

ASUTUSESISESEKS KASUTAMISEKS

Rektori otsus: 16.05.2018 nr 6.1-19/1301-1

Teabevaldaja nimi: Sisekaitseakadeemia

Juurdepääsupiirangu alus: AvTS § 35 lõige 1 punkt 3¹

Lõpptähtaeg: 16.05.2018

Märke vormistamise kuupäev 16.05.2023

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Garri Mölder

RS150

**OHUTUST TÕSTVAD JA KESKKONDA SÄÄSTVAD
LÕHKEMATERJALI HÄVITAMISMEETODID**

Lõputöö

Juhendaja:

Kalvar Tammine, BA

Kaasjuhendaja:

Tarmo Kull, MA

Tallinn 2018

ANNOTATSIOON

| | |
|---|-----------------------|
| Päästekolledž | Kaitsmine: juuni 2018 |
| <p>Töö pealkiri eesti keeles: Ohutust tõstvad ja keskkonda säästvad lõhkematerjali hävitamise meetodid</p> <p>Töö pealkiri võõrkeeles: Environmental render safe procedures</p> <p>Käesolev lõputöö on kirjutatud eesti keeles ingliskeelse kokkuvõttega. Töö maht koos lisadega on 50 lehekülge, millest 38 lehte moodustab töö põhiosa. Töös on kasutatud 45 eesti- ja ingliskeelset allikat ning töös on kolm joonist, 12 tabelit ning kaks lisa.</p> <p>Lõputöö eesmärk on välja selgitada, kas Eestis oleks otstarbekas võtta kasutusele uued lõhkematerjalide hävitamise meetodid, mis oleks ohutumad ja keskkonda säästvamad. Lõputöö empiiriline uuring, mille uurimisstrateegia on juhtumiuuring.</p> <p>Lõputöö uurimisülesanded on anda ülevaade lõhkematerjali hävitamise meetodite teoreetilisest poolest ning lõhkamise alustest. Teiseks uurimisülesandeks on koguda andmeid, analüüsida ja võrrelda Eestis kasutatavaid lõhkematerjali hävitamise meetodeid välisriikide omadega. Kolmandaks uurimisülesandeks on analüüsida intervjuusid ning teha ettepanekuid ohutust tõstva ja keskkonda säästva lõhkematerjali hävitamise meetodi kasutuselevõtu kohta Eestis.</p> <p>Lõputöö uuringu tulemusena tegi autor neli ettepanekut, kuidas muuta demineerimistööst ohutumaks ning keskkonda säästvamaks.</p> | |
| Võtmesõnad: vesilõikamine, laserlõikamine, hävitusmeetodid, ohutus, demineerimine | |
| Võõrkeelsed võtmesõnad: eod, waterjet cutting, laser cutting, safety, render safe procedures EOD | |
| Lõputöö seos riiklike arengukavade ja prioriteetidega: SiM STAK 2015-2020 (6.5), Päästeameti strateegia 2015-2025 (turvalisuse tõstmine uute vahenditega) | |
| Säilitamise koht: Piiratud ligipääsuga töö (AK) | |
| <p>Töö autor: Garri Mölder</p> <p>Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste tööde autorite tööd, seisukohad, kirjalistest allikatest ja mujal allikates saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma lõputöö avaldamisega elektroonilises keskkonnas.</p> <p>Allkiri:</p> | |
| Vastab lõputöö nõuetele | |
| Juhendaja: Kalvar Tammine | Allkiri: |
| Vastab lõputöö nõuetele | |
| Kaasjuhendaja: Tarmo Kull | Allkiri: |
| Kaitsmisele lubatud | |
| Päästekolledži direktor Ain Karafin | Allkiri: |

SISUKORD

| | |
|---|----|
| MÕISTETE LOETELU | 5 |
| SISSEJUHATUS | 6 |
| 1.DEMINEERIMISTÖÖ JA LÕHKAMISTEORIA ALUSED | 9 |
| 2.EESTIS KASUTATAVAD LÕHKEMATERJALI HÄVITAMISMEETODID | 11 |
| 2.1 Kontaktlaengud | 11 |
| 2.1.1 Kamuflett ehk lõhkematerjali katmine pinnasega..... | 12 |
| 2.2 Erilaengud | 13 |
| 2.2.1 Kumulatiivpadrun | 14 |
| 2.2.2 Kumulatiivriba | 15 |
| 2.2.3 Lõhkekeha kesta mõõtmisvahend | 16 |
| 2.2.4 Põletamine..... | 17 |
| 2.3 Välisriikides kasutatavad lõhkamismeetodid | 18 |
| 2.3.1 Rahvusvahelised juhenddokumendid..... | 18 |
| 2.4 Vesilõikamine | 19 |
| 2.4.1 MACE | 22 |
| 2.4.2 Mini MACE | 25 |
| 2.4.3 Midi MACE | 25 |
| 2.4.4 Micro MACE | 25 |
| 2.5 Laserlõikamine..... | 26 |
| 2.5.1 Femto laserlõikamine..... | 26 |
| 2.5.2 THOR lasersüsteem | 27 |
| 2.6 Eesti ja välisriikide hävitusmeetodide võrdlus | 28 |
| 3.EMPIIRILINE OSA..... | 30 |
| 3.1 Valim..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Intervjuude analüüs..... | 31 |
| 3.2 Ettepanekud..... | 39 |
| KOKKUVÕTE | 42 |
| SUMMARY | 44 |
| VIIDATUD ALLIKATE LOETELU | 45 |
| LISAD..... | 49 |
| Lisa 1 Intervjuu küsimustik | 49 |
| Lisa 2. Jooniste ja tabelite loetelu | 50 |

MÕISTETE LOETELU

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

SISSEJUHATUS

Päästeseadusest tulenevalt on pommigruppide põhiülesandeks demineerimistöde teostamine maismaal kui ka siseveekogudes. Demineerimistöök on kõik pommiohu, lahingumoonu ohu ja plahvatusohuga seotud tegevus. (Päästeseadus, 2017)

Erinevalt päästesündmustest on demineerimissündmuste arv jätkuvalt kasvavas joones. Kui päästesüsteemis üritame luua tingimused, et päästesündmusi oleks vähem ning inimesed oleksid suutelised õnnetusi ennetama ja ära hoidma. Demineerimissüsteemis omakorda tähendab see, et mida rohkem lõhkekehi demineerijaid suudavad kahjustada või hävitada seda ohutamaks muutub kõigi Eestis viibivate isikute elu keskkond. Sellepärast on oluline pöörata tähelepanu lõhkematerjali hävitamismeetoditele, et oleks tagatud lõhkamistel demineerijate ja kõrvaliste isikute ohutus ning võimalikult säästlik suhtumine keskkonda. (Päästeamet, 2017b)

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Eesti demineerimisspetsialistid on osalenud mitmetel erinevatel välisriikides toimunud koolitustel ja õppepäevadel, kus on tutvunud erinevate lõhkematerjali hävitamismeetoditega. Näiteks kasutatakse laserlõikamist ja vesilõikamist välisriikides demineerimistöodel ja nende jaoks loodud hävituskohtadel.

Lõputöö raames uuritakse, milliseid erinevaid lõhkematerjali hävitamismeetodeid kasutatakse Eestis ja kuidas hävitamist ohutumalt ja keskkonda säästvamalt teostada.

Siseturvalisuse Arengukava 2015-2020 kohaselt on oluline edeneda demineerimisvaldkonnas võimekusi, mis aitaksid tagada inimeste **ohutust** demineerimistöodel ning lõhkematerjalide transportimisel. (Siseministerium, 2014, p. 82)

Riiklikult üks olulisemaid arengukavasid väärtustab demineerimistöõde ohutust ning võimekuste arendamist on antud teema **aktuaalne**. Eesti demineerijad on osalenud mitmel rahvusvahelisel välismissioonil ning koolitavad ka välisriikide demineerijaid. Seepärast on oluline ka panustada demineerimisvaldkonda täiendavaid ressursse, et demineerijad saaksid jätkuvalt olla Euroopa ühed hinnatanumad eriala spetsialistid. (Päästeamet, 2014)

Päästeameti strateegias 2015-2025 on välja toodud, et kasutades uusi tehnoloogilisi saavutusi oskuslikult, on võimalik oluliselt tõsta riigi elanike turvalisust. Sellepärast on oluline ka demineerimisvaldkonnas uusi tehnoloogilisi lahendusi kasutusele võtta. (Päästeamet, 2014b)

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Seetõttu leiab autor, et keskkonnasäästlikus samuti on oluline roll demineerimistöõde läbiviimisel.

Sarnasel teemal tegi 2003 aastal lõputöö Jakob Juhanson „Kumulatiivneefekt lõhkekehade hävitamisel”, mille käigus analüüsi kumulatiivpadruneid ning kumulatiivribasid ja nende kasutuselevõttu Eesti päästesüsteemis. (Juhanson, 2003)

Eelpool mainitud põhjustel, strateegiatel ning uuringutel leiab autor, et teema täidab aktuaalsuse ja uudsuse kriteeriumid.

Lõputöö **uurimisprobleem** on püstitatud järgmiselt: kas ja kuidas oleks võimalik võtta kasutusele uued lõhkematerjalide hävitusmeetodid Eestis, mis oleks ohutumad ja keskkonda säästvamad?

Uurimisprobleemile vastuse saamiseks ja lõputöö eesmärgiks saavutamiseks on seatud ka kolm **uurimisküsimust**.

- Milliseid lõhkematerjalide hävitamise meetodeid kasutatakse Eestis?
- Milliseid ohutuid ja keskkonda säästvaid lõhkematerjali hävitamise meetodeid kasutatakse välisriikides?
- Kuidas kasutatakse vesilõikamist ja laserlõikamist välisriikides?

Lõputöö **eesmärk** on välja selgitada kas Eestis oleks otstarbekas võtta kasutusele uued lõhkematerjalide hävitamise meetodid, mis oleks ohutumad ja keskkonda säästvamad.

Lõputöö uurimisülesanded on :

- Anda ülevaade lõhkematerjali hävitamiseetodite teoreetilisest poolest ning lõhkamise alustest.
- Koguda andmeid, analüüsida ja võrrelda Eestis kasutavaid lõhkematerjali hävitamiseetodeid välisriikide omadega.
- Analüüsida intervjuusid ning teha ettepanekuid ohutust tõstva ja keskkonda säästva lõhkematerjali hävitamiseetodi kasutuselevõtu kohta Eestis.

Lõputöö raames kasutatakse kvalitatiivset sisuanalüüsi ning viiakse läbi intervjuud läbi kõikides Eesti pommigruppides pommigruppide juhatajate, vanemdemineerijate ja juhtivdemineerijatega.

1.DEMINEERIMISTÖÖ JA LÕHKAMISTEOORIA ALUSED

Demineerimistöökse nimetaks eriliigilisi päästetöid, mille alla kuulub täpsustatud ja kindla ohukriteeriumiga– pommiohu, lahingumoonu ohu ja plahvatusohu tõrjumisega seotud tegevus maismaal ja siseveekogudel. Demineerimistöökse raames on võimalik kasutada mitmeid erimeetmeid, mida päästetöökse käigus kasutada ei ole lubatud. (Laaniste & Ojala, 2010, p. 16)

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Plahvatuseks nimetakse aine järsku oksüdeerumise- või lagunemisreaktsiooni, millega kaasneb temperatuuri ja rõhu järsk suurenemine. (Eesti standardikeskus, 1998). Lõhkematerjali, lõhke või süüteseadeldise plahvatusega seotud sündmused on demineerimisvaldkonna vastutusalas. (Päästeamet, 2015)

Plahvatused võivad jaguneda kolmeks vabaneva energialiigi järgi füüsiliseks plahvatuseks, keemiliseks plahvatuseks kui tuumaplahvatuseks. (Tomberg, 1998, p. 12)

- Füüsikaline plahvatus – plahvatusaine muutub ainult füüsiliselt, näiteks aurukatla plahvatust.
- Keemiline plahvatus – soojusenergia ja gaasid eralduvad ülikiirete keemiliste reaktsioonide mõjul. Üldjuhul on tegemist ülikiire oksüdeerumisega.
- Tuumaplahvatus – tuumaplahvatusel vabaneb energia aatomituuma reaktsioonide käigus.

Lõhketöökdel üldjuhul kasutatakse lõhkeaine keemilist plahvatust, kuna aine plahvatab ainult teatud tingimustel nagu näiteks temperatuuri järsul tõusmisel ja aine molekulide liikumiskiiruse ning energia löögist tuleneval kiirel suurenemisel. Suurenenud rõhu ja temperatuuri korral toimuvad lõhkeaines keemilised reaktsioonid oluliselt kiiremini, kui samad reaktsioonid normaalsetes tingimustes. Muutus molekulides põhjustab molekulisestest ja molekulivahelistest jõudude tekkimise, mis ületavad seoste tugevuse.

Seejärel toimub seoste katkemine ning aine muutub gaasilisse olekusse, mille tagajärel tekib plahvatus, kus vabaneb suur hulk energiat. (Juhanson, 2003, pp. 6-7)

Tulenevalt molekulisest seoste tugevusest, algimpulssi võimsusest ning lõhkeaine omadustest võib lõhkeaine laguneda erineva kiirusega. (Tomberg & Veersalu, 2017, p. 13)

Põlemiseks ehk termiline lagunemiseks nimetatakse lõhkeaine suhteliselt aeglane oksüdeerumine (keemiliste reaktsioonide kiirus kuni 400 m/s), mis toimub ainult kui lõhkeaine temperatuur ei ületa lõhkeaine leekpunkti. Termiline lagunemine toimub siis, kui lõhkeaine kvaliteet on madal ning selle algimpulss on nõrk. Põlemine toimub ainult õhuhapniku arvel. (Tomberg & Veersalu, 2017, p. 13)

Deflagratsiooniks ehk plahvatuslikuks põletamiseks nimetatakse nähtust, mille puhul põlemistsoon liigub lõhkeaines soojusjuhtivuse ja soojuskiirguse teel edasi kiirusega 400-1000 m/s. Lõhkeaines vabaneva energiahulk on võrdne detonatsioonil vabaneva energiahulgaga, aga kuna lõhkeaines toimuvate keemiliste reaktsioonide kiirus ei ole eriti suur, siis on võimsus võrreldes detonatsiooniga kümneid kordi väiksem. Plahvatuslik põlemine on iseloomulik paiskavatele lõhkeainetele, mida kasutades isegi suurte laengute puhul ei hävine lõhatav materjal ka laengu vahetus läheduses väikesteks osakesteks. Deflagratsiooni protsessil omab olulisemat rolli põlemine kui detonatsioon. Deflagratsioon võib üle minna detonatsiooniks sõltuvalt lõhkekeha omadustest ja välistingimustest. (Tomberg, 1998, p. 9)

Detonatsiooniks nimetatakse plahvatust, mis levib helist kiiremini (kuni 9000m/s) ning millega kaasneb lööklaine. (Eesti Standardikeskus, 2013). Gaasisegudes võib olla leegi levimise kiirus 1000 - 3500 m/s, tahkete ja vedelate ainete puhul kuni 9000 m/s. Sellise kiiruse puhul tekitavad detonatsioonisaadused suure rõhu ja nende paisumisel omakorda kaasneb plahvatus. (Aro, 1981, p. 64)

Oluline on identifitseerida lõhkekeha leiu puhul, mis lõhkekehaga on tegemist ning, mis lõhkeainet see sisaldab. Seejärel saab valida sobiva hävitusmeetodi lõhkekeha kahjutustamiseks või hävitamiseks. Tänapäeva demineerimistöodel eesmärk on suurtemates lõhkekehade puhul kutsuda esile detonatsiooni asemel esile deflagratsioon ehk plahvatuslik põlemine. Hoides ära erinevaid detonatsiooniga kaasnevaid ohte on võimalik hoida suuremad kahjud nii keskkonnale kui ka demineerimistöid teostavatele isikutele.

2.EESTIS KASUTATAVAD LÕHKEMATERJALI HÄVITAMISMEETODID

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Lisaks sõjategevusele leidub teisi põhjuseid, miks leitakse igal aastal nii suur hulk lõhkekehasid üle maailma. Kõige olulisemaks on viisiks lõhkekehadest vabanemiseks on nende ära viskamine (*dumping of ammunition*). Peale Teist Maailmasõda 1945 aastal viskasid sakslased üle 1,3 miljoni tonni lõhkekehasid Põhjamerre. Lisaks mineeriti merepõhjasid nii sakslaste ja inglaste poolt nii Põhjameres kui ka Balti Meres. Teiseks suureks põhjuseks on militaarharjutused, mille tagajärjel sattub lõhkekehasid paljudesse ootamatutesse kohtadesse. (Kölbel & Seubring, 2015)

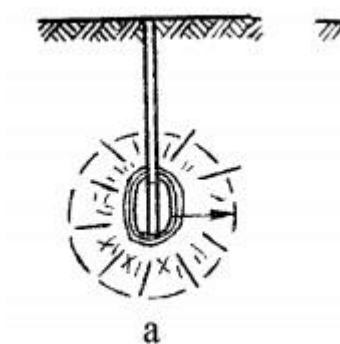
2.1 Kontaktlaengud

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

2.1.1 Kamuflett ehk lõhkematerjali katmine pinnasega

Et tagada lõhketöödel ohutus kaetakse lõhkematerjal tihti pinnasega. Kui pinnas seda võimaldab, siis proovitakse saavutada täielik kamuflett. Kamuflett on laeng, mille teostades lõhkeaine toime ehk plahvatus ei ulatu vaba pinnani. Laengu plahvatusel tekkib maapinda kerakujuline või vaba pinna suunas väljavenitatud tühimik ehk kamuflett. Õnnestunud kamufleti puhul lõhkeaine plahvatuslehter ei ulatu maapinnani ning kogu plahvatusenergia jääb maa alla. (Tomberg & Veersalu, 2017, p. 10)



Joonis 1. Suru- ehk kamuflettlaeng (Tomberg & Veersalu, 2017, p. 10)

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

2.2 Erilaengud

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Erilaengud on tunduvalt keskkonna säästlikumad, kuna nende oskusliku kasutamisega on võimalik esile kutsuda plahvatuslik põlemine ehk deflagratsioon, mille tagajärjed on oluliselt väiksemad, kui detonatsiooni puhul.

2.2.1 Kumulatiivpadrun

Võõrsõna leksikoni kohaselt kumulatsiooni definitsioon sõjanduses on plahvatustegevuse suurendamine vabaneva energia suunamisega. (Kleis, et al., 2012)

1993 aasta septembris toimus Leedus Suurbritannia demineerimisspetsialistide poolt läbi viidud kursus, mille käigus tutvustati värskelt iseseisvunud Balti riikide demineerijatele terrorismivastast võitlust. Antud kursuse käigus toimus praktiline õppus polügoonil, kus demonstreeriti lõhkekehade hävitamist kumulatiivpadruni mõjul. Kumulatiivpadrunil kasutati kumulatiivnõo efekti lõhkekehade ohutumaks ja oluliselt looduskeskkonna säästlikumaks hävitamiseks plahvatusliku põlemise ehk deflagratsiooni näol. Kursuse järel hakkasid Eesti demineerijad katsetama ise kumulatiivnõo efekti ning pöörduti selle sooviga ka Päästeameti sõjaväestatud päästeüksuste ülemale major Igor Liivile, kes haaras kinni ideest luua Päästeameti enda kumulatiivpadrun. Kuna demineerijad kasutasid sel ajal nõrgemajoolist brisantlõhkeainet ammoniiti, siis tehti kumulatiivpadrun suurem kui inglasteral, et saavutada samaväärne kumulatiivjuga efekt. Peale nende edukat katsetamist võeti kumulatiivpadrunid kasutusele Eesti erinevates pommigruppides 1994 aastal. (Juhanson, 2003, pp. 16-19)

Kumulatiivpadrunit kasutati edukalt plaanilistel demineerimistöodel. Väga edukalt õnnestus ka kumulatiivpadruni kasutamine 1996-1997 aastal Osmussaare rannakaitse alal suurtükirajatise demineerimisel Jõhvi Üksik-Päästekompanii demineerijate poolt. Antud alal tuli demineerimistööd kooskõlastada Keskkonnaministeeriumiga. Päästeamet andis taotluses märku, et demineerimistöö toimub ilma pankrannikut, faunat ja floorat kahjustamata ning seda tänu kumulatiivpadruni kasutamisele. Suurtükirajatisest tõsteti välja 210- 180 mm suurust mürsku, mis hävitati kõik kumulatiivpadruniga. Kumulatiivpadruniga kulus ühe mürsu lõhkamiseks 200 grammi ammoniiti. Katva laeng puhul oleks kulunud ühe mürsu kohta 8 kg sama lõhkeainet. Kumulatiivpadruniga õnnestus saavutada ka lõhkekehade plahvatuslik põlemine detonatsiooni asemel, mille tagajärjel ei tekkinud lõõklainet ega mürsukilde. Jõhvi Üksik-Päästekompanii demineerijad täiustasid

kumulatiivpadrunit lisades sinna hulka alumiiniumipulbrit või peenestatud ja sõelatud trotüüli, mis tõstis kumulatiivpadruni sooritust. Antud täiustustega jõudsid Eesti demineerijad isegi paremale tulemusele kui Suurbritannia poolt demonstreeritud kumulatiivpadrun. Märkimisväärseks tuleb lugeda ka seda, et parem tulemus saavutati kasutades nõrgemajõulist lõhkeainet ammoniiti. Kumulatiivpadrunit on kasutatud edukalt ka keemialahingmoona neutraliseerimiseks (Juhanson, 2003, pp. 19-21;24)

2.2.2 Kumulatiivriba

Kumulatiivriba on tinast valmistatud erineva suurusega riba, kuhu sisse paigaldatakse tugevajõuline lõhkeaine heksogeen. Riba sees paiknev kumulatiivnõgu on kogu kumulatiivriba ulatuses. Riba võimaldab purustada lõhkekeha korpust nii, et on võimalik ligipääs lõhkekeha sees olevale lõhkeainele. Ribasid on erineva suurusega, kuna riba valik sõltub otseselt lõhkekeha kesta paksusest ning sellest tulenevalt tuleb valida ka sobiva suurusega kumulatiivriba. (Juhanson, 2003, p. 28)

Esmakordselt tutvusid Eesti demineerijad kumulatiivribaga 1995. aastal Rootsisis demineerimiskursustel, kus tutvustati lisaks tavapärastele lõhkematerjalide hävitamisvahenditele kumulatiivriba. Kumulatiivriba tutvustati teoorias ning räägiti selle omadustest. 1998 aastal Taani kuningriigis, kus tutvustati tööstuslikult valmistatud kumulatiivriba, mis oli täidetud keskmisejõulise brisantlõhkeainega plastiit. Kursuse käigus katsetati plastiidiga täidetud kumulatiivriba erinevate lõhkekehade hävitamisel ning saavutati alati lõhkekeha korpuse purunemine ning lõhkeaine täielik väljapõlemine lõhkeaines. Tutvustati kolme erineva suurusega kumulatiivriba, mille kasutamine sõltus lõhkekeha seinapaksusest. Suuremate lõhkekeha seinapaksuste korral tuli kasutada suuremat kumulatiivriba ja kaugust lõhkekehast. Taani kursusel said Eesti demineerijad näidiseks kol kumulatiivriba ilma lõhkeaineta, mille põhjal valmistasid Jõhvi Üksik-Päästekompanii liikmed analoogsed kumulatiivribad, aga kasutades sel hetkel kasutuses olevat nõrgemajõulist lõhkeainet ammoniiti. Nõrgemajõulise lõhkeainega ammoniidiga ei suudetud saavutada sama tulemust, mis saavutati Taanis demineerimiskursustel. (Juhanson, 2003, pp. 28-30)

Kumulatiivribasid katsetati aastaid edasi ning Eesti demineerijad üritasid jätkuvalt saavutada sama tulemust isetehtud kumulatiivribaga, mida oli saavutatud Taani

demineerimiskursustel tööstusliku kumulatiivribaga. Lõuna-Eesti ja Lääne- Eesti Pommigruppide poolt korraldatud õppepäeva käigus katsetati demineerijate poolt isetehtud kumulatiivribasid ning päeva lõpus katsetati tööstuslikult valmistatud kumulatiivriba, mis sisaldas tugevajõulist lõhkeainet. Tööstuslikult tehtud riba saavutas täiusliku sirgjoonelise lõike samas kui isetehtud kumulatiivribad ei suutnud isegi läbi kesta tungida. Tööstuslikult valmistatud kumulatiivriba saavutas märkimisväärselt parema tulemuse, kui demineerijate endi poolt valmistatud kumulatiivribad. (Lihulinn, 2008, p. 19)

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3 ¹

Erinevate kumulatiivlaengute abil on võimalik demineerimistöodel saavutada oluliselt keskkonna säästlikum ja ohutum lõhkekeha hävitus, kui õnnestub oskusliku erilaengu kasutamisega ära hoida detonatsioon ning saavutada deflagratsioon või termiline lagunemine. Kumulatiivriba abil on võimalik kahjutustada suuremaid lõhkekehasid oluliselt ohutumalt ja keskkonda säästlikumalt, kui katva laenguga.

2.2.3 Lõhkekeha kesta mõõtmisvahend

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3 ¹

2.2.4 Põletamine

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

2.3 Välisriikides kasutatavad lõhkamismeetodid

Maailmas on kasutusel mitmeid uudseid lõhkematerjali hävitamiseetodeid, millega on suudetud muuta lõhkamine oluliselt ohutumaks nii keskkonnale kui ka inimestele. Antud töö alapeatükis keskendun kahele levinud lõhkematerjali hävitamisviisile ning nende kasutusvõimalustele.

2.3.1 Rahvusvahelised juhenddokumendid

Euroopa liidus ja NATO liikmesriikidele kehtivad rahvusvahelised juhenddokumendid ja standardid, millest lähtudes tuleb demineerimistöid teostada.

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

STANAG aitab erinevalt NATO riikidel ja partneritel koos töötada efektiivsemalt tänu ühistele standarditele. Standardiseerimine aitab tagada NATO liikmesriikide efektiivsemat ressursikasutust ning suurendab liidu kaitsevõimet. STANAG standardid on saadaval NATO kahes ametlikus suhtlemiskeeles – inglise ja prantsuse keeles. (North Atlantic Treaty Organization, 2017)

IMAS standardid on kohustuslikud allikad kõigile ÜRO liikmesriikidele. Need on kinnitatud esialgu ÜRO Interagentuuride Koordinaatsiooni Grupi poolt mineerimistöde puhul 26 septembril 2001. IMAS standardid on loodud läbi pika ning põhjaliku uuringu ning arutelu tulemusel valdkondade ekspertide poolt. IMAS areneb pidevalt edasi ning koostatakse mitmeid uusi standardeid ja tehakse täiustusi vanadele standarditele. (International Mine Action Standards, s.a.)

IMAS ja STANAG on olulisemad rahvusvahelised allikad, kus leiduvad demineerimistöökä vajalikud standardid, mida peavad organisatsioonide ja liitude liikmesriigid täitma.

2.4 Vesilõikamine

Järgnevates alapeatükkides (2.4-2.5) saadakse vastus uurimisküsimusele nr 3 „Kuidas kasutatakse vesi- ja laserlõikamist välisriikides?“

Vesilõikamist on kasutatud juba 45 aastat, et läbida metalli ja plastikut. Vesilõikamise peamised kolm otstarvet demineerimistöodel oleks sütiku eraldamine lõhkekehast, täpselt seksioneerida ja lõigata lõhkekehasid ja pääseda ligi energeetilistele materjalidele ning need eemaldada lõhkekehast. Vesilõikamise süsteemiga on edukalt hävitatud sadu tuhandeid erinevaid lõhkekehasid, mille korpused koosnesid erinevatest metallidest. Vesilõikamissüsteemi lisatavasse lisaaine graniidi terakeste suurus sõltub metalli tüübist.

Mida pehmema metalliga on tegemist seda suurem peaks olema graniiditera. Teraselõikamisel puhul on leitud optimaalseks graniiditera suuruseks 150 mikronit. Vesilõikamise stiilis on uuritud kahte erinevat lõikamisviisi. Lateraalne lõikamine nagu saagimine ning nii-öelda ringis liikuv lõikamine nagu treipingil. Katsetati 4.2 tollise lõhkekeha lõikamist mõlema meetodiga ning lateraalne lõikamine võttis 57 sekundit aega ning ringis liikuv lõikamine võttis 33 sekundit aega. Kasutades vee asemel ammoniaaki andis tulemusi veel kiirendada 25% võrra. (National Research Council et,al, 1999, pp. 234-235)

Vesilõikamine on demonstreeritud olema väga turvaline ja praktiline viis lõhkekehade hävitamisel. Veejoo kokkupuude erineb oluliselt tavapärasest kontaktist lõhkekehaga on leitud, et see kujutab väiksemat ohtu tavapäraste meetoditega võrreldes. (National Research Council et,al, 1999, p. 236)

Vesilõikamine ehk AWJ (*abrasive water jet*) kujutab endast lõhkekehadesse või muudesse metallpindadesse augu lõikamist kasutades kõrgesurve veejuga. See on alternatiivne viis metalli lõikamiseks. Vesilõikamise süsteem on suuteline läbima pea igat materjali maailmas. Vesilõikamise süsteeme kasutakse peamiselt korpuse lõikamiseks või sektioneerimiseks. Võimsamad vesilõikamis süsteemid suudavad sektioneerida lahingmoona kui see on korpuses. Vähem võimsad süsteemid võivad lõigata korpusega energeetilisi materjale hävituseks. Lisaks kasutatakse vesilõikamise süsteeme energeetiliste materjalide ablasiooniks või väljaheitmiseks korpusest. Peamiselt kasutatakse selliseid vesilõikamissüsteeme lõhkematerjali demilitariseerimise tehastes. (Wilkinson & Watt, 2006, pp. 33-34)

Vesilõikamise suurimad ohukohad Miller ja Munoz kohaselt on - (Miller & Munoz, 2002)

- Kokkupuude;
- Elektrostaatiline vool, mis tekib kiirest vee molekulide liikumisest;
- Sädemed, mis tekivad veele lisatud aine (eriti graniitkivi terakesete korral) metallkorpuste puhul;
- Peale töötlemist tekkivad reaktsioonid – võib tekkida, kui vedelik reageerib lõhkeainega, metalliosad reageerivad lõhkeainega, lisaained võivad muuta lõhkeaine tundlikumaks või siis saasteained nagu värv või rooste, mis reageerib lõhkeainega;
- Tööstuslikud ohud- kaasnevad ohtliku süsteemi opereerimisega.

Parameetrid, mis mõjutavad vesilõikamise sooritust on: (Wilkinson & Watt, 2006, p. 35)

- Surve;
- Joatoru kujundus;
- Lisaaine (graniitkivi);
- Suurus ja laadimiskiirus;
- Lahingumoonu paigutus.

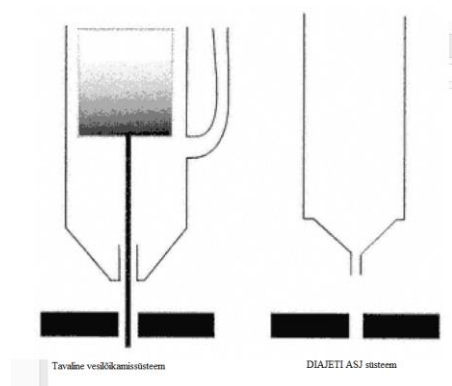
Enamus vesilõikamissüsteemid demilitariseerimise eesmärgil kannatavad teatud puuduste all (Wilkinson & Watt, 2006, p. 36)

- Saastunud vee tekke- kuigi vee voolukiirus on väike suure surve tõttu, siis ikkagi vesilõikamine tekitab lõhkeainega saastunud vett. Selle vee kasutuskõlvuliseks muutmise nõuab arvestavat ressursi ning süsteemi, mis kogub vee kokku.
- Emulsioon – tekib emulsioon paljude lõhkeainetega. Näiteks TNT (trotüüli) puhul tekib roosa vesi, mis on mürgine ning raskesti taaskasutatav.
- Plahvatusoht- kuigi vesi piisavas koguses muudab TNT vähem tundlikuks, RDX ja HMX saastunud vesi võib ikka plahvatada torustikus.
- Pürofoorne oht, eriti alumiiniumisisaldusega vees.

Tegemist on ohutu meetodiga, kuna vesi jahutab metalli ning aitab ära hoida lõhkeaine detonatsiooni. Vesilõikamist kasutatakse suurte lõhkekehade või halvas seisundis ebatavaliste lõhkekehade korral. Seda on proovitud mitmete eri kaliibriga lõhkekehade puhul alates 20 mm lõhkekehadest kuni väga suurte pommide, mürskude kahjutustamiseks ja hävitamiseks. Lisaks pole see aktiveerunud väga tundlikke sütikuid lõhkekehadel. On võimalik lõigata lõhkekeha pikkupidi, aga ohutus eesmärgil eelistatakse lõigata ümber sütiku, kuni see on korpusest vaba. Lõhkekehasid on võimalik lõigata vee all, et oleksid täidetud kohalikud tööohutusnõuded heli ning saastuse korral ning ära hoida sädeme tekkimise oht metallide vahelisel kontaktil. Vesi, mis on peale plahvatust saastunud saab kokku koguda ja ära filtreerida ja uuesti kasutada, kuid peab kohtlema nagu lõhkeainega saastunud vett. (Poulin, 2010, pp. 9-10)

Ühendkuningriikides lõi DIAJET 1995 aastal oma vesilõikamise süsteemi, kus lisatakse lisaaine enne vee jõudmist joatorusse. ASJ (*abrasive slurry jet*) süsteem sai endale nime DIAJET. Antud süsteemi eelisteks tavalise vesilõikamisega võrreldes on, et saavutatakse

kõrgem lõikamistulemus väiksemate rõhkude juures. Tavalise vesilõikamise opereerimisrõhk on 2384-3743 atmosfääri ehk 2415-3792 baari ning ASJ süsteemil töörõhk on 238-680 atmosfääri ehk 241-689 baari. (National Reasearch Council et,al, 1999, p. 238)



Joonis 3. Tavalise vesilõikamisüsteemi ja DIAJETI süsteemi ehituse võrdlus (National Reasearch Council et,al, 1999)

Vesilõikamise süsteemi kõrgsurvepumbad vajavad pidevat hooldust ja tihti põhjuseks miks süsteem ei toimi. Joatoru mängib äärmiselt olulist rolli ohutuse ja töö soorituse koha pealt. Joatoru kulub oluliselt kiiremini, kui lisaks veele on süsteemis kasutusel lisaaaine. Vesilõikamis süsteemil tihti joatoru on ummistanud ning selle tõttu tuleb teha tervele süsteemile taaskäivitus. Mida tihedamini tehakse süsteemile taaskäivitus, seda kiiremini kulub terve süsteem. Vesilõikamises kasutusel olevate joatorude keskmine eluiga on 1000 töötundi. (National Reasearch Council et,al, 1999, pp. 238-240)

On äärmiselt oluline, et leitakse viis kuidas tegeleda vesilõikamise käigus saastunud veega, kuna see kujutab endast ohtu ümbritsevale keskkonnale. Selline vesilõikamissüsteem paikneb üldjuhul lõhkeaine demilitariseerimis tehases.

2.4.1 MACE

ANT-AG organisatsioon on loonud demineerimistöodeks uuendusliku ning turvalise lõhkekehade hävitamise süsteemi, vähendades sellega ohtu EOD meeskondadele. See paindlik ning mobiilne süsteem on kasutusel üle maailma politsei, sõjaväe ja muude erioperatsioonide gruppide poolt nii vana lahingmoona kui ka improviseeritud ja isevalmistatud lõhkeseadeldiste hävitamiseks. (ANT, 2018)

Loodussõbralik suhtumine on avaldanud ka mõju lõhkamiste kohta. On arendatud uusi protseduure, mis on hakanud asendama traditsioonilisi meetmeid. Veealune lõhkamine omakorda tekitab tõsist keskkonna kahju vigastades või tappes veekogus elavaid elusolendeid. Lõhkekehade ohutustamisele ja deaktiveerimisele on leitud uus lahendus. (ANT, 2018)

Mobiilsed süsteemid aitavad eemaldada või deaktiveerida sütikud kaugjuhtimise teel, riskivabalt ja turvaliselt kasutades vesilõikamis tehnoloogiat ning spetsiaalselt disainitud manipulatsiooni tehnoloogiat. Kokkupuude keskkonna ja ilmastikuoludega aja möödudes avaldab suurt mõju lõhkekehale ning muudab seda ohtlikumaks. Tavapärased lõhkematerjali hävitamise meetodite puhul ei ole võimalik ilma lõhkekeha liigutamata ning seetõttu ei ole ka turvaline. Taoliste juhtumitega on kaasnenud õnnetusi, mille tagajärjel on inimesed hukkunud. Sarnaste lõhkekehade puhul ei ole ka võimalik neid hävitamiseks eemale transportida, kasutatakse viimase meetmena lõhkekeha hävitamist seda tulistades, millega kaasnevad suured kahjud ümbritsevale keskkonnale. Antud olukorra lahenduseks on ANT loonud MACE (*mobile abrasive cutting equipment*) seeria tooted, mis tagavad kaugjuhitava, turvalise lõhkekeha hävitamise või ohutustamise. Vastavalt kasutaja vajadusele on MACE suuteline töötama 80-700 bari vahemikus. Süsteem on ettenähtud suurte lõhkekehade hävitamiseks ja ohutustamiseks. (ANT, 2018)

MACE süsteemil on erilised eelised tootja kohaselt (ANT, s.a.):

- Manuaalselt mitte eemaldavad või deaktiveeritavad sütikud.
- Keemilise laskemoona puhul.
- Keeruliste töötlevate materjalide töötlemine.
- Detonaatorite või võimenduslaengute puhul, mida on võimalik lõigata ilma sädemeta ning kineetilise energia ülekandmiseta.
- Avada objekte või kambreid ilma lõhkeainet kasutamata (näiteks isoleeritud torpeedo kambrid).

MACE süsteemiga on võimalik oluliselt keskkonnasäästlikumalt ning ohutumalt hävitada lõhkekehasid, kuna üldjuhul on võimalik saavutada plahvatuslik põlemine või suudetakse lõhkekeha sektsioneerida nii, et see ei kujuta enam ohtu inimestele ja keskkonnale ning on võimalik edasi transportida. (ANT, 2018)

Süsteem on muudetud väga mugavaks kasutaja jaoks ning tõstab oluliselt tötajate ohutust. Süsteemi eeliseks on lisaks veel (ANT, s.a.)

- MACE süsteemi on võimalik juhtida ROV (*Remotely Operated Vehicle*) ehk pommiroboti abil.
- Süsteemi on võimalik kontrollida kuni 500m kauguselt.
- Süsteem on isemajandav ning vajab vaid kütust, et kõrgsurvepump ja generaator töötaks.
- Juhtimispuult on disainitud kasutajasõbralikuks.
- Mitmekülgne- lõigata on võimalik pea kõikides keskkondades, erinevates asendites ning erinevates tingimustes.
- Veeall töötamise võimalus tänu hüdraulikale
- Lisaaine segapaagi täitmissüsteem patenteeritud tehnoloogiaga
- Täielikult tõestanud oma töövõimet EOD meeskondade poolt üle maailma.

Süsteemil on mitmeid erinevaid lõikamisvõimalusi. MACE süsteemile on ANT poolt pakutud mitmeid lisaseadmeid nagu lõikamisvahend, mis suudab lõigata ringikujulisi auke ning eemaldada sisu pommi kestast. Olemas on ka spetsifilised sütikumanipulaatorid, mille abil on võimalik nii sütikut kui pommipõhja eemaldada, seade töötab hüdraulise jõu abil. Olemas ka 2 ning 3 teljeline lõikamisalus keerulisemate lõigete sooritamiseks. (ANT, 2018)

MACE ja mini MACE süsteemid on kasutusel üle maailma: Saksamaal, Ameerikas, Ühendkuningriikides, Jaapanis, Hiinas, Austraalias, Ungaris, Slovakkias, Bulgaarias, Hollandis, Prantsusmaal, Rootsis ning Leedus. (ANT, s.a.)

Autor leiab ,et MACE süsteemiga oleks võimalik saavutada järjepidevalt erinevate lõhkekehade puhul hävitamisel detonatsiooni asemel plahvatuslik põlemine. Plahvatusliku põlemisega kaasnev keskkonnakahju on oluliselt väiksem ning lisaks selle puhul on tagatud demineerimistöid teostavate isikute ohutus. Keskkonnakahjud, mis kaasnevad vesilõikamissüsteemiga on oluliselt väiksemad, kui need kahjud mis kaasneksid lõhkekeha detonatsiooni korral.

2.4.2 Mini MACE

Sama tootja on loonud ka väiksema versiooni MACE süsteemist, mis on ette nähtud granaatide, torupommide ning muude ebatavaliste kuid ohtlike lõhkekehade puhul. Mini Mace süsteemis on kombineeritud lisaaine segamispaaigist ja kõrgsurveline pump ühes. Tavaline töösurve on seadmel 450 bari. Mini MACE arendati mobiilseks läbitungimis ning lõikamisseadmeks. Süsteem koosneb sise põlemismootorist, lisaaine segamispaaigist ja kõrgsurvelisest pumbast, mis aitab ligi pääseda ja deaktiveerida lõhkekehasid ning improviseeritud isevalmistatud lõhkekehasi hävitada. Seadmel on 25 liitrine veepaak ning kaalub tühja paagiga 100 kilogrammi ning on varustatud kiireühendustega. (ANT, 2018)

2.4.3 Midi MACE

MidiMACE süsteem on loodud lõikama ja avama õhukeseseinaga konteinereid ja võimalikke ohtlike objekte nagu ebatavalised lõhkekehade ohutatamiseks ja hävitamiseks. Süsteemis nagu miniMACE puhul on lisa seguaine paak ja kõrgsurvepump ühes. Töösurve seadmel on 120 bari ning seade töötab elektrimootori abil. Seadme kaaluks on 67 kilogrammi ning seda on võimalik eemalt kontrollida kuni 100 m kauguselt.. MiniMACE süsteemi on võimalik ühildada näiteks tEODor kaugjuhitava seadmega ning selle abiga viia sündmuskohale. Lõikamiseks on võimalik ühildada ANDROS ROV seadmega kasutades haagist ning annab ohutu võimaluse reageerida suurte sõidukite pommidele. (ANT, 2018)

2.4.4 Micro MACE

MicroMace sarnaselt eelnevatele MACE toodetele sisaldab endast lisaaine segupaaki, kõrgsurvepumpa ning joatoru hoidjat ühes ühikus. Töörõhk on seadmel 80 bari ning see tuleb akuga elektrimootorist. Seade on mõeldud õhukeste konteinerite seinadesse avade tegemiseks või isetehtud lõhkeseadeldisse ava tegemiseks. Seade kaalub 18kg ning on võimeline läbima 3 mm terasplaati. Ühe lisaaine segupaagiga on võimeline tööd tegema 30 sekundit. (ANT, 2018)

2.5 Laserlõikamine

On olemas mitmeid situatsioone, kus on vajalik lõigata lõhkekehast plahvatusohtlik osa ära teistest metallkomponentidest või vastupidi. Näiteks võib tuua vanad lõhkekehad, lõhkekeha parandamine ning kõrgelt plahvatusohtliku aine mehhaaniline töötlemine. Paljud kasutusel olevad meetodid nagu lõikamine, lihvimine ja vesilõikamine võivad põhjustada jäätmeid ning mõjutada keskkonda. Nende ohtude vältimiseks on arendatud lasereid ning katsetatud neid erinevate kõrgelt plahvatusohtlike lõhkekehade ohutustamiseks. Lasersüsteemiga on võimalik teha täpseid lõikeid ning samal ajal ka skanneerida lõhkekeha ning jälgida protsessi annab võimaluse kasutada paindlikku ja väga automatiseeritud lõikeriista. (Rivera, et al., 1998)

2.5.1 Femto laserlõikamine

Et pääseda ligi lahingumoonas sisemusse peab avama lahingumoonas korpuse, aga tavapärased mehhaniseeritud tehnikad tekitavad suure plahvatusohtu suure temperatuuri tõusu kasutades masinatega lõikamis tööriista. See on atraktiivne alternatiiv kuna laserlõikamine toimub nii kiiresti, et ainesse ei kandu üle soojust lõikuse ajal, tagades nii-öelda „külma“ laseri lõikamise protsessi. Süsteemi kitsaskohtadeks on süsteemi kõrge maksumus ja vajadus kõrgelt treenitud inimeste järgi, kes oskavad süsteemi opereerida ja hooldada. (Poulin, 2010, p. 11)

Laserlõikamise eelisteks on, et lõhkekehade hävitamisel ei teki saastumist ja prahti ning see ei põhjusta keskkonnale mingit ohtu. Antud süsteem on pigem mõeldud lõhkeainete demilitariseerimiseks tehastesse, mida Eestis hetkel veel ei leidu. Üheks suureks eeliseks lisaks sellele on, et laserlõikamise süsteemi on võimalik kombineerida või kasutada käsikäes laserdetekteerimissüsteemiga aidates ka rohkem lõhkekehasid leida ning ohustada. Laserlõikamine oluliselt vähendab plahvatus- ja detonatsiooniohtu võrreldes tavapäraste lõhkematerjali hävitusmeetoditega. (Ebinger & Catherwood, 1999, p. 19)

2.5.2 THOR lasersüsteem

Israeli firma RAFAEL arendas uue lõhkekehade neutraliseerimissüsteemi, mis suudab kahjutuks teha improviseeritud lõhkekehad, teeäärsed pommid ja plahvatamata lõhkekehad ning teised objektid, mis võivad olla plahvatusohtlikud. Süsteem paigaldakse üldjuhul soomussõidukile ning soomukil on olemas ka 12.7 mm kuulipilduja, mis aitab neutraliseerida improviseeritud lõhkekehasid ohutust kaugusest. See topeltvõimsus annab THORile nii kaitse kui ka ründevõimaluse ning samas võimaldab neutraliseerida või hävitada lõhkekehasid nii laseri kui ka mürsu kineetilise energiaga. Kuna laserit kasutatakse lõhkekeha põletamiseks, mitte selle aktiveerimiseks on võimalik sellega ära hoida teised kaasnevad kahjud, mis võib kaasneda neutraliseerimise protsessiga. Süsteemi kogu kaal on 850 kg, millest 250 kg kaaluv kuulipilduja ja laser sihtimissüsteem, mis asuvad soomukist väljas. (Defense Update, 2006)

Laserist tulev energia on suuteline kiiresti ohustutada plahvatamata lõhkekehasid ja isevalmistatud lõhkekehasid, kutsudes esile põlemise või deflagratsiooni reaktsioon plahvatusaines turvaliselt distantilt. THOR kasutab võimast, õhujahutusel olevat laserid, mis suudab töötada kuni 700 watti võimsusel. (Defense Update, 2006)

Süsteemi suurimad eelised on (RAFEAL, 2016):

- Turvaline ning kiire lõhkekehade neutraliseerimine
- Minimaalne kaasnev kahju tänu lõhkeaine põlemisele või madalale plahvatusale
- Kaugelt kontrollitav relvasüsteem
- Järjepideva laseri kasutamise võimekus ilma laadimiseta või pausideta
- Paigaldatav erinevat liiki sõidukitele

Kuulipilduja 12.7 mm padrun on suuteline hävitama paksukestalist lahingmoona ning lõkse. Süsteem on modulaarne ja on paigaldatav erinevatele sõidukitele ja soomukitele lisasüsteemina. Süsteem on juba kasutusel erinevate EOD meeskondade ja IED vastaste jõudude poolt hävitades isevalmistatud lõhkekehasid, miine ja plahvatamata lõhkekehasid sõja- ja kriisipiirkondades. (Defense Update, 2006)

2.6 Eesti ja välisriikide hävitusmeetodide võrdlus

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Hetkel kasutusel olevad lõhkamiskohad ei vasta kõikidele ohutusnõuetele ning võivad põhjustada ohtu nii inimestele kui ka keskkonnale. Lõhkamiskohtade olemasolu korral oleks demineerijatel oluliselt rohkem võimalusi ka erilaengute kasutamiseks. (Allikas, 2010, pp. 39-40)

Autor leidis, et Eestis kasutatakse siiaamaani kõige enam katvat ehk kontaktlaengut. Põhjusteks võib tuua katva laengu mugav ja kiire kasutamine võrreldes erilaengutega. Lisaks mängib olulist rolli kindlasti fakt, et Eestis siiaamaani puuduvad demineerijatel rahvusvahelistele nõuetele vastavad lõhkamiskohad, kus oleks võimalik lõhkekehasid hävitada ohutult ning kontrollitult.

Võrreldes Eestiga on enamuse Euroopa riikides lõhkekehade hävitamine kaitseväe või muu militaarse organisatsiooni ülesanne. Lätis on olemas neli suurt treeningvälja, millest suurim on 10 000 ha. Soomes kaitseväljal on olemas riigi peale seitse harjutusvälja, mis kõik on suuremad kui 1000 ha. Nendele lisaks leidub ka erinevate tööstuste katsetusalad. Saksamaal

omakorda on kaitseväge kasutuses seitse harjutusvälja, millest kõige väiksem on 100 ha ning suurim 284 km². Prantsusmaal ja Itaalias on riigil kasutada harjutusväljakutena 0,5% kogu riigi pindalast ning Suurbritannias koguni 1%. Suurtematel Euroopa riikidel on lisaks sõjatööstuste ning teadusasutuste treening- ning katsetusalad, kus on ka võimalik lõhkekehasid hävitada. Suurte alade kasutamine aitab tagada demineerimistöodel ohutust, kuna ohualad demineerimistöodel on suured. Militaaralad on üldiselt tähistatud ning ligipääs on raskendatud. Lisaks leidub seal vajalik infrastruktuur nagu kaamerad, valve, elekter ja teavitussüsteem, mis omakorda annab parema ülevaate ning aitab tagada turvalisust. Ideaalis leidub seal ka rasketehnikat, mida on võimalik demineerimistöode käigus kasutada ning lõhkekehasid kamuflettmeetodil hävitada. (Tammine, 2018)

Demineerimisvaldkond on teinud olulisi arenguid viimaste kümnendite jooksul ning on loodud mitmeid hävitamismeetodeid, mis suudavad tagada ohutuid ja keskkonnasäästlikumaid tulemusi, kui kontaktlaengud. Tähtis on märkida siinjuures, et teistel suurtematel Euroopa riikidel ning Ameerika on olemas ka spetsiifiliste lõhkematerjalide likvideerimistehased, kus ohutult ning keskkonnasäästlikult on võimalik lõhkekehasid hävitada. Keskkonna nõuded, mis esitatakse antud tehastele on Euroopas ja Ameerika väga sarnased viimaste aastate jooksul. Eestis nii rahaliste vahendite kui ka ressursi puuduse tõttu antud võimalus puudub. (Wilkinson & Watt, 2006, pp. 1-3)

Eelpool kirjeldatud vesilõikamis ja laserlõikamissüsteemid saaksid autor arvates Eesti süsteemis kindlasti rakendust leida erinevates situatsioonides. Keeruline oleks Eesti demineerimissüsteemis kasutusele võtta soomussõiduk, kus oleks laserlõikamissüsteem peal. Ning kuna MACE süsteemiga on võimalik erinevaid ülesandeid sõltuvalt tingimustest nagu vee all töötamine, sütikute eemaldamine. Lisaks vesilõikamissüsteem MACE oleks kasulik suurtekaliibriliste lõhkekehade puhul, kui ehituse käigus leitakse suur lennukipomm tiheasutusosalal. MACE süsteemi oleks võimalik ka rakendada erinevate isevalmistatud lõhkekehade kahjutustamiseks.

Autor leiab, et MiniMACE oleks hea lahendus just väiksemate lõhkekehade kahjutustamiseks ning oleks hea alternatiiv kontaktlaengule. Oluline on märkida, et ükskõik millise hävitusmeetodi demineerimistöode juht valib tuleb ohuala ette valmistada detonatsiooni arvestades. Eestis oleks võimalik oluliselt vähendada keskkonnakahjusid lõhkamiste tagajärjel ning hakata Lääne-Euroopa ja Ameerika demineerimissüsteemist eeskujuna võtma kasutades modernsemaid töövahendeid ning seadmeid.

3.EMPIIRILINE OSA

Autor valis lõputöö uurimismeetodikaks **juhtumiuuringu** ehk *case study*. Autor kogus erinevaid mitmekesiseid andmeid, ning tugines andmete analüüsil eelnevalt välja töötatud teoreetilistele eeldustele. (Yin, 2003, pp. 13-14)

Lõputöö empiirilises osas viis autor läbi intervjuud kõikides Eesti pommigruppides. Intervjuude käigus uuriti milliseid erinevaid lõhkematerjali hävitamismeetodeid on demineerijad kasutanud. Autor kasutab antud töös **kvalitatiivset sisuanalüüsi**. Kvalitatiivses sisuanalüüsi eesmärgiks on säilitada kvantitatiivse sisuanalüüsi eelised nagu sobivust kommunikatsiooniprotsessi uurimiseks, selged reeglid materjali analüüsimisel ning kategooriata kesket osa analüüsis ja selle usaldusväärsust. Tekstiandmed kvalitatiivses sisuanalüüsis antud töös pärinevad intervjuudest, trükistest, artiklitest, raamatutest ning juhenditest. (Laherand, 2008, pp. 289-290)

Flicki (Flick, 2009, pp. 305-307) kohaselt on kaks põhistrateegiat tekstidega töötamisel – väidete esiletõstmine, tõlgendus ja konteksti asetamine. Teiseks on tekstimaterjali vähendamine kasutades summeerimist ning kategooriate moodustamist.

Käesolevas töös moodustas autor kategooriad uurimisküsimuste põhiselt ning koodide välja töötamiseks kasutas tekstianalüüsi programmi QCMap rakendust, mis aitas leida intervjuudes korduvad terminid ning nende põhjal koodid moodustada. (QCMap, 2014)

Autor koostas järgnevad tabelid kasutades *Microsoft Wordi* rakendust.

3.1 Valim

Üliõpilane valis valimiks **eesmärgistatud valimi**, mis tähendab valimi koostamist täpsel eesmärgil, kus uuritavad valitakse kindlate uurimusküsimuste alusel. (Flick, 2009, pp. 122-123) Autor valis antud valimi kuna intervjuu küsimustele vastamiseks oli intervjuueerivatel vaja pikaajalist töökogemust antud valdkonnas.

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

3.1 Intervjuude analüüs

Intervjuud viidi läbi **poolstruktureeritud intervjuu** näol kuna intervjuud oli ühekordsed. Intervjuu küsimused olid ettevalmistatud ning saadetud ka intervjuerivatele tutvumiseks ette. Intervjuu käigus anti võimalus intervjueritavale vastata küsimusele rahulikult oma sõnadega ning vajaduse korral suunati tagasi teema juurde. (Viires, 2013)

Poolstruktureeritud intervjuude avatud küsimusi on vastuseid keerulisem klassifitseerida, statistiliselt töödelda ning analüüsida. Spontaansete küsimuste küsimine raskendab võrdlemist ning muudab intervjuud omavahel ebavõrdseks. Teatud küsimuste standardiseerimine annab võimaluse saada kvantitatiivset ja võrreldavat informatsiooni. Samas usaldavtavatus on suurem, kuna küsimust on võimalik esitada samal kujul. Antud intervjuu stiil andis võimaluse ka esitada spontaansid ja avatud küsimusi info valdajatelt ning aitas efektiivsemalt suhelda. (Viires, 2013)

Autori poolt koostatud küsimustik koosnes üheksast küsimusest, millest kahel oli olemas lisaküsimus. Üheksast küsimusest üks küsimus oli kas küsimus. Autor koondas küsimuste vastused *Microsoft Excel* tabelisse, et oleks kergem analüüsida ning võrrelda andmeid.

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

3.2 Ettepanekud

Lõputöö eesmärk oli välja selgitada, kas Eestis oleks otstarbekas võtta kasutusele uued lõhkematerjalide hävitamismeetodid, mis oleks ohutumad ja keskkonda säästvamad. Autor

tutvus Eesti kasutusel olevate lõhkematerjali hävitamise meetoditega ning viis läbi intervjuud kõikides Eesti pommigruppides.

Peale väljaselgitamist, milliseid meetmeid aktiivselt kasutatakse teeb autor oma **esimese ettepaneku** võtta Eestis kasutusele vesilõikamissüsteem MACE. Antud süsteem tagaks demineerijatele lisavõimaluse lõhkekehade ohutustamiseks ja hävitamiseks. Süsteemiga oleks võimalik ohutumalt ja keskkonda säästlikumalt hävitada lõhkekehasid täites sellega lõputöö peamise eesmärgi. Autori arvates tuleks hankida 1 MACE süsteemi koos lisavarustusega. Süsteem läheks rotatsiooni pommigruppide vahel ning oleks võimalik saada kinnitust, kas süsteem tõstab ohutust ning säästab keskkonda.

Autori **teine ettepanek** on hankida modernsed vahtplastist kumulatiivribad.
Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Autori **kolmas ettepanek** on *flaresid* ehk termiidi erilaenguid juurde hankida pommigruppidele. Erinevate erilaengute olemasolu annab demineerimistöde juhile rohkem võimalusi lahendada sündmusi efektiivsemalt ja keskkonnasäästlikumalt. Termiidi erilaengute abil on võimalik erinevaid lõhkekehasid ohutumalt ohutustada põletades lõhkeainet lõhkekeha sees enne selle detonatsiooni. Lisaks kasutakse termiiti edukalt Soome kaitsejõudude poolt lõhkekehade ohutustamiseks ja hävitamiseks.

Autori **viimane ettepanek** on luua Eestis lõhkekehade hävituskohad, mis vastaks hävituskoha nõuetele. Intervjuudest selgus, et demineerijate üheks suurimaks murekohaks on ohutu lõhkamiskoha puudumine. Eestis kasutuses olevad lõhkekohad on ohtlikud inimestele, kuna ei ole tõkestatud kõrvaliste inimeste juurdepääs ohualasse (teoorias lk 28-29). Viimase ettepaneku lisaks leiab autor, et oleks oluline uurida ka lõhkeaine likvideerimis- ja kogumistehase vajalikust. Autor leiab, et antud tehases oleks võimalik rakendada vesi- või laserlõikamise süsteemi lõhkekehade likvideerimise tehases. Transporditavad lõhkekehad viiakse lõhkekehade likvideerimise tehasesse, mis nõuaks omakorda lisaressurssi koostööpartneritelt ning demineerimismeeskondade poolt. Lõhkekehade likvideerimise tehases oleks võimalik kasutada nii hariduseesmärgil ning

vajalikke õppematerjale. Kõik tegevused toimuksid distantsmeetodil, mis tagaks isikkoosseisu ohutuse ning vesilõikamise puhul saab hoida ära ka keskkonna saastamise erinevate ennetavate meetmete ja filtreerimisega.

KOKKUVÕTE

Lõputöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis käsitles autor demineerimistöo ja lõhkamisteooria aluseid. Peatükis on seletatud peamised demineerimisalased mõisted ning lõhkamisteooriaga seonduvad terminid. Lõputöö teises peatükis tutvustati Eestis kasutusel olevaid lõhkematerjali hävitamise meetodeid ning välisriikides kasutatavat vesi- ja laserlõikamist. Autor analüüsis ja võrdles Eestis kasutatavaid hävitamise meetodeid välisriikidega.

Vastuse saamiseks esimesele uurimusküsimusele „Milliseid lõhkematerjali hävitamise meetodeid kasutatakse Eestis“ tutvus autor juhenddokumentidega ning viis läbi intervjuud kõigis Eesti pommigruppides. Selgus, et Eestis kasutatakse peamiselt kontaktlaenguid ja erilaenguid.

Teise uurimusküsimuse „Milliseid ohutuid ja keskkonda säästvaid lõhkematerjali hävitamise meetodeid kasutatakse välisriikides?“ vastuse saamiseks tutvus autor väliskirjandusega ning intervjueris pommigruppide liikmeid.

Viimase uurimusküsimuse „Kuidas kasutatakse vesilõikamist ja laserlõikamist välisriikides?“ tutvus autor väliskirjanduse ning uuris kuidas antud hävitamise meetodeid kasutatakse välisriikides.

Lõputöö viimases peatükis kirjeldas autor valimit ning meetodikat. Autor analüüsis intervjuude sisu ning tegi teoreetilise osa ja intervjuude põhjal **4 ettepanekut**.

Esimese ettepanekuks on võtta Eestis kasutusele vesilõikamissüsteem MACE. Antud süsteem tagaks demineerijatele lisavõimaluse lõhkekehade ohutustamiseks. Süsteemiga oleks võimalik ohutumalt ja keskkonda säästlikumalt hävitada lõhkekehasid täites sellega lõputöö peamise eesmärgi. Autori arvates tuleks hankida 1 MACE süsteem koos lisavarustusega, mida saaks testperioodis roteerida erinevates pommigruppides.

Teiseks ettepanekuks on hankida modernsed ja kaasaegsed vahtplastist kumulatiivribad.

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Autori **kolmas ettepanek** on *flaresid* ehk termiidi erilaenguid juurde hankida pommigruppidele. Erinevate erilaengute olemasolu annab demineerimistöde juhile rohkem võimalusi lahendada sündmusi efektiivsemalt ja keskkonnasäästlikumalt.

Autori **viimaseks ettepanekuks** on luua Eestis nõuetele vastavad lõhkamiskohad, kus oleks võimalik teostada ohutut ja kontrollitud lõhkekehade hävitamist. Praegu kasutuses olevad lõhkamiskohad on ohtlikud, kuna nendes ei ole tagatud inimeste ohutus (käesolev töö lk 28-29).

Töö käigus jäi uurimata süsteemi maksumus koos lisadega. Autor võttis ühendust MACE tooteid tootva ettevõttega, aga pole tagasisidet saanud. Autor leiab, et järgnevad uuringute puhul võiks korraldada õppe- või demonstratsioonpäeva, kui saada kokkuleppele süsteemide tootjatega. Sellega oleks võimalik anda parem ülevaade süsteemidest kõikidele intervjuerivatele isikutele.

Lisaks leiab autor, et tasuks edasi uurida lõhkainete kogumis- ja likvideerimise tehase kasutegurist. Autor leiab, et antud tehases oleks võimalik rakendada **vesi- või laserlõikamise süsteemi** lõhkekehade likvideerimise tehases. Transporditavad lõhkekehad viiakse lõhkekehade likvideerimise tehasesse. Lõhkekehade likvideerimise tehases oleks võimalik kasutada nii hariduseesmärgil kui ka õppematerjali loomises. Kõik tegevused toimuksid distantsmeetodil, mis tagaks töötajate ohutuse ning vesilõikamise puhul saab hoida ära ka keskkonna saaste. Oleks võimalik uurida koostööpartnerite ressursikulusid ning selle lisandväärtusest.

SUMMARY

The subject of this final thesis is „Environmental render safe procedures“. The thesis is written in Estonian followed by a summary in English. The thesis consists of 50 pages, of what 38 is the main part. The author has used 45 different sources written in Estonian and English language. The thesis has three figures, 12 tables and two annexes.

The aim of this thesis is to find out if there is a possibility of using new safer and more environmentally friendly methods to dispose of different kind of explosive ordnances located in Estonia.

The thesis is based on a case study with the research tasks to find out give an overview of the theoretical side of explosive disposal and the basics of explosive ordnances. The author then collects data, analyses and compares the explosive disposal methods that are used in Estonia to foreign countries. The last research task has the author analyse the interviews and make propositions on using a more safe and environmentally friendly explosive disposal method in Estonia.

The author made 4 suggestions based on the research that would make explosive ordnance disposal more safe and environmentally friendly. The author suggested of using the MACE watercutting system by Estonian explosive ordnance disposal teams. The other important suggestion was to develop a proper and safe disposal site to conduct explosive disposal related activity. Thirdly the author recommended of using new linear shaped charges made out of foam plastic. As the last suggestion the author recommended bringing flares (thermite) back to active use for explosive ordnance disposal teams.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Allikas, A., 2010. *Lõhkekehade hävituskohad. Lõputöö*. Tallinn: Sisekaitseakadeemia.

ANT, 2018. *microMACE*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://ant-ag.com/en/products/amu-less-700-bar/micro-mace>
[Kasutatud 09 04 2018].

ANT, 2018. *MACE*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://ant-ag.com/en/products/amu-less-700-bar/mace>
[Kasutatud 09 04 2018].

ANT, 2018. *midiMACE*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://ant-ag.com/en/products/amu-less-700-bar/midi-mace>
[Kasutatud 09 04 2018].

ANT, 2018. *mini MACE*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://ant-ag.com/en/products/amu-less-700-bar/mini-mace>
[Kasutatud 09 04 2018].

ANT, s.a.. *PACIFICAMANGARDA*. [Võrgumaterjal]
Available at: <http://www.pacificamangarda.com/files/1335779760.pdf>
[Kasutatud 09 04 2018].

Aro, R., 1981. *Tehnikaleksikon*. s.l.:Valgus.

Defense Update, 2006. *Thor – High Energy Laser IED Neutralization System*.
[Võrgumaterjal]
Available at: <http://defense-update.com/products/t/thor-IED.htm>
[Kasutatud 10 04 2018].

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Ebinger, H. M. & Catherwood, R., 1999. *Decommissioning Plan and Environmental Report for DU Impact Area, Jefferson Proving Ground, Indiana*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML9934/ML993480382.pdf>
[Kasutatud 10 04 2018].

Eesti standardikeskus, 1998. *Tuleohutus. Sõnavara. Osa 7: Plahvatusse avastamise*, s.l.: Eesti Standardikeskus.

Eesti Standardikeskus, 2013. *Ehitise tuleohutus. Osa 1: Sõnavara. EVS 812-1:2013*, Tallinn: Eesti standardikeskus.

Flick, U., 2009. *An Introduction To Qualitative Research*. 4th toim. s.l.:SAGE.

International Mine Action Standards, s.a.. *About IMAS*. [Võrgumaterjal] Available at: <https://www.mineactionstandards.org/about/about-imas/> [Kasutatud 09 04 2018].

Juhanson, J., 2003. *Kumulatiivne efekt lõhkekehade hävitamisel. Lõputöö*. Tallinn: Sisekaitseakadeemia.

Kleis, R. et al., 2012. *Võõrsõnaleksikon*. 8 toim. Tallinn: Eesti Keele Instituut, Kirjastus Valgus.

Kölbel, J. & Seubring, F., 2015. *Dealing with UXO: Detection, Identification, Disposal and Awareness*. [Võrgumaterjal]

Available at: <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/terraetaqua/document/4/6/5/465/465/1/article-dealing-with-uxo-unexploded-ordnance-detection-identification-disposal-and-awareness-terra-et-aqua-141-2.pdf>

[Kasutatud 10 04 2018].

Laaniste, P. & Ojala, T., 2010. *Päästeseaduse kommenteeritud väljaanne*. Tallinn: Siseministeerium.

Laherand, M.-L., 2008. *Kvalitatiivne uurimisviis*. 1st toim. Tallinn: OÜ Infotrükk.

Lihulinn, T., 2008. *ERILAENGUTE KASUTAMISVÕIMALUSED PÄÄSTETÖÖDEL TEOSTAMISEL Lõputöö*. Tallinn: Sisekaitseakadeemia.

Miller, P. L. & Munoz, J., 2002. *Safe Practices for the Use of High Pressure Waterjets on High Explosive ordnance*. s.l., s.n.

National Research Council et,al, 1999. *Review and Evaluation of Alternative Technologies for Demilitarization of Assembled Chemical Weapons*. Washington D.C.: National Academy Press.

North Atlantic Treaty Organization, 2017. *Standardization*. [Võrgumaterjal]
Available at: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_69269.htm
[Kasutatud 09 04 2018].

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Päästeamet, 2014b. *Päästeameti strateegia 2015-2025*. [Võrgumaterjal]
Leitav: <https://www.rescue.ee/dotAsset/3335858a-fc39-49d7-85f3-15962dfdc124.pdf>
[Kasutatud 07 05 2018].

Päästeamet, 2014. *Demineerijad said esmakordselt rahvusvahelistele standarditele põhinevad kutsetunnistused*. [Võrgumaterjal]
Leitav: <https://www.rescue.ee/et/paasteamet/uudised/uudis.html?id=demineerijad-said-esmakordselt-rahvusvahelistele-standarditele-pohinevad-kutsetunnistused>
[Kasutatud 03 05 2018].

Päästeamet, 2015. *Päästeameti statistiliste põhinäitajate mõisted ja arvestuse*. Tallinn: Päästeamet.

Päästeamet, 2017b. Turvalisus on see, mida me ei näe!. *Pääste Elu*, I(3), pp. 16-17.

Päästeseadus (2017) Riigiteataja.

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Poulin, I., 2010. *Literature review on demilitarization of munitions*. s.l., DRDC Valcartier.

QCMap, 2014. *QCMap*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://www.qcmap.org/>
[Kasutatud 15 May 2018].

RAFEAL, 2016. *Thor Directed Energy Weapon for Standoff Neutralization of IEDs and UXOs*. [Võrgumaterjal]
Available at: <http://www.rafael.co.il/5689-762-en/Marketing.aspx>
[Kasutatud 10 04 2018].

Rivera, T., Muenchausen, R. & Sanchez, A. J., 1998. *Laser cutting of energetic materials*. [Võrgumaterjal]
Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/290948>
[Kasutatud 09 04 2018].

Siseministeerium, 2014. *Siseturvalisuse Arengukava 2015-2020*. [Võrgumaterjal]
Available at: https://valitsus.ee/sites/default/files/content-editors/arengukavad/taiendatud_siseturvalisuse_arengukava_2015-2020.pdf
[Kasutatud 30 04 2018].

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3¹

Tammine, K., 2018. *Euroopa hävituskohad* [Intervjuu] (3 05 2018).

Tomberg, T., 1998. *Lõhketööd*, Tallinn: TTÜ.

Tomberg, T. & Veersalu, K., 2017. *Lõhketööd I Mäenduslikud ja enamlevinud lõhketööd*, Tallinn: TTÜ.

Viires, K., 2013. *INTERVJUU TÜÜBID JA MEETODID*. [Võrgumaterjal]
Leitav <http://intervjuu.weebly.com/intervjuu-tuumluumlbid-ja-meetodid.html>
[Kasutatud 10 04 2018].

Wilkinson, J. & Watt, D., 2006. *Review of Demilitarization and Disposal Techniques for Munitions and Related Material*. s.l., Munitions Safety Information Analysis Center.

Yin, R., 2003. *Case study research: Design and methods*. 2nd toim. Thousand Oaks: Sage.

LISAD

Lisa 1 Intervjuu küsimustik

Tervist, olen Sisekaitseakadeemia Päästekolledži viimase kursuse üliõpilane Garri Mölder. Kirjutan oma lõputööd teemal „Ohutust tõstvad ja keskkonda säästvad lõhkematerjali hävitamise meetodid“. Lõputöö juhendajaks on demineerimiskeskusest Kalvar Tammine. Informatsiooni saamiseks ning töö koostamiseks viin läbi intervjuud igas Eesti pommigrupis pommigrupi juhatajate ning igast pommigrupist ühe juhtivdemineraatori ja ühe vanemdemineraatoriga.

1. Milliseid erinevaid lõhkematerjalide hävitamise meetodeid olete kasutanud oma töö jooksul?
2. Millist hävitamise meetodit olete kõige rohkem kasutanud? Miks eelistate seda?
3. Võrrelda erilaengute kasutamist katvate laengute kasutamisega?
4. Millised lõhkematerjali hävitamise meetodid aitavad teie arvates kõige paremini tagada ohutust lõhketöödel?
5. Millistest lõhkamismeetoditest tunnete puudust? (Mingi lõhkamismeetod mille kohta olete lugenud, näinud kuskil)
6. Kas see lõhkamismeetod muudaks teie arvates demineerimistööd ohutamaks?
7. Kas olete puutunud kokku vesilõikamisega? Kirjutage arvamus ning jagage kogemusi
8. Kas olete puutunud kokku laserlõikamisega? Kirjutage arvamus ja jagage kogemusi
9. Kas erinevate lõhkamismeetodide olemasolu muudab demineerimistööd Teie arvates ohutamaks? Või toob see kaasa ainult lisakohustusi?

Lisa 2. Jooniste ja tabelite loetelu

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Näited lõhkeaine koefitsientidest kontaktklaengute puhul. | 12 |
| Joonis 1. Suru- ehk kamuflettlaeng | 12 |
| Joonis 2. Näide mõõtmisest ultraheli põhineva mõõtevahendiga | 17 |
| Joonis 3. Tavalise vesilõikamisüsteemi ja DIAJETI süsteemi ehituse võrdlus | 22 |

Juurdepääsupiirang vastavalt AvTS § 35 lg 1 p 3