....	10
5	METOODIKA .....	11
6	ESTONIA KAEVANDUS .....	12
7	PUUR-LÕHKETÖÖDE MEETOD ESTONIA KAEVANDUSES.....	13
8	PARAMEETRITE JA VALEMITE VALIK .....	14
8.1	Algmurre .....	14
8.1	Ee edasinihke samm.....	15
8.1	Korraga lõhatava kivimi maht .....	16
8.2	Põlevkivikihindis lõhkmise lõhkaine erikulu .....	16
8.3	Lõhkeaine kulu ee lõhkamiseks .....	18
8.4	Laengu mass ühes lõhkeaugus .....	19
8.5	Lõhkeaukude arvu leidmine.....	20
8.6	Algmurde puuraugu pikkus .....	22
8.7	Raim- ja kontuurlaengute pikkus .....	22
8.8	Lõhkeaine tegelik kulu.....	23
8.9	Lõhkeaine tegelik erikulu .....	23
8.10	Puurtööde maht .....	23
8.11	Puutööde erimaht .....	23
8.12	Kasutatav lõhkeaine .....	24
8.13	Kadude arvutus .....	24
9	VÕIMALUSTE ARVUTUS JA ANALÜÜS.....	25
9.1	Algandmed ja hetke olukord.....	25
9.2	Lõhkeaugud sügavusega 4 m.....	25
9.3	Lõhkeaugud sügavusega 3,5 m.....	26
9.4	Lõhkeaugud sügavusega 3 m.....	27

9.5	Lõhkeaugud sügavusega 2,5 m .....	28
9.6	Lõhkeaugud sügavusega 2 m .....	29
9.7	Lõhkeaugud sügavusega 1,5 m .....	30
10	OPTIMAALSE VARIANDI LEIDMINE .....	31
10.1	Ee edasinihe .....	31
10.2	Lõhkeaine erikulu ja kulu ee lõhkamiseks .....	32
10.3	Lõhede tsooni laius .....	34
10.4	Puurtööde maht ja erimaht .....	36
10.5	Optimaalne variant .....	37
11	TEHNOLOOGILISE PÕLEVKIVI SAAGISE TÕSTMISE VÕIMALUSED .....	38
12	PÕLEVKIVI KAEVANDAMISE SELEKTIIVSUS .....	40
13	MAJANDUSANALÜÜS .....	41
13.1	Võrdlus optimaalsema ja hetkel kasutuses oleva meetodi vahel .....	42
14	BAKALAUREUSETÖÖ TULEMUSED JA SOOVITUSED EDASISEKS .....	43
15	KOKKUVÕTE .....	44
16	KASUTATUD KIRJANDUS .....	46
Lisa 1.	Estonia kaevanduse lõhketööde pass .....	47
Lisa 2.	Lõhkeaugud sügavusega 1,5 m .....	51
Lisa 3.	Lõhkeaugud sügavusega 2 m .....	52
Lisa 4.	Lõhkeaugud sügavusega 2,5 m .....	53
Lisa 5.	Lõhkeaugud sügavusega 3 m .....	54
Lisa 6.	Lõhkeaugud sügavusega 3,5 m .....	55
Lisa 7.	Lõhkeaugud sügavusega 4 m .....	56
Lisa 8.	Optimaalsuse leidmine .....	57
Lisa 9.	OÜ Inseneribüroo STEIGER´i mõõdetud tervikud .....	58
Lisa 10.	Majandusanalüüs .....	59

# 1 TÖÖS KASUTATUD JOONISED JA TABELID

Joonis 1. Estonia kaevanduse asukoht. Joonise koostamisel kasutatud Mapinfot, Maa-ameti kaardiserverit ja Autocad joonestamistarkvara.....	12
Joonis 2. Estonia kaevanduses kasutuses olev lõhkeaukude paigutus ja numeratsioon.....	14
Joonis 3. Puuritud algmurre C-kihis. ....	14
Joonis 4. Puurvanker SMAG GB280. Pildi autor Raul Roots [8]. ....	15
Joonis 5. Boomer S1 D puurvanker [9]. ....	21
Joonis 6. Ee lõhkamine 4 m puuraukudega. Joonise tegemiseks kasutati Autocad joonestusprogrammi. ....	26
Joonis 7. Ee lõhkamine 3,5 m puuraukudega. Joonise tegemiseks kasutati Autocad joonestusprogrammi. ....	27
Joonis 8. Ee lõhkamine 3 m puuraukudega. Joonise tegemiseks kasutati Autocad joonestusprogrammi. ....	28
Joonis 9. Ee lõhkamine 2,5 m puuraukudega. Joonise tegemiseks kasutati Autocad joonestusprogrammi. ....	29
Joonis 10. Ee lõhkamine 2 m puuraukudega. Joonise tegemiseks kasutati Autocad joonestusprogrammi. ....	30
Joonis 11. Ee lõhkamine 1,5 m puuraukudega. Joonise tegemiseks kasutati Autocad joonestusprogrammi. ....	31
Joonis 12. Ee edasinihke muutus kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it.....	32
Joonis 13. Lõhkeaine erikulu muutus kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it. ....	33
Joonis 14. Ee lõhkamiseks vajamineva lõhkeaine koguse muutus kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it.....	34
Joonis 15. Tervikute kao muutus igast seinast kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it .....	35
Joonis 16. Tervikute kogu kao muutus kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it .....	35
Joonis 17. Puurtööde mahu muutus kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it.....	36
Joonis 18. Puurtööde erimahu muutus kui muutub lõhkeaugu sügavus. Joonise tegemiseks kasutati Microsoft Excel'it. ....	37
Joonis 19. Tehnoloogilise ja energeetilise põlevkivi jagunemine [1]. ....	39

Joonis 20. Põlevkivi kihid ja vahekihid. Joonise koostamisel kasutatud Autocad joonestusprogrammi. ....	41
Tabel 1. Lõhkeaine normaalse erikulu leidmine [12]. ....	18
Tabel 2. Kivimi struktuuriteguri leidmine [12]. ....	18
Tabel 3. Laengu jaotatud massi leidmine [12]. ....	20
Tabel 4. Kasutatava lõhkeaine tehnilised näitajad [7]. ....	24
Tabel 5. Võrdlus optimaalsema ja hetkel kasutuses oleva meetodi vahel. Tabel koostatud Microsoft Exceliga. ....	42

## **2 LISAD**

- 2.1 Lisa 1. Estonia kaevanduse lõhketööde pass
- 2.2 Lisa 2. Lõhkeaugu sügavus 1,5 m
- 2.3 Lisa 3. Lõhkeaugu sügavus 2 m
- 2.4 Lisa 4. Lõhkeaugu sügavus 2,5 m
- 2.5 Lisa 5. Lõhkeaugu sügavus 3 m
- 2.6 Lisa 6. Lõhkeaugu sügavus 3,5 m
- 2.7 Lisa 7. Lõhkeaugu sügavus 4 m
- 2.8 Lisa 8. Optimaalsuse leidmine
- 2.9 Lisa 9. OÜ Inseneribüroo STEIGER´i mõõdetud tervikud
- 2.10 Lisa 10. Majandusanalüüs

## **ABSTRACT**

Blasting is an important part of mining. In North-East of Estonia drilling-blasting method is used in pillar mining. In Estonia oil shale mining there are used 6 large hole cut and 24 holes for blasting. Blast holes are drilled at 4 m deep and filled with explosive to blast oil shale with limestone layers to break them. Broken rock is transported to the surface by a conveyor where enrichment takes place.

The current method, where the blast depth is 4 m, a large amount of explosive is used, which makes a great specific charge. Quantity of explosives is huge, what makes a big explosion and damages the pillar what must uphold the ground. Because of that ~0.5 m thick zone in pillars get blemished and then pillars have to be kept bigger, which unfortunately makes mining losses higher. Also there are problems with accuracy of pillar dimensions, because of the big quantity of explosives the exact shape is difficult to achieve. Explosion with big charges have a huge impact on the environment. Explosions generated ground vibrations affect buildings, people and nature. It is necessary to find the optimal solution to minimize pillar losses, impact to environment and blasting costs, but advance must remain.

Edasi tuleb minu teorias leitud tulemused kinnitada katselõhkamistega. Paljud parameetrid on võetud umbkaudselt ning neid tuleb katselõhkamistega täpsustada. Sellega saab ka praktikas teada, kas leitud tulemused vastavad tegelikkusele.

## 15 KOKKUVÕTE

Lõputöö teema keskendus Estonia kaevandusele, kus eesmärgiks oli uurida puur-lõhketööde parameetrite juhtimise ja optimeerimise võimalusi põlevkivi allmaakaevandamisel. Teema on tingitud sellest, et hetkel Estonia kaevanduses kasutatakse lõhkamiseks 4 m lõhkeauke, mille tõttu on tervikutes pragunenud tsooni paksus, lõhkeaine erikulu ja kogukulu ning vibratsioonide mõju suur. Suhtlesin Eesti Energia kontaktisikuga, kes saatis mulle Estonia kaevanduses kasutuses olnud lõhketööde passi, kust sain algandmed. Edasine andmete töötlus toimus kasutades Microsoft Excelit, kus algandmete töötlemiseks kasutasin kahte erinevat meetodit:

- I. Enno Reinsalu „Puur- ja lõhketööd“ oli välja toodud eraldi kohandatud valemid Eesti põlevkivi tingimustes lõhkamiseks;
- II. М. Ф. Друкованный gaamatus „Справочник по буровзрывным работам“ olid valemid toodud üldiselt kaevandustes lõhkamise kohta.

Nende arvutusvalemitega leidsin optimaalsema meetodi, kuidas Estonia kaevanduses peaks lõhkamine toimuma. Analüüsisin kuut lõhkeaukude sügavuse varianti – 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m ja 4 m. Optimaalse tulemuse välja selgitamiseks kasutasin ee edasinihet, lõhkeaine erikulu ja kogu kulu, tervikutes pragunenud tsooni paksust ja maht ning puurtööde erimahtu ja kogu mahtu. Neid arvesse võttes leidsin, et optimaalsem variant on kui lõhkamiseks kasutada 2,5 m sügavusi lõhkeauke. Optimaalsem arvutusmeetod on II meetodi, sest siis on optimaalne lõhkeaine erikulu – 0,70 kg/m<sup>3</sup>, kogu kulu ee lõhkamiseks – 32 kg, tervikutes pragunenud tsooni paksus – 0,22 m, kogu pragunenud tsooni paksus ühes tervikus – 24,6 m<sup>3</sup>, puurtööde maht – 55,1 m ja erimaht – 1,2 m/m<sup>3</sup>.

Üks osa tööst oli leida võimalusi tehnoloogilise põlevkivi saagise suurendamiseks. Tehnoloogilise põlevkivi osakaalu saab tõsta puur-lõhketöödega põlevkivi raimamisel kui lõhata väiksemate laengutega kui seda praegu tehakse. Laengute paigutamisel oleks tehnoloogilise

põlevkivi saagise suurendamiseks otstarbekam jätta E, C ja B kihti vähem laenguid. Nendes kihtides on kõige paksemad põlevkivi kihid, kust saab kõige paremat tehnoloogilist põlevkivi.

Lisaks tuli bakalaureusetöös tähelepanu pöörata ka kaevandamise selektiivsusele ning viia läbi majandusanalüüs. Puur-lõhketöödega selektiivselt kaevandada ei saa, sest maavara väljatakse kogu kihindi ulatuses ehk lõhketöödega purustatakse põlevkivi ja ka lubjakivi vahekihid. Majandusanalüüsi koostamisel arvestasin, et 1 m puurimiseks kulub 6 minutit, 1 t põlevkivi maksab 20 eurot ning 1 kilo lõhkeainet maksab 2 eurot. Majandusanalüüsist tuli välja, et optimaalsemad tulemused tulid siis, kui lõhata 2,5 m lõhkeaukudega ning arvutusmeetodiks kasutada vene akadeemiku М. Ф. Друкованый välja töötatud süsteemi üldiseks kaevandustes lõhkamiseks. Puurtööde mahu juures 55,1 m kulub ee puurimiseks aega 5,5 h, ühe terviku rahaline kadu on 887 eurot ning ee lõhkamiseks kuluva lõhkeaine koguse 32 kg rahaline kulu on 64 eurot.

Kõik minu tehtud arvutused on teoreetilised ning enne tulemuste kasutamist põlevkivi kaevandamisel Estonia kaevanduses tuleks kindlasti sooritada proovilõhkamised. Proovilõhkamised näitavad, kas arvutused klapiivad tegelikusega ning kas tulemusi saab põlevkivi kaevandamisel kasutada.