

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Ane Mitt

RS210

**DEMINEERIMISTÖÖ KÄIGUS TEKkinud  
METALLIJÄÄTMETE KÄITLEMISE VÕIMALUSED**

Lõputöö

Juhendaja:

Arno Pugonen, MA

Kaasjuhendaja:

Kärt Reitel, PhD

Tallinn 2024

## ANNOTATSIOON

Kolledž/instituut: Päästekolledž	Kaitsmise kuu ja aasta: juuni 2024
Töö pealkiri eesti keeles: Demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmete käitlemise võimalused	
Töö pealkiri võõrkeeles: Handling options for metal waste generated during demining work	
<p>Lühikokkuvõte: Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ja sisaldab inglisekeelset kokkuvõtet. Töö koos lisadega koosneb 65 leheküljest, millest põhiosa moodustab 39 lehekülge. Töös sisaldab 12 tabelit, 13 joonist sh töö põhiosa sisaldab 4 tabelit ja 8 joonist.</p> <p>Lõputöö eesmärk on välja selgitada võimalused demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmetest vabanemiseks ning anda soovitusi Eestile sobivate tehnoloogiate ja meetodite rakendamiseks.</p> <p>Eesmärgi saavutamiseks oli püstitatud neli uurimisülesannet: analüüsida demineerimise käigus tekkivaid metallijäätmeid ja nende mõju keskkonnale; analüüsida ja süstematiseerida demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmete käitlemise võimalusi Eestis ja mujal maailmas; analüüsida intervjueeritavate hinnanguid demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmete käitlemise võimaluste kohta ning toetudes teoreetilisele analüüsile ja kvalitatiivsele uuringule teha ettepanekud lahingumoon metallijäätmete käitlemiseks Eestis.</p> <p>Lõputöö uurimisülesannete täitmiseks ja eesmärgi saavutamiseks viidi läbi kvalitatiivne empiiriline uuring, valimina rakendati etteavatsetud valimit. Andmeid koguti poolstruktureeritud ekspertintervjuudega. ja katse vaatlusega. Uuringu tulemustest lähtuvalt tehti ettepanekuid, kuidas Eestis lahingumoon metallijäätmeid käidelda.</p>	
Lisad: 6 lisa	
Võtmesõnad: Lahingumoon, metallijäätmed, metallikäitlus, metalli kõvadus, demineerimistöökäigus	
Võõrkeelsed võtmesõnad: Munition, metal waste, metal processing, metal hardness, demining work	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia digiriiv	
<p>Töö autor: Ane Mitt</p> <p>Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, seisukohad, kirjallikest allikatest ja mujal allikates saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma lõputöö avaldamisega elektroonilises keskkonnas.</p>	
Allkiri:	
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Arno Pugonen	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Kaasjuhendaja: Kärt Reitel	Allkiri:
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor/instituudi juhataja:	Allkiri:

# SISUKORD

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU.....	4
SISSEJUHATUS .....	6
1. LAHINGUMOONA KÄITLEMINE JA DEMINEERIMISJÄÄTMETE TEKE .....	10
1.1 Demineerimistöö protsess ja selle käigus tekkivate jäätmete iseloomustus .....	10
1.1.1 Lahingumoon iseloomustus .....	10
1.1.2 Demineerimistöö protsess.....	14
1.2 Lahingumoon mõju keskkonnale .....	16
1.3 Lahingumoon ja metalli käitlemise meetodid ja tehnoloogiad.....	19
2. EMPIIRILINE UURING .....	25
2.1 Uuringu meetodid, protsess ja valim.....	25
2.2 Intervjuude tulemused .....	27
2.3 Järeldused ja ettepanekud.....	38
KOKKUVÕTE .....	43
SUMMARY .....	45
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU .....	46
Lisa 1. Lahingumoon ja nende tunnused .....	54
Lisa 2. Metall käitlemisega tegelevad ettevõtted.....	55
Lisa 3. Lahingumoon käitlemise etapid .....	56
Lisa 4. Päästeameti logistikakeskusesse ladustatud metallijäätmed .....	57
Lisa 5. Intervjuu .....	58
Lisa 6. Katse vaatlus .....	63

# MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

AXO – (ingl *abandoned explosive ordnance*) mahajäetud lahingumoon

DEK – Demineerimiskeskus

ERW – (ingl *explosive remnants of war*) lahingumoon

PÄA – Päästeamet

TNT – 2,4,6-trinitrotolueen ehk trotüül

UXO – (ingl *unexploded ordnance*) lahingumoon, mida on kasutatud, kuid teadmata põhjusel ei plahvatanud

Demineerimistöö – pommiohu, lahingumoonade ohu ja plahvatusohu tõrjumisega seotud tegevus (Päästeseadus, 2010).

Detonatsioon – lõhkeaines erakorraliselt kiire reaktsiooni kulgemine, mille käigus kokkusurutud produktid paisuvad ning sellega kaasneb plahvatus (Ernits, 1998, lk 30).

Lõhkeaine – soojuse, surve, löögi, hõõrdumise, elektrisädeme, leegi, valguse või keemilise reaktsiooni mõjul plahvatav keemiline ühend või ühendite segu (Langemets, 2009).

Lõhkekeha – lõhkelaengu toimele plahvatav keha (Langemets, 2009).

Lökstraat – lahingumoonade külge kinnitatud traat, mis aktiveerib lõhkekeha laengu, kui traati tõmmata või lõigata ning see paigaldatakse üldjuhul kitsale läbitavale alale selliselt, et see ei oleks vastasele märgatav (Norbert, 2013, p. 66).

Must metall – raudmetall ehk raud või selle sulam

Metalliveski – seade, mis purustab metalli

Pressgiljotiin – seade, mis lõikab metalli

Soomustlâbistav lahingumoon – kõvasüdamikuga lõhkekeha, millel on võime lâbistada soomust (Relvaseadus, 2001).

Suurtükk – relv mürskude tulistamiseks (Eesti Entsüklopeedia, 2006).

Sütik – seade, mis tekitab lahingumoonna lõhkelaengus detonatsiooni (Langemets, *et al.*, 2009)

Utiliseerimine – taaskasutuse eesmärgil toote ümber töötlemine, sh kahjutuks tegemine ja käitlemine.

## SISSEJUHATUS

Päästeamet alustas demineerimistöodega Eestis 1992. aastal ja sellest alates on demineerimistöde üle peetud pidevat arvestust (Päästeamet, 2004, lk 12). Päästeameti Demineerimiskeskusesse lisandub iga aasta keskmiselt 10 tonni lahingumoonast tekkinud jäätmeid ning Kaitseväes keskmiselt 25 tonni (Toom, 2023, lk 37). Aastal 2023 tehti Eestis kahjutuks 10840 lõhkekeha (Päästeamet, 2023). Lõhkekehade hävitamisel võivad olenevalt lahingumoonast hävitusviisist sellest alles jääda suuremad tükid, mis ei ole enam plahvatusohtlikud, kuid võivad sisaldada üliväikeses koguses lõhkematerjali jääke (Duijm, 2002, pp. 124–125; Lancaster, *et al.*, 2014, pp. 6–7), mis otseselt plahvatusohtu enam põhjustada ei saa. Olen abidemineerijana tutvunud Päästeameti demineerijate tööga ning puutunud kokku antud lõputöös käsitletava metallijäätmete probleemiga. Reeglina korjavad demineerijad kõik suuremad lahingumoonast tükid või õppelahingumoonast ühikud peale kahjutuks tegemist kokku, seejärel need kaalutakse, dokumenteeritakse ja ladustatakse spetsiaalsesse kogumiskasti ning viimaks transporditakse Päästeameti logistikakeskusesse. Hetkel ei ole lahingumoonast metallijäätmetega võimalik midagi edasi teha, mistõttu need kuhjuvad ning metallikäitlejad militaarse välimusega jääke vastu ei võta (Metalliekспорт OÜ, 2023).

Jäätmeseaduse § 1 lg 11 p 4 kohaselt ei kuulu lõhkeainet sisaldava toote jäätmed seaduse reguleerimisalasse, mistõttu ei ole vanametalli kokkuostu ettevõtte kohustatud lahingumoonast jääke vastu võtma (Jäätmeseadus, 2004). Vanametalli ettevõtte esindaja sõnul ei võta nad lahingumoonast jääke vastu kahel põhjusel. Esiteks kuuluvad lahingumoonast jäägid suures osas musta metalli hulka ehk koosnevad terase, malmi ja raua sulamitest (Roberts, *et al.*, 2016, p. 19). Musta metalli töötlemine toimub neil metalliveskis ja pressgiljotiinis (Pretz, *et al.*, 2011, pp. 92–96), kus metallijäägid tükkideks purustatakse, kuid see tehnika ei ole suuteline lahingumoonast nii peeneks jahvatama, et sellel puuduks lahingumoonale äratuntav välimuse. Militaarse kuju kaotamine on oluline valmistoodangu edasi müümisel, sest kui see sisaldab äratuntavat militaarse päritoluga kaupa, võib teenusepakkuja kogu kauba tagasi saata. Teise põhjusena kirjeldas metallikäitlejate ettevõtte esindaja, et olenemata sellest, et nad ei osta ohutuks tehtud lahingumoonast, leidub inimesi, kes peidavad lahingumoonast vanametalli hulka ning sellise lahingumoonast purustamisest hoiduvad nad ohutuse seisukohast lähtuvalt. (Tälli, 2023)

Lõputöö **aktuaalsus** tuleneb Päästevõrgustiku strateegiast, Keskkonnavaldkonna arengukavast ning oktoobris 2023 toimunud Riigi Kaitseinvesteeringute Keskuse poolt korraldatud infopäevast, kus käsitleti laskemoona jääkide utiliseerimiseks vajalike vahendite hanget. Eestis on demineerimistöid teostatud alates taasiseseisvumisest ning seni on demineerimistö käigus tekkinud metallijäätmeid uputatud, maetud ja ladustatud, kuid ükski neist kolmest ei ole jätkusuutlik lahendus ning põhjustab kahju keskkonnale. Keskkonnavaldkonna arengukava Kevad 2030 eelnõu alusel on looduskeskkonna hoidmiseks vaja luua järjest uusi tehnoloogiaid, leidmaks lahendus metallide taasväärtustamiseks (Kliimaministeerium, 2023, lk 8). Samuti on Päästevõrgustiku strateegias aastani 2025 ühe tegevussuunana välja toodud, et turvalise töökeskkonna tagamiseks on vaja uuendada demineerimisalast tehnikat ning varustust (Päästeamet, 2021, lk 26). Antud teema muudab aktuaalseks ka Ukraina ja Venemaa vahel toimuv sõjategevus (Durach, *et al.*, 2023, pp. 170–171), mis tõstis Eestis sõjaliseks olukorraks valmistumise vajadust. Selle raames toimus täiendav abidemineerijate värbamine (Gnadenteich, 2023), loomaks täiendavat ressursi lahingumoonna otsimiseks ja kahjutuks tegemiseks, sest sõjalise olukorra puhul mitmekordistub lahingumoonna käitlemise vajadus.

Lõputöö **uudsus** seisneb selles, et Eestis ei ole varem erinevas mõõdus lahingumoonast tekkinud metallijäätmete käitlemiseks lahendust leitud. Sarnasel teemal on kirjutatud magistr töö, milles uuriti tuulikulabade jäätmete ja laskemoona kasutamisest tekkinud jäätmete käitlemist Eestis, töös kirjeldatud katsetest selgus, et käidelda on võimalik vaid väiksemaid ühikuid ning suurema läbimõõduga lahingumoonna käitlemiseks on lahendust vaja edasi otsida. (Toom, 2023, lk 41) Seega on vaja leida käitlemisviis, sh analüüsida erinevaid tehnoloogiaid, mis looks võimaluse Eestis käidelda erineva läbimõõduga lahingumoonna ja lahingumoonna hävitamise käigus tekkinud metallijäätmeid.

Eelnevast tulenevalt püstitasin **uurimisprobleemi** järgmiselt: mida teha demineerimistö käigus tekkinud metallijäätmetega?

Uurimisprobleemile lahenduse leidmiseks ja lõputöö eesmärgi saavutamiseks püstitasin neli **uurimisküsimust**.

1. Missuguseid metallijäätmeid demineerimise käigus tekib?
2. Kuidas lahingumoonna metallijäätmed keskkonda kahjustavad?
3. Milliseid viise on demineerimistö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemiseks kasutatud Eestis ja mujal maailmas?

4. Millised demineerimistöö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise viisid oleksid Eestile sobilikud?

Lõputöö **eesmärk** on välja selgitada võimalused demineerimistöö käigus tekkinud metallijäätmetest vabanemiseks ning anda soovitusi Eestile sobivate tehnoloogiate ja meetodite rakendamiseks.

Eesmärgi saavutamiseks püstitasin järgmised **uurimisülesanded**:

1. Analüüsida demineerimise käigus tekkivaid metallijäätmeid ja nende mõju keskkonnale.
2. Analüüsida ja süstematiseerida demineerimistöö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise võimalusi Eestis ja mujal maailmas.
3. Analüüsida intervjueeritavate hinnanguid demineerimistöö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise võimaluste kohta.
4. Toetudes teoreetilisele analüüsile ja kvalitatiivsele uuringule teha ettepanekud lahingumoonas metallijäätmete käitlemiseks Eestis.

Lõputöö raames viisin läbi kvalitatiivse uuringu, mis põhines inimeste kogemuste ja arusaamade mõistmisel (Laherand, 2008, lk 24). Kvalitatiivne uuring annab võimaluse koguda väikesearvuliselt inimrühmalt uuritava nähtuse kohta detailset informatsiooni (Leavy, 2017, p. 19). Andmekogumismeetodina kasutasin ekspertintervjuud, et koguda erinevaid lahendusi praktilise probleemi lahendamiseks (Hirsjärvi, *et al.*, 2005, lk 192–193). Valimiks on ettekavatsetud valim, mida iseloomustab intervjueeritavate valimine eeldusega, et neil on vastavad teadmised ja kogemused, et vastata uurimisküsimustele (Krippendorff, 2019, p. 122). Lõputöö raames viisin läbi intervjuud demineerimistöö ja selle käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise asjatundjatega. Teise andmekogumismeetodina kasutasin katse vaatlust, et uurida metalli kõvaduse mõõtmise protsessi kohta. Andmeanalüüsimeetodina rakendan kvalitatiivset sisuanalüüsi, kus tekstis kasutatavad andmed pärinevad intervjuudest ning keskenduvad konteksti intensiivsele uurimisele (Laherand, 2008, lk 290).

Lõputöö koosneb kahest peatükist. Esimeses peatükis on ülevaade demineerimistöö protsessist ja selle käigus tekkivatest jäätmetest ning nende mõjust keskkonnale. Samuti kirjeldasin demineerimistöö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise meetodeid ja tehnoloogiad. Selleks analüüsisin teaduskirjandust ja varasemaid uuringuid lahingumoonas jääkide käitlemise kohta. Töö teises peatükis kirjeldasin lõputöö metoodikat, andmete kogumise protsessi, valimi



moodustamist, analüüsisin intervjuude ja vaatlusega kogutud andmeid ning tegin järeldusi ja ettepanekuid demineerimistöö käigus tekkinud metallijätmete käitlemiseks.

# 1. LAHINGUMOONA KÄITLEMINE JA DEMINEERIMISJÄÄTMETE TEKE

Lõputöö esimene peatükk koosneb kolmest alapeatükist. Esimeses alapeatükis iseloomustasin erinevaid lõhkekehasid ning kirjeldasin demineerimistöö protsessi. Teises alapeatükis käsitlesin lahingumoonasid kasutamise ja käitlemise põhjustatud keskkonnamõju. Kolmandas alapeatükis tõin välja lahingumoonasid eeltöötlemise-, lõhkeaine kestade küljest eemaldamise- ja metallist kestade käitlemise võimalused.

## 1.1 Demineerimistöö protsess ja selle käigus tekkivate jäätmete iseloomustus

Esimene alapeatükk jaguneb kaheks, neist esimeses alajaotises selgitan, kuidas lahingumoonasid kategoriseeritakse (kasutatud või mahajäetud) ning milliseid lõhkekehasid minevikus lahingutes kasutatud on. Teises alajaotises kirjeldan demineerimistöö protsessi, sh milliseid tegevusi ja vahendeid iga etapp hõlmab.

### 1.1.1 Lahingumoonasid iseloomustus

Lahingumoonasid ehk *explosive remnants of war (ERW)* nimetatakse lõhkekehasid, mis on sattunud keskkonda sõjalise tegevuse tõttu (Mishra, *et al.*, 2013, pp. 5–6). Lahingumoonasid alla kuuluvad erinevad plahvatusohtlikud lõhkekehasid, näiteks miinid, raketid, granaadid, mürsud, lennukipommid jm. (Moyes, 2004, p. 3)

Sõjalise tegevuse tagajärjel keskkonnast leitavat lahingumoonasid jagatakse kahte rühma (International Mine Action Standards, 2019, p. 15; Mishra, *et al.*, 2013, p. 5):

1. **Lahingumoonasid, mida on kasutatud, kuid teadmata põhjusel ei plahvatanud** ehk *unexploded ordnance (UXO)* (International Mine Action Standards, 2019, p. 40).
2. **Mahajäetud lahingumoonasid** ehk *abandoned explosive ordnance (AXO)*, mida sõjategevuse käigus ei rakendatud/kasutatud, vaid jäeti omaniku poolt maha (*Ibid*, p. 2).

Kõikide lahingumoonasid liikide (mürsud, miinid jm) väljalaskmisel või kukutamisel (sõltuvalt liigist) on võimalik, et detonatsioonimehhanismis tekib rike, mille tõttu detonatsioon

ebaõnnestub. Tõenäosus, et *UXO* hiljem plahvatab, sõltub konkreetsest põhjusest, miks lahingumoon ettenähtud viisil ei plahvatanud. Plahvatuse ebaõnnestumise põhjuseid võib olla mitmeid, näiteks kasutamise käigus tekkinud kahjustused, komponentide korrosioon või lagunemine. Mõned *UXO* ühikud ei ole hiljem enam detonatsioonivõimelised, kuid teised võivad olla tundlikud juba väikese liikumise suhtes. (Moyes, 2004, p. 4; United Nations Mine Action Service, 2015, pp. 19–21) Lõhkamata jäänud pommid on demineerijate jaoks kõige ohtlikumad, sest nende puhul puudub informatsioon, mis hetkel võib plahvatus toimuda ning mis seda initsieerib (Cecchine, *et al.*, 2004, pp. 5–6). Mahajäetud lahingumoon puhul sõltub selle ohtlikkus ja käitumise etteaimatavus keskkonnast, kus see seisnud on. Kui *UXO* on pikemat aega olnud ebasobilikes tingimustes (muutlikud ilmastikuolud), siis on mitteaimatava plahvatuse tõenäosus suurem (United Nations Mine Action Service, 2015, p. 32–33), seega neid käsitledes peab olema ettevaatlik, sest see võib siiski algatada detonatsiooni ahela. (Moyes, 2004, p. 4)

Eelnevalt tõin välja, millises seisukorras võib lahingumoon keskkonnast leida ning järgnevalt kirjeldan lahingumoon, millega demineerijad töö käigus kokku puutuvad (vt joonis 1).



Joonis 1. Eestist leitud lahingumoon (Päästeamet, 2024)

**Miinid** on madala maksumuse ja kaasaskantavuse tõttu levinud sõjarelvad ning need jagunevad otstarbe järgi kaheks: miinipilduja miinid ja maamiinid. Miini plahvatus põhjustab kahju kas keskkonda avalduva lööklainega või laiali paiskuvate fragmentidega, sõltuvalt selle ehitusest ja otstarbest (Kett & Mannion, 2004, p. 263). **Miinipilduja miin** lastakse välja miinipildujast, mis on 90–170 cm pikkune torukujuline maapinnale paigutatav relv. Miinipilduja miinikestade läbimõõdud varieeruvad vahemikus 45–240 mm. Väiksemad miinid võivad plahvatades

hävitada autosid ning suuremad miinid juba hooneid. **Maamiine** ei lasta, vaid maetakse mõne sentimeetri paksuse pinnasekihi alla ja plahvatuse esile kutsumine saab toimuda surve avaldamise, lõkstraadi liigutamise või distantsilt initseerimisega (Kett & Mannion, 2004, p. 263). Kaks põhilisemat maamiini liiki on jalaväe- ja tankitõrjemiinid. Maamiinide eesmärk on kaitsta territooriumit sisse tungivate vägede eest, hävitades sealhulgas inimesed ja sõjatehnika, mis nendele satuvad (Kett & Mannion, 2004, p. 263). (United Nations Mine Action Service, 2015, pp. 22–24) **Jalaväe miinid** on tavaliselt maetud maapinna pealmisesse kihti ning aktiveeruvad surve rakendamisel, näiteks nendele peale astudes. Jalaväe nõrgestamiseks kasutatakse ka hüpinkmiine, mis paiskelaengu rakendumisel lendavad kuni meetri kõrgusele ja seejärel toimub plahvatus. (Kett & Mannion, 2004, p. 263; United Nations Mine Action Service, 2015, p. 12) **Tankitõrjemiinid** sarnanevad oma ehituselt jälaväemiinidele, kuid on kaalult ja mõõdult suuremad ning detonatsiooniks vajavad hetkelist suurt survet, näiteks tanki või muu suure sõiduki miinist üle sõitmine (Kett & Mannion, 2004, p. 263). Kujult on tankitõrjemiinid üldjuhul ümara lapiku kujuga, läbimõõduga 23–40 cm ning aktiveerumiseks vajavad 120–150 kg survet (United Nations Mine Action Service, 2015, p. 18). Maapõues olevate miinide ohtlikkus seisneb selles, et nende asend, positsioon, lõhkeaine kogus, käitumisviis ja mõju ümbruskonnale on teadmata. Samuti on mõned miinid maetud nii sügavale maa alla, et need metallotsijate radarile ei jääks. Sellised sügavale maetud miinid ei plahvata, kui pinnas on tugev, kuid ilmastik võib maapinna pehmeks muuta ja sellisel juhul võib isegi lapse astumine miinile selle aktiveerida. (Habib, 2002, p. 62)

**Kobarpommideks/kassetlahingumoonaks** nimetatakse väikeste pommidega täidetud lahingumoon, mis enne sihtmärgini jõudmist välja paiskuvad (United Nations Mine Action Service, 2015, pp. 25–26). Kobarlahingumoon on võimalik kasutada ka mittesõjalisel otstarbel, näiteks valguse kuvamiseks või lehtede levitamiseks. (Kett & Mannion, 2004, p. 263)

**Lennukipommid** on lõhkekehad, mis lastakse välja lennukist (United Nations Mine Action Service, 2015, p. 30). Lennukipomme on erinevaid, näiteks vabalangevad pommid (*gravity bombs*), libisemispommid (*glide bombs*), ajalise viivitusega pommid (*Delay-action bombs*) jm. Nende erinevus tuleneb ehitusest ja otstarbest. Vabalangev pomm kukutatakse lennukilt ning selle maandumist mõjutab vaid gravitatsioon. Libisemispomm on ehitatud kehaga, mis kandub õhus edasi, seega seda on võimalik lennukist välja lasta sihtmärgist eemal ning ajalise viivitusega lennukipommil saab määrata plahvatuse momenti. (Hanmaiahgari, *et al.*, 2017, pp. 11–12)

**Mürsud** on samuti mõeldud sihtmärgi eemalt hävitamiseks, kuid nende välja laskmiseks kasutatakse suurtükke. Nii mürskude kui lennukipommidega saab vaenlasi distantsilt rünnata, kuid mürskude tootmine on odavam ning lennukipommide välja laskmine ei ole alati sõjalise olukorra tõttu ohutu (kui lennukid seatakse sihtmärgiks). (Atkinson, *et al.*, 2018, p. 242)

Soomustlähivastavad mürsud

**Granaadid** on lõhkekehad, mida visatakse käsitsi või lastakse välja granaadiheitjatest ning mille plahvatus toimub kokkupõrkel või ajalise viivituse mehhanismi rakendumisel. Granaat võib olla surmav 10 meetri raadiuses, ohtlik ala ulatub aga 50 meetrini. Levinumad käsigranaadid on ananassi kujulised, silindrilise või ümara metallist kehaga, umbes rusika suurused ja kuni 10 cm pikad. Viskekauguse suurendamiseks on osadele käsigranaatidele külge pandud pulk, millest visates kinni hoida. Väljalastavate granaatide keha on üldjuhul silindrikujuline ja ümara ninaga. Granaadid võivad sisaldada erinevaid täiteaineid: suitsu, pisargaasi, valgust, lõhkeainet. (United Nations Mine Action Service, 2015, pp. 21–22).

**Rakett** on lõhkekeha, mis lastakse välja sõidukitest (sh lennukitest ja laevadest), maapealsetest laskuritest ja õlalt. Rakett koosneb raketimootorist, lõhkeainega täidetud lahingupeast ja sütikust. Raketi lahingupeaks nimetatakse lõhkekeha osa, mis sisaldab lõhkeainet. Reeglina on raketi lennutrajektoor juhitav. Rakettide eelis teiste lõhkekehade ees on nende täpsus, arvestades kui kaugelt neid võimalik lasta on. Lõhkeaine kogus sõltub keha mõõtmetest, mis võib olla alates 80 cm ja ulatuda kuni 15 m pikkuseni ning sellest lähtuvalt on rakett võimeline hävitama sõidukeid, hooneid ning isegi terveid naabruskondi. Raketid on keskkonnast sageli leitavad osadeks võetuna ning nende pikka silindrikujulist keha võib ekslikult pidada veektoruks. UXO raketid on äärmiselt ohtlikud, kuna nende häirimine võib käivitada kasutamata raketikütuse ja saata raketi juhuslikule trajektoorige. Raketikütus on söövitav, lenduv, põletab nahka ning sisse hingates võib olla surmav. (United Nations Mine Action Service, 2015, pp. 26–28).

I ja II maailmasõja ajal toodeti ka palju keemilisi ühendeid sisaldavaid lõhkekehasid (Bełdowska, *et al.*, 2016), millega levitati keskkonda toksilisi ühendeid ja mõjutati tsiviilisikute tervises seisundit (Spiers, 1989, pp. 20–21), kuid selles töös ma nendele ei keskendu.

Lahingumoonade tüüpe on võimalik omavahel eristada nende kuju, läbimõõdu, pikkuse, ehituse ning kasutamise eripärade poolest (vt lisa 1 tabel 1). Alati ei piisa ühest tunnusest, et määrata lõhkekeha tüüp, sest näiteks kõik miinipilduja miinid ei ole sama läbimõõduga, vaid varieeruvad vahemikus 45–240 mm, mistõttu on vaja kindlasse kategooriasse määramiseks veel teadmisi lõhkekehade kujust ja ehitusest.

### 1.1.2 Demineerimistöo protsess

Demineerimistöo lausdemineerimisel seisneb piirkondade, kus on minevikus toimunud sõjaline tegevus, lahingumoonade puhastamise ja ohutuks tegemise. Maa-ala lahingumoonade puhastamise protsess jaguneb viieks etapiks:

1. Kaardistatakse territoorium, kus on toimunud sõjategevus;
2. Territooriumi ettevalmistus ehk vajadusel eemaldatakse taimestik ja silmaga nähtavad metallikillud;
3. Otsingu käigus leitud lahingumoonade asukohad kaardistatakse;
4. Leitud lahingumoonade tehakse lahti võtmise või lõhkamise teel kahjutuks;
5. Demineerimistöo kvaliteedikontroll. (Habib, 2002, p. 62)

Hetkel kasutusel olev demineerimise meetod (manuaalne demineerimine) on ohtlik, kallis ja aeganõudev ning sellega on päevas võimalik vaid paarisaja ruutmeetri suurune maa-ala läbi töötada (Habib, 2002, p. 63; Prada, et al., 2016, p. 3).

**Manuaalne demineerimine** on maa-ala lahingumoonade metalliotsijaga puhastamine (vt joonis 2). Selle kohaselt töötab demineerija esmalt metalliotsijaga kindlaksmääratud maa-ala läbi. Igale otsingus osalejale määratakse umbes meetri laiune trajektoor, mida ta aeglaselt metalliotsijat maapinna lähedal liigutades läbib (Cecchine, et al., 2004, p. 9). Lahingumoonas on küll piisavalt metalli, et metalliotsijaga see tuvastada, kuid kõigest üks tuhandest signaalist kuulub lahingumoonale ning suurem osa signaale on maapõues leiduvad metallikillud/fragmendid. Kui metalliotsija annab signaali ehk maapinnas leidub metalli, siis järgmisena kasutab demineerija signaali täpsema asukoha tuvastamiseks ja eseme kuju tunnetamiseks miiniora (vt joonis 2). Kui eelnevad toimingud on tehtud, siis tuleb ettevaatlikult ja vähehaaval hakata pinnast esemelt eemaldama. (Habib, 2002, p. 63; Prada, et al., 2016, p. 3)



Joonis 2. Manuaalse demineerimise töövahendid, vasakul metalliotsija "Garret" (Morex, 2024) ja paremal miiniora (Eod, 2024)

**Mehaaniline demineerimine** on maa-ala lahingumoonast miinitõrjesõidukitega puhastamine. Selliste sõidukitega puhastatakse vaid läbisõidetavaid teid, mitte ei töödelda läbi tervet kaardistatud maa-ala, nagu seda tehakse metalliotsijatega, sest miinitõrjesõidukitega on keeruline manööverdada. Ehituselt sarnanevad sõidukid militaarsetele soomusmasinatele. Nende tööpõhimõtte seisneb miinide plahvatuse rasketehnika survega esilekutsumises. Kahjuks ei ole mehaaniline demineerimine nii efektiivne kui manuaalne demineerimine, sest pikalt maapõues seisnud miinid ei pruugi surve mõjul plahvatada, kuid metalliotsija annaks siiski märku nende olemasolust. Küll aga miinitõrjesõidukitega on demineerimine kiirem ning ohutum. (Habib, 2002, p. 64; Juneja, 2016, pp. 54–55)

Lahingumoonala leidmisele järgneb selle **identifitseerimine** ehk tüübi kindlaksmääramine ja seda teostab kvalifitseerunud isik, kasutades selleks varasemaid uuringuid ja lahingumoonala erinevaid tüüpe sisaldavaid andmebaase (Noyes, 1996, p. 174). Sageli on üleskaevatud laskemoon korrodeerunud ja kaetud mullaga, mistõttu on vajalik enne identifitseerimist lõhekeha puhastada (Magee, *et al.*, 2002, p. 295).

Lõhekehad, mille puhul demonteerimine pole kulutõhus või mille jaoks pole olemas tehnoloogiat, mis võimaldaks turvalist ja tõhusat demonteerimist või mille transport ei ole ohutu, (Towndrow, 2019, p. 29) **hävitatakse**. Hävitamise meetodi valimisel lähtutakse lahingumoonala tüübist, kogusest, hävitamise teostajate pädevusest ja asukohast ning tuleb arvestada julgeolekuriske, keskkonnamõjusid ja rahalisi kulusid. (Bajić, *et al.*, 2020, p. 10)

Kasutuskõlbmatu, aegunud ja ebastabiilne lahingumoon ja lõhkematerjal hävitatakse lahtise põlemise või detonatsiooniga. Need on kaks kõige tavapärasemat lahingumoon kahjutuks tegemise meetodit. Lahingumoon **lahtise põlenguga hävitamine** toimub põlengu teel, mis süttib välisest allikast, näiteks leegist või kõrgest temperatuurist (initseerivad põlengu, kuid ei põhjusta detonatsiooni). Lahtise põlengu üheks tingimuseks on, et see peab toimuma territooriumil, mis on vastupidav lahingumoon juhuslikule plahvatusele, välja arvatud juhul, kui kvalifitseeritud isikud kinnitavad, et on hävitamisel tegemist lahingumoonaga, mille puhul saab kindel olla, et põleng toimub ilma detonatsioonita. **Lahtise detonatsiooni** puhul hävitatakse lõhkeained ja lahingumoon detonatsiooniga, mille käivitab hävitamiseks juurde lisatud lõhkelaengu lõhkamine. Lahingumoon hävitamisel lahtise põlengu ja detonatsiooni protseduuridega kaasneb kohustus teavitada kollektiivi, lähiümbruses paiknevaid inimesi ning vajadusel hävingu käigus tekkinud metallijäätmeid ja muu prügi ära koristada. (Noyes, 1996, p. 142; Towndrow, 2019, p. 32–34)

Lahingumoon hävitamise käigus tekkinud metallijäätmeid nimetatakse lahingumoon fragmentideks, mis paiskuvad plahvatuse korral sõltuvalt lõhkeaine kogusest vastavale kaugusele (Kang, *et al.*, 2018, p. 54).

Lahingumoon hävitamine **suletud detonatsiooniga** sarnaneb lahtise detonatsiooniga hävitamisele. Erinevus seisneb keskkonnas, kus seda läbi viiakse. Suletud detonatsioon toimub kinnises kambris, mida on võimalik transportida ning see võimaldab koguda heitgaase, et vältida nende eraldumist ümbritsevasse keskkonda. Suletud detonatsiooni kambri miinuseks on lõhkeaine piirang, mida selles kambris lõhata võib. (Duijm, 2002, p. 124)

Väljatoodud lahingumoon hävitamise viisid tagavad üldjuhul nähtava lõhkeaine hävimise metallkesta küljest, kuid kestad meenutavad siiski lahingumoon. Seega hävitusejärgselt on tegemist militaarse välimusega metallijäätmetega, mis on erineva suuruse, koostise ja paksusega, sõltuvalt lahingumoon tüübist ja hävitamise viisist.

## 1.2 Lahingumoon mõju keskkonnale

Lõhkeainete vabanemine keskkonda võib toimuda nii lahingumoon tootmise, ladustamise, transportimise, käitlemise kui ka hävitamise käigus ning kõikide nimetatud protsesside tagajärjed võivad põhjustada keskkonna saastumist (Hawari, *et al.*, 2009, pp. 78–79).



I ja II maailmasõja käigus toodeti massidena erinevat tüüpi lahingumoonna, mis sisaldasid lõhkeainena üldjuhul 2,4,6-trinitrotolueeni (TNT) (Kangd, *et al.*, 2018, p. 54). Ligikaudu 20–30% õhurünnakutes ja õhutorjetegevuses kasutatud lahingumoonast ei plahvatanud, mille tulemusena sattus rannikuvettesse ja maismaale lõhkamata jäänud lõhkekehi. Lisaks uputati pärast II maailmasõda suurtes kogustes alles jäänud lahingumoonna Põhja- ja Läänemerre. Peale 1945. aastat korraldati demilitariseerimise kampaania, mille käigus kukutati Läänemerre veel 360 000–385 000 tonni lahingumoonna. (Achterberg, *et al.*, 2023, pp. 3–4; Andersen, *et al.*, 2023, p. 20169)

Läänemere põhjast leitud maailmasõdadest pärit lahingumoonaga tehti 2016–2017 aastatel katseid, kus nende vahetust lähedusest (kuni 2 m kauguselt) ja ligikaudu 30 meetri kauguselt võeti setetest proovid, et tuvastada lõhkeaine sisaldust merevees ja selle eraldumist lahingumoonast. Tulemuseks saadi, et lahingumoonast eemaldudes setetes lõhkeaine osakeste tase langeb ning kõige suurem kontsentratsioon on lahingumoonna vahetus läheduses. Sellest järeldati, et lahingumoonast eraldub vette lõhkeaine osakesi. (Beldowska, *et al.*, p. 367) Lõhkeaine osakesed on mürgised ja kantserogeensed ning imendumisel veeloomastikku ja –taimestikku jõuavad need mürgised ühendid inimeste toidulauale. Näiteks TNT sattumisel inimeste organismi võib see põhjustada kollatõbe, kahjustada kesknärvisüsteemi ning hapniku transporti veres. Seetõttu on oluline mõõta merevetes lõhkeaine kontsentratsiooni ja selle järgi valida kalapüügi asukohti. Lõhkeaine osakeste sisaldus viitab ka plahvatamata lahingumoonale meres, mis seab plahvatusohu tõttu ohtu harrastus- ja kaubandusliku kalapüügi ning laevaliikluse. (Achterberg, *et al.*, 2023, pp. 3–4; Andersen, *et al.*, 2023, p. 20169)

Vee saastumist põhjustab lisaks merre ladestatud lahingumoonale ka nende käitlemine. Lahingumoonna lõikamiseks ja sellest lõhkeaine eemaldamiseks on võimalik kasutada vesilõikust või puhastamise tehnoloogiat (põhjalikum kirjeldus alapeatükis 1.3), kuid mõlemal juhul eraldub protsessi käigus lõhkeaine osakestega saastunud vesi, mis vajab hiljem puhastamist (Baralić, *et al.*, 2020, p. 105; Van Ham, 1998, p. 147).

*U.S. Army Environmental Center* on jaganud lahingumoonna käitlemise käigus tekkiva lõhkeainetega saastunud vee kahte kategooriasse:

1. “punane vesi”, mis pärineb TNT valmistamisest;
2. “roosa vesi”, mis pärineb tootmis-, kokkupanemis- ja pakkimistoimingutest või lahingumoonna käitlemise protsessist, mille käigus puutus kokku TNT-ga (Noyes, 1996, pp. 108–109).

Olenemata nimetusest ei saa punast ja roosat vett värvi järgi eristada, sest mõlemal juhul on tegemist värvitu ja läbipaistva veega ning peale erinevaid protseduure (näiteks filtreerimine ja puhastamine) ja valgusega kokkupuudet muutuvad need roosaks, helepunaseks, tumepunaseks või mustaks. Suurem osa saastunud veest on roosa ning see tuleneb lõhkekehade käitlemise protsessist (Bailey, *et al.*, 1992, pp. 236–237). Need jääkveed suunatakse settebasseinidesse, et eraldada tahked plahvatusohtlikud osakesed veest ja ülejäänud vesi juhitakse laguunidesse. Nendes laguunivetes ja ümbritsevas pinnases esineb sageli lõhkeaine osakestega saastumist. Pinnase ja põhjavee ulatusliku saastumise põhjustajaks on lahingumoon tootmishoonete lekkekohad ja käitlemise alad, mis on rajatud valdavalt mäestikualadele. (Noyes, 1996, pp. 108–109)

Lahingumoon käitlemine põhjustab lisaks vee- ja pinnasereostumisele veel õhu saastumist. Klassikalisi hävitusmeetodeid, näiteks lahtine põletamine või lahtine detonatsioon (põhjalik kirjeldus alapeatükis 1.1.2) viiakse läbi vabas õhus ning nende käigus eralduvad keskkonda metallijäägid, tolm ja põlemisgaasid (Duijm, 2002, p. 124). Uuemad lahingumoon käitlemise tehnoloogiad on osaliselt varustatud gaaside kontrollimise ja puhastamise seadmetega, mis filtreerivad lõhkeaine põlemisel tekkivad põlemisgaasid enne kui need keskkonda vabanevad (Duijm, 2002, p. 125). Seega on uued lõhkekehade käitlemise tehnoloogiad keskkonnasõbralikumad kui klassikalised hävitusmeetodid, kuid vaadates õhu saastumist põhjustavaid tegureid terves maailmas, ei ole lahingumoon hävitamisest tekkinud põlemisgaasid võrreldavad suurte tehaste tootmisprotsessist põhjustatud õhu saastumisega.

Metalli taaskasutamine ehk vanametalli käitlemine saastab küll paratamatult keskkonda, kuid see on keskkonnasõbralikum, kui uute toodete valmistamine toormetallist. Metallide käitlemine on sõltuvalt metallist 10 kuni 20 korda energiatõhusam, kui selle hankimine kaevandusest. (Bajić, *et al.*, 2020, p. 8)

Lisaks uputamisele ja käitlemisele mõjutab keskkonda veel sõjajärgselt maha maetud lahingumoon. Maailmas laialdaselt levinud praktikas oli tavapärase lahingumoonast vabanemise viis selle maha matmine. Maha maeti vananenud lahingumoon või sattus sõjajärgsetesse piirkondadesse palju plahvatamata ühikuid, mille tagajärjel ei ole teatud piirkonnad seni inimtegevusele ohutud (Mishra, *et al.*, 2013, pp 7–8). Lõhkematerjali matmise alad ei kaardistatud, mistõttu puudub ülevaade, kus need ohtlikud piirkonnad asuvad. On juhtumeid, kus ohtlikud alad on tuvastatud piirkondadest, millele on tsiviilisikutel juurdepääs.

Sellise olukorra muudab veel ohtlikumaks fakt, et inimesed tegelevad nendel aladel põlluharimisega ning lahingumoon kohal kaevamine võib selle plahvatuse esile kutsuda. Matmisalade puhastamine lahingumoonast on väga kallis protseduur ning alati ei ole see näiteks ressursi puuduse tõttu võimalik, seega on oluline need alad vähemalt ära kaardistada, teavitada ümbruskonna elanikke ja piirata territooriumile sisenemine. (Abrahamsen, *et al.*, 2023, pp. 1–2; Duncan, *et al.*, 2020, p. 18; Noyes, 1996, p. 174)

Lahingumoon põhjustab uputades või mattes keskkonnale tulevikus suuremat kahju, kui selle hävitamine ja käitlemine, mistõttu on oluline uurida erinevaid lõhkekehade metallijäätmete käitlemise meetodeid ja tehnoloogiaid.

### **1.3 Lahingumoon ja metalli käitlemise meetodid ja tehnoloogiaid**

Lahingumoonast vabanemiseks on matmine ja uputamine kõige lihtsamad ning ajaloos enim kasutatud meetodid, sest nende jaoks ei lähe vaja kaasaegset tehnoloogiat, kuid tuleviku perspektiivis kaasneb matmisega inimeste ohtu seadmine kui lahingumoon matmisalale rajatakse näiteks elurajoon või lõhkekehade uputamise puhul tekivad tulevikus suuremad kulutused, et ära hoida keskkonna saastumist (Bajić, *et al.*, 2020, p. 10), mida lahingumoon aastate jooksul merevees põhjustama hakkab, seega ei ole tegemist jätkusuutlike lahendustega. Jätkusuutlikuteks lahingumoon utiliseerimise ja metallijäätmete käitlemise võimalusteks on erinevaid meetodeid ja tehnoloogiaid.

Kaasaegset tehnoloogiat metalli käitlemiseks kasutavad metalli kokkuostu, töötlemise ja taaskasutamise tegelevad ettevõtted. Need ettevõtted saab struktureeritud püramiidile asetada (vt lisa 2 joonis 1). Kõige madalamal paiknevad väikesed ettevõtted, kes ostavad inimestelt metalli ja koguvad seda. Järgmiseks müüakse see metall suuremale ettevõttele, kellel on olemas vajaminev tehnoloogia, et seda metalli sorteerida ja töödelda ning seejärel müüakse töödeldud metall juba püramiidi tipus olevale ettevõttele, kes metalli edasi töötleb ja uue toote valmistamiseks kasutab. (Pretz, 2011, p. 91)

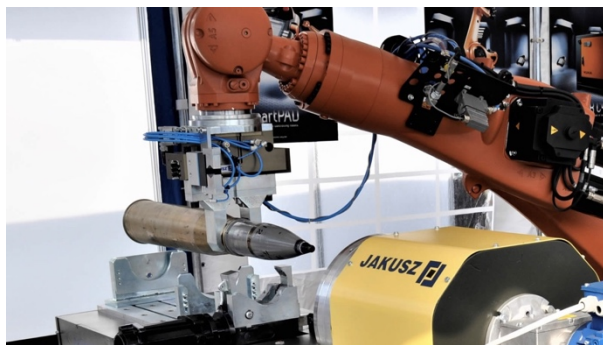
Eestis leidub ainult püramiidi alumisel astmel olevaid vanametalli kokkuostu ettevõtteid, kes tegelevad metalli ostmise, kogumise ja väljapoole müümisega.

Vanametalli kokkuostu ettevõtted ostavad igapäevaselt kokku erinevaid metallijäätmeid, mis võivad esineda puhtal kujul (üks metall) või sulamitena (erinevate metallide segu) (Emery, *et*

*al.*, 2002, pp. 458–459). Samuti esinevad metallijäätmed väga erineva kuju, suuruse, tiheduse ja kõvadusega. Suurem osa metallijäätmeid tuleb eraisikutelt ning neid saab üldjuhul ilma töötlemata edasi müüa ning taaskasutada. Siiski leidub metallijäätmeid, mis vajavad eeltöötlemist, sest vastasel juhul ei vasta need kvaliteedinõuetele, mille ostjad ehk metalli töötlemise või taaskasutamise ettevõtted on vanametalli kokkuostu ettevõtetele seadnud. Eeltöötlemist vajavad metallijäätmed, mis võivad töötlemise käigus põhjustada ohtu, on näiteks lõhkeainet sisaldavad metallist kestad või metallijäätmed, mille küljes on mittemetalli osasid (näiteks plastik). (Pretz, 2011, p. 91)

Lahingumoonast tekkivate metallijäätmete käitlemiseks on vaja lahingumoonas esmalt eeltöödelda (vt lisa 3 tabel 2 “I etapp”), et eraldada sellest lõhkeaine. Lõhkeaine eraldamiseks on kõigepealt vaja sellele ligi pääseda ehk kest purustada või lahti võtta ning selle jaoks on erinevaid meetodeid. (Bajić, *et al.*, 2020, p. 9)

Esimene lahingumoonas eeltöötlemise meetod on “**tagurpidi kokkupanek**” (vt joonis 3), mis tähendab, et lahingumoon võetakse lahti osadeks täpselt nii nagu see tootmise käigus kokku pandi (Van Ham, 1998, p. 147). Üldjuhul asetatakse lahingumoon vertikaalselt tasapinnale, et osade eraldamisel ei satuks lõhkeainet kohtadesse, mis võivad plahvatuse esile kutsuda. Osadeks võtmise protsess sõltub lahingumoonas konditsioonist ning alati ei ole võimalik seda meetodit rakendada, näiteks juhul kui lõhkekeha on aastakümneid maa all seisnud ning on selle käigus deformeerunud (Van Ham, 1998, p. 147). Selliseid masinaid on automaatseid, poolautomaatseid ja manuaalseid ning kõigi kolme puhul on lahingumoonas mõõtmise osas piirangud (võimalik soetada lisatarvikuid, et masinaga suuremaid/väiksemaid ühikuid lahti võtta). Lahingumoonas tagurpidi kokkupaneku miinusteks on manuaalsete ja poolautomaatsete masinatega vahetult töötava personali ohtu seadmine ning aeglane ning kulukas tööprotsess. (Bajić, *et al.*, 2020, p. 9)



Joonis 3. Lahingumoonas “Tagurpidi kokkupaneku” tehnoloogia (Jakusz, 2023)

Teiseks eeltöötlemise võimaluseks on **vesilõik** (vt joonis 4). Selle protsessi käigus löikab tugev veesurve metalli kaheks osaks ning samaaegselt on veejoal jahutav toime, mis vähendab plahvatusohtu (Van Ham, 1998, p. 147). Vesilõikuse üks suurimaid plusse on kaugjuhitavus, mis välistab töötaja ohtu seadmise (Bajić, *et al.*, 2020, p. 12). Samuti on võimalik veejoaga lõigata erineva suurusega ja seisukorras lahingumoon, mis teeb selle kasutamise soodsaks (ei ole vaja soetada kalleid lisatarvikuid). Selle meetodi suurimaks miinuseks on protsessi käigus tekkiv lõhkeaine osakestega saastunud vesi. (Van Ham, 1998, p. 147). (Bailey, *et al.*, 1992, pp. 236–237)



Joonis 4. Lahingumoon vesilõikuse tehnoloogia (Hammelman, 2023)

Kolmas lahingumoon eeltöötlemise võimalus on **külmpurustamine**. Külmpurustamiseks uputatakse lahingumoon veeldatud lämmastikuga täidetud vanni, kus lastakse sellel seista 30 minutit kuni 4 tundi sõltuvalt lahingumoonast ning seejärel suunatakse ühik pressi vahele, mis selle osadeks purustab. Veeldatud lämmastik jahutab lõhkekeha ning muudab selle kesta hapramaks ja selle tulemusena on purustamine oluliselt ohutum (väheneb plahvatusoht) (Magee, *et al.*, 2002, p. 226). Külmpurustatakse üldjuhul lahingumoon, mis on keerulise ehitusega ning mille puhul teiste purustamise meetodite kasutamine ei ole võimalik. See protsess saab olla nii poolautomaatne, kui ka täisautomaatne. (Bajić, *et al.*, 2020, p. 12)

Neljanda eeltöötlemise meetodina saab kasutada **saagimist** (Bowers, *et al.*, 2012, p. 71). Spetsiaalse metallilõike-saega (vt joonis 5) lahingumoon lõikamine on 4–5 korda kiirem, kui veejoaga lõikamine ning samuti 75% soodsam, kuid sellega ei ole võimalik kõiki lahingumoon ühikuid saagida, vastupidiselt vesilõikusele (Bajić, *et al.*, 2020, pp. 12–13). Saagide testimisel lõigati edukalt 3000 lahingumoon ühikut pooleks, protsessi käigus ja lõppedes mõõdeti lahingumoon temperatuuri ning see ei näidanud erisust ümbritseva temperatuuriga (Roger, 2006, p. 91).



Joonis 5. Metallilõike-saag lahingumoona lõikamiseks (Bajić, *et al.*, 2020, p. 13)

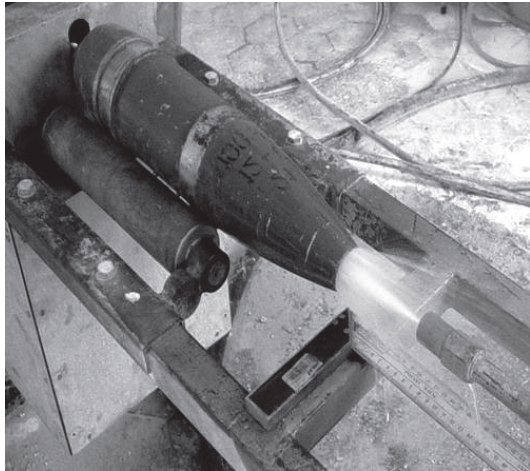
Viienda eeltöötlemise meetodina toon välja **laserlõikuse**, mille puhul poolitatakse lahingumoon ja selles sisalduv lõhkeaine laserkiirega. Antud lõiketööriistadega töötamisel ei teki temperatuuri tõusu ja sellega kaasnevat kõrget plahvatusohtu. Laserlõikuri plussidena on välja toodud kiire lõikamise protsess, kuid peamiste puudustena väga madal tootlikkus, st üks mürsk korraga, väga suur investeering laseri ostmiseks ja vajadus kõrgelt koolitatud personali järele, et seda keerukat süsteemi opereerida ja hooldada. (Poulin, 2010, p. 11)

Kui lahingumoon on osadeks lõigatud ja on tekitatud ligipääs lõhkeainele, siis järgmises käitlemise etapis (vt lisa 3 tabel 2 “II etapp”) tuleb see lõhkeaine kestalt eemaldada. Tänapäevased vahendid võimaldavad lõhkeainet eemaldada mehaaniliselt, kuuma veega või auruga sulatades, põletades ja surveveega maha pestes (Borkowski, *et al.*, 2008, p. 22).

Lõhkeainet on võimalik lahingumoonas kestast **mehaaniliselt eemaldada** kui lõhkeaine on eelnevalt pressitud ning seejärel kesta sisse paigutatud. Sellisel juhul on kesta sisse fikseeritud alusmaterjal (näiteks papp), mis eraldab lõhkelaengut sütikust. Mehaaniline lõhkeaine eemaldamine on kõige lihtsam meetod, kuid üldjuhul on lõhkeaine kesta sisse fikseeritud muu vahendiga (näiteks parafiiniga), mistõttu ei ole seda nii lihtne eemaldada ning peab kasutama muid meetodeid. (Bajić, *et al.*, 2020, p. 9)

Lõhkeaine sulatamise meetodit lahingumoonas kestalt **kuuma vee või auruga** saab rakendada juhul kui lõhkeaine on TNT või segu, mis sisaldab TNT-d. Seda selgitab TNT omadus sulada madala temperatuuri juures (80 °C), mis tagab selle meetodi efektiivsuse. Sulatamise protsessi käigus suunatakse kuum vesi või aur lõhkeainele või kestale ning selle toimele sulab lõhkeaine kesta küljest lahti. Selle protsessi muudavad keeruliseks mürgised gaasid, mis sulamise käigus eralduvad ning millest tulenevalt peavad töötajad kandma ettenähtud kaitsevahendeid. (Bajić, *et al.*, 2020, pp. 9–10; Poulin, 2010, p. 14)

Lõhkeainet on võimalik kesta küljest eemaldada **surveveega** (vt joonis 6). Selle tehnoloogia puhul suunatakse survestatud veejuga lõhkeainele, mille tagajärjel eraldub lõhkeaine täielikult kesta küljest (Baralić, *et al.*, 2019, p. 358; Medina, *et al.*, 2011, p. 360). Sarnaselt veejoaga lõikamise protsessile tekib surveveega lõhkeaine eemaldamise käigus saastunud vett, mis vajab filtreerimist (Baralić, *et al.*, 2020, p. 105).



Joonis 6. Surveveega lõhkeaine eemaldamise tehnoloogia (Baralić, *et al.*, 2019, p. 358)

Eelpool väljatoodud viis lahingumoonade avamise tehnoloogiat ning kolm lõhkeaine eraldamise meetodit lahingumoonade kestalt ei anna siiski kõikide lõhkekehade puhul tulemust, mistõttu tuleb kasutada klassikalisi hävitamise meetodeid, mille käigus lõhkeaine ära **põleb**. Lõhkeainet saab põletada lahtise põlenguga, lahtise- või suletud detonatsiooniga (Noyes, 1996, p. 142; Duijm, 2002, p. 124). (Bajić, *et al.*, 2020, p. 10) Hävitamise meetodeid on kirjeldatud antud töö alapeatükis *1.1.2 Demineerimistöö protsess*.

Lahingumoonade kesta küljest eemaldatud lõhkeaine utiliseerimiseks on mitmeid tehnoloogiaid, näiteks mobiilne ja pöörlev põletusahi (*Rotary kiln*) või keevkihis põletamine (*Fluidized bed combustion*) (Van Ham, 1998, pp. 148–149; Poulin, 2010, p. 19), mille käigus lõhkeaine põletatakse, kuid antud töös ma neid põhjalikumalt ei käsitle ning keskendun edaspidi lahingumoonade kestade ja nendest tekkinud metallijäätmete käitlemisele.

Lahingumoonade kestadest tekkinud metallijäätmed, millelt on eemaldatud lõhkeaine, suunatakse metallitööstustesse (Van Ham, 1998, p. 148), kus metalli käitlemise (vt lisa 3 tabel 2 “etapp III”) kõige põhilisemad meetodid on purustamine ja pressimine ning seejärel magnetiline sorteerimine (Graedel, *et al.*, 2012, pp. 692–693). Lõhkekehade kestad koosnevad põhiliselt terasest, vasest, alumiiniumist ja messingist, mida on võimalik taastöödelda ning taaskasutada (Bajić, *et al.*, 2020, p. 8). Metallid erinevad üksteisest kõvaduse poolest ning kõvadus näitab

materjali vastupanu deformatsioonile (Tabor, 2000, p. 1). Purustamisprotsess on oluline, et vähendada metallijäätmete suurust ja valmistada see ette edasiseks töötlemiseks.

**Metalli purustamiseks/lõikamiseks** saab kasutada pressgiljotiini (Pretz, *et al.*, 2011, p. 92).

**Pressgiljotiini** tööpõhimõte seisneb metalli poolitamises, kasutades selleks kahte vastastikust tera. Alumine tera on kinnitatud aluslauale ning ülemine tera on nurga all ülemise raami küljes, mis lõikamistoimingu ajal alumise tera vastu liigub. Lõikamise tulemusena tekivad metallijäägid pikkusega 400 kuni 1000 mm (Pretz, *et al.*, 2011, p. 92). Pressgiljotiinid jagunevad nelja kategooriasse: paralleelsete-, nurga all (ülemine tera 1° kuni 6° nurga all)-, mitmeotstarbeliste- ja eriotstarbeliste teradega giljotiinid. Giljotiini tuleb valida lähtudes sellest, kui suurt jõudu on lõikamiseks vaja rakendada. (Mpofu, *et al.*, 2021, p. 1321)

Giljotiiniga lõigatakse üldjuhul pehmemat metalli (Pretz, *et al.*, 2011, p. 92) ja kuna lahingumoon koosneb suures osas mustmetallist, siis ei ole see tehnoloogia mõeldud lahingumoonna kestade lõikamiseks.

Metalli purustamiseks kasutatakse ka **metalliveskit**, mis purustab metallitükid väiksemateks ja hõlpsamini käsitsetavateks osadeks. Metall, mida soovitakse purustada, suunatakse veskisse läbi trumli või konveierilindi abil. Seejärel liigub metall läbi pöörlevate terade ja haamrite, mis lõikavad ja rebivad metalli väiksemateks tükkideks. Purustatud materjal väljub metalliveskist läbi vibratsiooni- ja konveierilindi. Metalliveskist väljuvate fraktsioonide suurused varieeruvad vahemikus 1 mm kuni 150 mm. (Pretz, *et al.*, 2011, p. 94–95)

Kolmandaks metalli käitlemise võimaluseks on **sulatamine põletusahjus** temperatuuril üle 1200 °C (Cleere, 1972, p. 8). Pärast metalli sulatamist põletusahjus kaotab metall oma vormi, mistõttu ei võimalik tuvastada, millisest allikast see pärineb (Brusselaers, *et al.*, 2004, p. 658). Metall sulatamisel tuleb ahju parameetrid kohandada vastavalt metallile, mida sulatatakse ja soovitud lõppsaadusele (Gregurek, *et al.*, 2016, p. 1516).

Lahingumoonna käitlemiseks sobivaima tehnoloogia valimisel tuleb lähtuda olemasolevast ressursist (tehnoloogiate hinnad on erinevad), tehnoloogia kättesaadavusest, metallijäätmetest (mida paksemad kestad seda võimsamat tehnoloogiat läheb vaja), käitlemise asukohast ja kuidas käitlemise seda keskkonda võib mõjutada. Samuti tuleb tootmise või taaskasutamise ettevõtetele edasimüümise puhul järgida nende poolt vastuvõetava metalli nõudeid.



## 2. EMPIIRILINE UURING

### 2.1 Uuringu meetodid, protsess ja valim

Lõputöös läbiviidava uuringu eesmärgiks on välja selgitada võimalused demineerimistöökäigus tekkinud metallijääkidest vabanemiseks ning anda soovitusi Eestile sobivate meetodite rakendamiseks. Püstitatud eesmärgi täitmiseks viisin läbi **kvalitatiivse uuringu**, mis annab põhjaliku arusaama ühe spetsiifilise teema kohta (Vincent, et al., 2001, p. 21). Enne kvalitatiivse uurimuse läbiviimist peavad olema läbitöötatud valdkonda reguleerivad dokumendid ja olemasolevad andmed, et oleks selge ülevaade temast ning välja selgitatud lüngad praegustes teadmistes (Murray, 2010, p. 82). Demineerimistöökäigu protsessi ja selle käigus tekkivate metallijääkide olemuse ja käitlemiseks vajaminevate tehnoloogiate kohta kogusin informatsiooni järgmistest andmebaasidest: *EBSCOHost Web*, *SAGE Journals Online*, *ScienceDirect*, *Wiley*, *Scopus* ning *Taylor & Francis Online*. Päästeameti Demineerimiskeskuse lahingumoonna metallijääkide ladustamisest ja kogusest ülevaate saamiseks käisin Päästeameti logistikakeskuses olukorraga tutvumas (vt lisa 4 joonis 1). Laoruumi virnadesse paigutatud metallijätmed puidust kastides on täitnud suure osa ruumist ning tulevikus tekkivad lahingumoonna metallijätmed sinna ei mahu.

Esimeseks **andmekogumismeetodiks** kasutasin intervjuud, sest see võimaldab koguda intervjuueeritavate teadmisi, hoiakuid ja seisukohti (Laherand, 2008, lk 176). Head intervjuud iseloomustab läbi eesmärgipäraste küsimuste esitamise uue või põhjalikuma perspektiivi saamine uuritava teema kohta (Kelly, 2010, p. 309). **Poolstruktureeritud ekspertintervjuu** on üks intervjuu liikidest, mis ei ole rangelt piiritletud, vaid intervjuueerijal on võimalus esitada nii varasemalt koostatud, kui ka vestluse käigus spontaanselt tekkivaid avatud küsimusi vabalt valitud järjekorras lähtudes intervjuu kulgemisest (Lincoln, et al., 2009, pp. 662–663; Kelly, 2010 pp. 318–319). Uurimisküsimustele vastuste saamiseks pidasin oluliseks viia läbi just ekspertintervjuud, sest antud juhul pakub mulle huvi valdkond, millega intervjuueeritavad tööalaselt tegelevad ning sellest tulenevalt on nad kaasatud uurimusse vastava asutuse eksperdina (Laherand, 2008, lk 199). Viisin läbi 12 poolstruktureeritud intervjuud ajavahemikul 10.06.2023–27.02.2024 (vt lisa 5 tabel 3). Intervjuud leppisin eelnevalt kokku e-kirja või telefoni teel. Intervjuu küsimusi koostades lähtusin antud lõputöö uurimisküsimustest (vt lisa 5 tabel 4). Uurimisküsimustele vastuste saamiseks jagasin intervjuu küsimused viie küsimustiku vahel ning vastavalt intervjuueeritava töövaldkonnale sobitasin intervjuueeritava

küsimustikuga (vt lisa 5 tabel 5). Intervjuu küsimuste viie küsimustiku vahel jagamine oli oluline, sest intervjuueeritavad, kes oskasid vastata lahingumoonast tekkinud metallijääkide varasemate käitlemisviiside kohta konkreetses asutuses ei olnud pädevad rääkima tänapäevastest metallikäitlemise tehnoloogiatest ja võimalustest ning vastupidi. Lõputöö eesmärk oli lisaks välja selgitada lahingumoonas metallijäätmete käitlemise võimalused välismaal, kuid lähtuvalt asjaoludest ei olnud võimalik intervjuusid läbi viia, mistõttu on kolme välisriigi vastused intervjuu küsimustikule esitatud kirjalikult (vt lisa 5 tabel 6). Intervjuud salvestasin täismahus ning kasutasin selleks mobiilirakendust *Voice Memos*. Intervjuude transkribeerimiseks (Laherand, 2008, lk 279) kasutasin Tallinna Tehnikaülikooli veebipõhist kõnetuvastust (Alumäe, *et al.*, 2022, p. 410).

Teooria ja intervjuude põhjal selgus, et lahingumoonas metallijäätmete üheks käitlemisvõimaluseks on purustamine, kuid selleks on vaja teada metallijäätmete kõvadust, seega teise **andmekogumismeetodina** kasutasin enda lõputöös katse **vaatlust** (vt lisa 6). Vaatlus on süstemaatiline uurimine, mille käigus kogutakse teavet inimeste, esemete, keskkonna ja muude mõõdetavate sündmuste kohta (Farah & Chandler, 2018, p. 276). Vaatluse raames käisin Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja metroloogia katselaboris lahingumoonas kesta kõvaduse testimist vaatlemas, sest see on oluline parameeter purustaja valikul.

Intervjuu, kirjaliku küsitluse ja vaatluse valimiks on **ettekavatsetud valim**, mis tähendab, et populatsiooni seast on välja valitud inimesed, kellel on antud valdkonnas kogemused/teadmised ning kes oskavad kõige tõenäolisemalt küsimustele vastata (Kelly, 2019, p. 317; Duan, *et al.*, 2015, pp. 534–535). Valimi moodustasid Päästeameti demineerimiskeskuse töötajad, Kliimaministeeriumi, Kaitseinvesteeringute Keskuse, Kaitseväe ja Kaitsealiidu esindajad, Eesti vanametalli kokkuostu ettevõtete esindajad ning metalli käitlemise asjatundjad, kellelt kogusin informatsiooni, kuidas on varem Eestis lahingumoonast tekkivaid metallijäätmekäideldud, millised probleemid lahingumoonas metallijäätmega esinevad, milliseid tehnoloogiaid on võimalik nende käitlemiseks kasutada ja millised nimetatud tehnoloogiatest Eestile sobivad. Valimisse kuulusid veel Hollandi, Belgia ja Soome demineerimisüksuste esindajad ning nende metallijäätmete käitlemisega tegelevad lepingupartnerid, et saada ülevaade käitlemisviisidest mujal maailmas.

Andmeanalüüsimeetodina kasutasin **kvalitatiivset sisuanalüüsi**, mis võimaldas intervjuude ja kirjaliku küsitlusega kogutud andmete sisu tõlgendada, kategooriatesse määrata, koodid moodustada ning seejärel analüüsida (Laherand, 2008, lk 290). Samuti analüüsisin kvalitatiivselt vaatluse käigus kogutud informatsiooni. Andmeanalüüsi eesmärk on jõuda

algsest püstitatud probleemide ja küsimuste vastusteni (Hirsjärvi, *et al.*, 2005, lk 206). Intervjuude transkriptsioonid ja kirjalikud intervjuude küsimuste vastused olid väga mahukad, mistõttu töötasin sisu analüüsimiseks välja koodisüsteemi, mis aitas süstematiseerida kõikide intervjuueeritavate uusi ning korduvaid ideid (Patton, 2002, p. 463). Teksti kodeerimine tähendab esmalt töötlemata tekstist andmete eraldamist ning seejärel eraldatud osadest märksõnade loomist, et oleks lihtsam korduvaid mõtteid sarnaste omaduste alusel koondada (Saldana, 2013, pp. 8–9). Kasutasin transkribeerimiseks programmi *Estonian Speech Recognition and Transcription Editing Service* (Alumäe, *et al.*, 2022) ja transkriptsioonide analüüsiks programmi *Microsoft Office Word*. Töö teooria ja uurimisküsimuste alusel moodustasin 4 kategooriat, mille paigutasin koos nende alla kuuluvate koodidega tabelisse (vt lisa 5 tabel 7).

## 2.2 Intervjuude tulemused

Käesolevas peatükis analüüsisin intervjuudega kogutud informatsiooni. Intervjuudega kogutud informatsioon jaguneb 4 kategooriasse. Kategooriate alla moodustasin koodid, mis esindavad intervjuueeritavate vastuseid ning seisukohti. Transkribeerimise käigus tekkis koode rohkem, kui tabelis on välja toodud ning kompaktsema tulemuse saamiseks koondasin sarnaste tunnustega koodid. Koodide järel on välja toodud, mitu koodi on antud koodi alla koondatud ja esinemissagedus on arvatud koondamata koodide põhjal.

Esimene kategooria tuleneb uurimisküsimusest "missuguseid metallijäätmeid demineerimise käigus tekib?" ja sellest lähtuvalt on esimene kategooria "**Demineerimistöökäigus tekkivad metallijäätmed**", mille alla moodustasin viis koodi (vt tabel 1).

Tabel 1. Esimene kategooria: Demineerimistöökäigus tekkivad metallijäätmed (autori koostatud)

Kood	Mitmes intervjuus esines	Esinemissagedus
<b>Kood 1.1</b> Tühjad lahingumoon ja õppelahingumoon kestad (koondatud 6 koodi)	9	12
<b>Kood 1.2</b> Militaarse välimusega metallijäätmed	9	9
<b>Kood 1.3</b> Erinevat liiki lahingumoon (koondatud 16 koodi)	10	42
<b>Kood 1.4</b> Erineva keemilise koostisega materjalid (koondatud 15 koodi)	11	41

<b>Kood 1.5</b> Ohutud metallijäätmed (koondatud 5 koodi)	9	13
---	---	----

Lõputöö esimese uurimisküsimuse eesmärgiks oli välja selgitada, mis iseloomustab demineerimistööst käigus tekkinud metallijäätmeid. Lahingumoonas metallijäätmete iseloomustamiseks toodi intervjuudes enim välja **erineva keemilise koostisega materjale** (kood 1.4). Erineva keemilise koostisega materjalidest nimetati mustmetalli, terast, messingut, alumiiniumi, vaske, täisrauda, pronksi, tina, malmi, liitiumi, roostes-, karastatud- ja kõrge kõvadusklassiga lahingumoonas kestasid. Teiseks kasutati metallijäätmete kirjeldamiseks **erinevat liiki lahingumoonas** (kood 1.3), mille kestadest need metallijäätmed tekkisid. Lahingumoonas liikide all toodi välja peamiselt I ja II maailmasõja aegsest Saksa ja Vene lahingumoonas ja õppelahingumoonas, milleks olid erineva läbimõõdu ja kesta paksusega mürsud sh soomustlâbistavad ja suurtükimürsud, miinid, lennukipommid, granaadid, raketid, padrunid ning keemilise lahingumoonas kestad.

*"/--/ tekivadki igasugused musta metalli jäägid, mis on erinevate lõhkekehade killud, kas pooleks läinud või mis iganes suuruses alumiiniumi, messingu jäägid." (Taalmann, 2024)*

*"/--/, näiteks Vene ja Saksa päritolu asjad on peamised. Liikide poolest võib kõike veel praegu ikkagi leida Eestis – mürsud, miinipilduja miinid, miinid, granaadid, lennukipommid, raketid, kõike." (Andrespok, 2024)*

Samuti selgus, et metallijäätmed tekivad ka uue lahingu- ja laskemoonas kestadest (toodetud lähiajal). **Tühjad lahingumoonas ja õppelahingumoonas kestad** (kood 1.1) ja **militaarse välimusega metallijäätmed** (kood 2) toodi välja 9 intervjuueeritava poolt.

*"Pigem tekivad kilded, mille suurus varieerub paarist millimeetrist kuni kümnete sentimeetriteni, siukeseid rebenenud lahingumoonas kesta osasid. Kindlasti tekivad ka niimoodi, et lõhkekeha põleb tühjaks seest, aga lõhkekeha ise jääb peaaegu tervikuks. Ehk siis selline suur, raske ja meenutab veel täiesti lõhkekeha, aga lõhkematerjali pole sees." (Stroo, 2024)*

Viimase olulise tunnuseks rõhutati intervjuude käigus, et tegemist on **ohutute metallijäätmetega** (kood 1.5). Metallijäätmed võivad sisaldada üliväikeses koguses lõhkeaine jääke, mis ei ole silmaga märgatavad, kuid sellised kogused ei põhjusta plahvatusohtu.

Tegemist on avatud kestadega, mille vastava kvalifikatsiooniga isik on üle kontrollinud ja kinnitanud metallijäätme ohutust.

*"Tõhus on kasutada hävitamisel erilaengut, mille eesmärk on avada lahingumoonas kesta võimalikult palju, et saaks kindlasti näha lõhkekeha sisse. Oluline on, et oleks visuaalselt kontrollitav, et lõhkeainet enam sees pole."* (Tammine, 2023)

Teine kategooria tuleneb uurimisküsimusest "Kuidas lahingumoonas metallijäätmed keskkonda kahjustavad?" ja sellest lähtuvalt on teine kategooria "**Lahingumoonas metallijäätmete mõju keskkonnale**", mille alla moodustasin seitse koodi (vt tabel 2).

Tabel 2. Teine kategooria: Lahingumoonas metallijäätmete mõju keskkonnale (autori koostatud)

Kood	Mitmes intervjuus esines	Esinemissagedus
<b>Kood 2.1</b> Loomastik ja inimorganism (koondatud 4 koodi)	4	6
<b>Kood 2.2</b> Pinnas	1	1
<b>Kood 2.3</b> Taimestik (koondatud 7 koodi)	4	11
<b>Kood 2.4</b> Vesikeskkond (koondatud 4 koodi)	3	7
<b>Kood 2.5</b> Reostus, saatumine (koondatud 3 koodi)	3	6
<b>Kood 2.6</b> Energiakulu ja sääst (koondatud 3 koodi)	5	5
<b>Kood 2.7</b> Puudub keskkonnamõju	3	3

Lõputöö teise uurimisküsimuse eesmärgiks oli uurida, kuidas lahingumoonas metallijäätmed keskkonda kahjustavad. Suurim hulk intervjuueeritavatest töi välja **energiakulu ja säästu** (kood 2.6). Energiakulu põhjendati vanametalli transportimisest tuleneva keskkonnajälje kasvamisega ning energiasäästu uute toodete valmistamisega vanametalli taaskasutades, sest maagist toodangu valmistamine on kordades energiakulukam.

*"Mustmetalli taaskasutades hoiab võrreldes maagist tootmisega CO<sub>2</sub> teket kokku kuuskümmend kuni seitsekümmend protsenti. Igaljuhul taaskasutamisel on keskkonnakoorem väiksem."* (Viira, 2024)

Kõige rohkem toodi intervjuueeritavate poolt välja erinevaid versioone, kuidas metallijäätmed mõjutavad **taimestikku** (kood 2.3). Maapõuest lahingumoonas leidmisel on vaja see välja

kaevata ning see lõhub taimestikku. Ohtlik ehk lõhkeainet sisaldav lahingumoon tuleb hävitada ja selle protsessi käigus toimuva plahvatuse mõjul avaldub keskkonda lööklaine. Plahvatus jätab endast maapinda üldjuhul suure augu, mistõttu puud langevad ja juurestik saab kahjustada ning halvimal juhul põhjustab plahvatus metsatulekaju. Lisaks lendavad plahvatuse käigus lahingumoonu killud laiali ning lähiumbruses asuvad puud püüavad need killud kinni. Sellepärast on loodud spetsiaalsed hävituskohad, kus on keskkonnamõjude põhjustamine minimaliseeritud. Keskkonda mõjutava tegurina toodi välja veel oht **loomastikule ja inimorganismile** (kood 2.1), kuid selle all mõeldi pigem lõhkemata lahingumoonu, mis keskkonnas inimelu ohtu võib seada ja mitte niivõrd lahingumoonu metallijäätmeid, millele antud lõputöö keskendub.

*"---/ lõhkemata lõhkekehad metsa all või kuskil väljas on ju reaalne oht inimesele ja kui rääkida hävitusprotsessidest, siis ilmselgelt kõigepealt nende otsimine ja väljakaevamine teeb keskkonnale natuke haiget." (Taalmann, 2024)*

Lisaks mainiti plahvatusest põhjustatud müra, mis häirib loomi ja linde. Samuti öeldi, et metallijäätmed mõjutavad **pinnast** (kood 2.2), **vesikeskkonda** (kood 2.4) ja **reostavad** (kood 2.5) üleüldiselt loodust. Metallijäätmete pikaajalise väliskeskkonnas (maismaal või vesikeskkonnas) viibimise tagajärjel võib kest laguneda ja selle tagajärjel keskkonda lõhkeainet eritada. Intervjuude käigus toodi välja, et hävitamisel erituvad keskkonda mürgised põlemisgaasid.

*"---/ tegelikult on võimalik isegi Läänemerest võtta juba veest proove ja proovid näitavad mingil määral lõhkematerjalisisaldust, sest Läänemerre on uputatud sõjajärgselt palju lahingumoonu. See on isegi dokumenteeritud, kuidas laevadest mingeid asju lihtsalt merre valati ja nüüd need lagunevad ja seetõttu vesi sisaldab lõhkeaine jääke." (Stroo, 2024)*

*"Nagunii tuleb lõhkekeha lõpuks ära hävitada. Sa pead selle lõhkeainest kuidagi vabanema või neutraliseerima, et see enam ohtlik ei oleks ja nüüd on küsimus kuidas seda teha, igaljuhul mingisugune saaste tekib." (Taalmann, 2024)*

Keskendudes ainult lahingumoonu kestadest tekkinud metallijäätmetele, ütlesid 3 intervjuueeritavat, et metallijäätmetel **puudub keskkonnamõju** (kood 2.7).

*"Minu arvates nad ei avalda kuidagi teistsugust mõju keskkonnale, kui ükskõik milline muu metallijäätde." (Tuuling, 2024)*

Kolmas kategooria tuleneb uurimisküsimusest "Milliseid viise on demineerimistöös käigus tekkinud metallijäätmete käitlemiseks kasutatud Eestis ja mujal maailmas?" ja sellest lähtuvalt on kolmas kategooria "**Lahingumoonas metallijäätmete käitlemisviisid seni Eestis ja mujal maailmas**", mille alla moodustasin kaheksa koodi (vt tabel 3).

Tabel 3. Kolmas kategooria: Lahingumoonas metallijäätmete käitlemisviisid seni Eestis ja mujal maailmas (autori koostatud)

Kood	Mitmes intervjuus esines	Esinemissagedus
Kood 3.1 Matmine	4	4
Kood 3.2 Ladustamine (koondatud 7 koodi)	7	15
Kood 3.3 Uputamine	4	4
Kood 3.4 Hävitamine (koondatud 7 koodi)	8	12
Kood 3.5 Õppematerjalina kasutuselevõtt (koondatud 2 koodi)	2	2
Kood 3.6 Messingust (laskemoona) hülsid viiakse vanametalli kokkuostu	3	3
Kood 3.7 Mujal maailmas ümbertöötlemine (koondatud 3 koodi)	5	6
Kood 3.8 Mujal maailmas eksport	1	1

Lõputöö kolmanda uurimisküsimuse eesmärk oli välja selgitada, milliseid lahingumoonas käitlemisviise varem Eestis ja mujal maailmas kasutatud on. Neli intervjuueeritavat töid välja, et minevikus lahingumoonast vabanemiseks neid **maeti** (kood 3.1) ja **uputati** (kood 3.3), kuid mõlemat viisi kirjeldati kui mitte jätkusuutlikku lahendust, sest peale matmist ja uputamist tulid mõne aja möödudes need samad lõhkekehad uuesti päevavalgele ja nendega tuli tegeleda.

*"Lahingumoonas ja nende kestade probleem on olnud sellest ajast peale, kui demineerimisega taasiseseisvumise järgselt tegelenud oleme ja mureks ongi olnud, et kuhu tühjad kestad panna. Algselt maeti maha ja otsiti selliseid lahendusi, aga see ei olnud jätkusuutlik lahendus ja siis hakkasimegi lahendust otsima läbi metallikäitlejate, aga ühel hetkel öeldi, et ei, tegelikult nad ei saa võtta, need ikkagi meenutavad lõhkekehasid ja kuna Eestis ei ole sellist purustamise*

*võimalust, siis ei saa kuskile väljapoole Eestist ka ära viia, sest kui sealt leitakse lõhkekeha, siis kogu partii saadetakse tagasi." (Tammine, 2023)*

Kõige rohkem toodi intervjuude käigus käitlemisviisina välja lahingumoon **hävitamist** (kood 3.4) ja seejärel hävitamisest alles jäänud metallijäätmete **ladustamist** (kood 3.2). Hävitamise all kirjeldati lahingumoon, mis on ohtlik ja sisaldab lõhkeainet ning lõhkamist hävituskohas. Ladustamist selgitati kui lahingumoon metallijäätmete käitlemisahela viimast etappi Eestis, sest puuduvad võimalused metallijäätmete ümbertöötlemiseks. Samuti kirjeldati ladustamise protsessi ja sellele kehtestatud nõudeid.

*"---/ esmalt lahingumoon identifitseeritakse ehk tuvastatakse ohuaste. Selle tuvastamiseks on vaja selgeks teha, mis lahingumoonaga tegu on ja mis on tema tööpõhimõte, kas teda on kasutatud või on lihtsalt kuskil vedelema jäänud. Selle põhjal otsustatakse, kas transporditakse hävituskohta või tuleb hävitada kohapeal ja edasi hävitatakse." (Taalmann, 2024)*

*"Kõik, mis omab veel lõhkekeha kuju ja mis võib potentsiaalne järgmine väljakutse olla, need lähevad eraldi konteinerisse, nende üle peame arvestust. Tuleb üles märkida palju kaalub ja täita tabelit ja kui seal on näha, et konteiner hakkab täis saama võtame ühendust logistikateenusega ja toimub üleandmine, kus kolm komisjoni liiget annavad oma allkirja alla" (Stroo, 2024)*

*"Päästeametis olemegi hetkel kokku kogunud kastidesse ja euroalustele. Täis euroaluse kaal on kolmsada kilo ja need kolmesajakiloseid euroalused on meil kokku kogutud siis lao territooriumile ja ootavad oma aega ---/ laopinda jääb aina vähemaks." (Andrespok, 2024)*

Kaks intervjuueeritavat tõid välja, et valikuliselt kasutatakse leitud lõhkekehasid ka **õppematerjalina** (kood 5), kuid ainult juhul kui ollakse kindel, millega tegemist ja lõhkekeha ei sea ohtu elu, vara ega tervist. Intervjuude käigus selgus, et lahingumoon metallijäätmete alla kuuluvad ka **laskemoona messingust hülsid, mis viiakse vanametalli kokkuostu** (kood 3.6). Kolm intervjuueeritavat selgitasid, et messing on pehme metall ja selle käitlemisega Eesti vanametalli kokkuostu ettevõtetal probleeme ei teki.

**Välisriikide** lahingumoon metallijäätmete käitlemisviiside kohta kogutud informatsioon jagunes kaheks: riigid, kus toimub lahingumoon metallijäätmete **ümbertöötlemine** (kood 3.7) ja riigid, kus puudub ümbertöötlemiseks võimalus sarnaselt Eestile, mistõttu metallijäätmed



**eksporditakse** (kood 3.8). Intervjuude käigus tõid viis intervjueeritavat välja kuus välisriiki, kus toimub lahingumoona ümbertöötlemine: Belgia, Rootsi, Soome, Saksamaa, Norra, Türgi. Nendes riikides sulatatakse vananenud lahingumoon uueks lahingumoonaks või kasutatakse muu toodangu valmistamiseks. Hollandi demineerimisüksuselt kirjalikult saadud vastusest selgus, et nemad ekspordivad lahingumoonast tekkinud metallijäätmed Norra.

*"/--/ suuremate riikide puhul on see, et nad ise toodavad lahingumoonu ehk siis need kestavad töödeldaksegi uueks lahingumoonaks." (Tammine, 2023)*

*Soomes kontrollivad demineerijad kõik metallijäätmed enne vanametalli käitlemisega tegelevale ettevõttele edastamist üle ning seal toimub metallijäätmete sulatamine (Soome, 2024).*

Viimane kategooria tuleneb uurimisküsimusest "Millised demineerimistö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise viisid oleksid Eestile sobilikud?" ja sellest lähtuvalt on neljas kategooria "**Eestile sobivad lahingumoonu metallijäätmete käitlemisviisid**", mille alla moodustasin kaheksa koodi (vt tabel 4).

Tabel 4. Neljas kategooria: Eestile sobivad lahingumoonu metallijäätmete käitlemisviisid (autori koostatud)

Kood	Mitmes intervjuus esines	Esinemissagedus
<b>Kood 4.1</b> Purustamine (koondatud 20 koodi)	12	35
<b>Kood 4.2</b> Sulatamine (koondatud 12 koodi)	10	20
<b>Kood 4.3</b> Plasmavesilõikus (koondatud 3 koodi)	4	3
<b>Kood 4.4</b> Gaasilõikus	1	1
<b>Kood 4.5</b> Eksport Eestist (koondatud 5 koodi)	8	10
<b>Kood 4.6</b> Ohutu ja käitlemisnõuetele vastav metallijäätmete (koondatud 5 koodi)	8	10
<b>Kood 4.7</b> Käitleja (koondatud 12 koodi)	8	12
<b>Kood 4.8</b> Õiguslikud alused (koondatud 3 koodi)	3	3

Lõputöö neljanda uurimisküsimuse eesmärk oli leida Eestile sobivaid lahingumoonu metallijäätmete käitlemisviise. Intervjuudes toodi välja erinevaid tehnoloogiaid ja meetodeid metallijäätmete käitlemiseks ning samuti selle protsessi kitsaskohti Eestis. Metallümbertöötlemise võimalusena pakkusid kümme intervjueeritavat välja lahingumoonu

metallijäätmete **sulatamise** (kood 4.2), kuid seda käsitleti rohkem kui käitlemisahela viimast etappi, mille käigus lõhkeaine jäägid täielikult ära põlevad ja metallijäätmetest uus toode valatakse ja mitte kui lahendust Eestis tekkiva lahingumoonana metallijäätmete käitlemiseks. Metallijäätmete sulatamine on tulus, kui korraga sulatada suurtes kogustes metallijäätmeid, kuid Eestis ei teki nii palju lahingumoonana metallijäätmeid, et põletusahju soetamine end ära tasuks. Üks intervjuueeritav tõi välja, et tegemist on väga kalli protseduuriga, mis vajab erialaseid teadmiseid.

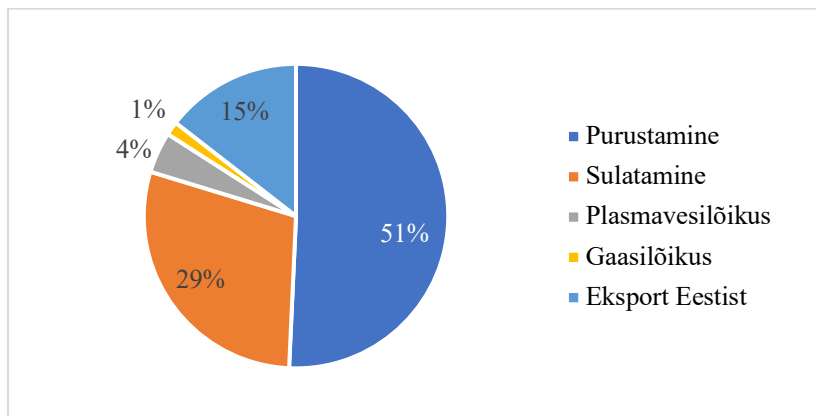
*"Lõpuks läheb kogu metallijääde nagunii sulatusse. Terasse tarnija sulatab selle ülesse, kas siis kallates seda vanametalli jahutuseks sulametalli, mis on juba tuhande kuuesaja kraadi juures või siis hakkab elektrihaarleegiga seda üles sulatama, see on igal juhul vanametalli lõppsihtkoht. Terasetootjad sulatavad 80–250 tonni ühekorraga /---/ Terasse tarnija ei osta neid metallijäätmeid, sest seal on lõhkekehad sees. Lõhkekeha ei tohi panna sinna masinasse, sest kogu selle seadme seadistus maksab nii palju, et keegi riskiks sellega." (Peetsalu, 2024)*

Metallijäätmete sulatamise võimaluse puudumise tõttu Eestis tõi 8 intervjuueeritavat välja vajaduse metallijäätmed ümbertöötlemiseks **eksportida** (kood 4.5), kuid see pole militaarse välimuse tõttu võimalik. Üle poole intervjuueeritavatest pidasid oluliseks, et käideldav metallijääde on **ohutu ja käitlemisnõuetele vastav** (kood 4.6), sest metallijäätmete käitlemise tehnoloogia ei tuleks toime plahvatusohtliku lahingumoonaga või materjaliga mille kõvadusklass on suurem kui seade, millega seda purustatakse. Vanametalli kokkuostu ettevõtete esindajad väljendasid lahingumoonana käitlemisprotsessi osas segadust, sest **õiguslikud alused** (kood 4.8) ei ole täielikult välja töötatud. Vanametalli kokkuostu ettevõtetele määratletakse igal aastal kogused ja jäätmekoodid, mida ja kui palju nad käesoleval aastal tohivad käidelda. Hetkel puudub Eestis siseriiklik militaarse metalli tekkepõhine jäätmekood, mis võimaldaks korrektset aruandlust koostada, kuid riikidevahelisel jäätmete veol lähtutakse Baseli jäätmekoodidest.

*"Mingi seadusandlus võiks olla militaarse metalli kohta, et kuidas neid käidelda, koguda ja märgistada jne." (Tälli, 2024)*

*"Kliimaministeeriumil on hetkel pooleli jäätmenimistu muutmine. Kui laskemoonast järgi jäänud jäätmed on ohutud, siis ei liigitu need laskemoonajääkide alla. Ohutute laskemoonajääkidele on vaja lisada uus jäätmekood." (Otsason, 2024)*

Kõige efektiivsemaks lahingumoonna metallijäätmete käitlemisviisiks sh Eestile sobivaks pakuti intervjuude käigus välja **purustamist** (kood 4.1) (vt joonis 7). Intervjuueeritavad töid välja, et purustajaga ehk metalliveskiga on võimalik lahingumoonna metallijäätmete militaarsest välimusest vabaneda, kuid purustaja tuleb valida lähtudes jäätmete kõvadusest. Enne purustajasse metallijäätmete sisestamist tuleks neid materjali järgi sorteerida, sest metallid kaotavad omavahel segunedes väärtust ja see muudab taaskasutamise keerumiseks. Kui metallijäätmete koosneb juba metallisulamist, siis purustaja ei jahvata metallijäätet nii peeneks puruks, et sulamit omavahel eraldada oleks võimalik, isegi mitte magnetiga. Intervjuudest selgus, et purustamine on soodsam kui sulatamine, kuid purustaja valimisel peab arvestama millise suurusega jäätet see masin on suuteline purustama, sest lahingumoonna metallijäätmete suurused on erinevad ja purustajast ei tohiks väikesed lahingumoonna kestad läbi libiseda.



Joonis 7. Intervjuude käigus selgunud võimalikud lahingumoonna metallijäätmete käitlemisviisid Eestisse (autori koostatud)

*"See peab suutma purustada asju selliseks, et need enam lahingumoonna ei meenutaks. Noh, ma toon näite, näiteks kui on õppekäsigranaat, mis on suhteliselt väike tükk ja kui see masinasse panna, siis ei tohiks see tervena välja tulla /---/, kui purustajale toimub hange siis peab pakkuja/tootja väljastama purustaja sertifikaadid, kui suur see purustusjäätet on, mis mõõtmega ja millise tugevusega on, sest ega need väga väikesed purustajad tihtipeale pole väga võimsad, mis väga väikesteks kildudeks teevad. Osad jäätmed, näiteks Päästeametil, on teise maailmasõjaaegsed miini ja mürskude metallkorpused ja need on nii kõvast metallist, et tänapäeva enamus purustajad jäävad hätta nendega." (Lipp, 2024)*

*"Väikesed tükid õhukese kestaga ei ole probleemiks, need lähevad sealt purustajast läbi, aga selleks, et neid suuri raskeid täisrauaast asju või suuri kilde purustada, siis selle jaoks on vaja*

*väga võimast purustajat. Ja on olemas ka sulatusahjud, aga ma arvan, et seal probleem see, et Eestis meie jääkide kogus siiski ei ole piisavalt suur, et metalliettevõtetel tasub selle seadme soetamine, mis on ääretult kallis, sest enamuse ajast see seisaks tühja." (Taalmann, 2024)*

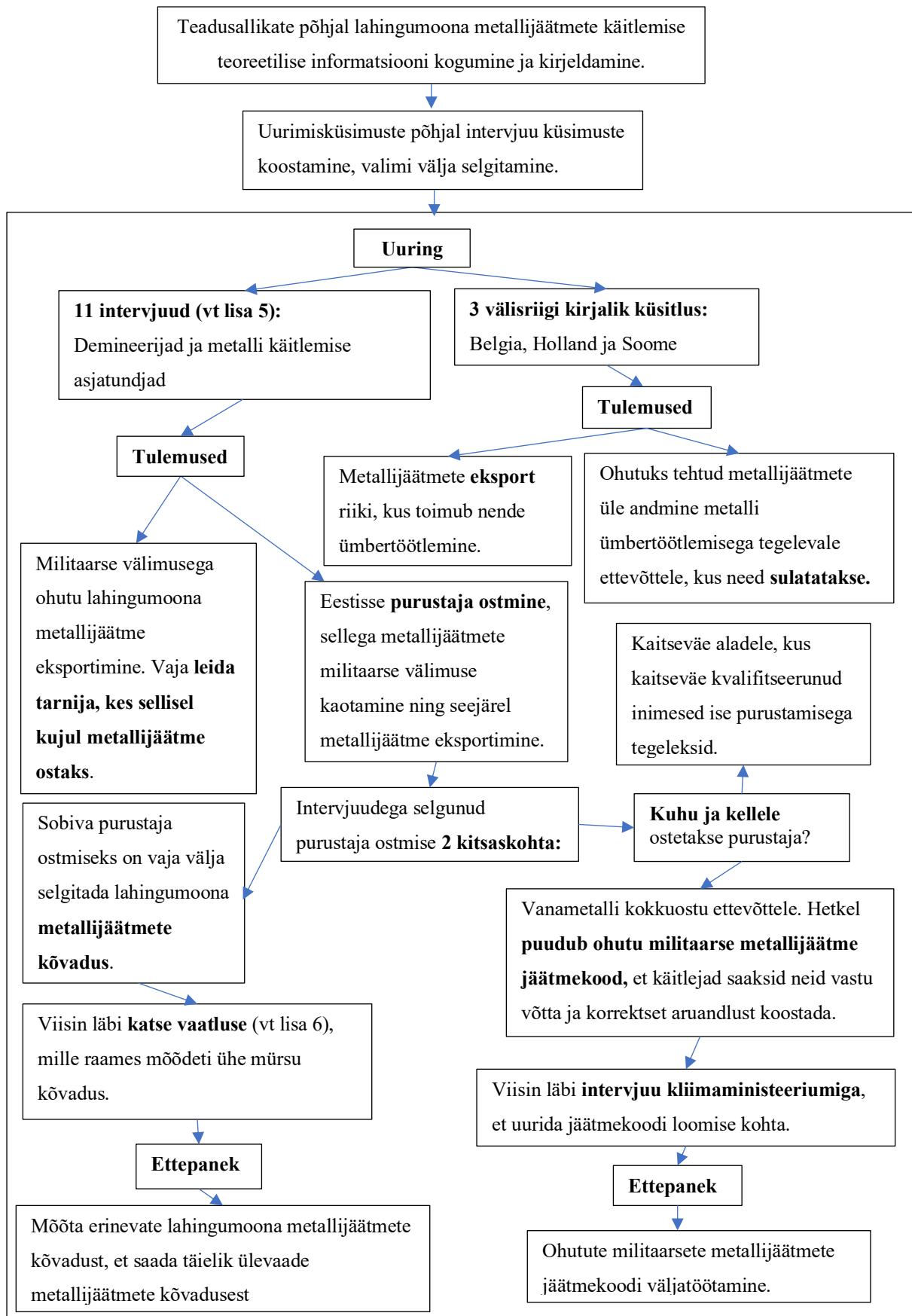
Intervjueeritavad kirjeldasid ka **vesilõikust** (kood 4.3) ja **gaasilõikust** (kood 4.4), kuid need tehnoloogiad võimaldavad metallijäägid vaid kaheks osaks lõigata, mille tulemusena ei kaotaks metallijääde militaarset väärtust ning probleem säiliks.

Sõltumata tehnoloogiast, millega tulevikus Eestis tekkinud lahingumoonas metallijäätmelid käitlema hakatakse, kergitasid intervjueeritavad küsimuse **käitleja** (kood 4.7) osas. Antud juhul peab igas käitlemise etapis olema kaasatud kvalifitseerunud isik. Vanametalli kokkuostjad ei ole pädevad hindama lahingumoonas metallijäätmelid ohutust, mistõttu on vaja käitlemisprotsessi kaasata PÄA, Kaitseväge või Kaitseväe demineerijad. Kui tehnoloogia soetatakse Kaitseväge aladele, siis ei ole vajadust kaasata vanametalli kokkuostjaid, vaid peale militaarse väärtuse kaotamist metallijäätmelid otse tarnijale (välismaale) saata. Intervjuudest selgus, et igal juhul tuleb leida tarnija, kes need metallijäätmelid ümbertöötleks ja tarnija esitab kaubale kvaliteedinõuded. Kvaliteedinõuetena tõid intervjueeritavad välja koguse ja metallijäätmelid militaarse väärtuse, kuid ühe võimalusena pakuti välja idee leida välisriigist tarnija, kes juba tegeleb selliste metallijäätmelid ja nõustuks vastu võtma metallijäätmelid, mis meenutavad lahingumoonas.

*"---/ tõenäoliselt peame selle ise soetama ja meie enda inimesed harjutusväljadel hakkaksid sellega tegelema." (Lipp, 2024)*

*"Tegelikult ei ole seda suuremat kaupa ka vaja läbi veski ajada, on lihtsalt klienti vaja, kes militaarset kaupa ostab. Kui lõppklient on näiteks Türgis, neil on sulatusahi ja kui tema ei võta, siis ei olegi midagi teha, sest siin Eestis ei ole ühtegi mustametalli sulatusahju." (Tälli, 2024)*

Andmekogumise protsessist ja tulemusteni jõudmisest parema ülevaate loomiseks koostasid joonise (vt joonis 8).



Joonis 8. Lõputöö andmekogumise ja uuringu läbiviimise struktuur (Mitt, 2024)

## 2.3 Järeldused ja ettepanekud

Antud alapeatüki eesmärk on analüüsida lõputöö uuringu tulemusi ja teha nende põhjal järeldusi. Uurimisprobleemile lahenduse leidmiseks püstitasin 4 uurimisküsimust, mida järgnevalt ühekaupa analüüsin.

**Esimene uurimisküsimus** oli "Missuguseid metallijäätmeid demineerimise käigus tekib?" Demineerimistöö käigus tekkivate metallijäätmete kohta põhjaliku informatsiooni saamiseks pidin esmalt uurima, mida tähendab demineerimistöö. Uuringu tulemustes kirjeldasin Eestis toimuvat demineerimistöö protsessi ja metallijäätmeid, mis selle töö käigus tekivad. Demineerimistöö seisneb lahingumoonade leidmises, kas otsingu käigus või väljakutse alusel, seejärel lõhkekeha identifitseerimises, kasutades selleks andmebaase, kus on sissekanded varasematest leidudest ning selle põhjal otsuse langetamisest, kas tegemist on ohtliku või ohutu lahingumoonaga. Lahingumoonade ohuastme põhjal hävitatakse see kas kohapeal või transporditakse hävitamiseks ettenähtud alale, kus lõhatakse lisa lõhkelaengu abil (käesolev töö, lk 32). Eestis lausdemineerimisel kasutusel olevat demineerimistöö protsessi käsitlesin antud lõputöö teoorias, kui manuaalset demineerimist (käesolev töö, lk 14–16). Intervjueeritavad kasutasid demineerimistöö käigus tekkivate metallijäätmete kirjeldamiseks erinevaid materjale ja lahingumoonade liike: mürsud, miinid, lennukipommid, granaadid, raketid, padrunid ning keemilise lahingumoonade kestad. Samuti toodi välja, et lõhatud lahingumoonad jäävad järele erineva suuruse ja kaaluga metallijäätmeid (käesolev töö, lk 27–28). Kõik intervjueeritavate poolt nimetatud lahingumoonade liigid (käesolev töö, lk 10–14) ja materjalid (käesolev töö, lk 24) on välja toodud ka teoorias. Seega tekib demineerimise käigus erineva suurusega ja erinevast materjalist lahingumoonade meenutavaid ohutuid metallijäätmeid.

**Teine uurimisküsimus** oli "Kuidas lahingumoonade metallijäätmed keskkonda kahjustavad?" Lahingumoonade ja nendest tekkivate metallijäätmete keskkonnamõju kohta toodi uuringu käigus mitmeid näiteid, mida kinnitab ka antud lõputöö teooria. Intervjueeritavad põhjendasid vajadust leida Eestisse lahingumoonade metallijäätmete käitlemisviisi läbi minevikus kasutatud mitte jätkusuutlikute lahenduste. Kunagise praktika kohaselt lahingumoonade maeti ning uputati (käesolev töö, lk 16–19), kuid see ei ole intervjueeritavate sõnul mõistlik (käesolev töö, lk 31–32). Lõhkamata lahingumoonade matmine võib põhjustada ohtu inimestele ning suurendada demineerijate väljakutsete arvu tulevikus ja uputatud lahingumoonade hakkab ajaga lagunema ning vette mürgiseid ühendeid eritama. Intervjuude käigus toodi välja, et keskkonda saastavad hävitamisel tekkivad põlemisgaasid (käesolev töö, lk 30), kuid hävitustöid teostatakse ainult

vajaduspõhiselt ja võimalikult harva, mistõttu ei ole õhusaaste märkimisväärne. Samuti on lõputöö teorias selgitatud, et hävitamisprotsessi käigus tekkivaid põlemisgaase on võimalik vähendada asendades hävitamise uute käitlemistehnoloogiatega, kuid hävitamisel tekkinud põlemisgaasid ei ole võrreldavad suurte tehaste tootmisprotsessidest põhjustatud õhu saastumisega (käesolev töö, lk 18), mistõttu puudub vajadus hävitamist ja selle käigus lõhkeaine põlemist asendada uue tehnoloogiaga. Intervjuueritavad pidasid kõige olulisemaks keskkonda mõjutavaks teguriks lahingumoonas metallijäätmete ümbertöötlemisel kokku hoitavat energiat (käesolev töö, lk 29). Metalliga taaskasutamine on kordades energiasäästlikum, kui maagist uue toodangu valmistamine (käesolev töö, lk 18). Seega saan uuringu tulemuste põhjal öelda, et lahingumoonas metallijäätmeid taaskasutamisest on keskkonnale rohkem kasu kui kahju.

**Kolmas uurimisküsimus** oli "Milliseid viise on demineerimistöös käigus tekkinud metallijäätmete käitlemiseks kasutatud Eestis ja mujal maailmas?" Uuringus selgus, et Eestis ei ole lahingumoonas eeltöötlemiseks ega lõhkeaine kestast eraldamiseks kasutatud spetsiaalseid tehnoloogiaid, mida on kirjeldatud lõputöö teorias (käesolev töö, lk 20-23). Intervjuude käigus toodi välja, et Eestis on lõhkeainet sisaldava või muud ohtu kujutava lahingumoonas käitlemiseks kasutatud hävitamist, seejärel hävitamisest tekkinud metallijäätmete kokku korjamist ja vastavalt ametkonna (Kaitsevägi/Kaitseliit/PÄA) regulatsioonidele militaarse välimusega metallijäätmete ladustamist (käesolev töö, lk 32). Demineerimistöös käigus tekkivatele metallijäätmetele ei ole Eestis hetkel käitlemisviisi (käesolev töö, lk 31-32). Välisriikide demineerijatelt ja metallikäitlejatelt kogutud informatsiooni kohaselt kasutatakse küsitletud riikides lahingumoonas ohutuks muutmiseks samuti hävitamist ning seejärel vastavalt riigi võimekusele militaarseid jäätmeid käidelda, need kas sulatatakse või eksporditakse riiki, kus on ümbertöötlemise võimalus (käesolev töö, lk 33). Metalliga sulatamise protsessi on kirjeldatud antud lõputöö teorias (käesolev töö, lk 24).

**Neljas uurimisküsimus** oli "Millised demineerimistöös käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise viisid oleksid Eestile sobilikud?" Eestile sobiliku lahingumoonas metallijäätmete käitlemisviisi leidmiseks kasutasin uuringus ja teorias väljatoodud tehnoloogiate välistamismeetodit. Intervjuueritavad tõid välja, et hetkel kasutatakse lahingumoonas ohutuks tegemiseks hävitamist ning selle käigus puruneb lahingumoonas kest ja põleb ära lõhkeaine (käesolev töö, lk 15-16). Lõputöö teorias on kirjeldatud mitmeid eeltöötlemise tehnoloogiaid, näiteks "tagurpidi kokkupanek", vesilõikus, külmpurustamine, saagimine ja laserlõikus, mis võimaldavad lõigata või muul moel avada lahingumoonas ning eraldada sellest lõhkeaine (käesolev töö, lk 20-22). Intervjuueritavad, kes on seotud demineerimistöös, olid teadlikud

erinevatest lahingumoona eeltöötlemise võimalustest, kuid selgitasid, et nende meetoditega kaasneb hilisemas etapis lahingumoona kestast lõhkeaine eraldamine ja selle neutraliseerimine ning see võib lõpptulemusena osutada sõltuvalt tehnoloogiast ja meetodist, kas kallimaks, ajakulukamaks või suurema keskkonnakahju põhjustajaks kui hävitamine. Teoorias on kirjeldatud mehaaniliselt, auru, kuuma- või surveveega lõhkeaine eraldamist lõhkekehast (käesolev töö, lk 22–23). Intervjuu käigus mainiti, et surveveega kestast lõhkeaine eraldamisega kaasneb saastunud vesi ja see on suurem probleem, kui hävitamisel tekkivad põlemisgaasid. Uurimuse tulemustele ja teooriale toetudes on hävitamise käigus tekkinud metallijäätmete käitlemiseks kaks võimalust: purustamine ja sulatamine (käesolev töö, lk 34–36). Intervjuudest selgus, et Eestis ei ole tehast, mis mustametalli sulataks ja selle Eestisse ehitamine ei oleks tulus, kuid metalli taaskasutamiseks on metallijäätmeid igal juhul vaja sulatada, mistõttu tuleb need ekspordida (käesolev töö, lk 34). Metallijäätmete Eestist ekspordimisega kaasnevad järgmised kitsaskohad: metallijääde ei tohi olla ohtlik ega meenutada lõhkekeha, sest need ei vasta tarnija kvaliteedinõuetele ja Eestis puudub tehnoloogia lahingumoona metallijäätmete militaarse välimuse kaotamiseks. Teoorias on samuti välja toodud, et metalli ümbertöötlemisega tegelevatele ettevõtetele metallijäätmete müümisel tuleb järgida nende poolt vastuvõetavale metallile kehtestatud nõudeid (käesolev töö, lk 19–20). Kui Eestist eksporditakse laevatäis metallijäätmeid ja sealt leitakse lahingumoon või seda meenutav ese, mis on kvalifitseerunud isikute poolt kontrollitud ja ohutu, siis laadungit kontrollivad isikud (inspektorid) võivad selles siiski ohtu näha, mistõttu saadetakse laadung tagasi ning kulud hüvitab müüja (antud juhul Eesti metalli kokkuostja, kes on militaarse välimusega metallijäätme eksportinud) (käesolev töö, lk 31–32). Intervjueeritavad pakkusid kitsaskohtade lahenduseks välja Eestisse purustaja soetamise, mis võimaldaks purustada metallijäätmed sellisteks tükkideks, mis ei meenuta lahingumoon (käesolev töö, lk 35). Lõputöö teoorias on kirjeldatud metalli purustamist pressgiljotiini ja metalliveskiga (käesolev töö, lk 24). Intervjueeritavad tõid välja, et pressgiljotiiniga on võimalik lõhkekeha vaid pooleks lõigata, kuid metalliveskiga saab metallijäätme militaarse välimuse täielikult kaotada. Metalliveski soetamiseks on vaja teada metallijäätmete kõvadust, et metallijääde purustaja lõikeelemente ära ei lõhuks ning nende suurust, et väiksemad metallijäätmed veskist tervikuna ei väljuks ja suuremad ära mahuks (käesolev töö, lk 35–36).

Viisin lõputöö raames läbi katse vaatluse, mille käigus mõõdeti terasest mürsu kõvadust, et saada ettekujutus lahingumoon metallijäätmete kõvadusest (vt lisa 6). Teoorias on välja toodud, et metallijäätmed on eristatavad kuju, suuruse, tiheduse ja kõvaduse järgi (käesolev töö, lk 19–20). Mõõtetulemustest selgus, et terasest mürsu kõvadus on 11,25 HRC (vt lisa 6),



mille purustamisel vanametalli kokkuostu ettevõtetes olemasoleva tehnoloogiaga intervjueeritavate sõnul probleeme ei teki, kuid Eestis leidub ka soomust läbistavaid mürske, mille kõvadus ületab mõõdetud mürsu kõvaduse. Seega sain vaatlusega arusaama kõvaduse testimise protsessist, kuid tervikliku ülevaate saamiseks Eesti lahingumoonna metallijäätmete kõvadusest peab kordama katseid soomust läbistava lahingumoonnaga.

Juhul kui Eestisse soetatakse metalliveski, siis tekib küsimus, kelle kasutusse see läheb. Vanametalli kokkuostu ettevõtteid ei saa hetkel lahingumoonna metallijäätmel vastu võtta, sest nendele puudub jäätmekood, mis on ettevõttele vajalik, et koostada aruandlust (käesolev töö, lk 34). Sellest järeldub, et ohutu lahingumoonna metallijäätmel jäätmekoodi loomine on vajalik, kui metallijäätmel purustamiseks soetatud metalliveski hakkab kasutama vanametalli kokkuostu ettevõtet.

Toetudes uuringu käigus kogutud andmete analüüsile ja lahingumoonna käitlemise teoreetilistele lähtekohtadele teen demineerimistöö käigus tekkivate metallijäätmel käitlemiseks Eestis järgmised **ettepanekud**:

1. Testida soomustläbistava lahingumoonna metallijäätmel kõvadust ja soetada käitlemiseks purustaja. Täieliku ülevaate saamiseks lahingumoonna metallijäätmel kõvadusest tuleks läbi viia täiendav uuring, mille raames korrata katseid erinevat liiki lahingumoonna metallijäätmeltega, sest nende koostised on erinevad ning purustaja valimiseks peab teadma käideldava metallijäätmel suurimat võimalikku kõvadust. Mõõtetulemusi arvesse võttes saab Eestisse osta purustaja, mis on võimeline purustama metallijäätmel sellisteks tükkideks, mis ei meenuta lahingumoonna.
2. Lisada Eesti jäätmenimistusse ohutu lahingumoonna jäätmekood. Juhul, kui lahingumoonna metallijäätmel käitlemise protsessi kaasatakse vanametalli kokkuostu ettevõtteid, kes ohutud, kuid militaarse välimusega metallijäätmel vastu võtavad ja need ära purustavad (eeldab vanametalli kokkuostu ettevõttele purustaja soetamist), siis on vaja luua jäätmekood, mis võimaldaks jäätmekäitlejatel pidada jäätmel üle korrektset aruandlust. Ettepanek ei ole asjakohane, kui purustamisega hakkavad tegelema ametkonnad (Kaitsevägi, Kaitseliit, Päästeamet), kelle haldusallas lahingumoonna metallijäätmel tekivad, sest pärast purustamist ei seostu metallijäätmel militaarse päritoluga, vaid tegemist on mustametalliga, mille ekspordimise ja ümbertöötlemisega probleeme ei teki.
3. Otsida tarnija, kes võtab vastu militaarse välimusega metallijäätmel. Sellisel juhul ei ole vaja purustajat Eestisse soetada, vaid lahingumoonna metallijäätmel ekspordida,

kasutades selleks vastavaid riikidevahelisi jäätmekoode sh lähtuda eelkõige *Baseli* jäätmekoodidest.

## KOKKUVÕTE

Päästeametil, Kaitseväel ja Kaitseliidul tekivad demineerimistöo käigus lahingumoonas metallijäätmed, mida hetkel ladustatakse, sest puudub võimalus neid edasi käidelda. Lõputöö uurimisprobleemiks oli küsimus: “mida teha demineerimistöo käigus tekkinud metallijäätmetega?” Lõputöö eesmärk oli välja selgitada võimalused demineerimistöo käigus tekkinud metallijäätmetest vabanemiseks ning anda soovitusi Eestile sobivate tehnoloogiate ja meetodite rakendamiseks. Eesmärgi saavutamiseks kasutasin kvalitatiivset uurimismetoodikat.

Uurimisprobleemile lahenduse leidmiseks uurisin teaduskirjandusest, milliseid lõhkekehasid mujal maailmas esineb, milline on demineerimistöo protsess ja erinevate tehnoloogiliste võimaluste kohta, mida maailma praktikas lahingumoonas ja nendest tekkinud metallijäätmete käitlemiseks kasutatud on. Uuringu teises etapis ehk kvalitatiivse uuringu raames viisin läbi poolstruktureeritud ekspertintervjuud demineerimistöo ja selle käigus tekkinud metallijäätmete käitlemise asjatundjatega ning tegin katse vaatluse, mis seisnes mürsu kõvaduse mõõtmises.

Intervjuudest selgus, et Eestis ei teki piisavalt suures koguses lahingumoonas metallijäätmeid, et sulatusahju soetamine ja nende ümbertöötlemine siin ära tasuks. Seega kui välisriikidest ei leita tarnijat, kes on nõus ostma militaarse välimusega metallijäätmeid, siis tuleb Eestis tekkinud lahingumoonas metallijäätmetelt kaotada militaarne välimus, et neid oleks võimalik eksportida. Militaarse välimuse kaotamiseks on kõige efektiivsemaks viisiks metallijäätmete purustamine. Intervjuudes toodi välja, et lahingumoonas metallijäätmete purustamiseks on vaja soetada metalliveski lähtudes metallijäätmete suurimast võimalikust kõvadusest.

Purustaja soetamisel metallijäätmete kõvaduse kriteeriumist tulenevalt viisin läbi katse vaatluse Tallinna Tehnikaülikooli katselaboris. Vaatluse raames toimus terasest mürsu kõvaduse mõõtmine. Mõõtetulemustest järeldus, et terasest mürsu kõvadus on võrreldes soomust läbistava lahingumoonaga väike, mistõttu ei saa antud katse vaatlusel täielikku teadmist lahingumoonas metallijäätmete kõvadusest ning selleks, et teha soovitus sobiva purustaja soetamiseks, on katseid vaja korrata erinevate lahingumoonas metallijäätmetega ja välja selgitada suurim võimalik metallijäätmete kõvadus.

Võttes arvesse intervjueeritavate seisukohti ja analüüsid neid vastuseid teoreetiliste lähtekohtadega, teen järgmised ettepanekud lahingumoonna metallijäätmete käitlemiseks Eestis:

1. Testida soomustlähbistava lahingumoonna metallijäätmete kõvadust ja soetada käitlemiseks purustaja.
2. Lisada Eesti jäätmenimistusse ohutu lahingumoonna jäätmekood, kui lahingumoonna metallijäätmete käitlemise protsessi kaasatakse vanametalli kokkuostu ettevõtted.
3. Otsida tarnija, kes võtab vastu militaarse välimusega metallijäätmeid.

Lõputöö uurimisküsimused said vastused ning uurimisülesanded ja eesmärk täidetud. Analüüsitud tulemuste põhjal saan öelda, et lahingumoonna metallijäätmete käitlemise probleem leiaks lahenduse, kui määrataks konkreetne asutus, kes sellega tegeleb.

## SUMMARY

This thesis addresses the management of ammunition metal waste generated during demining operations. The research question driving this study was: "What should be done with the metal waste generated during demining operations?" The aim was to explore options for disposing of metal waste and provide recommendations for implementing suitable technologies and methods in Estonia.

Qualitative research methods were employed to achieve this goal. A review of existing literature on explosive remnants of war and demining processes worldwide was conducted to understand the types of munitions encountered and the technologies used for their disposal. Additionally, semi-structured expert interviews were conducted with professionals involved in demining operations and metal waste management. An experiment was also conducted to measure the hardness of a steel munition shell.

The interviews revealed that Estonia does not produce enough ammunition waste to justify investing in local processing facilities. Therefore, to facilitate potential exportation, the military appearance of the waste must be removed. Crushing was identified as the most effective method for achieving this. However, it is crucial to assess the hardness of the metal waste when acquiring a crusher to ensure its effectiveness.

Recommendations stemming from the research include testing the hardness of armor-piercing ammunition waste, buying a metal crusher, adding a safe military waste code to Estonian regulations or seeking a waste disposal company who accepts safe military waste. These findings suggest that dedicated personnel is necessary to address the challenges associated with handling ammunition metal waste in Estonia effectively.

## VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Abrahamsen, E. B., Novik, G. P. & Sommer, M., 2023. Improving the decision-making basis by strengthening the risk assessments of unexploded ordnance and explosive remnants of war. *Safety science*, 160, pp. 1–10.

Achterberg, E. P, Beck, A. J., Gosnell, K. J., Heimbürger-Boavida, L.-E. & Ukotije-Ikwut, P. R., 2023. World war munitions as a source of mercury in the southwest Baltic Sea. *Chemosphere*, 345, pp. 1–35.

Alumäe, T & Olev, A, 2022. Estonian Speech Recognition and Transcription Editing Service. *Baltic Journal of Modern Computing*, 10 (3), pp. 409–421.

Andresen, K. J., Bünning, T. H., Clausen, O. R., Maser, E., Strehse, J. S. & Wichert, U., 2023. Ecotoxicological Risk of World War Relic Munitions in the Sea after Low-and High-Order Blast-in-Place Operations. *Environmental Science & Technology*, 57 (48), pp. 20169–20181.

Atkinson, M. P. & Shim, Y., 2018. Analysis of artillery shoot-and-scoot tactics. *Naval Research Logistics*, 65(3), pp. 242–274.

Bailey, A., Monson, H., Zaugg, M. M. & Wilken, G., 1992. *Cutting of Munitions and Removal of Explosives Through Application of Water Jet Technology*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA507033.pdf> [Kasutatud 27.12.2023].

Bajić, Z., Bogdanov, J., Đurić, S., Nedić, B., & Živković, B., 2020. Overview, Analysis and Research of the Possibilities of Application of New Technologies in The Process of Demilitarization of the Explosive Ordnance. *Scientific Technical Review*, 2020, 70(1), pp. 7–16.

Baralić, J., Đurić, S., Malbašić, S. & Nedić, B., 2020. Application of new technologies for demilitarization ordnance in order to protect environment. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 13(3), pp. 103–106.

Baralić, J., Đurić, S., Miljković, A. & Nedić, B., 2019. Pyrotechnic safety in the process of demilitarization of explosive ordnance from the aspect of application of new technologies. *13th International Quality Conference. Artikkel konverentsi kogumikus*, pp. 355–360.

Bełdowska, M., Bełdowski, J., Fabisiak, J., Grabowski, M., Korejwo, E., Kwasigroch, U., Łońska, E., Pempkowiak, J., Siedlewicz, G., Szala, M. & Szubska, M., 2019. Sea-dumped ammunition as a possible source of mercury to the Baltic Sea sediments. *Science of the Total Environment*, 674, pp. 363–373.

Bełdowska, J., Berglindk, R., Brennerc, M., Broegc, K., Bulczaka, A. I., Fabisiakg, J., Fricked, N., Garnagah, G., Grzelaka, K., Jakackia, J., Kluseka, Z., Kotwickia, L., Langd, T., Lehtonenb, K., Majewska, P., Nawałaj, J., Nyholme, J. R., Olssonf, U., Popielj, P. V. S., Raka, D., Schmidt, B., Szubskaa, M., Söderströmi, M., Turjab, R. & Östin, A., 2016. Chemical Munitions Search & Assessment - an evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 128, pp. 85–95.

Borkowski, J., Borkowski, P., Maranda, A. & Wozniak, D., 2008. Examination of High-Pressure Water Jet Usability for High Explosives (HE) Washing Out from Artillery Ammunition. *Central European Journal of Energetic Materials*, 5(2), pp. 21–35.

Bowers, R. J., Carton, G. & King, J. C., 2012. Munitions-Related Technology Demonstrations at Ordnance Reef (HI-06), Hawaii. *Marine Technology Society Journal*, 46(1), pp. 63–82.

Brusselaers, J., Hagelüken, C., Huisman, J., Refining, U. P. M., Reuter, M. A. & Van Heukelem, A. M., 2004. Eco efficient optimization of pre-processing and metal smelting. *Electronic Goes Green*, pp. 657–661.

Cecchine, G., Knopman, D., Lockwood, J. R., MacDonald, J. & Willis, H., 2004. Unexploded Ordnance: A Critical Review of Risk Assessment Methods. Santa Monica: Rand.

Cleere, H. F., 1972. The classification of early iron-smelting furnaces. *The Antiquaries Journal*, 52(1), pp. 8–23.

Demir, T., Übeyli, M. & Yıldırım, R. O., 2008. Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys against 7.62 mm armor piercing projectile. *Materials & Design*, 29(10), pp. 2009–2016.

Duan, N., Green, C. A., Hoagwood, K., Horwitz, S. M., Palinkas, L. A. & Wisdom, J. P., 2015. Purposeful Sampling for Qualitative Data Collection and Analysis in Mixed Method Implementation Research. *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, 42(5), pp. 533–544.

Duijm, N. J., 2002. Hazard analysis of technologies for disposing explosive waste. *Journal of Hazardous Materials*, 90(2), pp. 123–135.

Duncan, A. & Evans, R., 2020. Disposal of explosive ordnance and environmental risk mitigation. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 24(1), pp. 18–22.

Durach, V. & Orel, S., 2023. Ukraine – environmental aspects of humanitarian demining. *Bulletin of "Carol I" National Defence University*, 12(4), pp. 163–174.

Emery, A., Griffiths, A. J. & Williams, K. P., 2002. A review of the UK metals recycling industry. *Waste Management & Research*, 20(5), pp. 457–467.

Eesti Entsüklopeedia, 2006. Suurtükk. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/suurt%C3%BCkk2> [Kasutatud 4. 01. 2024].

Eod, 2024. *Evolution CMP 2 Compact Mine Prodder*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://eoduk.co.uk/compact-mine-prodder/> [Kasutatud 09. 01. 2024].

Ernits, H., 1998. *Valimik sõjandustermineid*. Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus.

Farah, Y.N. & Chandler, K.L., 2018. Structured Observation Instruments Assessing Instructional Practices with Gifted and Talented Students: A Review of the Literature. *Gifted Child Quarterly*, 62(3), pp. 276–288.



Gnadenteich, U., 2023. Päästeamet ootab nii naisi kui mehi abidemineerijateks. Postimees, [Võrgumaterjal] <https://www.postimees.ee/7871559/paasteamet-ootab-nii-naisi-kui-mehi-abidemineerijateks> [Kasutatud 08.04.2024].

Graedel, T. E. & Reck, B. K., 2012. Challenges in metal recycling. *Science*, 337(690), pp. 690–695.

Gregurek, D., Peng, Z., Wenzl, C. & White, J. F., 2016. Metal smelting and furnace tapping. *Journal of The Minerals*, 68(6), pp. 1516–1517.

Habib, M., 2002. Mine Clearance Techniques and Technologies for Effective Humanitarian Demining. *Journal of Mine Action*, 6(1), pp. 62–65.

Hammelmann, 2023. Water jet cutting. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.hammelmann.com/us/applications/cutting.php> [Kasutatud 01. 12. 2014].

Hanmaiahgari, P. R. & Kaushik, M., 2017. *Essentials of Aircraft Armaments*. Singapore: Springer Singapore.

Hawari, J., Kuperman, R. G., Lotufo, G., & Sunahara, G. I., 2009. *Ecotoxicology of explosives*. Boca Raton: CRC Press.

Hirsjärvi, S., Remes, P & Sajavaara, P., 2005. *Uuri ja kirjuta*. Tallinn: Medicina.

International Mine Action Standards, 2019. *Glossary of mine action terms, definitions and abbreviations*. New York: IMAS.

Ismail, N. M., Kecik, M. A. K. A., Khatif, N. A. A. & Shahrudin, M. A. H., 2016. The effect of heat treatment on the hardness and impact properties of medium carbon steel. *IOP conference series: materials science and engineering*, 114(1), pp. 1–9.

Jakusz, 2023. *Medium and large caliber munitions disassembling line*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://jakusz.com/en/offer/technologies-for-industrial-disposal-of-munitions/medium-and->

large-caliber-munitions-disassembling-line/45/medium--large-caliber-munitions-disassembling-line/ [Kasutatud 27. 12. 2023].

Juneja, A., 2016. Flail Technology in Demining. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 20(2), pp. 54–62.

Kangd, K. W., Kohd, Y. H., Smitsa, R., Van der Voortb, M. M., Verolmea, E. K. & Weerheijmc, J., 2018. A method for backward calculation of debris in a post blast scene. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 51, pp. 54–64.

Kelly, S.E., 2010. Qualitative Interviewing Techniques and Styles. *The SAGE Handbook of Qualitative Methods in Health Research*, pp. 307–326.

Kett, M. E. & Mannion, S. J., 2004. Managing the health effects of the explosive remnants of war. *Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*, 124(6), pp. 262–267.

Kliimaministeerium, 2023. *Keskkonnavaldkonna arengukava Kevad. Eelnõu 4. mustand.* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://kliimaministeerium.ee/kevad> [Kasutatud 17. 10. 2023].

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

Langemets, M., Tiits, M., Valdre, T., Veskis, L., Viks, Ü. & Voll, P., 2009. Päring. *Eesti keele seletav sõnaraamat*. 2. trükk. [Võrgumaterjal] Tallinn: Eesti Keele Instituut. Leitav: <https://www.eki.ee/dict/ekss/> [Kasutatud 06.01.2024]

Krippendorff, K., 2019. *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. 4th ed. Thousand Oaks: Sage Publications.

Lancaster, S. L., Marshall, M. & Oxley, J. C., 2014. Laboratory Analysis of Explosion Debris. *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*, pp. 1–43.

Lincoln, Y. S. & Matteson, S. M., 2009. Using Multiple Interviewers in Qualitative Research Studies. *Qualitative Inquiry*, 15(4), pp. 659–674.

Leavy, P., 2017. *Research Design: Quantitative, Qualitative, Mixed Methods, Arts-Based, and Community-Based Participatory Research Approaches*. New York: The Guilford Press.

Magee, R. S. & Pearson, G. S., 2002. Critical evaluation of proven chemical destruction technologies. *Pure and applied chemistry*, 74(2), pp. 187–316.

Medina, V. F. & Waisner, S. A., 2011. *Waste*. Mississippi: Academic Press.

Metalliekspor OÜ, 2023. *Mida vanametalli kokkuostu tuues silmas pidada?* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.metalliekspor.ee/meelespea> [Kasutatud 07. 12. 2023].

Mishra, S. & Singh, A. P., 2013. Explosive Remnants of War: A War after the War? *Christ University Law Journal*, 2(2), pp. 1–26.

Morex, 2024. *Metalliotsija Garrett AT MAX*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.morex.ee/metalliotsija-garrett-at-max-gift-searchcoil-coil-cover-bag-for-finds> [Kasutatud 09. 01. 2024].

Moyes, R., 2004. Tampering: Deliberate handling & use of live ordnance in Cambodia. *Global CWD Repository*, 1140, pp. 3–7.

Mpofu, K., Sibanda, V. & Trimble, J., 2021. Methodology for the design of a reconfigurable guillotine shear and bending press machine (RGS&BPM). *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19(6), pp. 1317–1343.

Muiste, U., 2024. *Kõvadusteimid*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://opiobjektid.tptlive.ee/Materjaliopetus/kvadusteimid.html> [Kasutatud 19.03.2024].

Murray, J., 2010. *Principles of Social Psychiatry*. Second Edition. London: Institute of Psychiatry.

Noyes, R., 1996. *Chemical Weapons Destruction and Explosive Waste/ Unexploded Ordnance Remediation*. New Jersey: Noyes Publications.

Norbert, D., 2013. Bombers, Wires and Explosives Part II. Death Arrives With Us. *Műszaki Katonai Közlöny*, 23(2), pp. 64–72.

Patton, M. Q., 2002. *Qualitative research & evaluation methods*. 3rd ed. Thousand Oaks: Sage Publications.

Poulin, I., 2010. Literature Review on Demilitarization of Munitions: Document Prepared for the RIGHTTRAC Technology Demonstration Project. *Defence research and development Canada Valcartier*. Valcartier: Defence R&D Canada, pp. 7–38.

Prada, P. A. & Rodríguez, M. C., 2016. Demining Dogs in Colombia – A Review of Operational Challenges, Chemical Perspectives, and Practical Implications. *Science and Justice*, 56(4), pp. 1–9.

Pretz, T., & Julius, J., 2011. *Waste: A Handbook for Management*. Academic Press.

Pugonen, A., 2022. *Vestlus Arno Pugoneniga* [vestlus] (24.10. 2022).

Päästeamet, 2023. *Aastal 2023 tehti kahjutuks 10840 lõhkekeha*. Statistika.

Päästeamet, 2004. *Eesti Päästeteenistus 1990–2004*. Tallinn: Päästeamet.

Päästeamet, 2024. *Kuidas lõhkekeha ära tunda?* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.rescue.ee/et/juhend/lohkeaine-voi-lahingumoonaleid> [Kasutatud 04.01.2024].

Päästeamet, 2021. *Päästevõrgustiku strateegia aastani 2025*. Tallinn: Päästeamet.

*Päästeseadus* (2010) RT I, 06.07.2023, 68.

*Relvaseadus* (2001) RT I, 06.07.2023, 12.

Roberts, W. & Bilginsoy, C., 2016. Risking life and limb in the global economy: Scrap metal price and landmine/UXO incidents in Cambodia. *World Development Perspectives*, 1, pp. 15–22.

Roger, H., 2006. Explosive Harvesting Program. *Journal of Mine Action*, 10(2), pp. 90–93.

Saldana, J. 2009. *The Coding Manual for Qualitative Researchers*. Sage Publications.

Spiers, E. M., 1989. *Chemical Weaponry: A Continuing Challenge*. London: Palgrave Macmillan.

Tabor, D., 2000. *The hardness of metals*. Oxford university press.

Tälli, T., 2023 *E-kiri vanametalli kokkuostu ettevõtte esindajalt [E-kiri]* (19.10.2023).

Toom, A., 2023. *Tuulikulabade jäätmete ja laskemoona kasutamisest tekkinud jäätmete käitlus Eestis. Magistritöö*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.

Towndrow, D., 2019. *Energetic Materials and Munitions: Life Cycle Management, Environmental Impact, and Demilitarization*. 1st ed. New Jersey: Wiley-Vch.

United Nations Mine Action Service, 2015. *Landmines, explosive remnants of war and improvised explosive devices safety handbook*. New York: UNMAS.

Van Ham, N. A. H., 1998. Recycling and disposal of munitions and explosives. *Waste management*, 17(2/3), pp. 147–150.

Vincent, T. F, Butterfoss, F.D., Capwell, E. M., 2001. Key Issues in Evaluation: Quantitative and Qualitative Methods and Research Design. *Health Promotion Practice*, 2(1), pp. 20–23.

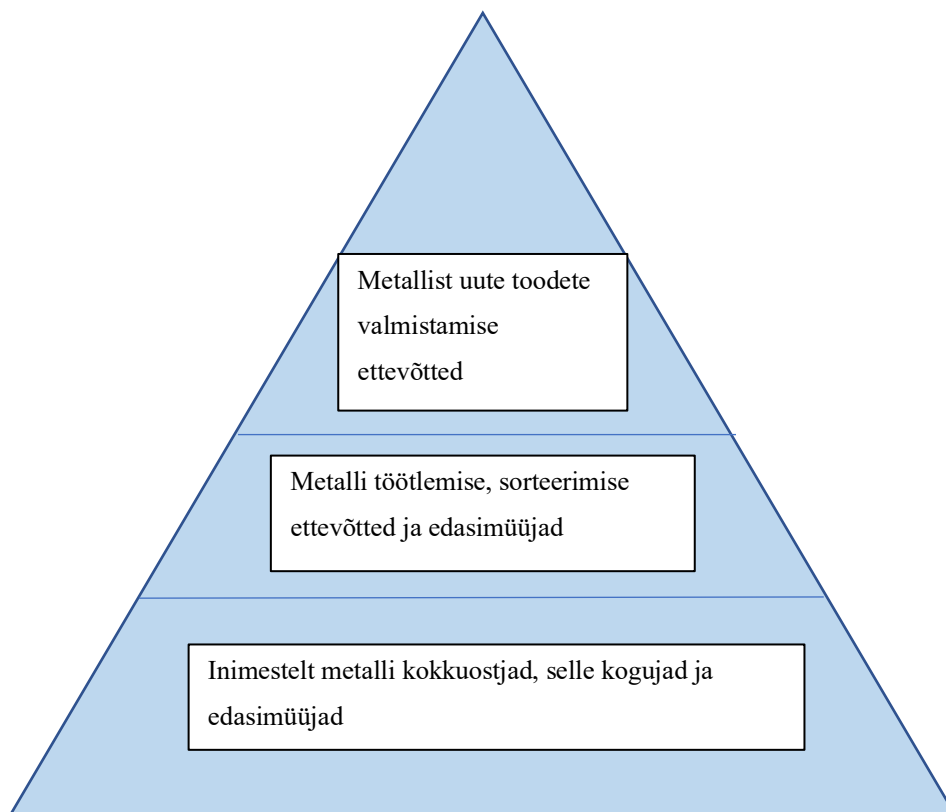
## Lisa 1. Lahingumoon ja nende tunnused

Tabel 1. Lahingumoon ja nende tunnused (autori koostatud)

Lahingumoon		Eripärad
1. Miinid	Miinpilduja miinid	lastakse välja miinpildujast
	Maamiinid	maetakse mõne sentimeetri paksuse pinnasekihi alla
2. Kobarpommid		täidetud väikeste pommidega
3. Lennukipommid		lastakse välja lennukist
4. Mürsud		lastakse välja suurtükist
5. Granaadid		visatakse käsitsi või lastakse välja granaadiheitjatest
6. Raketid		lastakse välja sõidukitest, maapealsetest laskuritest ja õlalt

Eestis esineb kõige rohkem lahingumoonana mürskude ja miinpilduja miinide näol, mis moodustab 80–90% kogu leitud lahingumoonast. Eestis leitud mürskude metallkestad on erineva paksusega ning nende läbimõõt varieerub vahemikus 20–300 mm. (Pugonen, 2022)

## Lisa 2. Metalli käitlemisega tegelevad ettevõtted



Joonis 1. Metalli käitlemisega tegelevate ettevõtete struktureeritud püramiid (autori koostatud)

## Lisa 3. Lahingumoona käitlemise etapid

Tabel 2. Lahingumoona käitlemise etapid (autori koostatud)

I etapp: Lahingumoona eeltöötlemine		
1. “Tagurpidi kokkupanek”		Eesmärk: Tekitada ligipääs lahingumoonas olevale lõkeainele.
2. Vesilõikus		
3. Külmpurustamine		
4. Saagimine		
5. Laserlõikus		
II etapp: Lõhkeaine eraldamine lahingumoonast kestadelt		
1. Mehaaniline eemaldamine		Eesmärk: Lõhkeaine lahingumoonast kestalt eemaldamine.
2. Kuuma veega või auruga sulatamine		
3. Surveveega maha pesemine		
4. Põletamine		
III etapp: Metallist kestade käitlemine		
1. Purustamise masinad	1. pressgiljotiin	Eesmärk: Lahingumoonast kestade militaarne välimus kaotada.
	2. metalliveski	
2. Põletusahjud (sulatamine)		



## Lisa 4. Päästeameti logistikakeskusesse ladustatud metallijätmed



Joonis 1. Päästeameti logistikakeskusesse ladustatud metallijätmed (Mitt, 2022)

## Lisa 5. Intervjuu

Tabel 3. Intervjuu parameetrid (autori koostatud)

Intervjuu	Intervjueeritav	Kuupäev	Intervjuu pikkus	Intervjueeritava töövaldkond
1	Kalvar Tammine	10.06.2023	26 min	PÄA DEK endine demineerija, kes proovis lõputöös käsitletavale probleemile lahendust leida
2	Raido Taalmann	5.02.2024	33 min	PÄA DEK Põhja pommigrupi juhataja
3	Siim Andrespok	12.02.2023	36 min	PÄA DEK lahingumoonana teenuse ekspert
4	Toomas Stroo	8.02.2024	32 min	PÄA DEK Ida pommigrupi juhataja
5	Andres Pajur	12.02.2024	28 min	Kaitseväe DEK esindaja
6	Sven Tuuling	15.02.2024	40 min	Kaitseliidu esindaja
7	Tanel Tälli	20.02.2024	30 min	Vanametalli kokkuostu ettevõtte AS Kuusakoski esindaja
8	Ernest Viira	16.02.2024	40 min	Vanametalli kokkuostu ettevõtte Metruna OÜ esindaja
9	Priidu Peetsalu	5.02.2024	39 min	Metalli käitlemise asjatundja
10	Dmitri Goljandin	23.02.2024	25 min	Metalli käitlemise asjatundja
11	Ramil Lipp	27.02.2024	15 min	Kaitse Investeeringute Keskuse esindaja
12	Piret Otsason	11.03.2024	15 min	Kliimaministeeriumi nõunik

Tabel 4. Uurimisküsimuste seos intervjuu küsimusega (autori koostatud)

Uurimisküsimus	Intervjuu küsimus
1. Missuguseid metallijäätmeid demineerimise käigus tekib?	1. Millist lahingumoonana Eestis leidub? 2. Mida leitud lahingumoonaga tehakse ehk milline on demineerimistöö protsess? 3. Milliseid metallijäätmeid demineerimistöö käigus tekib?
2. Kuidas lahingumoonana metallijäätmed keskkonda kahjustavad?	1. Kuidas lahingumoon keskkonda mõjutab? 2. Kuidas lahingumoonana käitlemine keskkonda kahjustab? 3. Kuidas käitlemise käigus tekkinud metallijäätmed keskkonda mõjutavad?
3. Milliseid viise on demineerimistöö käigus tekkinud metallijäätmete käitlemiseks kasutatud Eestis ja mujal maailmas?	1. Milline on lahingumoonana käitlemise protsess? 2. Millised metallijäätmed käitlemise käigus tekivad?

	<p>3. Kuidas seni lahingumoonast tekkinud metallijäätmetest vabanetud on/millised võimalused selleks hetkel on?</p> <p>4. Kes tegeleb hetkel lahingumoonaga käitlemisega ja kuidas?</p> <p>5. Millised probleemid nende metallijäätmetega esinevad?</p>
4. Millised demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmete käitlemise viisid oleksid Eestile sobilikud?	<p>1. Milliseid erinevaid tehnoloogiaid oleks võimalik lahingumoonaga käitlemiseks kasutada?</p> <p>2. Mis on väljatoodud tehnoloogiate plussid ja miinused?</p> <p>3. Millised metallijäätmed nende tehnoloogiate kasutamisel tekivad?</p> <p>4. Milliseid tehnoloogiaid lahingumoonast tekkinud metallijäätmete käitlemiseks saaks kasutada?</p> <p>5. Millised oleksid lahingumoonaga tegelevate asutuste (PÄA, Kaitsepolitsei, Kaitsevägi) kohustused selles käitlemise protsessis? Kas oleksid <u>eeltingimused</u>, et anda lahingumoon edasi metallikäitlemisega tegelevale ettevõttele?</p> <p>6. Milline lahingumoonaga käitlemise viis oleks Eestile sobivaim?</p>

Tabel 5. Intervjuu küsimuste eesmärgipärane jaotus intervjuueeritavate vahel (autori koostatud)

Intervjuu	Intervjuu küsimused
Intervjuu 1	1. Millist lahingumoonaga Eestis leidub?
Intervjuu 2	2. Mida leitud lahingumoonaga tehakse ehk milline on demineerimistöökäigus protsess?
Intervjuu 3	3. Milliseid metallijäätmete demineerimistöökäigus tekib? materjal, erinevad metallid?
Intervjuu 4	4. Milline on lahingumoonaga käitlemise protsess? peale demineerimistöökäigust
	5. Kes tegeleb hetkel lahingumoonaga käitlemisega ja kuidas?
	6. Millised metallijäätmed käitlemise käigus tekivad? kas oskad koguse osas suurusjärku öelda?
	7. Kuidas seni lahingumoonast tekkinud metallijäätmetest vabanetud on/millised võimalused selleks hetkel on?
	8. Millised probleemid nende metallijäätmetega esinevad?
	9. Kuidas lahingumoonaga keskkonda mõjutab?
	10. Kuidas lahingumoonaga käitlemine keskkonda kahjustab?

	11. Kuidas käitlemise käigus tekkinud metallijäätmed keskkonda mõjutavad?
Intervjuu 5 Intervjuu 6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Millist lahingumoona Eestis leidub?</li> <li>2. Mida lahingumoonaga tehakse?</li> <li>3. Milliseid metallijäätmeid lahingumoonast tekib? Kui palju teil neid umbes on ja millisel kujul?</li> <li>4. Milline on lahingumoonade käitlemise protsess?</li> <li>5. Kes tegeleb hetkel lahingumoonade käitlemisega ja kuidas?</li> <li>6. Millised metallijäätmed käitlemise käigus tekivad?</li> <li>7. Kuidas seni lahingumoonast tekkinud metallijäätmetest vabanetud on/millised võimalused selleks hetkel on?</li> <li>8. Millised probleemid nende metallijäätmetega esinevad?</li> <li>9. Kuidas lahingumoonade keskkonda mõjutab?</li> <li>10. Kuidas lahingumoonade käitlemine keskkonda kahjustab?</li> <li>11. Kuidas käitlemise käigus tekkinud metallijäätmed keskkonda mõjutavad?</li> </ol>
Intervjuu 7 Intervjuu 8 Intervjuu 9 Intervjuu 10 Intervjuu 11	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Milliseid erinevaid tehnoloogiaid oleks võimalik lahingumoonade käitlemiseks kasutada? elusal kujul</li> <li>2. Mis on väljatoodud tehnoloogiate plussid ja miinused?</li> <li>3. Millised metallijäätmed nende tehnoloogiate kasutamisel tekivad?</li> <li>4. Milliseid tehnoloogiaid lahingumoonast tekkinud metallijäätmete käitlemiseks saaks kasutada?</li> <li>5. Millised oleksid lahingumoonade tegelevate asutuste (PÄA, Kaitseliit, Kaitsevägi) kohustused selles käitlemise protsessis? Kas oleksid eeltingimused, et anda lahingumoonade edasi metallikäitlemisega tegelevale ettevõttele?</li> <li>6. Milline lahingumoonade käitlemise viis oleks Eestile sobivaim?</li> <li>7. Kuidas Lahingumoonade käitlemine keskkonda mõjutab?</li> <li>8. Kuidas käitlemise käigus tekkinud metallijäätmed keskkonda mõjutavad?</li> </ol>
Vastused saadud kirjaliku küsitluse teel järgmistelt välisriikide demineerimisüksustelt ja metalli käitlejatelt: Belgia Holland Soome	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Milliseid erinevaid tehnoloogiaid teie lahingumoonade käitlemiseks kasutate (kestade purustamiseks, lõhkeaine eemaldamiseks jne)?</li> <li>2. Mis on väljatoodud tehnoloogiate plussid ja miinused?</li> <li>3. Millised metallijäätmed nende tehnoloogiatega kasutamisel lahingumoonast tekivad? nendega kaasnevad probleemid?</li> <li>4. Milliseid tehnoloogiaid lahingumoonast tekkinud metallijäätmete käitlemiseks saaks kasutada?</li> <li>5. Kui lahingumoonade saadetakse metallikäitlemisega tegelevatele ettevõtetele siis: Millised oleksid lahingumoonade tegelevate asutuste kohustused selles käitlemise protsessis? Kas oleksid eeltingimused, et anda lahingumoonade edasi metallikäitlemisega tegelevale ettevõttele?</li> </ol>

Intervjuu 12	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Miks ei ole hetkel välja töötatud eraldi koodi militaarsete metallijäätmete jaoks?</li> <li>2. Kes tegeleb jäätmekoodi välja töötamisega?</li> <li>3. Milline on jäätmekoodi välja töötamise protsess?</li> <li>4. Kas selliste militaarsete metallijäätmete käitlemist peaks ka muud moodi reguleerima? Näiteks kuidas transportida välismaale ja milline dokumentatsioon peab olema?</li> </ol>
--------------	---

Tabel 6. Kirjaliku küsitluse parameetrid (autori koostatud)

Vastaja tunnusnumber	Intervjuu küsimustele kirjalikult vastanud välisriigi esindaja	Kuupäev
13	Belgia	01.08.2023
14	Holland	13.07.2023
15	Soome	19.02.2024

Tabel 7. Koodipuu (autori koostatud)

Uurimisküsimus	Kategooria	Koodid
Missuguseid metallijäätmeid demineerimise käigus tekib?	Demineerimistöökäigus tekkivad metallijäätmed	<b>Kood 1.1</b> Tühjad lahingumoon ja õppelahingumoon kestad <b>Kood 1.2</b> Militaarsete välimusega metallijäätmed <b>Kood 1.3</b> Erinevat liiki lahingumoon <b>Kood 1.4</b> Erineva keemilise koostisega materjalid <b>Kood 1.5</b> Ohutud metallijäätmed
Kuidas lahingumoon metallijäätmed keskkonda kahjustavad?	Lahingumoon metallijäätmete mõju keskkonnale	<b>Kood 2.1</b> Loomastik ja inimorganism <b>Kood 2.2</b> Pinnas <b>Kood 2.3</b> Taimestik <b>Kood 2.4</b> Vesikeskkond <b>Kood 2.5</b> Reostus, saatumine <b>Kood 2.6</b> Energiakulu ja sääst <b>Kood 2.7</b> Puudub keskkonnamõju
Milliseid viise on demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmete käitlemiseks	Lahingumoon metallijäätmete käitlemisviisid seni Eestis ja mujal maailmas	<b>Kood 3.1</b> Matmine <b>Kood 3.2</b> Ladustamine <b>Kood 3.3</b> Uputamine <b>Kood 3.4</b> Hävitamine <b>Kood 3.5</b> Õppematerjalina kasutuselevõtt

kasutatud Eestis ja mujal maailmas?		<b>Kood 3.6</b> Messingust (laskemoona) hülsid viiakse vanametalli kokkuostu <b>Kood 3.7</b> Mujal maailmas ümbertöötlemine <b>Kood 3.8</b> Mujal maailmas eksport
Millised demineerimistöökäigus tekkinud metallijäätmete käitlemise viisid oleksid Eestile sobilikud?	Eestile sobivad lahingumoonam metallijäätmete käitlemisviisid	<b>Kood 4.1</b> Purustamine <b>Kood 4.2</b> Sulatamine <b>Kood 4.3</b> Plasmavesilõikus <b>Kood 4.4</b> Gaasilõikus <b>Kood 4.5</b> Eksport Eestist <b>Kood 4.6</b> Ohutu ja käitlemisnõuetele vastav metallijääde <b>Kood 4.7</b> Käitleja <b>Kood 4.8</b> Õiguslikud alused

## Lisa 6. Katse vaatlus

Intervjuude käigus selgus, et lahingumoonas metallijäätmete Eestist eksportimiseks on vaja metallijäätmete purustada sellisteks tükkideks, mis ei meenuta enam lahingumoonas (vt käesolev töö lk 35). Purustaja on suuteline lõikama/rebima/purustama metalli, mis on väiksema kõvadusega kui purustaja terad. Vastasel juhul mõjutab metallijäätmete neid terasid, mis tegelikult peaksid metallijäätmete purustama. Seetõttu on oluline enne purustaja soetamist veenduda metallijäätmete kõvaduses. Kõvadus näitab materjali võimet vastu panna kohalikule plastsele deformatsioonile, kui selle pinda tungib suurema kõvadusega keha (Muiste, 2024).

Viisin läbi vaatluse 15.02.2024 Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja metroloogia katselaboris. Metallijäätmete kõvaduse testimiseks sain Põhja pommigrupist kõvaduse testimiseks mürsu, mis oli läbinisti metallist ehk ei sisaldanud lõhkeainet ega tühimikku, kuid peale vaadates võis inimestes tekitada hirmu. Antud mürsk koosnes kahest komponendist: mürsu kest ja juhtvöö (vt joonis 9). Juhtvöö on reeglina pehmemast materjalist (üldjuhul vasest) kui ülejäänud mürsu kest ja tagab mürsu stabiilse lennu relvarauast välja tulistamisel. Antud katse puhul testiti ainult mürsu kesta kõvadust, sest arvestada tuleb kõige suurema kõvadusega komponenti metallijäätmete juures.



Joonis 9. Kõvaduse testimiseks kasutatud mürsk (Mitt, 2024)

Tallinna Tehnikaülikoolis on kõvaduse testimiseks Vickersi ja Rockwelli mõõteseadmed (vt joonis 10). Mõlema seadme tööpõhimõtet selgitas ja katsed teostas Tallinna Tehnikaülikooli mehaaniliste katsetuste ekspert Mart Saarna. Mina olin kõvaduse testimise käigus vaatleja rollis, küsisin täpsustavaid küsimusi, pildistasin testimise protsessi ja selle tulemusi ning salvestasin testimise ajal toimunud vestluse, et hiljem protsessi analüüsida. Metallijäätmete kõvadust on võimalik mõõta nii Vickersi, kui ka Rockwelli mõõteseadmega. Vickersi mõõteseadme puhul tuleb seadme ekraanilt valida koormus, mida teemant teravik metallitükile

avaldab ning seejärel mõõdab seade teraviku poolt metallitükile surutud jälje suuruse ning selle põhjal saab teada metalli kõvaduse. Mida suurem jääb jälg seda pehmema metalliga on tegu. Vickersi mõõteseadmega mürsu kõvadust ei testitud.



Joonis 10. Kolm kõvaduse mõõteseadet, vasakul Vickers ning keskel ja paremal Rockwell (Mitt, 2024)

Antud lahingumoona kõvadust mõõdeti Rockwelli mõõteseadmega, sest nii suure läbimõõdu ja ümara kujuga metallitükki oli võimalik vaid ühe seadme vahele paigutada. Katse esimene etapp seisnes metallpinna puhastamises. Mürsu puhastamiseks kasutati liivapaberit, sest tegemist oli roostes pinnaga ja see oleks mõjutanud mõõtetulemust. Seejärel asetati mürsk mõõteseadmele lihvitud pinnaga tera poole ning keerati aeglaselt tera vastu mürsku vältides lööki. Järgmisena reguleeriti skaala järgi 10 kilogrammine eelkoormus, siis rakendus kangi tõmbamisel põhikoormus ning pärast põhikoormuse manuaalset maha võtmist näitas skaala osuti metalli kõvadust. Usaldusväärse tulemuse saamiseks korrati katset 4 korda iga katse puhul liigutati mürsku 0,5 cm võtta (vt joonis 11).





Joonis 11. Mürsu kõvaduse mõõtmine neljast erinevast kohast (Mitt, 2024)

Tabel 8. Mürsu kõvaduse mõõtmise tulemused (autori koostatud)

Katse	Kõvadus (Rockwelli mõõteseadme ühik)
1	14 HRC
2	11 HRC
3	6 HRC
4	14 HRC

Katsete tulemustes (vt joonis 11, Tabel 8) esinesid erisused, mille põhjuseks võis olla pinna ettevalmistus ehk antud juhul mürsu roostes pinna ebaühtlane lihvimine. Mürsu kesta puhul oli tegemist terasega ning selle kõvadus nelja katse mõõtmistulemuste aritmeetilise keskmise järgi tuli 11,25 HRC. Ismail ja kaasautorid (2016, p. 8) uurisid terase kuumutamise ja pärast kuumutamist selle vees jahutamise mõju terase kõvadusele ning katsete lõpus mõõtsid terase kõvaduseks 11,85 HRC. See kinnitab, et antud lõputöö raames tehtud katsetes kasutatud mürsk on terasest.

Demir ja kaasautorid (2008, p. 2011) testisid erineva kõvadusega kuule soomust läbistava mürsu vastu ning uuringus on välja toodud soomust läbistava mürsu parameetrid sh selle kõvadus 61–62 HRC. Seega mõõdetud terasest mürsu kõvadus on suur võrreldes pehmemate metallidega (näiteks messing), kuid võrreldes soomust läbistava lahingumoonaga on mõõdetud kõvadus väike.