

Sisekaitseakadeemia
Sisejulgeoleku instituut

MSI190

Olger Nõmm

**VINTRAUDSE TULIRELVA PADRUNI OMADUSTE MÕJU
LASTUD KUULIDELE JÄÄVATELE JÄLGEDELE**

Magistritöö

Juhendaja:

Indrek Saar, PhD

Kaasjuhendaja:

Berit Cavegn, MA

Tallinn 2021

SISEKAITSEAKADEEMIA MAGISTRITÖÖ ANNOTATSIOON

Sisejulgeoleku instituut	Kaitsmine: juuni 2021
Töö pealkiri eesti keeles: Vintraudse tulirelva padrundi omaduste mõju lastud kuulidele jäävatele jälgedele	
Töö pealkiri võõrkeeles: <i>The effects of the parameters of a rifled firearm cartridge on the marks left on fired bullets</i>	
<p>Magistritöö on kirjutatud eesti keeles ja sisaldab ingliskeelset resümeeid.</p> <p>Töö eesmärgiks on selgitada välja, kas uurimismuutujateks valitud padrundi omaduste mõju kuulile jäävates jälgedes on tuvastatav. Töö uurimisprobleemiks on: kas padrundi omadused mõjutavad lastud kuulile jäävaid jälgi.</p> <p>Magistritöö teoreetilises osas tehti valdkonna varasemate teadustööde analüüs ja eksperimendi kui meetodi peamiste põhimõtete ülevaade. Praktilises osas tehti eksperimentuuring tuvastamiseks, kas padrundi omaduste mõju lastud kuulidele jäävatele jälgedele on tuvastatav ning seostatav valitud uurimismuutujatega. Uuringu tulemuste analüüsiks ja tõlgendamiseks kasutati kirjeldavat statistikat ning regressioonanalüüsi.</p> <p>Teoreetilise osa analüüsiga koondati eksperimendi disainiks vajalik teoreetiline baas ja saadi valdkonna seniste uuringute analüüsist padrundi omadusi käsitlevate uuringute tulemused, millega saab võrrelda selle töö tulemusi ja luua neile konteksti. Praktilise osa tulemusel on kohtuekspertiisi valdkonnale antud senisest üldlevinud tõekspidamisest oluliselt kõrgema taseme põhjendus jälgedes esinevate erisuste põhjuste kohta. Eksperdid saavad nüüd olla kindlad, et on olemas põhjuslik seos padrundi objektiivselt mõõdetavate omaduste ja lasu järel kuulile kujunenud jälgedes esinevate muutuste vahel. See julgustab eelkõige tegema täiendavaid uuringuid ja seeläbi laiendama sellise põhjendusliku baasi ulatust ja varieeruvust, mis võimaldaks teha üldistusi ja sõnastada üldiseid tõendatud seaduspärasid. Sisuliselt saab seda tööd lugeda esimeseks etapiks pikemas ja läbimõeldud ühiste eesmärkidega uuringute sarjas, mille tulemusel paraneb kohtuekspertiisi tõendusbaas, mille tulemus väljendub kiiremates ja kvaliteetsemates ekspertiisides, mis omakorda aitavad tõsta menetluse efektiivsust ja sisujulgeolekut tagavate asutuste usaldusväärsust.</p> <p>Töö koosneb kahest peatükist, kokkuvõttest ja ettepanekutest. Kogumaht on 93 lehekülge.</p>	
Lisad (nt CD, DVD jms): ei ole	
Võtmesõnad: ballistika, tulirelvaekspertiis, kohtuekspertiis, võrdlusekspertiis, tulirelv, padrundi, kuul, laskemoon	
Võõrkeelsed võtmesõnad: <i>ballistics, forensic science, comparative examination, firearm, bullet, ammunition</i>	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia raamatukogu	
Töö autor: Olger Nõmm	
Olen koostanud magistritöö iseseisvalt. Kõik magistritöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, seisukohad, kirjallikest allikatest ja mujalt allikatest saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma magistritöö avaliku ligipääsuga osa avaldamisega elektroonilises keskkonnas.	
Allkiri: /digitaalselt allkirjastatud/	Kommentaar
Vastab magistritöö nõuetele	
Juhendaja: Indrek Saar	Allkiri: /digitaalselt allkirjastatud/
Kaasjuhendaja: Berit Cavegn	Allkiri: /digitaalselt allkirjastatud/
Kaitstmisele lubatud	
Sisejulgeoleku instituudi juhataja kt: Anne Valk	Allkiri: /digitaalselt allkirjastatud/

Sisukord

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU	4
SISSEJUHATUS	5
1. TEOORIA JA VARASEMAD UURINGUD.....	11
1.1. Ballistika, tulirelv ja selle laskemoon.....	11
1.2. Valdkonna teadusuuringud	12
1.2.1. Inimotsuse valdkonna uuringud.....	16
1.2.2. Masinotsuse valdkonna uuringud	23
2. LASTUD KUULIDE VÕRDLUSUURING	35
2.1. Uuringu meetodika	35
2.1.1. Uurimisstrateegia põhjendused ja üldpõhimõtted	35
2.1.2. Uuringu üldine disain	38
2.1.3. Kuulil olevate jälgede mõõtmise meetodika ja protsess	49
2.1.4. Katselaskmiste protsess	53
2.1.5. Andmeanalüüsi põhimõtted ja meetodid	56
2.1.6. Eetilised ja vormilised küsimused	58
2.2. Tulemused	59
2.2.1. Andmete ettevalmistamine	59
2.2.2. Kirjeldav statistika	60
2.2.3. Järelduslik statistika.....	63
2.3. Järeldused	67
2.3.1. Töö tulemuste seos varasemate uuringutega	67
2.3.2. Töö praktiline väärtus.....	70
2.3.3. Töö piirangud ja puudused	71
2.3.4. Vastused uurimisküsimustele	72
2.4. Ettepanekud	74
KOKKUVÕTE	76
SUMMARY.....	79
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	80
JOONISTE JA TABELITE LOETELU	93

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

C.I.P. - Commission internationale permanente pour l'épreuve des armes à feu portatives – rahvusvaheline organisatsioon, mis kehtestab tulirelvade ja laskemoona turvastandardid (C.I.P., *s.d.*)

EKEI – Eesti Kohtuekspertiisi Instituut

kesktulepadrun – padrun, mille sütik (paiskelaengu süütekapsel) asub padrunikesta põhja keskmes (Thompson, 2010, p. 14; Gerules, *et al.*, 2013, p. 237)

padrunite iselaadimine – tegevus, mille käigus isik valmistab padroneid kodusel teel kaubanduses müüdavatest padrunikomponentidest enda tarbeks

padrunite tööstuslik valmistamine – tegevus, mille käigus vastavat luba ja kompetentsi omav isik valmistab padroneid nende müügiks relvaomanikele

paiskelaeng – püssirohi, mis süttides ja põledes tekitab suures koguses põlemisgaase, millest tekib pihtamislaengu relvarauast välja lükkav surve (Thompson, 2010, pp. 14-15; Carroll, 2018, p. 246; Gerules, *et al.*, 2013, p. 237)

PCAST – *President's Council of Advisors on Science and Technology* – Ameerika Ühendriikide presidendi teadusnõukoda (science.osti.gov, *s.d.*)

pihtamislaeng – objekt (kuul) või nende kogum (haavlid), mis lükatakse paiskelaengu poolt relvarauast välja ja lendab sihtmärgini (Thompson, 2010, pp. 14-15; Carroll, 2018, p. 246)

tulirelva padrun – tulirelvast lasu tegemiseks kasutatav komponentide kogum, milles on harilikult olemas komponente koos hoidev padrunikest, sihtmärki tabav pihtamislaeng e. kuul, sihtmärgi väljalennutamiseks vajalikke põlemisgaase tekitav paiskelaeng e. püssirohi ning relva mehhanismide mõjul paiskelaengut süütav sütik (Gerules, *et al.*, 2013, p. 237)

võrdlusekspertiis – kohtuekspertiisi alaliik, millega tulirelva valdkonnas tuvastatakse kahel uurimisobjektil olevate jälgede sarnasus või samasus (Thompson, 2010, p. 9)

ühitamine – võrdlusekspertiisi meetod, mille puhul kahe kuuli pinnal olevad jäljed sulatatakse võrdlusemikroskoobi vaateväljas vaatleja jaoks kokku – vasakul poolel vaateväljast on vasakpoolsel kuulil olev jälg ja paremal poolel vaateväljast on parempoolsel kuulil olev jälg

SISSEJUHATUS

Käesolev magistritöö on rakendusuuring, millel on nii teoreetiline kui empiiriline osa ja milles uuritakse kohtuekspertiisi, õiguskaitseorganite ja avalikkuse ühishuvi probleemistikku – tulirelvade käitlemise ja kasutamisega seotud menetluste kohtuekspertiisi aspekti. Probleemistiku teoreetiliseks aluseks saab lugeda julgeolekuteooria institutsionalismi haru (Crank, 2003, pp. 186-207). Üldises julgeolekuteoorias loetakse tänapäeval liberaalset institutsionalismi konstruktivismi kõrval peamiseks neorealismi konkurendiks (Waltz, 2004, p. 5). Selle magistritöö institutsionalismiga haakuvaks seisukohaks on sisejulgeolekut tagavad asutused kui oluline normväärtusi ja julgeolekut kui seisundit väljendav struktuur – eelkõige selle usaldusväärsus ja staatus ühiskonnas.

Sisejulgeolekut tagavate institutsioonide põhiliseks hoitavaks väärtuseks loetakse usaldusväärust ja normidele allu(ta)mise tagamist. Mõlemad aspektid on tulirelvade kontekstis kaasaegses julgeolekuolukorras ohtu seatud. Praeguses maailmas, kus terrorismi väljundid on viimaste dekaadide vältel sagenenud (Our World in Data, 2020), pööratakse suurt tähelepanu tulirelvadega seotud kuritegevusele, eriti kannatanute ja surmaga lõppenud sündmustele. Avalikkuse ootused menetluse selge ja kiire lõpptulemuse saavutamiseks on kõrged ning surve selle eesmärgi saavutamiseks suur. Viivitused ja tagasilöögid protsessis põhjustavad emotsionaalseid ja põhjendamatu rünnakuid kõikide tulirelvadega seotud õiguskuulekate huvigruppide (jahimehed, sportlased jne) vastu, tekitavad ühiskonnas pingeid (Pealinn, 2015) ja on kasvulava uute arvamuskonfliktide tekkeks.

Nimetatud pingete ja konfliktide kõige olulisemaks tagajärjeks sisejulgeoleku kontekstis on tekkiv usaldamatus õiguskaitseorganite ja nende töövõtete vastu. Ühiskonna tulirelvadesse pigem tauniva suhtumise kujunemises on oma osa ilmselt ka Siseministeeriumi tellitud 2020. aasta Siseturvalisuse avaliku arvamuse uuringust ilmneval faktil, et vaid 4% riigi elanikest omab kodus tulirelva ja lausa 35% elanikest ei ole oma turvalisuse kaitseks pidanud vajalikuks omada kodus ei valvesüsteemi, enesekaitsegaasi ega äärmuslikemat vahendit - tulirelva (Siseministeerium, 2020, lk 32). Tulirelvade ebaseadusliku kasutamise teistes riikides aset leidnud juhtudest on laialdast avalikku kajastust leidnud näiteks Norras Anders Behring Breivik'i poolt toime pandud mitme asukoha ja episoodiga massimõrv (*BBC News Europe*, 2012) ja vendade Said ja Cherif Kouachi'de poolt toime pandud rünnak ajalehe Charlie Hebdo toimetusele Pariisis (*The Guardian*, 2015).

Eestis on pidevat kajastust saanud ja praeguseks kohtupidamise etappi jõudnud hiljutine Lihula piirkonnas aset leidnud sündmus, mille käigus Mikk Tarraste väidetavalt tulistas politseinike ja tsiviilisikute suunas (Eesti Rahvusringhääling, 2020a), kuid mainimata ei saa jätta ka praeguseks lahendini jõudnud varasemate aastate sündmustest joores politsei kiirreageerija osalusel hukkunud tsiviilisiku juhtumit (Delfi, 2016), Kaitseministeeriumi hoone rünnakut (Postimees, 2011), Kaitsepolitseiameti ametniku surmaga lõppenud menetlustoimingut (Delfi, 2011), tulistamisega päädinud liiklusintsidenti (Postimees, 2018) ja inimohvriteta, kuid vallasvara kahjustustega lõppenud „juhusliku kuuli“ juhtumit Kaitseväega (Postimees, 2012). Kõikides sellistes juhtumites on oluline vastata menetluse, sealhulgas tulirelvaeksperdile püstitatud küsimustele kiiresti ja ammendavalt (Liong, *et al.*, 2012, p. 144), et avalikkuse õiglustunne saaks rahuldatud ning usk õiguskaitseorganite võimekusse jõuda kiire ja selge lõplahenduseni kinnitust.

Kohtuekspertiisi tulirelvadega tegeleva haru alguseks loetakse 1835. aastal Inglismaal Henry Goddard'i tehtud kuulide valuvormi jälgede võrdlust (*National Forensic Science Technology Center, s.d.*), millele järgnesid 1907. aastal esimene kestade võrdlus ja valdkonna rutiinsesse kasutusse võtmine (Hamby, *et al.*, 2016, pp. 170-171). Tänapäevani on tulirelvaekspertiisis teemad, millega tegelemist peavad praktikud vajalikuks teadusharu usaldusvääruse kinnitamiseks (Nichols, 2007; Giannelli, 2007; Giannelli, 2010; Murdock, *et al.*, 2017). Ameerika Ühendriikides (edaspidi USA) tegutsev mittetulundusorganisatsioon *The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine*, mille ülesandeks on koostada erapooletuid ülevaateid oma valdkondades, andis 2009. aastal välja raporti kohtuekspertiisi hetkeolukorrast (*The National Academies Press*, 2009), milles tõi kriitiliselt välja kogu valdkonna taustteadmiste üle vaatamise ja teadusliku tõendamise vajaduse. USA presidendi teadus- ja tehnoloogiaakadeemia kogu PCAST andis 2016. aastal välja oma uuringuraporti võrdluspõhiste ekspertiisiliikide teaduslikust valiidsusest (*Obama White House Archives*, 2016), milles soovib tulirelva võrdlusekspertiisi edasi arendada nii subjektiivse arvamuse (eksperdi sisetunde põhjal tehtud otsused) põhisena kui objektiivse arvamuse (seadmete, masinate abil tehtud otsused) põhisena.

Kaplan, *et al.* (2020, pp. 6-7, 27-28) uurisid 2020. aastal USA elanikkonna suhtumist valitud kohtuekspertiisi töövõtete usaldusväärusesse ja leidsid, et küsitletute arvates on valdkonna töövõtted usaldusväärsed vaid kuni 84%. Tulirelvaekspertiisi täpsuseks hindasid vastajad 68%. Lisades siia väite, et USA isikuvastaste kuritegude menetlustes kasutatakse alati vähemalt ühte

kohtuekspertiisi liiki, saab järeldada, et usaldusväarsuse tase on oluline probleem. (Kaplan, *et al.*, 2020, pp. 6-7, 27-28) Mattijssen tegi 2020. aastal ülevaate tulirelva valdkonna teadusartiklite peamistest teemadest, milles tõi kolme olulisemana välja masinotsuse uuringud, usaldusväarsuse tõusule kaasa aitavad uuringud ja inimfaktori mõju uurimise (Mattijssen, 2020, p. 1). Bell, *et al.* kutsusid oma 2018. aasta artiklis laiemat teadusmaailma toetama kohtuekspertiisi selle ees seisva tõsise probleemi lahendamises ning igakülgset kaasa aitama valdkonna taustauuringute tegemisel, rõhutades, et empiirilised taustauuringud on ühed olulisemad vahendid selles protsessis (Bell, *et al.*, 2018, pp. 4541, 4543). Eelkirjeldatust tulenebki selle magistritöö **aktuaalsus nii kohalikul kui rahvusvahelisel tasemel**.

Eesti kohtuekspertiisi tulirelva valdkonnas kasutatava subjektiivse arvamuse kontekstis tuleb rohkem tähelepanu pöörata asjaoludele, mis aitavad eksperdil saada selgust võrdlusmaterjalil olevate jälgede päritolus ning väärtuses. Eestis on eelkõige tegeletud sisejulgeoleku valdkonna relvi puudutavate riskide maandamise tavapärase aspektidega: politseiametnike regulaarne koolitus, varustuse tänapäevastamine, juhtumipõhised pressikonverentsid, regulaarne ebaseaduslike relvade kogumise kampaania (Eesti Rahvusringhääling, 2020b) jms - kuid tulirelva kohtuekspertiis on ilmselt eelkõige oma pika ajaloo kestel saavutatud usaldusväarsuse ja väljakujunenud toimivate töövõtete tõttu olnud tähelepanuta. Käesoleva magistritöö **aktuaalsus kohalikul tasemel** tuleneb riigi sisejulgeolekut tagavate institutsioonide ees seisvate uut laadi menetlusaspekti kasvavast tähtsusest – avalikkus soovib saada senisest kiiremaid, kuid sama kvaliteetseid vastuseid. Eelmise perioodi Siseturvalisuse arengukavas mainiti probleemide seas vajadust kiirendada kohtueelse menetluse läbiviimist (Siseministeerium, 2015, lk 33) ja „Kriminaalpoliitika põhialused aastani 2020“ seletuskirjas tuuakse välja, et kohtuekspertiisi jätkuv areng on vajalik teaduse ja tehnoloogia arengu parimaks ära kasutamiseks (Advokatuur, *s.d.*, lk 8). Kaitsepolitseiameti 2019. aasta aastaraamatus nenditakse, et viimaste aastate terroristlikud rünnakud kasutavad sageli käepäraseid vahendeid – nende seas ka tulirelvi (Kaitsepolitseiamet, 2019, lk 44). EKEI roll üldises menetlusahelas kanti ka Eesti Siseturvalisuse arengukava 2020-2030 koostamise ettepanekusse märksõnadega „Kindel sisejulgeolek“ (Vabariigi Valitsus, 2019).

Ülalpool mainitud ja kronoloogiliselt värskem näidisjuhtum Mikk Tarrastega on tekitanud märgatava avaliku kriitikalaine (Postimees, 2020a; Nelli Teataja, 2020; Lõuna-Eesti Postimees, 2020) ja soovi muuta tulirelvadega seonduvaid protseduure ja seadusandlust (Eesti Päevaleht, 2020; Delfi, 2020). Nii ühe kui teise muutmisel saavad olema tuntavad mõjud ka

kohtuekspertiisi valdkonnas. Kiire areng tulirelvade ja nende laskemoona valmistamise tehnoloogiates ja töövõtetes (Bonfanti & De Kinder, 1999) on muutnud kohtuekspertiisi töö raskemaks: kuulile kujunenud jälgedes on järjest keerukam üksteisest eristada nende kahte peamist tekkepõhjust: relvaraua unikaalsete ebatasasuste tekitatud jälgi, mida kasutatakse võrdlusekspertiisis relva tuvastamiseks ning relvaosadel ja padrunikomponentidel olevaid tööriistajälgi, mis on samas tehases valmistatud mitmetel relvadel ja padrunikomponentidel ühesugused ja mida tuleb seetõttu võrdlusprotsessis ignoreerida.

Nimetatud kahte liiki jälgi moonutavad muu hulgas laskemoona mõjudest tingitud erisused, tehes oluliselt keerukamaks otsustamise, milliseid kuulil nähtavaid jälgi tuleb ja saab kasutada võrdlusekspertiisis otsuse langetamiseks ning milliseid tuleb ignoreerida. Tuvastamata ja mõistmata laskemoona mõjusid kirjeldatud jälgedele, on kohtuekspertiisi võrdlusekspertiisi käigus järjest keerulisem kuulile kujunenud jälgedes eristada ja klassifitseerida otsuse langetamise mõttes kõrvalisi jälgi – relvaosade valmistamisel, rauaõõnde vintsoonte lõikamisel ja padrunikomponentide valmistamisel või iselaadimisel kasutatud seadmete jälgi ning eristada neid padrundi omaduste mõjust, mida otsuse langetamisel tuleb arvesse võtta (Thompson, 2010, p. 9). Padrundi komponentide omadused mõjutavad padrundi ja kuuli välisballistilisi omadusi – püssirohu suurem kogus suurendab kuuli algkiirust ja muudab selle lennu seeläbi pikema aja vältel stabiilsemaks, kuuli kuju mõjutab selle aerodünaamilisi omadusi ja seetõttu lennukaugust (Jedlicka, 2012, p. 33); sütiku võimsus mõjutab padrundi siserõhku ja tõstab kuuli algkiirust (Griffin, 2002, pp. 56-57). Loetletud omadused on välisballistilised ja seetõttu tuntud ballistika kui laiemas teadusharu kontekstis. Kuna välisballistikat mõjutavad omadused saavad alguse siseballistilisest parameetritest, eksisteerib ka seos kuulile kujunevate jälgedega.

Jälgede usaldusväärsuse määramisel saavad teadaolevalt samast relvast lastud kuulidel olevates jälgedes madalama tõendusliku väärtuse need osad, milles leiduvad põhjendamatud erisused. Mida kindlamalt tunneb kohtuekspert end võrdlusuuringu materjali tõlgendades, seda kiiremini võrdlusuuring valmib ja seda suuremat tõenäosuse astet saab ta oma arvamuse vormistamisel kasutada. Tõlgendamise oluliseks aluseks on lisaks teaduslikele meetoditele ja teadmistele ka selge arusaam, mis täpselt jättis ja mõjutas kuulile tekkinud jälgi ja millist tõenduslikku kaalu leitud sarnasused või erisused endas kannavad. Ekspert on jälgedes leiduva varieeruvuse põhjuseid teadmata sunnitud järeldama, et see on relvast sõltuv kontrollimatu hälve, mille kompenseerimiseks tuleb teha rohkem katselaske, uurida võrdlusmaterjali kauem ja äärmuslikel juhtudel kas langetada ekspertiisiarvamuse tõenäosuse määra või lugeda see relv

võrdlusuuringute tegemiseks kõlbmatuks. Kui oleks võimalik tõendada, et jälgede varieeruvust mõjutavad padrungi omadustel, aitaks see loetletud tagasilööke vältida. Lisaks nimetatud välistele kriitilistele signaalidele (käesolev töö, lk 6) on ka kohtuekspertiisi tulirelva uuringutes selgesõnaliselt või kaudselt öeldud, et padrungi omaduste mõju jälgedele on seni vähe uuritud ja seetõttu ei saa mingeid järeldusi selles valdkonnas teha (Bernard, 2005, p. 70; Law, *et al.*, 2018, p. 133; Nennstiel & Rahm, 2006, p. 21). Käesoleva magistr töö **uudsus** seisneb selles, et käsitletavaks teemaks on valitud subjektiivse eksperdiarvamuse kujunemiseks kasutatava taustainfo osa, mida magistr töö autorile teadaolevalt nii Eestis kui ka mitme uuringu kinnitusel (Bernard, 2005, p. 70; Law, *et al.*, 2018, p. 133; Bonfanti & De Kinder, 1999; Mattijssen, 2020) maailmas seni uuritud ei ole.

Eelnevast lähtuvalt on magistr töö **uurimisprobleemiks**: kas padrungi omadused mõjutavad lastud kuulile jäävaid jälgi?

Valdkonna varasematest teadustöödest koondatakse kasutatav laskekatsete praktika ning teaduskirjandusest eksperimendi meetodi põhimõtted, mille sünteesina disainitakse magistr töö eesmärgi saavutamiseks kasutatav eksperimentuuring. Uurimisprobleemi lahendamiseks püstitati järgmised **uurimisküsimused**:

1. Milliseid laskekatse tingimusi tuleks eksperimendi meetodi kasutamisel eesmärgi saavutamiseks kontrollida ja kajastada?
2. Kas selles magistr töös uurimismuutujatena kasutatud padrungi omaduste manipuleerimise mõju on kuulile jäävates jälgedes tuvastatav?
3. Milliseid järeldusi võimaldavad analüüsitud teooria ja katsetega saadud andmestik teha otsitava seose kohta?

Käesoleva magistr töö **eesmärgiks** on selgitada välja põhjusliku seose olemasolu kuuli massi ja püssirohu massi ning kuulile peale lasku jäävate jälgede vahel.

Magistr töö eesmärgi saavutamiseks sõnastatud uurimisküsimustele vastamiseks püstitati järgmised **uurimisülesanded**:

1. Analüüsida varasemate uuringute kirjelduses kajastatud laskekatsete praktikat ning täiendada seda eksperimendi kui uurimismeetodi põhimõtetega.
2. Analüüsida katselaskmise tulemusel kogutud andmestikku padrungi omadustest ja kuulile jäänud jälgedest eesmärgiga tuvastada padrungi omaduste mõju jälgedele.

3. Sünteesida teoriast ja kogutud andmetest järeldused otsitava seose kohta.

Magistritöös kasutatakse võrreldavate arvandmete kogumiseks lähenemist üldiselt üksikule ehk **deduktiivset uurimisstrateegiat** ja kvantitatiivsete uurimismeetodite (Mertler, 2018, p. 108) hulka kuuluvat **eksperimentaaluuringut**, mida loetakse põhjuslike suhete näitlikustamiseks parimaks meetodiks (Mertler, 2018, p. 126). Eksperimendi kui meetodi all mõeldakse uurimust, mille käigus muutujatega manipuleeritakse ja vaadeldakse nende mõju teistele muutujatele (Campbell & Stanley, 1963, p. 1) – selline definitsioon põhjendab hästi ka eksperimendi meetodi kasutamist selles magistritöös. Uurimuses kasutatakse **uurimismuutujatena kuuli massi ja püssirohu massi ning sõltuva muutujana** mõõdetakse katsete järel kuulidele kujunenud jälgede muutuseid läbi nende võrdlemisel saadud **kokkulangevuse määra**.

Magistritöö koosneb kahest peatükist. **Esimene** on teoreetilist tausta selgitav ja põhjendav osa, milles koondatakse kohtuekspertiisi tulirelva teadusuuringute praktika. **Teine** peatükk tutvustab eksperimendi kui uurimismeetodi põhimõtteid, sünteesib teooria põhjal praktiliste laskekatsete raamistiku, käsitleb praktilise uuringu tegevusi ning analüüsib saadud andmeid, tuues välja neis väljendunud mustrid. Teise peatüki lõpuosas tehakse järeldused, selgitatakse töö positiivseid külgi ja puuduseid, vastatakse uurimisküsimustele ning antakse soovitusel jätku-uuringuteks.

1. TEOORIA JA VARASEMAD UURINGUD

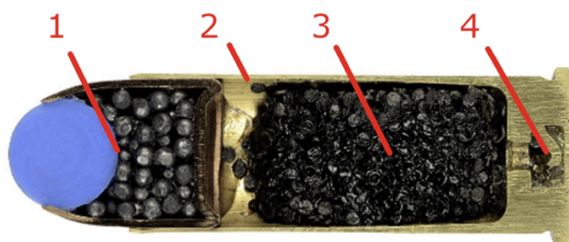
1.1. Ballistika, tulirelv ja selle laskemoon

Alapeatükis selgitatakse lühidalt tulirelva ja selle laskemoona ehituse ning ballistika üldisi põhimõtteid.

Tulirelv nähtuse ja õigussubjektina on eksisteerinud piisavalt pikka aega, et tekitada mitmeid erinevaid tõlgendusi ja erinevatel alustel liigitusi. Selle õigusliku mõiste kehtestab Eesti Vabariigi Relvaseaduse §11 lg 1, mille kohaselt on „tulirelv – relv või seade, mis on ette nähtud või mis on kohandatud püssirohugaaside, põlemisgaaside või plahvatusgaaside tulemusena tekkinud gaasisurve toimel suunatult välja laskma lendkeha“ (Relvaseadus, 2020). Sama seaduse §17 selgitab läbi mitme jaotise, mis on tulirelva laskemoon, tuues välja, et „Laskemoon on terviklik padrune ... mille lendkehaks on kuul või haavel“ (Relvaseadus, 2020, §17). Tulirelvi ja nende laskemoona on erinevat liiki, kuid selle magistritöö uurimisobjektideks on vintraudne tulirelv ja selles kasutatava kesktulepadruni kuul.

Tulirelva lask ja sellele järgnev aeg kuni sihtmärgi tabamiseni ja pihtamislaengu peatumiseni jagatakse kolmeks suuremaks etapiks, millest igaühte omakorda uurib erinev teadusharu – siseballistika, välisballistika ja haavaballistika (elutu sihtmärgi puhul sobivam termin pihtamisballistika – autori märkus) (Carlucci & Jacobson, 2014, p. xiii). See magistritöö tegeleb siseballistika nähtustega ehk protsessidega, mis toimuvad püssirohu süütamise hetkest kuni kuuli väljumiseni relvarauast. Täpsemalt sisaldab see „... paiskelaengu süütamise protsessi, paiskelaengu põlemist (padruni) kambri, (padruni) kambri survestamist, pihtamislaengu esmase liikuma hakkamise hetke, (rauaõõne) rotatsioonirõngaste graveerimist ja padrunipesa sulundamist (rõhu toimel paisuva kuuliga), pihtamislaengu dünaamikat rauaõõnes ja relvaraua dünaamikat lasutsükli ajal“ (Carlucci & Jacobson, 2014, p. 4).

Lasu eel on tulirelva padrunipesas komplektne padrune (joonis 1), mis koosneb kesta suudmeavas olevast pihtamislaengust (joonis 1-1), padrunikestast (joonis 1-2), kesta õõnes olevast paiskelaengust (joonis 1-3) ja selle põhja pesas olevast sütikust (joonis 1-4) (Gerules, *et al.*, 2013, p. 237).



Joonis 1. Kesktulepadruni läbilõige (Carroll, 2018, p. 255, muudetud autori poolt)

Lasu ajal surutakse kuul relvarauast välja, mille ajal tekivad siseballistika valdkonda kuuluvate protsesside käigus kuuli pinnale jäljed (Li, 2006, p. 2857; Gerules, *et al.*, 2013, p. 238). Kuulidel, mis on lastud samast relvast, ja kestadel, mis on heidetud samast relvast, on jäljed samasuseni sarnased, suhteliselt püsivad ja korduvad; (Thompson, 2010, pp. 7-8; Gerules, *et al.*, 2013, p. 237; Kassin, *et al.*, 2013, p. 43; Saribey & Hannam, 2012, p. 1). Väidetavalt on padruni omaduste mõju võrreldavatele jälgedele olemas ja isegi sedavõrd suur, et teatud juhtudel ei ole võimalik mikroskoopiliselt kokkulangevust tuvastada, kuigi võrreldavad objektid on lastud samast relvast (Nennstiel & Rahm, 2006, p. 21). Praktilise teadmisenähtena on see tõekspidamine tunnustatud, kuid uuringupõhiselt selgitamata.

Kirjeldatud üldised ballistika põhimõtted annavad magistritöö järgnevatele osadele nende mõistmiseks vajaliku taustinformatsiooni ning sõnavara. Järgmises alapeatükis tehakse ülevaade kohtuekspertiisi tulirelva teemadega seonduvatest teadusuuringutest eesmärgiga koondada valdkonna uuringute praktikas kasutatavad põhimõtted.

1.2. Valdkonna teadusuuringud

Alapeatüki jaotustes tehakse ülevaade valdkonna varasematest uurimustest, milles on uurimuse eesmärgi saavutamiseks kasutatud tulirelvast laskmisel saadud padrunikomponente. Uuringuid analüüsides ja kokku võttes ei keskendunud magistritöö autor uuringu eesmärgi kirjeldamisele, vaid tõi välja katseobjektide ning katselaskude tegemise kirjelduse olemasolu ja sisu. Uuringute valimi eesmärgiks on väljendada võimalikult laia läbilõiget uuringutest ja nende vormilisest varieeruvusest. Näiteks on valimis nii uuring, milles keskkonnatingimuste mõttes kirjeldatakse vaid tulirelvade valiku põhimõtteid (Chu, *et al.*, 2010a, p. 342), kui ka uuring, milles kirjeldatakse laskemoona valiku kriteeriume (Christen & Jordi, 2019, p. 65).

Varasemate uuringute inim- ja masinotsuse alapeatükkideks jaotamise põhimõtet aitab hästi selgitada Chu, *et al.* uuring, milles tuuakse välja inim- ja masinvõrdluse põhilised erinevused –

masin on kiire, kuid ei suuda ise hinnata võrreldava materjali kvaliteeti ning inimene on paindlikum, kuid ei suuda alati objektiivselt hinnata võrreldavas materjalis esineva info osakaalu. Sellest tulenevalt peab masinat „õpetav“ inimene mõistma kogu otsustusprotsessi siseseoseid ja mõjude osakaalusid. Juba teadusliku lähenemise põhimõtete tõttu ei saa lubada, et valitakse vaid meeldiv osa materjalist ja nõ hüpoteesi sobimatu materjal jäetakse kõrvale. (Chu, *et al.*, 2011, pp. 647-648)

Uuringud, mis kas otseselt või kaudselt kirjeldavad selle magistritöö praktilise osa temaatikat ehk padruni omaduste mõju kuulile jäävatele jälgedele, koondati alapeatükkide lõppu koos lühida sisukirjeldusega.

Kõiki kolme ballistika haru on otse või kaudselt uuritud mitmete erinevate distsipliinide raames – ballistika, kohtumeditiin, sotsioloogia (nt tulirelvaga enesetappude põhjused – autori märkus) jne. Uuringute teatava ühise tunnuse võtavad Carlucci ja Jacobson hästi kokku seisukohaga, et ballistika kõikides teadusharudes domineeriva juhuslikkuse aluseks on pihtamislaua omadusi mõjutavate parameetrite paljusus (Carlucci & Jacobson, 2014, p. 3). Nende väitel ei ole osa nendest parameetritest võimalik üldse testida, kuna katse tingimustes eksisteerib mingi teise muutuja mõju, mis on uuritava muutuja mõjust tunduvalt suurem (Carlucci & Jacobson, 2014, p. 3). Keeruliste siseseostega protsesside paljude mõjurite juhuslikkuse põhimõtte on välja toodud ka eksperimendi üldises metoodikas, kus seda samuti paratamatuks loetakse (Fisher, 1935, p. 97). Fisher väidab siiski, et soov neid komponente üksikhaaval testida ei saa olla ajendatud mitte ideaalse teadusliku lähenemise põhimõttest, vaid eelkõige sellest, et neid koos testida oleks kas liiga keerukas või kulukas. Siit saab sõnastada põhimõtte, et teadusliku lähenemise kinnitamiseks või rõhutamiseks ei ole tarvis ega ilmselt ka võimalik keerukate protsesside testimisel ühte huvipakkuvat muutujat isoleerida. Eelnevalt viidatud seisukoht ballistika parameetrite paljususest tingitud teatavast juhuslikkusest lubab järeldada, et ballistika uuringutes on harjutud lugema osade parameetrite esinemist ja mõju paratamatuks, uuritava parameetri mõttes lahutamatuks ja loomult juhuslikuks.

Oluline on siinkohal selgitada, et ballistika kui laiem teadusharu lahendab mitmesuguseid probleeme, mis on peamiselt seotud paljude gruppide ühiseid huve puudutavate küsimustega (Britannica, *s.d.*) - näiteks pihtamislaua trajektoori ja mõju ennustatavuse, lasu tegemise ohutuse ja kõikide komponentide majanduslikult tasuva eksploatatsioonitsükliga. Kohtueksperitiisi ballistika valdkond seevastu on spetsiifiliste vajaduste ja eesmärkidega, tegeledes väga kitsa osaga ballistikast, ja keskendub eelkõige tulirelva jäetud jälgede uurimisele

ning hindamisele (Saribey, *et al.*, 2009, p. 1068; NIST, s.d.), põhinedes veendumusel, et tulirelva mitmed osad jätavad padruni komponentidele (eelkõige padrunist ja kuul - autori märkus) lasu ajal jälgi, mis on unikaalsed ja seetõttu ühitatavad teiste samast relvast lastud padrunikomponentidega (Thompson, 2010, pp. 7-8; Gerules, *et al.*, 2013, p. 237; Kassin, *et al.*, 2013, p. 43; Saribey & Hannam, 2012, p. 1). Ühe väga mahuka 3070 katselasuga tulirelvade jälgede ajas püsivuse uuringu tulemuse võtavad selle autorid kokku väitega, et pole olemas kahte relva, mis jätaksid kuulile või kestale mikroskoopilises mõttes samaseid jälgi (Zhang & Luo, 2018, p. 85). Hamby, *et al.* kirjeldavad oma töös kohtuekspertiisi ballistika kuulide võrdlusekspertiisi uurimisobjekte, milleks on relvaraua juhuslike ebatasasuste tekitatud kriimustused. Nad rõhutavad, et eelkõige kriimustuste juhuslikkus muudab nende kogumi unikaalseks ja väidavad, et vajalikul oskuste tasemel ekspert peab suutma ja ongi suuteline tuvastama, kas uuritav kuul on lastud küsitavast relvast, isegi siis, kui küsitavast relvast on peale uuritava kuuli laskmist tehtud enam kui üks lask (Hamby, *et al.*, 2009, p. 99). Oma väidete kehtivuse aluseks peavad nad õigesti koolitatud eksperti. Mõiste „õigesti koolitatud ekspert“ on nende uuringus jäetud sisustamata – magistritöö autori arvates ei ole seda universaalselt kehtiva mõistena võimalik teha, kuna riigiti on tüüpilised uurimisobjektid, seadusandlus, kultuurilised eripärad ja protseduurid sedavõrd erinevad, kuid üldised põhimõtted on näiteks USA praktikas siiski sõnastatud (Carroll, 2018, p. 245).

Bonfanti ja De Kinder on 1999. aastal teinud olulise kokkuvõtliku ülevaate (Bonfanti & De Kinder, 1999) uuringutest, mis on käsitletud tulirelva võrdlusekspertiisi – nii kuulide kui kestade võrdluse aspekti. Nende loetelus on uuringuid aastast 1925 – 1997, kuid nad nendivad, et osade uuringute kättesaamatuse tõttu pidid nad piirduma mujal avaldatud kokkuvõttega (Bonfanti & De Kinder, 1999, p. 4). Kuigi võrdlusekspertiisi üldine põhimõte, et relva jäetavad jäljed on unikaalsed või samast relvast lastud kuulidel „piisavalt sarnased“ (Kassin, *et al.*, 2013, p. 43), on jäänud kogu nende vaadeldava perioodi vältel samaks, on areng relvade ja laskemoona toomises hoidnud pidevalt päevakorral vajadust seda väidet taaskinnitada. Kuna sellise unikaalsuse kõige tõsiseltvõetavam vastuargument on eeldus, et järjestikuselt valmistatud relvadel on ka jäljed väga sarnased, on suur osa Bonfanti ja De Kinderi vaadeldud töid selle fookusega. Oma lähenemises eeldasid nad, et olulist mõju avaldab jälgede kujunemisele ennekõike relvaraua valmistamise tehnoloogia. (Bonfanti & De Kinder, 1999, p. 4) See kokkuvõtlik uuring kinnitab, et võrdlusuuringutele keskendunud uurimusi on küll tehtud, kuid just relvast tulenevate omapärade tuvastamiseks. Tootmisprotsesside loomulik tendents liikuda väiksemate kulude suunas siiski vähendab järjepidevalt relva mõju jälgede

varieeruvuses ja võimendab seeläbi laskemoona parameetrite mõju suurust. Sellise mõttekäigu tulemusel saab padruni omaduste mõju uurimist lugeda perspektiivikamaks suunaks.

Ballistikas aset leidvaid nähtusi saab uurida kas vahetu vaatluse või kogemuse saamise teel või teoreetiliste mudelarvutuste kaudu. Esimesel juhul tehakse erinevatel tingimustel katselaskmisi, arvestades või passiivselt leppides eelnevalt kirjeldatud kaasneva juhuslikkuse ja suure hulga mõjutajatega (käesolev töö, lk 13). Teine lähenemisvõimalus on puhtalt teoreetiline, mille käigus uuritakse kas täiesti teoreetilistele alustele tuginevaid põhimõttelisi protsesse või kasutatakse eelnevate katseliste uuringute tulemusi üldistuste ja kokkuvõtete tegemiseks. Ka olemuselt väga keerukaid ballistikauuringuid saab teha teoreetiliste arvutuste põhjal (Cai, *et al.*, 2020, p. 92). Sellised teoreetilised arvutuskäigud on kindlasti vajalikud, aitavad teadusharul edasi liikuda ja võimaldavad saada andmeid kiiremini kui reaalseid katseid tehes. Samas ei saa selliste uuringutega kogeda reaalselt toimivaid mõjutajaid ja kontrollida arvutustel tuginevate teooriate paikapidavust reaalsuses. Kui ballistika üldisemad uurimiseesmärgid saavad õigeid meetodikaid, tolerantse ja tõrkelävendeid (*failsafe* - autori märkus) kasutades piisavalt kvaliteetsed vastused ka teoreetiliste uuringute tulemusel, siis võrdlusuuringutes ei saa piirduda üldistuste ja orienteeruvate tulemustega. Seetõttu tuleks kõik hüpoteesid reaalselt läbi katsetada, mis vajaks märkimisväärset hulka ressursse – relvi, laskemoona, inim- ja laboriaega, järeltöötlust, analüüsi ning kokkuvõtete tegemist. Et kohtuekspertiisi teadusuuringuid tegevad inimesed on reeglina praktiseerivad kohtuekspertid, on nimetatud ressursse raske leida – järelkult tuleb üldiste lähteuuringutena kasutada ka laiemas kontekstis ballistika uurimustöid.

Valimi uuringud jagatakse nende parema jälgitavuse ning eesmärgipärasema analüüsi ja sünteesi tagamiseks eelnevalt viidatud valdkonnakriitilise PCAST raporti (käesolev töö, lk 6) eeskujul kahte suuremasse gruppi – uuringud, mis tegelevad **inimotsuse** valdkonnaga või **ballistika üldiste parameetrite käsitlemisega** ning uuringud, mis tegelevad **masinotsuse** valdkonnaga. Esimese grupi uuringute peamisteks eesmärkideks on valdkonna sisuliste küsimuste lahendamine, kusjuures uurimisteedeks on hinnangud, arvamuse kujunemine, vead jms. Teise grupi uuringute eesmärkideks on seevastu inimese töö masinatele üle andmise probleemistik ja sellega kaasnev reeglite ja otsustusparameetrite sõnastamine ja edasiandmine. Kus võimalik, koondatakse loomult sarnased uuringud kokku ja sünteesitakse nende ühised jooned.

1.2.1. Inimotsuse valdkonna uuringud

Sellesse alajaotusesse on koondatud uuringud, mille probleemistikuks on tulirelva valdkonna eksperdi poolt kasutatav otsustusprotsess ja selle käigus hinnatavad parameetrid, kuid ka ballistika üldiseid teemasid käsitlevad uuringud. Uuringute valimis esindavad need tööd subjektiivse otsustusprotsessiga traditsioonilist kohtuekspertiisi haru (käesolev töö, lk 6).

Iseloomustamaks vanemaid uuringuid, tutvustatakse järgnevalt lähemalt kolme suhteliselt tüüpilist uuringut. Murdock tegi 1972. aastal uuringu relvaraua suudme „kroonimise“ (tsentri suunas süveneva faasi lõikamine raua otsapinda - autori märkus) mõjust kuulile jäävatele jälgedele. Uuringust selgus, et hoolimata kroonimisest on kuulid endiselt identifitseeritavad relva suhtes. Laskemoona kohta nimetatakse tootja, mark ja kaliiber; relvaraudade kohta tootja ja tootmistehnoloogia. Kuna katsed tehti mitmes osas, kirjeldatakse ühtluse tagamiseks katsete vahele tehtud kontrolltegevusi. (Murdock, 1972, pp. 304-306, 308) Aastal 1977 tegid Sinha, *et al.* uuringu deformeerunud ja purunenud kuulidel olevatest jälgedest. Selgus, et ka deformeerunud kuulidel on enamasti jälgi, mille abil saab vähemalt relva klassi määratleda – vahel piisab jälgede kvaliteedist ka kuuli identifitseerimiseks relva suhtes. Katselaskude osas kirjeldati vaid relva liiki ja laskemoona kuuli tüüpi. (Sinha, *et al.*, 1977, p. 141) Jauhari, *et al.* kirjutasid 1987. aastal artikli (Jauhari, *et al.*, 1987) uuringust, millega otsisid võimalusi kompileerida vintsoonte eritunnuseid. Artiklis kirjeldatakse detailselt seadet, millega protsess toimub, kuid kuulide endi osas öeldakse, et „need saadakse“, misjärel nende füüsilised parameetrid mõõdetakse ja neile jäänud jälgi hinnatakse eksperdi poolt. Selgitatakse ka, milliseid mõõtmisi ja järeldusi saab lugeda usaldusväärseteks, kuid ei kirjeldata, millega need mõõtmised tehakse ja kui täpsed need on – öeldakse vaid, et mõlemad otsused on tulirelva eksperdi teha. Töö tulemusel soovitatakse võimalusel selline infosüsteem kasutusele võtta ja kõikidest ekspertiisilaborisse saabunud relvadest katselasud teha. (Jauhari, *et al.*, 1987, pp. 184-185, 188)

Need kolm uurimust näitavad sarnast tendentsi – eksperdi hinnang on kõige aluseks ja selle kujunemist ei selgitata. Ilmselt sellel põhjusel on ka uurimuse üldine tingimuste ja vahendite kirjeldus vähene, kuid detailselt kirjeldatakse uuringu etappe, mida autorid oluliseks pidasid. Selline uuring sobib keskkonda, kus autorid ja lugejad on sama inforuumi osalised (näiteks töökaaslased – autori märkus), kuid isegi sellisel juhul tõstaks selgitav osa töö väärtust olulisel määral. Kuigi kõnealused uuringud on sobilikud pigem eksperimendi meetodi kasutamise

kajastamise negatiivseks näiteks, juhivad need tähelepanu ajaloolistele põhjustele, miks on tänaseni kasutusel töövõtted, mida teaduse mõttes sobilikeks pidada ei saa.

Kui eelnev kolmik esindas lähenemist, mis oma üldistes joontes pärines 20. sajandi esimesest poolest, siis järgneva sajandi uuringuid võib lugeda „uue aja“ teadustöödeks, sest nende üldine toon on muutunud tuntavalt teaduslikumaks ja struktureeritumaks.

Kuigi Eesti panus valdkonna teadusesse on väike, saab ühe haakuva uuringu välja tuua – kohtumeediku juhitud uurimisgrupp avaldas 2008. aastal artikli (Lepik, *et al.*, 2008), mille teemaks oli lähilaskude lasuvigastuste ja ladestuste iseloomu uurimine. Uuringus kasutatud relvade roll oli abistav, kuid laskekatseid tehti suures koguses ja nende kirjeldus ning järeldused on huvipakkuvad ka selle töö raames. Töö tulemusel selgus, et tahma ja püssirohu ladestused sihtmärgil on sõltuvuses lasu kaugusest ja nurgast ning püssirohu liigist ja osakeste omadustest. Relvade osas on kirjeldatud mudel ja kaliiber, laskemoona osas kasutatakse iseloomustust „kõige tavalisem Eestis kasutatav laskemoon“. Detailsemalt kirjeldatakse laskemoona tootjat, kaliibrit, kuuli tüüpi ja kuuli massi. Padrunite omaduste iseloomustamiseks tehti laskude seeriad kuuli keskmise algkiiruse mõõtmiseks, kirjeldatud on ka relva asend sihtmärgi suhtes lasu hetkel. (Lepik, *et al.*, 2008, pp. 1-2).

Tulirelva uuringute ühe kõrvaharuga on oma uurimuses tegelenud ka Collender, *et al.* aastal 2016 (Collender, *et al.*, 2016) – nende eesmärk oli tuvastada, kas põlenud sõidukist leitud relvadega saab edukalt teha laskekatseid ja võrdlusuuringuid. Töö tulemusel selgus, et peale puhastamist on relvadest võimalik endiselt lasta ja saadud kuule ka võrdlusuuringutes kasutada. Siiski on relva jäljed kuumakahjustuste tulemusel sedavõrd muutunud, et kuulide kõrvutamise põlengueelse materjaliga ei ole enam otstarbekas. Katsete osas on objektide kirjeldus detailne: relva osas tootja, mudel ja kaliiber ning padrunite osas kahe detailsuse tasemega – uuringus defineeritud põhigrupi osas on kirjeldatud tootja, kuuli tüüp ja mass ning kuuli mantli, kesta ja sütiku materjal; üldvalimit mitmekesisitava segagrupi puhul padruni osade või nende pinnakatte materjal. Peale tules olemist puhastati relvad vahenditega, mida samuti detailselt kirjeldati. Laskude tegemise osas protseduuri kirjeldus puudub. (Collender, *et al.*, 2016, pp. 42-46)

Neid kahte uurimust eristav ühine nimetaja on see, et tulirelva katsed on tehtud koostöös teise teadusharu esindajatega. Kuigi katsetingimusi on mõlemas uuringus kirjeldatud detailselt, on need uuringus osalenud teadusharude mõttes lahus, mis ühest küljest võimaldab detailselt

jälgida uuringu kulgu, kuid vähendab kirjelduse sidusust. Võimalik, et artikli erinevad osad on erinevate valdkondade esindajate kirjutatud, mis sellise ebakõla kaasa toob.

Oluliseks sündmuseks on kindlasti töö sissejuhatavas osas magistr töö ühe aktuaalsuse tõendina nimetatud USA-s 2009. aastal ilmunud raport (*The National Academies Press*, 2009), millega kritiseeriti kohtuekspertiisi võrdluspõhiste ekspertiisiliikide teaduslikku valiidsust. Raport on otseselt ajendanud tegema mitmeid vastu-uuringuid, mistõttu on valdkonna uuringutes peale selle ilmumist (teatava loogilise ajalise viitega – autori märkus) märgatav aktiivsuse tõus.

Nimetatud kriitilisele raportile viidatakse mitmes sellele järgnenud teadustöös. Fadul, *et al.* avaldasid 2013. aastal uurimuse, mille eesmärgiks oli empiiriliselt uurida järjestikusest valmistatud ning kuulile sihilikult identifitseerivat märgist jätva relvarauaga Glock püstolitest lastud kuulidele jäävate jälgede unikaalsust ja korratavust ning selliste võrdlusuuringute vea määra. Uuringu tulemused kinnitasid sellise unikaalse jälje olemasolu kuulil. Töö sihtgrupiks oli kohtuekspert ja tema teadmised ning oskused, mitte relvad või laskemoon. Uurimuses on öeldud, et katsete läbiviimiseks kasutati eksperimendi meetodit. Kasutati kümme relvarauda konfiguratsioonis üks püstol ja üheksa täiendavat relvarauda. (NCJRS, 2013, pp. i, 1) Laskemoona ja laskude kohta uuringu kirjelduses info puudub, mis näitab, et kaasnevaid mõjusid uurida ei soovitud ja eeldatavasti sihilikult rõhutati vaid usaldusvääruse ja vea määra osa. (NCJRS, 2013, pp. 39-40).

Klassikalisest teadusuuringust erinevas formaadis läbi viidud Baldwin, *et al.* massuuringus (218 uuringuvastust) testitakse ekspertide veamäärasid valepositiivsete ja valenegatiivsete otsuste tegemise kontekstis. Mõlemas kategoorias osutus veaprotsent uuringu tulemusel väga väikeseks – 2% piires. Katsetingimuste kirjeldamise osas paistab see uurimus silma suurema detailsusega. Relvade osas kirjeldati uuringus tootjat, mudelit ja kaliibrit; laskemoona osas tootjat, mudelit, kuuli tüüpi, kuuli massi, padrunit tootmisseeriat ja kaliibrit. Padrunite kohta öeldakse ka seda, kuidas ja millistes pakendites need olid, kus ja mitmekaupa padrunit salvestadesse laeti, kuidas padrunit koguti ning kuidas edastamiseks pakiti. Relvi puhastati enne katsete algust ning seejärel iga 400 lasu järel, kusjuures kirjeldati ka puhastamise tegevusi. (Baldwin, *et al.*, 2014, pp. 3, 9, 11)

Uuringud teeb eriliseks nende kahetine sihtotstarbelisus – esiteks oli tegemist vastusega kriitikale ja teiseks kontrolliti valdkonna otsustusprotsessi veamäärasid. Teise eesmärgi saavutamiseks keskenduti eelkõige objektiivsuse, neutraalsuse ja otsustusprotsessi salastatuse

tagamisele, mille tulemusel esinesid vajakajäämised üldiste tingimuste kirjelduses. Selline lähenemine on kindlasti eesmärgipärane, kuid vähendab neutraalsust, sest tahaplaanile jääb eksperimendi kui meetodi põhimõtete järgimine.

Aastal 2009 avaldasid Hamby, *et al.* artikli rahvusvahelisest massuuringust, mille teemaks oli järjestikuselt valmistatud püstolitest lastud kuulide võrdlus ekspertide poolt. Relva kirjeldatakse kaliibri, tootja ja mudeliga; laskemoona osas selle tootjat, kaliibrit ja kuuli tüüpi. Laskekatsed kirjeldati põhjalikult – isikukaitsevahendite kasutamise ja lastud kuulide pakkimiseni välja. Eksperimendi disaini loogikat kirjeldati olulistes punktides samuti. (Hamby, *et al.*, 2009, pp. 99, 104) Uurimus esindab „rahuaja“ uurimust, kuna selle tegemine ei olnud veel ajendatud ega mõjutatud samal aastal ilmunud kriitilisest raportist, ja näitab oma kõrge tasemega, et teadustöö kõrge kvaliteet ei ole alati ajendatud kriitikast.

Kõikide järgnevate uurimuste tegemise ajaks on viidatud kriitika kindlasti oma mõju avaldanud. Järgnevad tööd jagati kahte gruppi – tööd, mis tegelevad ballistika üldisemate probleemidega ja seetõttu ei peaks end kohtuekspertiisi valdkonna kriitikast mõjutada laskma ning tööd, mis tegelevad kohtuekspertiisiga ja võiks eelduslikult olla kirjutatud endisest oluliselt paremal tasemel.

Üldiste teemade uurimustest tuuakse siin välja kaks. Jedlicka, *et al.* on käsitlenud üldisemaid ballistika küsimusi uuringus, mis testis pihtamislaengu massi muutuse mõju täiesti uue mudeli tulirelva ballistilistele omadustele (Jedlicka, *et al.*, 2012, p. 31). Katsete tulemusel saadi olulist infot kuuli ja püssirohu massi kombineerimise põhimõtetest laskemoona disainides soovitud turvalisse rõhuvahemikku jäämiseks. Oma katsetes valisid nad põhilisteks uuritavateks siseballistika vaates olulisteks parameetriteks muu hulgas pihtamislaengu massi ja paiskelaengu massi, kuid tulenevalt nende töö kandvast eesmärgist töötada välja ohutu ja standarditele vastav laskemoon, monitoorisid nad nimetatud parameetrite mõju avaldumist kahe eesmärgi täitva näitaja kaudu – pihtamislaengu algkiirus ehk suudmekiirus ja suurim lubatav paiskegaaside rõhk (Jedlicka, *et al.*, 2012, p. 32). Relva ja laskemoona on kirjeldatud tootetestile ootuspäraselt detailselt.

Relvaraua kulumist on kuulipilduja relvaraua näitel ja välis- või pihtamisballistiliste omaduste baasil uurinud Li, *et al.* (2020, pp. 362-373), kes jõudsid mitmele huvipakkuvale järeldusele. Kulumise mõjude üldine mehhanism on etteaimatav – vintsoonte kuludes väheneb hõõrdumine ja koos sellega vintsoonte surve kuulile (Li, *et al.*, 2020, pp. 362, 366). Selle magistritöö mõttes

väga olulise järeldusena leiavad Li, *et al.*, et kui relvaraud ei ole kulunud, toetavad vintsooned relvarauda sisenevat kuuli ühtlaselt, mistõttu pihtamisaengu ja relvaraua pikiteljed langevad ühte. Seevastu kulunud relvaraua puhul lamab relvarauda liikunud kuul gravitatsioonijõu toimel alumistel vintsoontel ja ülemistega kontakt puudub. Tulemuseks on ebaühtlaselt kujunenud jäljesooned ja vähenenud pihtamisaengu sümmeetria. (Li, *et al.*, 2020, p. 368) Sama oluline selle magistritöö jaoks on uuringust tulenev teine järeldus. Andmetest on näha, et kulunud relvaraua pihtamisaengu suudmekiirus on vaid 5,7 % väiksem uue relvaraua samast väärtusest, kuid analoogselt pihtamisaengu pöörlemiskiirus suudmel langes selles uuringus kulunud relvaraua 57,5 % (Li, *et al.*, 2020, pp. 368-369). Andmeid mõtestades on selge, et kulunud relvaraua puhul libiseb pihtamisaeng üle vintsoonte – järelikult on sellele kujunenud jäljed osaliselt kattuvad ja muutunud, mis omakorda muudab praktikas võimatuks otsida jälgedest mingeid padrundi omadustest lähtuvaid muutusi. Mõlemad uurimused esindavad üldist ballistikat, kuid ilmestavad hästi saavutatud head sünergiat – kohtuekspertide jaoks üliolulised järeldused saadakse üldise ballistika tööde kõrvaljäreldustena.

Kohtuekspertiisi valdkonda puudutavaid uurimusi toob magistritöö autor siin välja neli. Ghani, *et al.* tegid 2013. aastal uuringu püstoli kelgu sulguri süvendatud osaga jäetud jälgedest kestal. Uuringus nimetatakse püstolite tootja, mudel, kaliiber ja seerianumbrid. Laskemoona osas kirjeldatakse tootjat, seeria numbrit, kaliibrit ja kuuli tüüpi ning mantli materjali. (Ghani, *et al.*, 2013, p. 273) Kuna uuringus kasutati vaid ühe tootja laskemoona, ei olnud autoritel põhjust laskemoona kohta mingeid täpsustavaid andmeid anda.

Üldisest uuringute suunast erinevaks saab pidada Smith, *et al.* uurimust kuulide ja kestade võrdlusest, milles eraldi eesmärk on viia teadusuuring läbi nagu reaalne kohtuekspertiisi juhtum koos kaasnevate töövõtete ja protseduuridega. Relvade osas kirjeldati tootjat, mudelit, kaliibrit ja vintsoonte arvu ning suunda; laskemoona kohta kirjeldati tootjat, mudelit, kuuli massi, sütiku materjali, kesta materjali ja kuuli tüüpi. Laskude tegemise osas kirjeldati vaid kuulipüüdja ehitust. (Smith, *et al.*, 2016, pp. 940-941)

Aastal 2018 avaldasid Werner, *et al.* artikli oma uuringust, milles võrdlesid kolme kuulide püüdmise lahendust. Uuringu ajendist rääkides rõhutavad nad, et võrdluskuulide saamine kontrollitud keskkonnas on väga oluline etapp võrdlusest. Katsetes kasutatud laskemoona osas kirjeldavad nad kaliibrit, tootjat, kuuli tüüpi ja massi ning osadel juhtudest ka materjali. Lasu protsessi ja kasutatud relvade kohta kirjeldus puudub, kuid detailne on lasule järgneva puhastamise kirjeldus. (Werner, *et al.*, 2018, pp. 251-253)

2019. aastal tegid Hamby, *et al.* vahekokkuvõtte pikaajalisest uuringust eksperdi vea määra hindamiseks, mille objektideks olid kuulid. Autorid viitavad varasematele uuringutele nii töö sisu kui ka relvade ning meetodika kirjelduse mõttes. Relvade kohta kordavad nad üle tootja ja mudeli. (Hamby, *et al.*, 2019, p. 551)

Nende nelja uuringu juures on tunda kriitika mõju ja soovi kompenseerida. Kirjeldused on detailsemad ja ka tööde teemad on seotud kas eksperdi otsuse tegemise või eksperdi töövahenditega. Silmapaistvalt põhjalik on tingimuste kirjeldus töös, kus järgiti eksperdi praktilise töö (mitte teadusuuringu) reegleid ja põhimõtteid. Selline reeglipära viitab võimalusele, et teadusuuringutes üritatakse olla konkreetsemad ja lakoonilisemad kui reaalses töös, mistõttu jääb oluline osa infost kajastamata.

Inimotsusega seotud uuringud koguti kokku tabelisse (tabel 1), milles uuringud tähistati värvikoodidega (punane – enamikku kategooriatest ei kirjeldatud; roheline – enamikku kategooriatest kirjeldati).

Tabel 1. Inimotsuse ja ballistika üldiste küsimuste uuringud (autori koostatud)

Uuring	Uuringus kirjeldati			
	Kestad	Kuulid	Relv	Laskekatse tingimused
Murdock, 1972	ei	jah	jah	jah
Sinha, <i>et al.</i> , 1977	ei	jah	jah	ei
Jauhari, <i>et al.</i> , 1987	ei	ei	ei	ei
Lepik, <i>et al.</i> , 2008	ei	ei	jah	jah
Hamby, <i>et al.</i> , 2009	ei	jah	jah	jah
Hamby, <i>et al.</i> , 2019	ei	jah	jah	ei
Jedlicka, <i>et al.</i> , 2012	ei	ei	jah	jah
Ghani, <i>et al.</i> , 2013	jah	ei	jah	ei
NCJRS, 2013	ei	ei	jah	ei
Baldwin, <i>et al.</i> , 2014	jah	jah	jah	jah
Collender, <i>et al.</i> , 2016	jah	jah	jah	jah
Smith, <i>et al.</i> , 2016	jah	jah	jah	jah
Werner, <i>et al.</i> , 2018	ei	jah	ei	jah
Li, <i>et al.</i> , 2020	ei	ei	ei	jah

Inimotsuse ja üldiste uuringute kokkuvõtva tabeli värviskeemis domineeriva rohelise värvi põhjal on näha, et otsitud aspektide kirjeldused olid nendes töodes olemas. Kas selle peamiseks põhjuseks saab lugeda nõ loogilise selgitusena „ajastu“ omapära või reaktsiooni kriitikale, ei saa selle magistritöö raames öelda – selleks oleks vaja teha vastav eesmärgipärane analüüs.

Vaadeldud töödest ei ole ühegi uurimiseesmärgiks uurida padrundi omaduste mõju jälgedele, kuid mitmed siiski jõuavad järeldusteni, mida saab selle teemaga siduda. Lepik, *et al.* lasujälgedele ja sihtmärgile tekkivatele ladestustele keskendunud töö tausta selgitavates osades

nenditakse, et uuritud nähtusi mõjutavad muu hulgas laskemoona tüüp, vintsoonte iseärasused, relvaraua suudme nurk sihtmärgi suhtes, püssirohu tüüp, selle osakeste geomeetria, keemiline koostis ja mass. (Lepik, *et al.*, 2008, pp. 1-2, 8-9) Huvipakkuv on väide püssirohu omaduste tõendatud mõju kohta tekkivate ladestuste geomeetria – selline põhjuslik seos näitab olulist kõikumist kuuli tõukavate gaaside voos, mis kindlasti mõjutab ka kuuli enda käitumist relvarauas ja eeldatavasti ka seejuures kuulile kujunevate jälgede iseärasusi. Kahjuks oli nimetatud uuringu põhieesmärkide saavutamise vastuolus võimaliku sooviga uurida samade katsete käigus lastud kuule – vigastuste ja ladestuste uurimiseks tuleb kuulid lasta sihtmärgi sisse, mis välistab nende püüdumise vigastamata kujul. Seetõttu ei olnud selle uuringu raames võimalik padrundi omaduste mõju hinnata rohkem kui kirjeldatud üldiste seoste tasemel.

Jedlicka, *et al.* esindavad oma uuringuga üldise ballistika huvigruppi, uurides relvatootja lähikohast uue relvasüsteemi ja laskemoona omaduste suhteid. On oluline mõista, et neil ei ole mingit huvi kuulile kujunenud jälgede vastu – nende eesmärgiks on leida padrundi omaduste mõju kuuli algkiirusele ja seeläbi välisballistilistele omadustele ning lasugaaside survele relvas ehk vastavusele kehtestatud ohututele piirmääradele. Oma uurimuse käigus juhivad nad tähelepanu faktile, et kogu uuritav relvasüsteem on väga tundlik pihtamislaengu massi muutmisele (Jedlicka, *et al.*, 2012, pp. 33-35), kuid seose sisu on kuuli massi ning püssirohu koguse ja tekkiva surve vahekorras. Kuna sellist laadi uuringute töövõteteks on eriseadmetega lasusurve mõõtmine relvas ning kuuli kiiruse ja trajektoori jälgimine kogu lennu vältel, ei saaks ka vastava soovi korral nende laskekatsete kuule hiljem vaadelda. Põhjuseks on esiteks surve mõõtmise seadmete põhjustatud jälgede muutused kuulil ning võimatus püüda kuuli peale selle lennu loomulikku lõppu mitmesaja meetri kaugusel relvast. Seetõttu saab uuringu järeltõttu kasutada vaid loogiliste seoste kinnitamiseks – kuuli ja püssirohu mass mõjutavad tõendatult lasu siseballistilisi ning kuuli välisballistilisi omadusi, mis omakorda suunab järeltõttu, et tõenäoliselt muutuvad ka jäljed kuulil.

Werner, *et al.* uurisid eksperdi töövahendite hulka kuuluvaid kuulipüüdjaid. Töö sissejuhatuses nendivad autorid, et võrdlusuuringuteks tuleks ideaalis kasutada uuritava materjaliga sarnast laskemoona – tootja, mudel, mass ja kest, kuid ei selgita ega põhjenda seda mõtet. (Werner, *et al.*, 2018, pp. 251-253) Kuna sellel väitel ei ole artiklis põhjendust ega viidet, võib seda lugeda näiteks valdkonna uuringute vanema perioodi eksperdikesksest – oluline oli väide ise, mitte selle seos tõendatud uuringutega. Uuringu järeltõttu esindavad valdkonnas levinud

tõekspidamist, kuid pidada sellist põgusat põhjenduseta väidet padruni omaduste tõendatud seoseks jälgedega või sellesuunaliseks teadusuuringuks ei saa.

Kirjeldatud kolm uuringut olid inimotsuse alapeatüki käsitletutest ainsad, milles kaudselt kirjeldati padruni omaduste mõju jälgedele. Nagu selgitatud, ei saa neist ühegi materjale kasutada põhjusliku seose uurimiseks.

Suhteliselt hiljutises artiklis tõstavad Zhang ja Luo tänapäevasemat masinatele keskenduvat käsitlust esile, kirjeldades kohtuekspertiisi ballistika vanemaid teadustöid kui ekspertide käsitööna tehtud aeganõudvaid ja subjektiivseid mikroskoobiuringuid (Zhang & Luo, 2018, p. 85). Nende väite alatoon lubab järeldada seisukohta, et selliseid uuringud võiksid jääda minevikku ja asendada masinate abil tehtavatega. Samas on subjektiivsus eksperthinnangu loomulik osa, mida tasakaalustatakse parimaid praktikaid järgivate meetodikate ja järelkontrolli kasutamisega (Bolton-King, 2016, pp. 132-133). Selline hoiak ignoreerib siiski fakti, et masinotsustele omistatav objektiivsus tugineb siiski nõ subjektiivsel uurimissuunal ja sellest tuletatud reeglitel – esimeseta ei oleks võimalik ka teise olemasolu. Järgmises alapeatükis käsitletakse subjektiivse suuna vastaspoolt, mida masinate kasutamise tõttu peetakse objektiivsemaks ja praegusel perioodil perspektiivikaks uurimissuunaks.

1.2.2. Masinotsuse valdkonna uuringud

Masinotsuse uurimissuuna kaugem eesmärk on „õpetada“ masinad kasutama inimesele omaseid otsustusprotsesse ning etteantud reegleid ja nende põhjal langetama üldist ja selekteerivat laadi eelotsuseid. Selleks vormistatakse eksperdi poolt otsustamisel kasutatavad põhimõtted reegliteks, mida kasutavad masinate võrdlusalgoritmid. Sel viisil loodetakse kasutusele võtta suurte võrdlusmaterjali massiivide kiiremaks läbi töötamiseks vajalik masinressurss, tagades seejuures võimalikult inimesesarnase otsustusprotsessi ja vajaliku resistentsuse tüüpvide suhtes. Masinotsuse uuringutes kasutatud meetoditest on tehtud ülevaatlik uurimus (Vorburger, *et al.*, 2015), milles on välja toodud meetodite endi omapärad ja milles masinotsuse suunda nimetatakse perspektiivikaks. Eeldatavasti kajastab see laiemat suhtumist ning suunab eeskujuna praktikute teadustöid, sest masinotsuse uurimuste arvuline ülekaal valdkonnas on selgelt nähtav.

Selle haru üks esimesi teadustöid on kirjutatud De Kinderi ja Bonfanti poolt aastal 1999 (De Kinder & Bonfanti, 1999). Töös pakutakse välja kuulide võrdlussüsteemi idee. Kirjeldatud on kasutatud relva marki, mudelit, kaliibrit ja seerianumbrit ning padrunitootjat, kuuli ja selle

mantli tüüpi ning kuuli massi (De Kinder & Bonfanti, 1999, p. 86). Lisaks kirjeldatakse detailselt, millised on vintsoonte jälgede iseärasused kummagi relva puhul ja milliseid segavaid kõrvalisi jälgi (libisemine enne pöörlemist) kuulidel näha on. Keskkonnatingimustest on välja toodud kuulipüüdja tüüp (De Kinder & Bonfanti, 1999, p. 86). Samal aastal on kuulide masinvõrdluse valdkonna arendamise teemat uurinud Leon ja Beyerer (Leon & Beyerer, 1999). Uuringu eesmärgile pühendatud osa on põhjalik ja hästi argumenteeritud, kuid selles magistrیتöös on uuring ära toodud pigem näitamaks äärmuslikult lakoonilist katsete keskkonna ja materjalide kirjeldust (Leon & Beyerer, 1999, p. 274). Sama uurimuse kohta on Leon hiljem kirjutanud teise artikli (Leon, 2006), millesse on nii relvade kui laskemoona osas lisatud täpsustusi (Leon, 2006, p. 48), kuid detaile ei ole autor endiselt pidanud vajalikuks kajastada.

Nende kahe uuringu valguses osutub konfliktseks eeldus, et uue haruna on masinotsuse uuringud vabad vanema põlvkonna suhtumisest ja põhimõtetest. De Kinderi ja Bonfanti uuring annab relva, laskemoona ja katsekuulide kirjeldusega magistrیتöö autori arvates lugejale väga olulist taustainfot mõistmaks uuringut ennast paremini ja võimaldamaks soovi korral teemat täiendavate katsete abil edasi uurida, mistõttu saab seda lugeda heaks näiteks. Teine uuring ja selle jätk on vastupidise suuna näideteks.

Sarnast konflikti osaliselt detailse ja osaliselt vähese kirjelduse vahel kannavad endas Banno, *et al.* oma kuulidele keskenduvast 2004. aasta uuringus. Relvi kirjeldavad nad kaliibri ja mudeli täpsusega, lisades vintsoonte arvu ja laiuse; kuulide kohta mainivad vaid läbimõõtu ja neile kujunenud vintsoonte jälgede laiust. (Banno, *et al.*, 2004, p. 233) Ka Li 2006. aasta uuring (Li, 2006) kuulidele kujunenud jälgede masinlugemisest on samalaadse konfliktse näiteks. Huvipakkuvana nimetab autor katselaskmiste protseduuri tehniku „eksperitiisiks ja kogemuseks“ (Li, 2006, p. 2857), jättes selle seega täiesti sõltuvaks läbiviija eelistustest.

Kuigi kogu masinotsuse haru on uuem ja kantud uuendusliku mõtteviisiga praktikutest, saab ka selles alajaotuses sajandi vahetumise perioodi lugeda tuntava muutuse daatumiks. Eelduslikult võiks selle muutuse aluseks olla teadusmaailmas või isegi üldises mõtteviisis aset leidnud laiem muutus. Ka selles uuringute kategoorias on oluliseks daatumiks kindlasti USA-s 2009. aastal ilmunud kriitiline raport (*The National Academies Press*, 2009).

De Kinderi juhitud uurimisgrupp jätkab 2004. aastal uuringuga ballistilise padrunikestade referentsandmebaasi loomisest ja selle jõudluse testimisest. Laskemoona osas on uuringus kirjeldatud tootja, kuuli mass ja tüüp. Laskmise protseduurist räägitakse detailsemalt. (De

Kinder, *et al.*, 2004, p. 208-209) Eelnevat uuringut jätkasid 2015. aastal De Ceuster ja Dujardin, kes kasutasid samu kesti, aga teise tootja automatiseeritud süsteemiga. Nende uuringus viitavad nad kogu katsematerjali saamise kontekstis De Kinderi, *et al.* uuringule. (De Ceuster & Dujardin, 2015, pp. 82-84) Need uuringud on hea näide kvaliteetse algmaterjali baasil jätkatud uurimusest. Sellise käitumise põhjused võivad baseeruda uurimisgrupi juhil, kuid võivad sama hästi tuleneda ka koolkonna jagatud üldistest põhimõtetest. Samuti on mõlemas töös esindatud laiem käsitlus, mis annab mõtteid jätkutegevusteks ja võimaldavad uurimusega siduda oluliselt suuremat hulka valdkonna teisi töid.

USA standardiseerimisorganisatsiooni NIST töötaja John Song on üks tulirelva valdkonna praeguse perioodi aktiivsete uurijate esindajatest. Tema uurimisgruppide peamiseks uurimissuunaks on masinvõrdlus ja selle vea määra välja arvutamise võimalused (Song, *et al.*, 2018 p. 15). Aastal 2012 tegid nad uurimuse tulirelvaekspertide poolt tehtud võrdlusmaterjali sisestamistest ja võrdlustest (Song, *et al.*, 2012, p. 168). Kuulid ja padrunikestad saadi Ameerika Ühendriikide Föderaalne Juurdlusbüroo ja Alkoholi, Tubaka, Tulirelvade ja Lõhkeainete Ameti Riiklikus Laborikeskuses toimunud katselaskmise käigus, kusjuures katselaskmine leidis väidetavalt aset vastavalt standardiseeritud laskmise ja materjali kogumise protseduuridele (Song, *et al.*, 2012, pp. 169-170). Kuulide ja kestade saamise protseduuri osas on viidatud 2004 aasta artiklile, kus detailse kirjelduse asemel öeldakse lakooniliselt, et kasutati erinevaid relvi ja laskmine tehti standardiseeritud tingimustes (Song *et al.*, 2004, pp. 535, 540). Viidatud protseduure magistr töö autoril avalikest allikatest leida ei õnnestunud.

Oma 2018. aastal ilmunud artiklis kirjutab Song'i uurimisgrupp, et uuringutes tehtavate testide eesmärk ei ole pakkuda sisendit reaalsele kohtuekspertiisi tööle, vaid ainult illustreerida vea määra arvutamise protseduuri. Ilmselt seetõttu on ka testimise protseduuri kirjeldatud lühidalt (Song, *et al.*, 2018, p. 19). Hoolimata autorite seisukohast ei saa nende uuringute reaalselt eeskuju ja mõju valdkonnale laiemalt siiski alahinnata – tegemist on jätkuvalt aktiivse teadlase ja olemuselt pikaajalise uurimustööga.

NIST uurimisgrupi artikleid on välja antud ka mitme teise uurimisjuhi nime alt – 2019. aastal tutvustavad nad kuuli signatuuri korrelatsioonimeetodi sarja esimest uuringut (Chen, *et al.*, 2019), mille käigus kasutavad eelnevate uuringutega saadud katsekuule, mille kohta mainivad relva kaliibrit ja mudelit (Chen, *et al.*, 2019). 2020. aastal uurisid nad samuti Chen'i juhtimisel oma võrdlusmeetodi kasutatavust deformeerunud kuulidel (Chen, *et al.*, 2020). Kuna sel korral vajasisid nad deformeerunud kuule, ei saanud nad kasutada 2019. aastal viidatud

võrdlusmaterjale, vaid said Alkoholi, Tubaka, Tulirelvade ja Lõhkeainete Ameti Riiklikust Laborikeskusest viiskümmend seitse kuuli (Chen, *et al.*, 2020). Nende osas kirjeldasid nad relva liiki ja kaliibrit, laskemoona tootjate üldarvu, osade kuulide mantli tüüpi ja materjali ning lähemalt ka laskmise protseduuri ning kuulide püüdmise seadet (Chen, *et al.*, 2020). Need tööd näitavad, kuidas keskkonna ja objektide kirjeldus ning parameetrite kontrolli aste muutub vastavalt uuringu eesmärkidele ja vajadustele.

Ka Chu juhtimisel on NIST instituudi uurimisgrupp teinud mitmeid uurimusi. Aastal 2010 tehti neid kaks, millest ühes uuriti kuulil olevates jälgedes kujunenud joonte tiheduse mõju nende võrdluskõlblikkusele. Uuringu artiklis kirjeldasid nad relvaraua tootjat ja kuulide kohta vaid infot, et neil olevad jäljed skaneeriti digikujule allhankija poolt (Chu, *et al.*, 2010b, pp. 1225-1226).

Oma teises 2010. aasta uuringus keskendusid nad masinvõrdluse otsuste kvaliteedi tõstmisele, kuid kirjeldasid laskekatsete tingimusi suhteliselt detailselt. Uuringu sissejuhatavas osas põhjendasid nad ka uuringu eelduseks olevaid ja selle käigus tehtud valikuid. Muu hulgas väidavad nad, et vindi väljade jälgede laius kuulil on parameeter, mida saab pidada püsivaks ja mis ei muutu sõltuvalt pihtamislaengu materjalist ja selle rauaõõnde sobivuse täpsusest. Relva valikul soovivad nad eelistada tüüpilist kaliibrit ja mudelit kuritegude toimepanekul kasutatud leidmise mõttes, kuid samas ilma silmapaistvalt eriliste keerukust tõstvate omadusteta (Chu, *et al.*, 2010a, p. 342). Kirjelduses edasi antud oluliste otsuste tekkimise mehhanism on kindlasti hea praktika uuringute parema korratavuse ja jätkamise tagamiseks.

Aasta hiljem uuris Chu juhitud grupp, kuidas teadlikumalt valida korrelatsioonialasid kuulidel, tagamaks automatiseeritud võrdlussüsteemide efektiivsemat tööd. Katsete algmaterjali kirjeldatakse lakooniliselt, laskude tegemise keskkonnast ja viisist ei räägita, kuid nimetatakse kolmas osapool, kellelt materjal saadi. (Chu, *et al.*, 2011, pp. 650, 652) Chu juhitud uurimisgrupp jätkab samal uurimissuunal 2013. aasta artiklis, milles tutvustavad masinvõrdluse suunal laialt aktsepteeritud kvantitatiivset järjestikuste kokkulangevate kriimustuste meetodit (*consecutive matching striae* ehk CMS – autori märkus), mille olulisteks puudusteks loetakse tänapäeval vaateleja subjektiivsust ja statistilise tausta puudumist. Selle tööga soovivad nad välja pakkuda nimetatud meetodi automatiseeritud ja objektiivse versiooni. CMS meetod on pärit 1950-ndatest ja põhineb järjestikku kokku langevate kriimustuste loendamisel ühes grupis. (Chu, *et al.*, 2013, pp. 138-139) Chu grupi uurimusi võib lugeda üheks olulisemaks sarjaks masinotsuse arengus. Olulise tähtsusega on, et endiselt viidati CMS meetodi loonud suhteliselt

vanale uurimusele. Selline sidumine näitab, et ka praegu kehtivad võrdlusekspertiisi tegemisel samad põhimõtted. Samas saab Chu juhtimisel tehtud uuringute vormilise külje sünteesina üldistada, et uurimisgrupi juhust sõltub valdkonna uuringutes palju, kuid oluline osa on ka esindataval organisatsioonil ja selle põhimõtetel.

CMS meetodi kasutamist tänapäeval ja automatiseeritud süsteemi kui abivahendi staatust kinnitavad ka Gerules, *et al.* uuringus aastast 2013 (Gerules, *et al.*, 2013, p. 237), mis annab ülevaate nimetatud süsteemide jaoks kasutatavate kujutiste töötluse vahendite ja kuulide ning kestade unikaalsuse tõendamise statistiliste meetodite osas. Rääkides kuulidele jäävate jälgede varieeruvusest, toovad nad põhjustena välja relvaraua toomisprotsessi, tootmise tolerantsid ja ebatäpsused ning kasutamisest tingitud kulumise. (Gerules, *et al.*, 2013, p. 238)

2005. aastal analüüsis Bernard automatiseeritud võrdlussüsteemi võimekust. Uuringu fookuses oli sütiku materjali mõju sellele jäävatele jälgedele. Uuringus mainib ta kuuli omadustena suurust, kuju, massi, mantli koostist ja kõvadust ning istuvust rauaõõnes ja paiskelaengu omadustena selle iga, tootjat, tüüpi ja kogust (Bernard, 2005, p. 70). Bernard'i uuringus on katsete tegemise meetodika lühidalt, aga sisukalt kirjeldatud (Bernard, 2005, pp. 71-72). Nennstiel ja Rahm uurisid 2006. aastal samuti kestade ja kuulide „individuaalsust“ ja selle mõju otsingu tulemustele. Kuna nad kasutasid andmekogust filtreeritud laskemoona komponente, ei ole laskekatseid kirjeldatud. Objektide osas kirjeldasid nad kaliibrit, relva, millest see lasti või laskjat – vastavalt oma vajadusele. (Nennstiel & Rahm, 2006, pp. 18-19, 21, 23) Rahm jätkas 2012. aastal analoogse uuringuga (Rahm, 2012), keskendudes võrdlussüsteemi sisemistele parameetritele. Analoogselt eelmise uuringuga (Nennstiel & Rahm, 2006) ei ole ta uurimisobjekte kirjeldanud.

Võimalust luua teaduslik baas kohtuekspertiisi tulirelva valdkonna põhitõdede toetuseks uuris De Smet'i juhitud uurimisgrupp. Katsete käigus kasutatud seadmeid kirjeldavad nad detailselt, samuti käsitlevad keskkonnatingimuste kontrolli all hoidmist (De Smet, *et al.*, 2008, pp. 163-165). Detailselt selgitavad autorid relva valikut ja laskemoona omadusi, mille osas kirjeldavad tootjat, kaliibrit, tootmisseeriat ja mikromeetri täpsusega mõõdetud sütiku paigaldussügavust (De Smet, *et al.*, 2008, pp. 166-167). Laskekatsete tingimused on artiklis kirjeldatud lühidalt. De Smet, *et al.* uuringu katsete sisulist temaatikat jätkavad Addinall, *et al.* 2019. aasta uuringus sooviga leida seoseid padrundi sütiku materjali kõvaduse ja jälgede omaduste vahel. Nende väitel on see uuring esimene omas valdkonnas. Nad kirjeldavad üldsõnaliselt kasutatud relva mudelit, kaliibrit ja padrundi tootjat ning sütiku sulamit. (Addinall, *et al.*, 2019, p. 149)

Neid kuut uuringut saab lugeda kõige lähedasemateks padruni omaduste mõju uurimisele, kuid seos on siiski pigem passiivselt järelduslik. Kohati on autorid otsustanud väga kõrge detailsuse taseme kasuks, mis võib kaasa tuua selles magistritöös eelpool kirjeldatud vaadeldava parameetri mõju maskeerumise teiste, tugevama mõjuga parameetrite varju.

Arvestatav osa masinotsuse uuringutest tegeleb valdkonna mõttes juba traditsioonilise küsimusega jälgede kestvusest relva eksploatatsiooni vältel või kannavad eesmärki tõendada, et igal relval on unikaalsed jäljed. Töid võib käsitleda kui vastuseid selles magistritöös korduvalt viidatud 2009. aasta kriitlisele raportile, kuigi tööde autorid seda otsesõnu ei ütle. Saribey, *et al.* 2009. aastal tehtud kestadele keskendunud uuringus on relvi kirjeldatud ammendavalt – tootja, mudel ja kaliiber, kuid laskemoona väga üldsõnaliselt (Saribey, *et al.*, 2009, p. 1069). Aastal 2012 on Saribey & Hannam teinud ühise uuringu, kus vaatlevad järjestikuste seerianumbritega püstolite eritunnuseid kestadel. Uuringu relvade osas kirjeldavad nad valmistajariiki, tootjat, mudelit, kaliibrit ja tulerežiimi; laskemoona osas tootjat ja kaliibrit. (Saribey & Hannam, 2012, pp. 146-147, 150) Ka Welleri juhtitud grupp uuris 2012. aastal jälgede unikaalsuse temaatikat. Relvade kohta kirjeldati artiklis tootjat, mudelit ja kaliibrit ning lisaks detailselt relva valmistamise tehnoloogiat ja üksikuid tootmisetappe. Katselaskude osas kirjeldati nende protseduuri – sealhulgas ettevalmistava laskudeseeria tegemist. (Weller, *et al.*, 2012, pp. 912-914) Christen & Jordi 2019. aasta uuringu eripäraks on polügonaalsoontega relvad. Lühidalt, kuid konkreetselt ja ammendavalt on kirjeldatud kasutatud relvi ja laskemoona. (Christen & Jordi, 2019, p. 64).

Mõlema teema puhul on teatavas mõttes tegemist mugavusuuringutega, milles uuritavad nähtused on paljukordselt kinnitatud. Eeldatavasti on selle põhjenduseks soov luua massandmeid vastuseks valdkonda tabanud kriitikale. Võimalik, et just sel põhjusel jääb Saribey *et al.* ning Saribey ja Hannam ühisuuringu artiklite toonist mulje, et need on tehtud vormilistel põhjustel ja vastused on ette teada. Weller, *et al.* ning Christeni ja Jordi töödes on taas esile kerkinud inimotsuse peatükis käsitletud ebaühtlase kirjelduse detailsuse konflikt. Eksperimendi üksikute parameetrite või tegurite liigne rõhutamine viib tulemused proportsioonist välja.

Olulise osa masinotsuse uuringutest moodustavad masinate kasutamist põhjendavad uuringud. Nagu alapeatüki alguses mainitud, on levimas üldine hoiak, et sellised uurimissuunad on perspektiivikad (käesolev töö, lk 23). Need uuringud soovivad nõ hüpata ajast ja klassikalisest teaduslikust põhjendusahelast ette, keskendudes positiivsetele aspektidele ja masinate selgelt

kõrgemale võimekusele. Selline suhtumine avaldub tööde eesmärkide sõnastuses kasutatud vormides – kiirendada, objektiivsemalt mõõta, vähendada subjektiivsust jne.

Ghani, *et al.* uurisid 2010. aastal võimalusi kestadele jäävate jälgede võrdluse kiirendamiseks masinate abil. Relvade osas kirjeldavad nad tootjat, mudelit, kaliibrit, relva vanust ja puhastamise sagedust; laskemoona kohta annavad valmistamise aasta; laskmise protseduuri kirjeldavad, kuid lühidalt. (Ghani, *et al.*, 2010, p. 144) Riva ja Champod avaldasid 2014. aastal kokkuvõtte kestadele jäävate jälgede automaatse võrdluse ja tulemuste hindamise lahendusest. Uuringus kasutatud relvade osas on kirjeldatud tootjat ja kaliibrit; laskemoona kohta tootjat, tüüpi, sütiku materjali ja kaliibrit. (Riva & Champod, 2014, pp. 637, 646) Hare, *et al.* 2017. aasta uuringu teemaks on samuti kuulide automatiseeritud võrdluslahenduse väljapakumine, kuid nende kui statistikute sõnastuses on lahendatav probleem selles, et ei ole üheselt defineeritud, mis üldse on kokkulangevuse kriteerium. Oma töös kasutavad nad Hamby, *et al.* 2009. aasta uuringu käigus kogutud katsekuulide kujutisi, kuna see on nende sõnul ainus omalaadne saadaolev kuulide kogum. (Hare, *et al.*, 2017, pp. 2332-2333)

Kõik sellised uurimused on üldist laadi ja tegelevad varasemate uuringute tulemuste vahel seoste loomise ja sünteesiga. On eelduslikult õige, et sellised uuringud ei peaks sisaldama aluskatsete kirjeldusi, kuid ometi on see info artiklites kajastatud. Põhjuseks võib olla viidatud uuringute kirjelduse puudulikkus, mida oma töö kvaliteedi tõstmiseks tagantjärele parandada soovitakse. Riva ja Champod uuringu vormistus on kvaliteetne ja tervikuna eeskuju andev. Hare, *et al.* eripäraks ja samuti kvaliteetse töö peamiseks põhjuseks on tema kuulumine muu eriala praktikute hulka – nagu oli näha inimotsuse uuringute analüüsist, väljendub selline kombinatsioon kvaliteetsemas kajastuses. Sellistes sünteesivates uuringutes väljendub hästi valdkonna kaasaja üks dilemmasid – loomulik areng tahab edasi liikuda uute ja perspektiivikate teemadega, kuid järele tuleb aidata ka kriitikat saanud teaduspõhised alustõed.

Valdkonda ja selle teaduspraktikat rikastavad ja värskendavad uuringud, mis astuvad kõrvale traditsioonilistest teemadest ja võtetest. Bolton-King, *et al.* uurivad oma 2012. aasta töös (Bolton-King, *et al.*, 2012) relvaraua õone seina kui jälgi jätvat pinda. Seda on ka enne üksikutel juhtudel tehtud (Bonfanti & De Kinder, 1999, p. 4). Eraldi on Bolton-Kingi grupi töös kajastatud eesmärk tagada sellise uuringu korratavus – kasutatud relvaraudade kohta on antud väga detailset informatsiooni kuni tootmisseriani välja – ning võimaliku vea olemasolu ja olemus. (Bolton-King, *et al.*, 2012, pp. 198-199, 207)

Samuti erandlikku vaatenurka kasutanud Liong, *et al.* avaldasid 2012. aastal artikli tööst, mille eesmärk oli uurida mõõtmisel põhinevate võrdlusmeetodite kasutamist padrunikestadel olevate jälgedega. Relvade osas kirjeldatakse tootjat, kaliibrit ja mudelit; laskemoona osas nimetatakse kogused. (Liong, *et al.*, 2012, pp. 145-146) Vanderplasi uurimisgrupi 2020. aasta uurimus soovib näidata, kuidas võrdlusalgoritmid töötavad materjalil, mida nende „treenimiseks“ ei ole enne kasutatud. Autorid kirjeldavad artikli arutelude käigus detailselt oma töös kasutatud kolme kontrollobjektide seeria saamise protseduure – nimetavad relva mudeli ja relvaraudade valmistamise parameetrid (järjestikku vs mitte) ning kirjeldavad laskemoona tootjat, kuuli tüüpi ja ühe seeria puhul ka massi (Vanderplas, *et al.*, 2020).

Sellised uuringud on oma üldiste eesmärkide mõttes „kastist väljas“, mistõttu ka nende suhtumine disaini ja kajastusse on erinev. Bolton-Kingi, *et al.* kvaliteetselt disainitud ja dokumenteeritud uuringus väljendub selline erinevus positiivselt – selle olemasolust saab välja lugeda aktuaalset vajadust saada andmeid relvaraua jälgedes esinevate eripärade kohta ja leida neile põhjendusi. Liongi, *et al.* uuringu sisu on sedavõrd mõõtmismeetodite spetsiifiline, et seost relvadega saab lugeda kaudseks – nende asemel võinuks olla ükskõik milline juhuslikke jälgi jättev tööriist – tulemus on neutraalne ja valdkondadeülevalt kasutatav. Vanderplas *et al.* uuringutes sõnastatud põhimõtted on laiemas kasutamise kontekstis küsitavad, kuna probleemiks on terminite ja arusaamade ühtsus. Terminoloogia ühtlustamine on probleemiks sisuliselt valdkonnaülevalt – koolkondade erinevus ja tõlge on tekitanud mitmeid variante terminitest, mida kõik tunnevad, kuid veidi erinevas kontekstis.

Traditsioonilisi teemasid on ka varasemalt käsitletud harvaesinevatest vaatenurkadest. Hamby, *et al.* tegid 2016. aastal uuringu, milles uurisid jälgede võrdlust traditsioonilisel inimvõrdluse meetodil *versus* võrdlussüsteemi abil. Eesmärgiks oli kinnitada, et erinevad relvad jätavad erinevaid jälgi. Uuringu teeb omapäraseks selle kestvus – 21 aastat. Relvade osas kirjeldatakse artiklis tootjat ja kaliibrit. (Hamby, *et al.*, 2016, pp. 170, 172) Law, *et al.* 2018. aasta uuringus võeti eesmärgiks teha kindlaks, mitut katselasku on vaja, et esindatud saaks jälgede kogu varieeruvus. Uuringu teoreetilised alused ja arvutused on väga põhjalikult selgitatud ja põhjendatud, kuid objektid ja katsetingimused mitte. (Law, *et al.*, 2018, pp. 126-127) Zhang ja Luo võrdlussüsteemi võimekusega tegelevas 2018. aasta uuringus on relvad ja laskemoon kirjeldatud samuti lakooniliselt (Zhang & Luo, 2018, pp. 85-86). Zhang on sarnasel viisil kirjeldanud relvi ja laskemoona ka 2017. aastal tema juhitud uurimisgrupi poolt tehtud uuringus (Zhang, *et al.*, 2017, p. 79).

Aastal 2018 tehtud uuringus on autorid riski või piiranguna toonud välja katsed läbi viinud isiku mõju tulemustele (Zhang & Luo, 2018, p. 92), mille all võidakse silmas pidada muu hulgas ka näiteks laskja isikuomadustest (vähese tähelepanu pööramine laskeseeria rütmile vms) või ebaõigest ettevalmistusest (ette valmistamata padrunitalved jne) tulenevaid mõjusid. Väide on väga oluline, kuid selle napisõnaline edasiandmise viis sunnib lugejat tõlgendama. Selliste uuringute edukus sõltub nende disainist – kui huvipakkuv ja rakendatavana uurimiseesmärk sõnastatud on. Hamby, *et al.* uuringu väärtuseks on selles kirjeldatud võrdlusmetoodika – otsest vajadust selliseks põhjalikuks selgituseks pole, kuid see annab lugejale täieliku ülevaate meetodist ja võimaldab seda nii kritiseerida, korrata kui parendada. Samas Law, *et al.* jätsid olulise ootusliku info laskemoona osas täpsustamata, mis magistritöö autori arvates sunnib lugejat tegema oletusi. Need aga võivad ühtviisi hästi pidada paika või olla ekslikud.

Masinotsusega seotud uuringud koguti kokku tabelisse (tabel 2), milles tuuakse välja läbi töötatud uuringute huvipakkuvad aspektid ning milles uuringud tähistati värvikoodidega (punane – ülekaalukat enamikku kategooriatest detailselt ei kirjeldatud; roheline – ülekaalukat enamikku kategooriatest kirjeldati detailselt).

Masinotsuse teemade uuringute kokkuvõtva tabeli värviskeemis domineeriva punase värvi põhjal on näha, et otsitud aspektide kirjeldused nendes töödes valdavalt puudusid. Just masinotsuse uuringute juures on eriti märgiline selgete ja usaldusväärsete alustõdede ja töömeetodite puudumine või puudulikkus, kuna uuringutega treenitakse masinotsuse algoritme ja hinnatakse nende võimekust.

Ka selles alapeatükis vaadeldud töödest ei ole ühegi uurimiseesmärgiks uurida padruni omaduste mõju jälgedele, kuid mitmetes on siiski inimotsuse uuringutest märgatavalt resoluutsemas vormis nimetatud väidetavalt kehtivaid seoseid. Referentsandmebaasi loomist uurinud De Kinder, *et al.* tegid järelduste seas üldistuse, et laskemoona tootjal on võrdluste tulemusele ootuspäratult väga suur mõju. (De Kinder, *et al.*, 2004, pp. 207-208) Sama teemaga jätkavad De Ceuster ja Dujardin, kes leiavad järelduste tegemisel, et selle teema eelnevates uuringutes välja toodud esmaseks jälgede erinevuse allikaks on laskemoona erinev tootja ja selle järel järgmiseks peamiseks põhjuseks kesta materjal ja tootmistolerantsid. (De Ceuster & Dujardin, 2015, p. 84) Bernardi automatiseeritud võrdlussüsteemi võimekuse uuringu järeldustes ütleb autor, et laskemoona kaliiber ja tootja mõjutasid võrdlusuuringu tulemust võrdlussüsteemis väga olulisel määral kõrge usaldusnivooga (Bernard, 2005, pp. 72-75), ehk teisisõnu opereerib ta padruni omaduste mõttes mõistega „tootja“ (Bernard, 2005, p. 80).

Tabel 2. Masinotsuse teemade uuringud (autori koostatud)

Uuring	Uuringus kirjeldati			
	Kestad	Kuulid	Relv	Laskekatse tingimused
De Kinder & Bonfanti, 1999	ei	jah	jah	jah
De Kinder, <i>et al.</i> , 2004	ei	jah	jah	jah
De Ceuster & Dujardin, 2015	ei	ei	ei	ei
Leon & Beyerer, 1999	ei	ei	ei	ei
Leon, 2006	ei	ei	jah	ei
Banno, <i>et al.</i> , 2004	ei	jah	jah	ei
Song, <i>et al.</i> , 2018	ei	ei	jah	ei
Song, <i>et al.</i> , 2012	ei	ei	ei	ei
Song, <i>et al.</i> , 2004	ei	ei	ei	ei
Chen, <i>et al.</i> , 2019	ei	ei	jah	ei
Chen, <i>et al.</i> , 2020	ei	jah	jah	jah
Chu, <i>et al.</i> , 2010b	ei	ei	jah	ei
Chu, <i>et al.</i> , 2010a	ei	ei	ei	ei
Chu, <i>et al.</i> , 2011	ei	ei	ei	ei
Chu, <i>et al.</i> , 2013	ei	ei	jah	ei
Gerules, <i>et al.</i> , 2013	ei	ei	ei	ei
Bernard, 2005	ei	jah	jah	jah
Li, 2006	ei	ei	jah	ei
Nennstiel & Rahm, 2006	ei	ei	jah	ei
Rahm, 2012	ei	ei	ei	ei
De Smet, <i>et al.</i> , 2008	jah	ei	jah	jah
Addinall, <i>et al.</i> , 2019	jah	ei	jah	ei
Christen & Jordi, 2019	jah	jah	jah	ei
Saribey, <i>et al.</i> , 2009	ei	ei	jah	ei
Saribey & Hannam, 2012	ei	ei	jah	ei
Ghani, <i>et al.</i> , 2010	ei	ei	jah	jah
Bolton-King, <i>et al.</i> , 2012	ei	ei	jah	ei
Liong, <i>et al.</i> , 2012	ei	ei	jah	ei
Weller, <i>et al.</i> , 2012	ei	ei	jah	jah
Riva & Champod, 2014	jah	ei	jah	ei
Hamby, <i>et al.</i> , 2016	ei	ei	jah	ei
Hare, <i>et al.</i> , 2017	ei	ei	ei	ei
Law, <i>et al.</i> , 2018	ei	ei	jah	ei
Vanderplas, <i>et al.</i> , 2020	ei	jah	jah	ei
Zhang, <i>et al.</i> 2017	ei	ei	jah	jah
Zhang & Luo, 2018	jah	jah	jah	ei

Samasugust lähenemist on kasutatud ka hiljem (Riva, *et al.*, 2020). Samuti leiab Bernardi arvates kinnitust eelnevates uuringutes (Hatcher, *et al.*, 1957, p. 399; De Kinder, 2002, p. 201; Warlow, 2012, p. 339) välja toodud fakt, et padruni omadused varieeruvad vahel isegi sama padrunikarbi lõikes. Lisaks nendib Bernard, et laskemoona margi mõju jälgedele padruni osadel on vähe uuritud (Bernard, 2005, p. 70). Nennstiel ja Rahm uurisid 2006. aastal samuti kestade ja kuulide „individuaalsust“ ja selle mõju otsingu tulemustele. Eeldustena väitsid nad, et teadaolevalt mõjutavad jälgede selgust kuulil sageli kesta mõõtmed, kesta materjali kõvadus ja maksimaalne surve lasu ajal. Uurijate käsutuses olnud andmekogust said nad moodustada

endale vajalike juhukogumeid, mille ühiseks nimetajaks oli neile vajalik parameeter. Sel viisil erinevaid gruppe moodustades ja nendega otsinguid tehes jõudsid nad järeldusele, et sama tootja laskemoon annab alati oluliselt parema otsingutulemuse, mistõttu tuleb katselaskudeks eelistada sama tootja võrdlusmaterjali. (Nennstiel & Rahm, 2006, pp. 18-19, 21, 23)

Laskemoona mõju jälgedele uurib ka De Smet'i juhitud uurimisgrupp. Autoreid huvitas, millised padruni parameetrid või lasu tingimused mõjutavad jälgede teket. Sellised teadmised võimaldaks autorite arvates muu hulgas valida nii optimaalsed laskekatse tingimused kui laskemoona ja tuua selgust küsimustesse, „kas näiteks teatud viisil laskekatseid tehes ei jäädvustu mingid kindlad jäljemustrid üldse“ või „kas on võimalik sama padrunitootja piires mingeid laskekatse tingimusi muutes saada kuulile erinevad jäljed“. (De Smet, *et al.*, 2008, p. 163) De Smeti, *et al.* uuringu katsete sisulist temaatikat jätkanud Addinall, *et al.* peavad teemat väga oluliseks. Nende mõtted edasise uurimise teemade kohta on materjali kõvaduse erinevused sütikute metalli pealispinnas ja sügavamates kihtides (Addinall, *et al.*, 2019, p. 153). Järeldustest on huvipakkuv väide, et katsete käigus leiti sama tootja sütikute piires esinenud sulami koostise kõikumisi, mida uurijad nimetasid standardhälbeks ja mille olemust soovisid samuti edaspidi täiendavalt uurida (Addinall, *et al.*, 2019, p. 153). Saribey, *et al.* 2009. aastal tehtud kestadele keskendunud uuringus möönavad autorid samuti võimalust, et teise valmistaja padruneid kasutades võinuks uuritud klassitunnuste hälve olla teise väärtusega või oleks eritunnuseid üle kandunud saadud tulemusest erinevas koguses (Saribey, *et al.*, 2009, p. 1072). Welleri juhitud grupp uuris 2012. aastal jälgede unikaalsuse temaatikat, mille käigus mainisid lühidalt, et kuna laskemoona osas on teada, et see mõjutab jälgi, kasutati vaid ühe tootja laskemoona. (Weller, *et al.*, 2012, pp. 912-914) Christen & Jordi 2019. aasta polügonaalsoontega relvade uuringus väidavad nad, et polügonaalsoontega pihtamislaengutel on sageli halvasti korratavad eritunnused – seda isegi siis, kui katselaskude tegemisel kasutati sama tootja ja tüübi padruneid. Siiski tuleb täpsustada, et laskemoona tüübi all pidasid autorid silmas vaid üldiseid omadusi – metalli, pinnakatet ja kaliibrit (Christen & Jordi, 2019, p. 64). Law, *et al.* 2018. aasta jälgede varieeruvust esindava katselaskude seeria uuringus väidetakse nii seda, et katselaskudeks kasutatav laskemoon võib tulemusi mõjutada, kui ka seda, et nimetatud nähtust on uuritud sedavõrd vähe, et mõjusid hinnata ei saa (Law, *et al.*, 2018, p. 133).

Kirjeldatud tööd on kõik ühel või teisel moel nimetanud padruni omaduste seost jälgedega, kuid oluline on, et enamikes kirjeldatud uuringutes on mõju välja toodud pigem passiivses vormis – läbi teise uurimiseesmärgi tulemuste analüüsi. De Kinderi, *et al.* sõnastus „ootuspäratult“ ja

hilisemates uuringutes kasutatud resoluutsemad väljendid lubavad järeldada, et sellel perioodil sai alguse valdkonna üldine tõekspidamine, et padruni omadused mõjutavad jälgi. Teema uurimisele ja seoste mõistmisele ei aita kaasa fakt, et uuringud käsitlevad läbisegi jälgi kuulil ja kestal. Kuna nende tekkemehhanismid on erinevad, ei ole ka töödes viidatud mõjutajad universaalselt mõlema jälgi kandva objekti jaoks põhjuslikena tõlgendatavad. Seose tuvastamiseks oleks vaja teada, milliseid parameetreid uuringus jälgiti, kuid see info on – nagu näha selle magistr töö varasemate teadusuuringute analüüsist – sageli puuduv või puudulik. Igal juhul on selgelt põhjendatud süvitsi jätku-uuringute tegemine, mõistmaks, millised padruni omadused ja millisel viisil jälgi mõjutavad.

2. LASTUD KUULIDE VÕRDLUSUURING

2.1. Uuringu metoodika

2.1.1. Uurimisstrateegia põhjendused ja üldpõhimõtted

Nagu töö sissejuhatavas osas selgitati, soovitakse populatsiooni esindava valimi uuringuga vastata küsimusele, kas padruni omaduste mõju on tuvastatav lastud kuulidele jäänud jälgedes. Võrreldavate arvandmete kogumiseks kasutatakse töös uurimisstrateegiana eksperimentuuringut, kuna seda loetakse põhjuslike seoste uurimiseks sobivaimaks vahendiks (käesolev töö, lk 10). Selleks disainitakse eksperiment, millega vaadeldakse manipuleerimise mõju huvipakkuvale muutujale (Campbell & Stanley, 1963, p. 1). Eksperimentide disainidest paljud on oma olemuselt väga lihtsad ja arusaadavad, mis kvantitatiivse uurimuse puhul on eesmärk omaette (Mertler, 2018, p. 109). Sellisest mõttekäigust saab järeldada, et eksperimendi ülesehitusel tuleb disaini valikul alustada lihtsamatest ning liikuda keerukamate suunas vaid selge ja põhjendatud vajaduse ilmnemisel.

Eksperimendi üheks lihtsaimaks vormiks loetakse ühe faktori disaini (Fisher, 1935, p. 96), mille puhul katseseerias küll manipuleeritakse mitme muutujaga, kuid korraga muudetakse grupis vaid ühte muutujat (Fisher, 1935, p. 100; Mertler, 2018, p. 128). Väidetavalt on selline katsedisain hea juba teadaolevate põhjuslike seoste illustreerimiseks, kuid sobib hästi ka konkreetse põhjus-tagajärg seose tuvastamiseks ja näitamiseks, mistõttu on selles töös sobiv valik. Mitme muutujaga gruppide omavahelisel võrdlusel saadakse lisaks manipuleeritud muutuja otsesele mõjule infot ka muutujate omavahelise mõju kohta, mis ongi sellise eksperimendi omapära (Fisher, 1935, pp. 100-101).

Et eksperiment oleks teaduslikus mõttes usaldusväärne, peab olema tagatud eksperimendi **valiidsus ja reliaablus**. Mõlemaid on tõlgendatud sarnaselt, kuid ometi märgatavate erisustega – 1987. aastal koostatud ülevaatlikus artiklis toob Hammersley välja mitmeid erinevaid tõlgendusi (Hammersley, 1987, pp. 73-75) ja pakub lihtsustusena enda poolt välja variandid: valiidsusega väljendatakse teadmist, kas me mõõtsime seda, mida me väitsime, et mõõdame; reliaablusega väljendame mõõtmistulemuse korduvust ehk kas sama nähtust korduvalt mõõtes saame püsivalt sama tulemuse. (Hammersley, 1987, pp. 77-78) Reliaablust loetakse valiidsuse eeltingimuseks ja selle saavutamist kergemaks ülesandeks, kuid oluline on arvestada, et kumbki ei taga teise olemasolu või kvaliteeti (Neuman, 2014, p. 220). Selles magistritöös tuleb klassikalise eksperimendina mõelda valiidsuse ja reliaabluse tagamisele uuringu disaini

kõikides etappides. Teisisõnu – eksperimendi kõikides etappides tuleb leida tingimused, mis mõjutavad valiidsust ja millele tuleb erilist tähelepanu pöörata. Võrdluste tegemiseks tuleb leida meetod, mis mõõdab kahe kuuli jälgede kokkulangevust viisil, mis oleks samade tulemustega ka teise kaliibri või tootja kuule kasutades (Neuman, 2014, p. 212), teise uurija poolt rakendades või teist töövahendit (Neuman, 2014, p. 213) kasutades.

Kvantitatiivse uuringu peamised ohutegurid lähtuvad selle valiidsusest, mille alaliikidest kõige sagedamini käsitletakse sisemist ja välist valiidsust. Eksperimendi **sisemise valiidsuse** probleemid puudutavad sõltuva muutuja tõendatud põhjuslikku seost sõltumatu muutuja manipuleerimisega, sealhulgas hõlmates ka soovimatute (keskkonna)mõjurite olemasolu sihilikku puudumist või minimeerimist. Sisemist valiidsust mõjutavad mitmed tegureid, kuid selle magistritöö mõttes on eriti olulised ajalugu (kestus - autori märkus) ja „küpsemine“ – kui katsed kestavad ajaliselt kaua või katse subjektid kohanevad pika katse vältel, mõjutavad nendega kaasnevad muutused ka tulemusi. (Campbell & Stanley, 1963, pp. 5, 8-9; Mertler, 2018, p. 138) Küpsemist omistatakse reeglina küll inimestele, kuid antud kontekstis saab seda põhimõtet laiendada ka relvale selle progresseeruva kulumise ja määrdumise kontekstis. Mertler on nende mõlema teguri osas varasemalt avaldatud seisukohti omalt poolt täiendades väitnud, et eksperimendi meetodit kasutades on need kontrollitavad (Mertler, 2018, p. 139).

Välise valiidsuse probleemistik on seotud tulemuste üldistamisega. Eksperimendi protsessi osas mõjutab välist valiidsust ökoloogiline valiidsus ehk keskkond, milles katsed tehakse – antud kontekstis võimalikud erinevused katse- ja üldistamise sihtrühma keskkondade vahel (Mertler, 2018, p. 140). Välist valiidsust mõjutavaid tegureid on samuti välja toodud mitmeid, kuid suuremaks ohuks selle magistritöö mõistes saab pidada reaktiivsuse efekti, mille kohaselt testi läbiviija laseb end seoste hindamisel mõjutada testile eelnenud kogemusest (Campbell & Stanley, 1963, p. 6).

Eksperimendi tulemusi seatakse kahtluse alla peamiselt kahel alusel – esiteks saab väita, et eksperimenti interpreteeriti statistilises mõttes vigaselt, mistõttu tehtud järeldused ei ole tõesed, ning teiseks saab väita, et eksperiment kui protsess oli üles ehitatud või läbi viidud vigaselt (Fisher, 1935, pp. 1-2). Võimalike eksimuste suunad on olemuselt erinevad, mistõttu tuleb kummagi haru riskide maandamisega tegeleda eraldi. Nii ajalises kui loogilises järjestus on kindlasti mõistlik esmajärjekorras vaadelda **eksperimendi disaini**. Eksperimendi põhimõtetest (Fisher, 1935, pp. 13-20, 30-36, 98-99; Mertler, 2018, p. 109) on võimalik sünteesida järgmised

eksperimenti alustamise eel fikseeritavad parameetrid, mis kõik toetavad ka eksperimenti sobivust põhjuslike seoste uurimiseks:

- katsed valmistatakse uuritava parameetri mõttes ette võrdsetes osakaaludes;
- katsed viiakse läbi juhujärjestuses;
- katsete lõplik üldarv on otsustatud enne katsete algust;
- sõnastatakse nullhüpotees, mida katsetega saadud faktidel on võimalus „ümber lükata“.

Eksperimenti kui meetodi tutvustuses on Fisher läbivalt väitnud, et tähelepanu tuleb pöörata uurimismuutujatele, ülejäänud parameetrite osas saab tema kirjeldusest lugeda välja, et nende olemus ja valik on katse tegija enda määratleda, kuid seda tuleb teha täies ulatuses enne katsete alustamist. Tegurite mõju juhuslikkuse tagab objektide juhuslik järjestus katses. (Fisher, 1935, pp. 32, 35-37, 40, 47-48, 58) **Juhuslikkust** peetakse kvantitatiivse uurimise üldiselt ja ka eksperimenti kui uurimisvahendi valiidsuse üheks peamiseks eelduseks (Mertler, 2018, p. 109). Juhuslik peab olema nii uuritavate objektide sattumine katsesse kui ka nende jagunemine katsegruppidesse – esindatava üldpopulatsiooni kõikidel liikmetel peab olema võrdne võimalus sattuda eksperimenti osalisteks ning omakorda selle valimi kõikidel objektidel võrdne võimalus sattuda ükskõik millisesse katses defineeritud gruppi. Kuna kogu huvipakkuvat populatsiooni ei ole enamasti otstarbekas eksperimenti kaasata, tehakse grupi objektidest esinduslik valim (Neuman, 2014, pp. 246, 248). Valimit saab teha nii mittetõenäosusliku kui tõenäosusliku valimina, millest teist loetakse oluliselt kvaliteetsemaks võimaluseks (Neuman, 2014, pp. 247-248, 250). **Valimi** tegemiseks tuleb kõigepealt defineerida populatsioon, mida valim esindama peab, mis on välise valiidsuse saavutamiseks väga olulise tähtsusega samm. Kui eksperimenti ülesehituses kasutatakse rohkem kui ühte gruppi, tuleb nendes esinevate muutuste leidmiseks pakkuda neutraalset kontrollitavat võrdlusfooni, milleks on kontrollgrupp, millega ei manipuleerita. (Mertler, 2018, pp. 127-128) Kontrollgrupi eesmärk eksperimenti disainis on esindada samast valimist juhuvalikuga võetud objekte, mille omadustega ei manipuleerita. Selline võrdlusgrupi olemasolu annab eksperimentile selle sisemise valiidsuse, näidates, et eksperimentis mõõdetavaid omadusi ja seega kogu katse tulemusi ei mõjuta mitte juhuslikke keskkonnategurid, vaid ainult manipuleeritud muutujad. Seejuures aitab selline kontrollimehhanism tagada eksperimenti sisemist valiidsust nii katse käigus kui ka hilisemal tõlgendamisel.

Eksperimentide käigus tuleb sageli ette olukordi, kus huvipakkuvad parameetrid kuuluvad gruppi omadustega, mida ei soovita eksperimentis kasutada või mille mõju arvestada (Fisher,

1935, pp. 35-36). Kui mõni selline segav tingimus välja tuuakse ja katse tegijate hinnangul ideaalilähedaselt mingil viisil maandatakse, loetakse seda tavaliselt ekslikult katse kvaliteeti tõstvaks sammuks. Tegelikult tuleks sisemise valiidsuse tagamiseks hinnata, millised lisategurid ja millises ulatuses vajavad kontrollitud ühtlustamist ning milliseid tuleks sihilikult teadvustada ja jälgida. Valitud kõrvaliste tegurite kõikumist võib vajalikus ulatuses „siluda“, kuid nende mõju tuleb katsesse alles jätta, mitte täielikult ja ebaloomulikult välistada – kaasnevaid tingimusi tuleks ühtlustada mugavas ulatuses, mitte püüeldes maksimaalse võimaliku tulemuse suunas (Fisher, 1935, pp. 20-22, 28).

Uurimisstrateegia üldised põhimõtted on eelnevaga ülevaاتlikult kajastatud. Järgmises alapeatükis täiendatakse neid varasemate uuringute analüüsi tulemusel sõnastatud põhimõtetega.

2.1.2. Uuringu üldine disain

Selle magistr töö eksperimendi eesmärgiks on näidata ja võrreldavalt mõõta, kas padrundi omaduste muutumine mõjutab kuulile peale lasku jäänud jälgi. Selleks disainitakse uuring, milles uurimismuutujatena kasutatakse kahte padrundi omadust – püssirohu massi ja kuuli massi. Mõlema muutuja väärtust rakendatakse uuringus kahel kujul – pidev- ning diskreetse näitajana. Pidevnäitajad saadakse valimisse sattunud padrundi tunnuste (kuuli ja püssirohu mass) mõõtmisega ja neid kasutatakse andmestiku kirjeldava statistika arvutamisel. Diskreetsed näitajad saadakse erineva massiga kuulidega padrundi ja püssirohu koguse binaarse kodeerimisega (kerge ja raske kuul ning kerge ja raske püssirohu mass) ning neid kasutatakse regressioonanalüüsi tegemiseks. Töö eesmärgiks oleva mõju indikaatori ehk sõltuva muutujana kasutatakse kuulide omavahelise võrdluse tulemusel mõõdetud kokkulangevuse määra, mis saadetakse mikroskoobivõrdluste käigus (käesolev töö, lk 53). Võrreldavaks parameetriks kasutatakse lastud kuulidel olevaid relva rauaõõne jäetud jälgi. Kuuli massi varieeruvus tagatakse valimi tegemisega kahe kuuli massiga padrundi seast ja seda muutujat eksperimendi käigus ei manipuleerita. Püssirohu massi varieeruvuse saavutamise viisi selgitatakse detailselt töös edaspidi.

Eksperimentaaluuringu **tegevuste üldine järjestus** on (Mertler, 2018, pp. 134-135):

- uuritava probleemi sõnastamine viisil, mis tagaks, et katse tõesti ka seda nähtust mõõdab (sisemine valiidsus - autori märkus);
- erialakirjandusest mõõtmist ja kontrollimist vajavate tegurite otsimine;

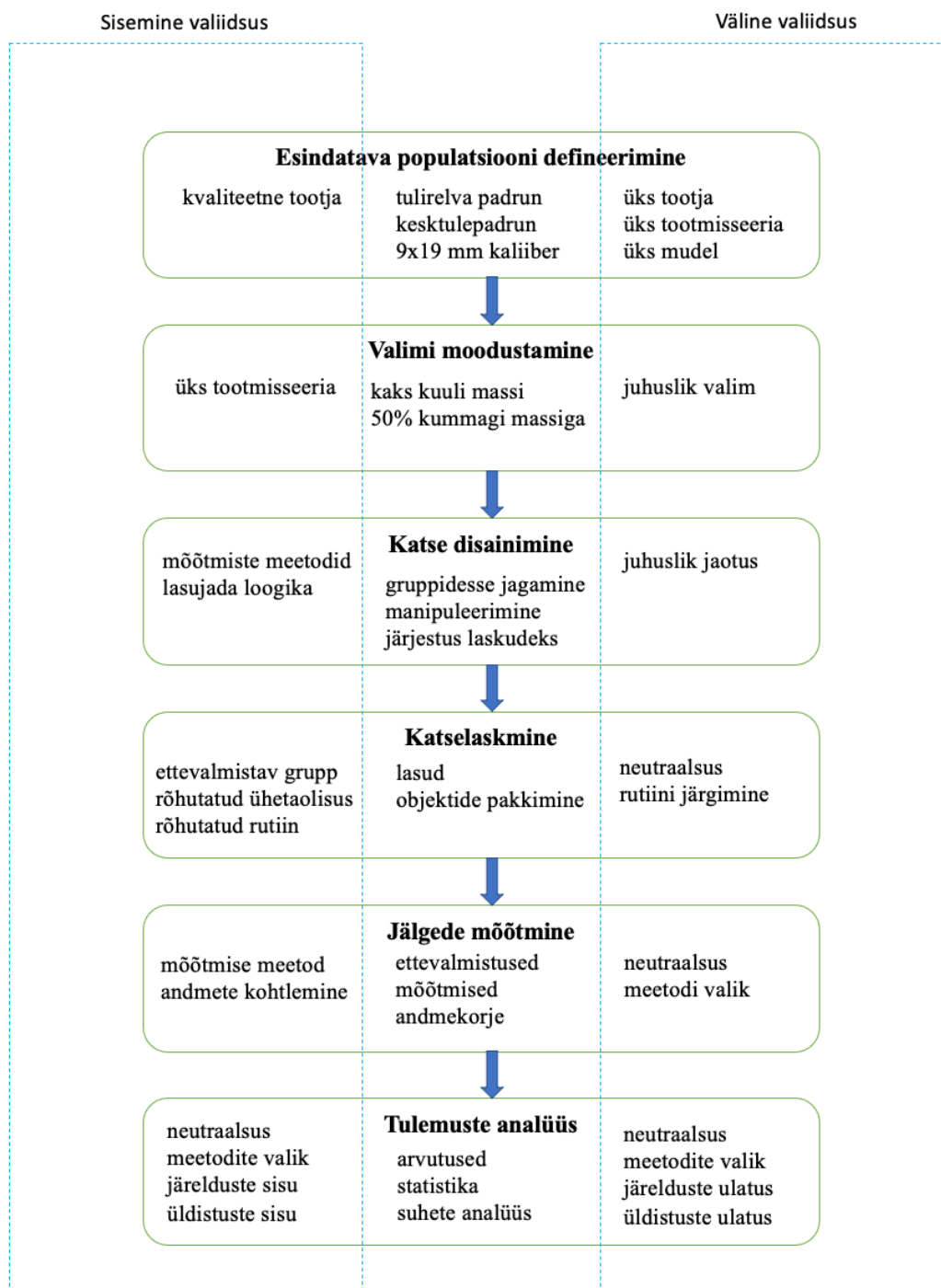
- populatsiooni ja sellest tehtud juhuvalimi defineerimine, tagades nii juhuslikku esindatuse kui ka juhusliku jagunemise gruppidesse (väline valiidsus – autori märkus);
- eksperimendi disaini ja andmekogumismeetodi määratlemine;
- kvantitatiivsete andmete kogumine;
- andmeanalüüs, kusjuures välja arvutatakse nii kirjeldav kui järelduslik statistika;
- uurimisküsimustele vastamine ja kokkuvõtete tegemine.

Selle magistritöö eksperimendi disaini protsessiskeem koos eksperimendile iseloomuliku valiidsuse tagamiseks tähelepanu alla võetud aspektidega on järgneval joonisel (vt joonis 2).

Nagu joonisel näha, järgitakse disainis üldist eksperimentaaluuringu ülesehitust, mis on joonisel väljendatud üksteisele järgnevate plokkidena. Disaini etappide sisuline kirjeldus on töö järgnevates osades. Kuna eksperimendi tugevaks küljeks loetakse selle sisemist valiidsust ja nõrgemaks välist valiidsust, pööratakse magistritöö katset disainides mõlema võrdsele tagamisele suuremat tähelepanu.

Valiidsuse hindamisel saaks küll tugineda valdkonna uurimustele – seda nimetatakse eeskujuväliduseks (*face validity* – autori märkus) või ka kasutatavate praktikate valiidsuseks (*concurrent validity* – autori märkus) – mis seisneb vastavalt valdkonnas heaks kiidetud praktikate valiidsusteks lugemises ja eelnevalt juba kasutusel olevate ja sobivaks loetavate praktikate kasutamises (Neuman, 2014, pp. 216-217), kuid varasemate uuringute kokkuvõtteid silmas pidades ei oleks see õige otsus. Seega tuuakse järgneval joonisel iga etapi juures välja tegevused, mida etapis tehakse ning tegurid, millele tähelepanu pöörates vastavalt sisemist või välist valiidsust tagada või tõsta soovitakse.

Sisemise valiidsuse (käesolev töö, lk 36) paremaks tagamiseks kasutatud võtted on joonisel 2 välja toodud märksõnadega iga etapi ploki vasakpoolses ääres. Läbivalt pööratakse tähelepanu rõhutatud täpsusele ja ühetaolisele kohtlemisele katsete erinevates etappides – kvaliteetsete ja teadaolevalt ühesuguste objektide kasutamine, kvaliteetsete mõõtevahendite ja -võtete kasutamine, eksperimendi äärealade loomuliku erinevuse kompenseerimine ettevalmistava grupiga, ettevaatlikkus ja selge seose olemasolu vajadus järelduste tegemisel jne. Nii tagatakse sisemise valiidsuse peamised põhimõtted – mõõdetakse seda, mida öeldakse, et mõõdetakse ja hoitakse keskkonnategurid kontrolli all.



Joonis 2. Uuringu protsessiskeem ja valiidsuse aspektid (autori koostatud)

Välise valiidsuse (käesolev töö, lk 36) suurimad probleemid on olemuselt seotud katse tegija käitumise ja katse järel toimuva üldistamisega. Selle tagamiseks kasutatud võtted on joonisel 2 välja toodud märksõnadega iga etapi ploki parempoolses ääres. Läbivalt pööratakse tähelepanu katse tegija suhtumisele ja neutraalsele hoiakule, eelarvamuste ja eelneva kogemuse väljendamise talitsemisele ning selgele arusaamale populatsioonist, mida valim esindab.

Kuna väidetakse, et väga paljud tegurid võivad mõjutada ballistika katsete tulemusi (käesolev töö, lk 13), valitakse katselaskmiste protseduur selline, et uuringus muutujatena mitteosalevate parameetrite mõju oleks ühtlane kogu katse kestel. Varasemates uuringutes on autorid otsustanud keskkonnatingimuste ja kaasnevate tegurite osas erinevalt. On uuringuid, kus kaasnevatele teguritele pööratakse vägagi suurt tähelepanu. Kirk, *et al.* (2017, p. 48) näiteks otsustasid oma katseseeria puhul suhteliselt kontrollitud protseduuri kasuks – testlasud tehti ühe päeva jooksul sisetiirus ühe kiire laskude seeriana, mille käigus relva ei puhastatud. Hamby, *et al.* (2009, pp. 104-105) 16800 lasuga uuringu tingimused on samuti hästi kirjeldatud ja põhjalikult läbi mõeldud. Siiski ei ole suures osas analüüsitud uuringutest katsete tingimused üldse kirjeldamist või kajastust leidnud (Saribey, *et al.*, 2009; Christen & Jordi, 2019; Jauhari, *et al.*, 1987; De Ceuster & Dujardin, 2015; Leon & Beyerer, 1999; Song, *et al.*, 2012; Song, *et al.*, 2004; Chu, *et al.*, 2010a; Chu, *et al.*, 2011; Gerules, *et al.*, 2013; Rahm, 2012; Hare, *et al.*, 2017). Seda võib lugeda täiendavaks kinnituseks järeldusele, et kohtuekspertiisi ballistika teadustöodes keskendutakse eelkõige eksperdiarvamuse tõendatusele (Bolton-King, 2016) ja võrdlus- ja otsustusprotsessiga kaasnevaid tegureid koos oma mõjudega loetakse kas praktika käigus tõendust leidnuteks, väljakujunenuteks, juhuslikeks või väheolulisteks, kuid selline selgitus ei ole kindlasti mitte ainuvõimalik. Teadusartiklite piiratud mahu tõttu on mõistetav kirjelduse lühidus, kuid kuigi eksperiment meetodina on teaduskirjanduses laia kajastust leidnud, on kaheldav, kas väga spetsiifiliste eripäradega tulirelva laskekatsete läbiviimise protseduuri saab tuletada mõnest teisest eksperimendi meetodit kasutavast teadusharust, mis siiski põhjendab kasutatud meetoodika kirjeldamise vajadust.

Selle magistritöö katse ettevalmistamisel lähtuti teaduskirjanduses välja toodud järjestusest (käesolev töö, lk 38), mida laskekatse eripäradest ja selle uuringu katsegruppide ülesehitusest (käesolev töö, lk 44) tulenevalt vajadusel täiendati.

Padrunite omadusi selle magistritöö eesmärgi mõttes ei ole töö teoreetilises osas käsitletud varasemates uuringutes kirjeldatud. Peamiselt piirduakse tootja ja kaliibri kirjeldamisega. Selles magistritöös kuulub valimiga **esindatav populatsioon** mitmesse suuremasse hulka, mida järgnevalt kirjeldatakse. Loogiliselt üksteise sisse paigutuvad hulgad, mida selles töös esindatava populatsioonina ei tõlgendata, on – tulirelva laskemoon, kesktulepadrun ja 9x19 mm kaliibriline padrun. Seda jada kitsamaks defineerides on selles magistritöös huvipakkuv populatsioon (Neuman, 2014, p. 252) ühe tootja poolt valmistatud padrunid, millel on samatüübiline kuul, mida tootja valmistab kahe massiga. **Valimi raamistikuna** (Neuman,

2014, p. 252) saame tõlgendada Eestisse müügile saadetuks osutunud nimetatud padrunimudeli pakendeid.

Valimi juhuslikkuse saavutamise mõttekäiku saab selle magistritöö mõttes tõlgendada nii, et kui katseteks kasutatavad padrunid on teadaolevalt pakitud valmistamise järjekorras, siis tuleb nende juhuslikkuse tagamisega katse ettevalmistavas osas sihipäraselt tegeleda; kui aga on teada, et katseobjektid on pakitud peale suuremas koguses juhuslikku segunemist, ei ole selline hilisem juhuslikustamine vajalik. Padrunite valimi tegemise aluseks võeti Fiocchi padrunitehase tööd tutvustav video (YouTube, 2011), milles on näha valmistamise mitme etapi lõppfaase, kus tooted kogutakse suures koguses anumatesse, millest need edastatakse järgmisele liinile. Anumatesse mahub või on üheaegselt ja pidevas segunemises tuhandeid padruneid, mis näitab, et nende lõplik paigutamine pakenditesse on valmistamise protsessi järjestuse kontekstis nii kõikide nende komponentide kui ka lõpliku terviku mõistes juhuslik ja nende ühiseks jooneks on ainult seeria (*batch* - autori märkus). Seeria mõiste sisustamine ei ole tootja sisendita võimalik – seeria võib tähendada kindla ajaperioodi (ööpäev, töötajate vahetus vms) jooksul valmistatud padruneid või seadmestiku kahe häälestamise ja hoolduse vahele jäävat ajavahemikku. Oluline on, et seeria andmed on märgitud ka padrunipakendile – viimasest saab järeldada, et padrunitootjad omistavad sama seeria padrunitele sarnaseid omadusi ja on võimelised probleemide esinemise puhul ka tagantjärele nende tekkepõhjuseid uurima. Eelneva alusel loetakse sama seeria padrunid esindatavaks polulatsiooniks ja nende järjestus pakendis juhuslikuks.

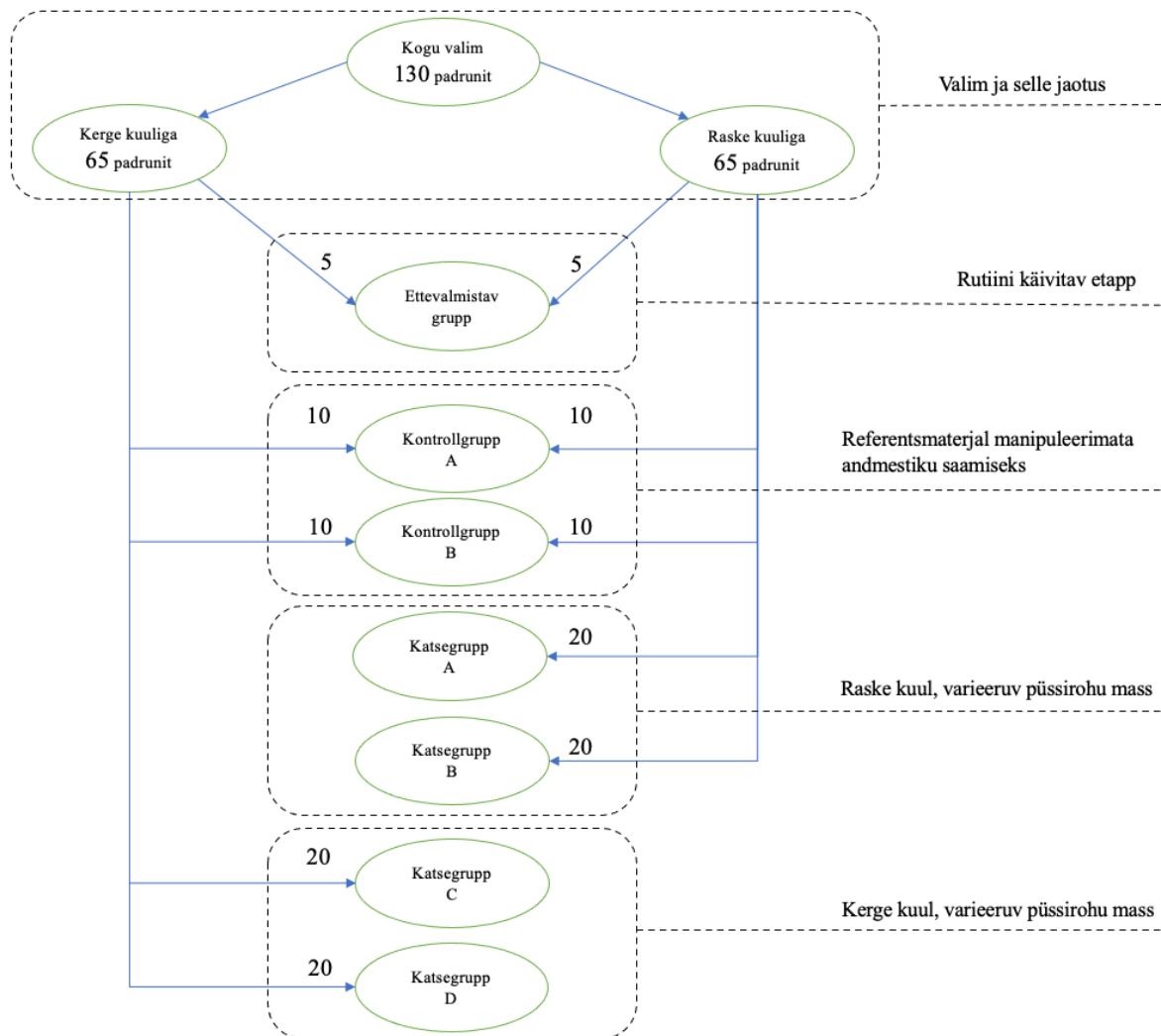
Kuna padrunikarpidesse pakendatud padruneid võib siiski ka tõlgendada kui eelgrupeeritud objekte, mida eksperimenti kirjeldava teaduskirjanduse põhjal tuleks võimalusel vältida (Mertler, 2018, p. 130), võetakse kummagi kuuli massiga padrunite karpe valimisse vajalikust rohkem ja neisse pakendatud padrunid segatakse üheks kogumiks kokku. **Valimi mõlemad alagrupid** moodustatakse sama kuuli massiga sama seerianumbriga padrunikarpidest, mida vajaliku padrunite arvu saamiseks võeti kummagi kuuli massiga kolm. Kerge kuuliga (tootja tähistusega 115 graani ehk 7,4 grammi – autori märkus) padrunite seeria number kõikidel karpidel on „5405128 101 1570 2533 2478“, raske kuuliga (tootja tähistusega 123 graani ehk 8,0 grammi – autori märkus) padrunite seeria number kõikidel karpidel on „5304056-0100 CIP034-641“. Kuna igas pakendis on 50 padrunit, tehakse valim 300 padruni seast, millest 150 on kerge ja 150 raske kuuliga.

Eksperimentide puhul võib esineda vajadus kogutud materjalist mingit osa mitte kasutada. Sellise käitumise põhjuse võib sõnastada kui soovi koguda vaid ühtlase kvaliteediga andmeid, mida eksperimendi tingimuste äärealad ei paku. Selle magistritöö katsete kavandamisel otsustas autor katse algusesse jääva „ääreala“ kõrvaldada, alustades katseseeriat **ettevalmistava grupiga**, mille tulemusel saadud kuule võrdlusuuringutes ega andmeanalüüsis ei kasutata. Sellise puhvergrupiga alustatud katseseeria on autori hinnangul ettevalmistavale grupile järgneva kontrollgrupi algusest kuni viimase katsegrupi lõpuni asjakohane ja kasutatav.

Sõltumatute uurimismuutujatena on katses kasutusel kaks padruni omadust – kuuli mass ja püssirohu mass. Mõlemad on oma grammides mõõdetava massi mõttes pideva skaalaga muutujad (Neuman, 2014, p. 222) ja arvulise väärtusega, kuid selles magistritöös kasutatakse neid kahel viisil, mistõttu ka nende väärtusi kasutatakse kahes vormis. Katsegruppide defineerimiseks iseloomustatakse neid kui binaarset (Neuman, 2014, pp. 222, 224) muutujat vastandlike väärtustega „väike“ ja „suur“ ning (nendes gruppides, kus padrune avatakse ja massid mõõdetakse) kirjeldava statistika tegemisel ja andmestiku normaaljaotuse kontrollimisel arvtunnusena grammides kahe kohaga peale koma (0,01 grammi).

Padrunite pikkuse ja kuulide läbimõõdu mõõtmiseks kasutatakse EKEI tehnikaosakonna mõõtevahendite hulka kuuluvat regulaarselt taadeldavat nihkkaliibrit KSTools TO-SR-TB09 (nr 105) millimeetermõõtmise täpsusklassiga kaks kohta peale koma (0,01 mm) ning tootja poolt kalibreeritud võrdluskalibriga Leica FS C koos vastava tarkvaraga LAS V4.12, mille kooskasutusel saab teha mikromeetermõõtmisi. Kõik pikkuse mõõtmistulemused vajadusel konverteeritakse ja ümardatakse mugavama kõrvutamise tagamiseks millimeetermõõtmisteks täpsusklassiga kaks kohta peale koma (0,01 mm). **Kuulide ja püssirohu massi mõõtmiseks** kasutatakse EKEI tehnikaosakonna mõõtevahendite hulka kuuluvat regulaarselt taadeldavat digitaalset kaalu Sartorius BP1200 TO-SR-TB03 gramm-mõõtmise täpsusklassiga kaks kohta peale koma (0,01 grammi). Kõikide seadmetega mõõtmisel kasutatakse EKEI kvaliteedisüsteemiga kinnitatud mõõtemetoodikaid, mis tagab mõõtmise täpsuse ja ühetaolisuse. Objektide ebavõrdse kohtlemise probleemi selle katseseeria raames autori hinnangul ei esine, kuna kõik objektid on ühetaolised nii ehituselt kui materjalilt.

Eelnevalt kirjeldatud uurimisstrateegia (käesolev töö, lk 35) ja protsessiskeemi (käesolev töö, lk 40) alusel disainiti eksperiment, mis koosneb ettevalmistavast grupist, kahest kontrollgrupist ning neljast katsegrupist (vt joonis 3).



Joonis 3. Padrunite jaotus gruppidesse (autori koostatud)

Uuringu objektid jagati **kontroll- ning katsegruppideks** (vt joonis 3). Kontrollgruppe on kolm ja katsegruppe neli. **Kontrollgruppide** eesmärgid ja tegevused nendega on:

- ettevalmistav grupp (edaspidi EG) – padrunite üldkogumist juhuvalitud 10 (5 kerge kuuliga ja 5 raske kuuliga) padrunit, mille pikkus mõõdetakse, kuid mida ei avata ja mille ühegi parameetriga ei manipuleerita. Nende eesmärk on tagada katse käigus tehtavatele järgnevatele laskudele ühesugused tingimused, mistõttu ettevalmistava grupi lasud käivitavad katse tegija jaoks rutiini, viivad püstoli töötemperatuurile ja tagavad, et esimesi katselaske ei tehtaks ebaproportsionaalselt puhtast relvast.
- kontrollgrupp A (edaspidi KontA) – padrunite üldkogumist juhuvalitud 20 (10 kerge kuuliga ja 10 raske kuuliga) padrunit, mille pikkus mõõdetakse, kuid mida ei avata ja mille ühegi parameetriga ei manipuleerita. Peale laske võrreldakse grupi esimest kuuli

ülejäanud üheksaga ja arvutatakse iga kuuli üldine kokkulangevuse skoor. Selle grupi eesmärgiks on näidata, milline on manipuleerimata uurimismuutujatega grupi kokkulangevuste skooride keskmine ning kui suured kõrvalekalded sellest esinevad.

- kontrollgrupp B (edaspidi KontB) – padrunite üldkogumist juhuvalitud 20 (10 kerge kuuliga ja 10 raske kuuliga) padrunit, mille pikkus mõõdetakse, avatakse, mõõdetakse nende püssirohu ja kuuli massid ning taassuletakse algsete mõõtmega. Ühegi parameetriga ei manipuleerita. Peale laske võrreldakse grupi esimest kuuli ülejäanud üheksaga ja arvutatakse iga kuuli üldine kokkulangevuse skoor. Selle grupi eesmärgiks on samuti näidata, milline on manipuleerimata uurimismuutujatega grupi kokkulangevuste skooride keskmine ning kui suured kõrvalekalded sellest esinevad. Samuti saadakse mõõtmistega infot tehaseseades padrunite kuuli ja püssirohu massi varieeruvuse ulatuse kohta.

Katsegruppides varieerub kuuli ja püssirohu mass. Kuuli massi mõlemad väärtused on juba uurimuse valimi moodustamisel valitud ja nendega mingeid manipulatsioone ei tehta. Seevastu püssirohu massi muudetakse katsegruppides eesmärgipärase varieeruvuse saavutamiseks. Massi uute väärtuste aluseks ehk nullpunktiks kasutatakse keskmist referentsväärtust, mille leidmiseks kasutatakse KontB grupi padrunite ning kõikide katsegruppide kõikide padrunite püssirohu massi mõõtmistulemusi. Katsegruppide padrunite andmete sellel eesmärgil kasutamiseks jagatakse enne katsete alustamist padrunid katsegruppideks, avatakse kõik üheaegselt, mõõdetakse nende kuulide ja püssirohu massid ning taaskoostatakse alles peale kõikide mõõtmiste tegemist, referentsväärtuse arvutamist ning vastavalt katsegrupi eesmärgile püssirohu massi 5% ulatuses vähendamist või suurendamist. Kõikide katsegruppide padrunite mõõtmistulemuste kasutamine võimaldab saada suurema objektide arvu ka kuulide massi varieeruvuse (enne lasku - autori märkus) mõõtmisel.

Püssirohu massi -5% ja +5% väärtuste arvutamisel ei ole ärisaladuse põhimõtte tõttu võimalik saada avalikest teabeallikatest infot tehases kasutatud püssirohu margi ja koguse ohutute piirväärtuste kohta, mistõttu lähtutakse arvutatud referentsväärtusest. Padrunite iselaadijatele mõeldud juhendite soovitustest lähtudes (Vihtavouri, *s.d.a*; Alliant Powder, 2021) eeldatakse, et tehase laskemoona valmistatakse põhimõttega, et tootmisliini võimalike (ja praktikas vältimatute – autori märkus) doseerimishälvete tulemusel ei oleks võimalik müüki jõudvasse padrunisse sellise püssirohukoguse sattumine, mis lõpeks relva või laskja vigastusega – järelikult on tehase püssirohukogus alati sihilikult häälestatud olema vastava padruni ja

püssirohu kombinatsiooni turvalise vahemiku keskel, kuna ainult nii on võimalik kompenseerida võimalikke doseerimishälbeid nii ala- kui ülekoguse osas üheaegselt. Sellise eelduse kohaselt on tehase laskemoona püssirohu reaalkogusel mõlemas suunas turvaline puhvertsoon, mida katsete käigus mõõdetava võimaliku mõju selgema väljendumise saavutamiseks ära kasutatakse.

Nimetatud 5% valikul kasutati padrunite iselaadijatele püssirohtu tootvate ettevõtete poolt koostatud juhendites avaldatud doseerimisjuhiseid, milles kirjeldatud turvalised vahemikud võivad tootjast ja püssirohu margist sõltuvalt olla vähemal või suuremal määral kõikumad. Näiteks Soome tootja Vihtavuori soovib sobiva püssirohu massi otsingutel alustamiseks võtta huvipakkuva kaliibri ja püssirohu laadimisandmetes toodud püssirohu maksimumkogusest 15% väiksem kogus (Vihtavuori, *s.d.a*); USA tootja Alliant Powder soovib võtta laadimisandmetes antud kogusest 10% väiksem kogus (Alliant Powder, 2021). USA kuulide tootja Sierra väidab aga, et isegi identse laenguga padrundi lasusurve võib erinevates relvades olla olulises ulatuses erinev (Sierra Bullets, *s.d.*). Vaadates näiteks Vihtavuori püssirohu N320 laadimistabelit (Vihtavuori, *s.d.b*) 115 graanise kuuliga 9x19 mm kaliibrilise kesktulepadruni kohta, näeme, et püssirohu lubatud maksimumkogus on 4,5 grammi ja algkogus 3,9 grammi – see tähendab, et kui 4,5 grammi on 100% laeng, siis 3,9 grammi on 86,66% laeng. Seega on antud kombinatsioonis maksimumlaengu 100% ja alglauengu 86,66% vahe 13,33%.

Eelnevalt kirjeldatud oletuslikust tehase laengu arutluskäigust ja sellisest arvutusest nähtub, et, teadmata, millist püssirohtu on tehase padrunites kasutatud, on mõistlik mõõdetud keskväärtust kummaski suunas laiendada 5% ulatuses (miinimumi ja maksimumi vahe 10%), sest suurema välba valimisel on oht liikuda üle ohutu vahemiku piiri. Sellise põhjendusega võetakse manipuleeritud koguse määratlemisel aluseks kõikide avatud padrunitest püssirohu kogustest leitud keskväärtus kui referentsväärtus ja vähendatakse seda väikese koguse saamiseks 5% võrra ning suurendatakse suure koguse saamiseks 5% võrra. Kuna kuuli mass on padrundi laadimisel kasutatava püssirohu koguse määratlemisel väga olulise tähtsusega, arvutatakse referentsväärtus kummagi kuuli massiga padrunitest jaoks eraldi. Saadud väärtused on selle uurimuse mõistes vastavalt väike ja suur püssirohu kogus.

Katsegrupid nimetatakse järgmise legendi alusel: Kat on katsegrupp, A on katsegrupi tähis - näiteks KatA. Katsegruppide eesmärgid ja tegevused nendega on:

- katsegrupp A (edaspidi KatA) – raske kuuliga padrunite üldkogumist juhuvalitud 20 padrunit, mille pikkus mõõdetakse, avatakse ning mõõdetakse nende püssirohu ja kuuli massid. Seejärel sisestatakse padrunitesse referentsväärtuse põhjal arvutatud ja kompenseeritud väike püssirohu kogus ja padrunid taassuletakse algsete mõõtmetega.
- katsegrupp B (edaspidi KatB) - raske kuuliga padrunite üldkogumist juhuvalitud 20 padrunit, mille pikkus mõõdetakse, avatakse ning mõõdetakse nende püssirohu ja kuuli massid. Seejärel sisestatakse padrunitesse referentsväärtuse põhjal arvutatud ja kompenseeritud suur püssirohu kogus ja padrunid taassuletakse algsete mõõtmetega.
- katsegrupp C (edaspidi KatC) - kerge kuuliga padrunite üldkogumist juhuvalitud 20 padrunit, mille pikkus mõõdetakse, avatakse ning mõõdetakse nende püssirohu ja kuuli massid. Seejärel sisestatakse padrunitesse referentsväärtuse põhjal arvutatud ja kompenseeritud väike püssirohu kogus ja padrunid taassuletakse algsete mõõtmetega.
- katsegrupp D (edaspidi KatD) - kerge kuuliga padrunite üldkogumist juhuvalitud 20 padrunit, mille pikkus mõõdetakse, avatakse ning mõõdetakse nende püssirohu ja kuuli massid. Seejärel sisestatakse padrunitesse referentsväärtuse põhjal arvutatud ja kompenseeritud suur püssirohu kogus ja padrunid taassuletakse algsete mõõtmetega.

Padrunite **gruppidesse jagamise** juhuslikustamiseks võetakse need valimi kogumist juhuslikult ja pakitakse üksikuna kottidesse, mis jagatakse hiljem katsegruppide vahel juhuslikult. Selleks valmistatakse kõikide katsekuulide jaoks ette 130 kotti, mis numereeritakse järjestikuselt. Hilisemaks kerge ja raske kuuliga padrunite eristamiseks statistiliste arvutuste etapis pakitakse kerge kuuliga padrunid kottidesse 1-65 ja raske kuuliga padrunid kottidesse 66-130. Üksaaval vajalikku kogust padruneid võttes (kummagi kuuli massiga 65 padrunit, millest 25 kontrollgruppidele ja 40 katsegruppidele - autori märkus), mõõdetakse nende üldpikkus (mm täpsusklassiga kaks kohta peale koma ehk 0,01 mm – autori märkus) ja tehakse neile orienteeriv tähis (käesolev töö, lk 51). Kui padrunid on pakendites, jagatakse need katsegruppidesse. Seda tehakse kummagi kuuli massi piires eraldi, et tagada kuuli massi vajalik võrdne jaotus segagruppides. Selleks juhuslikustatakse pakendite järjekorranumbrite nimekirjad 1-65 ja 66-130 Exceli funktsiooni „=RAND()“ kasutades ning seejärel valitakse kummaski saadud juhuloetelust esimesed 5, millest saab pool ettevalmistavat gruppi, järgmised 10, millest saab pool KontA gruppi jne kuni kõik selle kuuli massiga grupid on sisustatud.

Katsegruppide kuuli ja püssirohu massi **mõõtmiseks** ning **püssirohukoguse manipuleerimiseks** ja KontB grupi kuuli ja püssirohu massi mõõtmiseks avatakse kõikide

katsegruppide ja KontB grupi padrunitid (100 padrunit kokku – autori märkus) (käesolev töö, lk 44). Padrunite kuuli ja püssirohu massid mõõdetakse ja kantakse Exceli tabelisse. Kummagi kuuli massiga padrunite püssirohu massi keskväärtused arvutatakse välja Exceli kirjeldava statistika funktsionaalsust kasutades ja omakorda nende põhjal väärtused -5% ja +5% (tabel 3).

Tabel 3. Püssirohu masside keskväärtused ja 5% väärtused (autori koostatud)

	Kerge kuuliga	Raske kuuliga
Objektide arv	50	50
Keskväärtus	0,3322	0,3246
Standardviga	0,0020462	0,00115033
Keskväärtus ümardatuna	0,33	0,32
5% väärtus	0,0165	0,016
- 5% rohu kogus ümardatuna	0,31	0,30
+ 5% rohu kogus ümardatuna	0,35	0,34

Katsegruppide padrunite püssirohu koguseid korrigeeritakse vastavalt katsegrupi eesmärgile (käesolev töö, lk 46) ja padrunitid suletakse, orienteerides nende kuulid kesta suhtes vastavalt märgisele (käesolev töö, lk 51) ja taastades nende algse üldpikkuse. Sellega on padrunite ettevalmistamine lõppenud.

Relva valikul lähtutakse varasematest uuringust tuletatud põhimõtetest, et see peab olema levinud kaliibri ja omadustega ning vähe kulunud ja heas üldises seisukorras (käesolev töö, lk 49). Valikuks tehakse katselaskmised mitmest relvast, mis vastavad üldistele tingimustele ning vaadeldakse nende jälgi mikroskoobi abil, tuvastamaks võimalikult objektiivselt hinnatavate jälgedega relva. Katselaskude ühetaolisuse (käesolev töö, lk 49) tagamiseks tehakse need mitte käest, vaid relvahoidikust. Kuulide püüdmiseks valiti veega täidetud paak, kuna Gerules, *et al.* uuringus väideti, et see tagab kuulide võimalikult vähese deformatsiooni (Gerules, *et al.*, 2013, p. 239). Eksperimendi disainis on sisemise valiidsuse tagamisel oluline roll. Selle magistr töö vastavad vasted eksperimendi sisemist valiidsust mõjutavale ajaloole ja „küpsemisele“ (käesolev töö, lk 36) on relva loomulik **kulumine** (Montgomery, 1983; Chung & Oh, 2003; Feng, *et al.*, 2016; Ma, 2018; Shen, *et al.*, 2019; Zelenko, *et al.*, 2010) katselaskude käigus ja sellest tulenev **jälgede** progresseeruv **muutumine**. Relva kulumise mõju ühtlustamiseks kasutatakse selles magistr töö katsegruppide objektide eesmärgipärast jadasse jagamist ja ajaloo aspekti kohta on Campbell ja Stanley öelnud, et faktor on kontrolli all, kui objektile 1 mõjuv aeg on võrreldav objektile *n* mõjunud ajaga (Campbell & Stanley, 1963, pp. 13-14). Kuna uuringu katselaskude jada kestvus on mõõdetav tundidega, saab selle tingimuse lugeda täidetuks.

Töö teoreetilises osas käsitletud varasemaid uuringuid analüüsid leiti järgmised autorite poolt oluliseks peetud ja välja toodud spetsiifilised laskekatsede käigus **kontrollimist vajavad parameetrid**:

- laskekatsede viisi ühetaolisus – kahes (Zhang & Luo, 2018; De Smet, *et al.*, 2008) uuringus toodi välja, et jälgi võib mõjutada lasu tegemise viis.
- relva mudeli põhjendatud valik – ühes (Chu, *et al.*, 2010a) uuringus toodi välja, et relv on otstarbekas valida kontekstis tüüpiline ja ilma jälgi raskendavate omadusteta.
- relva valik selle seisundi kontekstis - Li, *et al.* uuringus toodi välja, et kui kulumise mõju uurimine ei ole eesmärk omaette, tuleb katselaske teha relvast, mille relvaraud on võimalikult vähe kulunud (Li, *et al.*, 2020).
- relva puhastamine – kahes uuringus (Zhang, *et al.*, 2017; Kirk, *et al.*, 2017) kirjeldati, et katsede käigus relva ei puhastatud; ühes (Baldwin, *et al.*, 2014) nimetati puhastamise intervallina 400 lasku.
- laskemoona tootja valik – kahes (Saribey, *et al.*, 2009; Nennstiel & Rahm, 2006) uuringus nimetati laskemoona tootjat kui võimalikku jälgede muutuse allikat.
- laskemoona kuuli omaduste põhjendatud valik – mitmes uuringus (Li, 2006; Bernard, 2005; Chen, *et al.*, 2020; De Kinder & Bonfanti, 1999; Werner, *et al.*, 2018; Collender, *et al.*, 2016) olid detailselt kirjeldatud kuuli parameetrid, millest järeldub, et kuuli parameetrite teadlik valik on oluline.

Loetletud parameetrid võetakse praktilist katset läbi viies tähelepanu alla, kuna neid aspekte on varasemates uuringutes olulisteks peetud. Nii väljendab katse disain kõige paremini valdkonna teadustöodes realselt oluliseks peetud aspekte.

Järgmises alajaotuses jätkatakse katselaskele järgneva võrdlusetapi meetoodika kirjeldamisega.

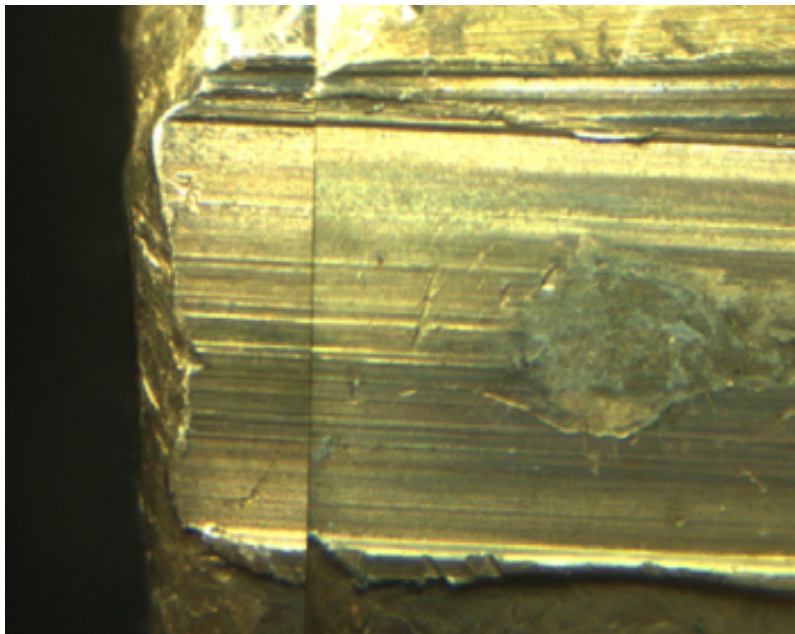
2.1.3. Kuulil olevate jälgede mõõtmise meetoodika ja protsess

Alajaotuses selgitatakse mikroskoobivõrdluste tegemiseks valitud meetodeid ja töövõtteid.

Kahes varasemaid uuringuid tutvustavas alapeatükis käsitletud töid analüüsid leiti järgmised valdkonnaspetsiifilised **võrdlusuuringute tegemise põhimõtted**:

- võrdluseks kasutatakse relvaraua vindiväljade jälgi kuulil, kuna nendes on väidetavalt vähem relvaraua soonte lõikamise tööriistade tekitatud segavaid jälgi (Howitt, *et al.*, 2008; Howitt, 2016; Chu, *et al.*, 2010a).
- kokkulangevuse määra hindamisel kasutatakse vindiväljade jälgede laiust kuulil, kuna see on parameeter, mida saab pidada püsivaks ja mis ei muutu sõltuvalt pihtamislaengu materjalist ja kuuli rauaõõnde sobivuse täpsusest (Chu, *et al.*, 2010a).
- olulise ajasäästu saavutamiseks padrunid eelorienteeritakse vindivälja jälgede abil ja tähistatakse vastavalt (Howitt, *et al.*, 2008; Booker, 1980); võrdlusuuringu piirkonnaks kasutatakse tüüpnaite eeskujul kuuli põhjaosa piirkonda (joonis 4).
- CMS meetodi (käesolev töö, lk 26) eeskujul kasutatakse ühtivate alade pikkuse mõõtmist, mida loetakse toimivaks ja kvaliteetseks praktikaks.

Kuulidele tekivad lasu tulemusel relva rauaõõne **vindiväljade jäljed**, mis on visuaalselt vaadeldavad kui kriimustuste vöödid (joonis 4). Lisatud fotol on näitena kujutatud üht kokkulangevat vindivälja jälge.

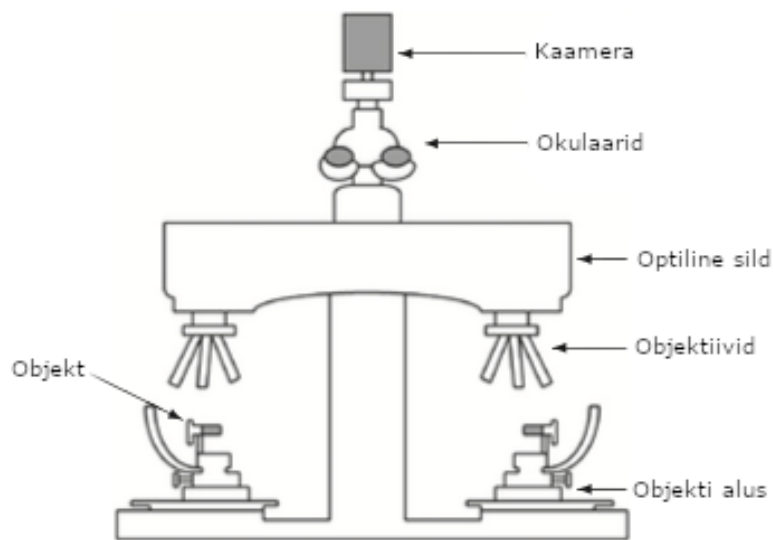


Joonis 4. Vindivälja jälje võrdlus kahe kuuli jälje ühitamisega (Carroll, 2018, p. 251 – kadreeringut muudetud magistritöö autori poolt)

Kuulidele kujunenud jälgede kokkulangevuse määra hindamisel tuleb uuritavad kuulid kõigepealt orienteerida nii, et võrreldes vaadeldakse mõlemal kuulil relvaraua sama vindivälja poolt jäetud soont. Booker on oma 1980-ndal aastal tehtud kahjustatud kuulide võrdlust käsitlevas uuringus väitnud, et selline võrdlusele eelnev orienteerimine on väga aeganõudev

ning soovitanud selle vältimiseks kuulid enne võrdlusmikroskoobi alla panekut märgistada (Booker, 1980, pp. 158-159), mis tagab, et võrreldakse sama vindivälja jälgi. Nii hoitakse kokku aega ja välistatakse võimalus, et võrreldakse jälgi, mis ei peaks kokku langema, kuid on relva eripäradest tingituna sarnased.

Bookeri uuringu eeskujul märgistati ka kõik selle magistritöö katsetes kasutatud padrunid nii nende kestale kui kuuli tipuosale padrundi pikitelje suhtes ühele joonele tehtud tähisega. Orientatsioonitähised aitasid padrunit ettevalmistavas etapis avades ja taaskoostades säilitada kuuli algset orientatsiooni kesta suhtes. Samuti aitavad need laske tehes orienteerida kõik katsete padrunid relva padrunitessa pannes ühetaoliselt, mis tagab, et vindivälja jäljed kujunevad kuulidele tähise suhtes sama orientatsiooniga ning kõik kuulid pannakse võrdlusmikroskoobi alla samas asendis. Kuulil olevaid vindivälja jälgi numereeritakse dokumenteerides järgnevalt: kuuli põhja poolt vaadates on tähisest paremal olev jälg numbriga 1 ja sellest edasi päripäeva kasvavas järjestuses.



Joonis 5. Võrdlusmikroskoobi ehitus (Gerules, et al., 2013, p. 239 – tõlgitud autori poolt)

Kuulidel olevate jälgede väiksuse tõttu (tüüpiline ühe jäljesoone laius 1-2 mm – autori märkus) kasutatakse nende võrdlevaks vaatlemiseks **võrdlusmikroskoopi**, mis võimaldab okulaaridest paistvat kujutist jagada kaheks ning seeläbi korraga vaadelda kahte objekti (joonis 4 ja joonis 5). Viidatud tüüpnäite fotol on kuulide põhi vasakul, mis näitab, et tüüpiliselt kasutatakse selliste võrdluste puhul ühitamise piirkonnaks kuuli põhja lähedal asuvat piirkonda. Foto vasakus kolmandikus nähtav vertikaalne must joon on kahe kuuli piirjooneks – joonest vasakul

on vasakpoolse kuuli kujutis ja joonest paremal parempoolse kuuli kujutis. Soones nähtavad reljeefsed rõhtsad kriimustused mõlemal pool vertikaalset piirjoont on individuaalsed **tunnused, mida kasutatakse võrdlusuuringul** otsuse langetamisel (Carroll, 2018, pp. 250-251).

Hamby, *et al.* (Hamby, *et al.*, 2009, p. 99) selgitavad, et selline võrdlusuuring vajab õigeks tõlgendamiseks oskusi, mistõttu on suuresti subjektiivne. Meetodi alus põhineb järjestikuste ühtivate joonte põhimõttel, mis on juba pikka aega (sageli viidatud esimene teadusartikkel 1950-ndatest – autori märkus) olnud tööriistajälgede (sealhulgas relva jäljed kuulidel) võrdlusuuringute aluseks (Chu, *et al.*, 2013; Petraco, *et al.*, 2012).

Kvantitatiivse eksperimendi jaoks tuleb andmed saada arvkujule, millest tulenevalt valitakse mõõtmise vahendid, mis võimaldaks uuringu aluseks olevat abstraktset ideed siduda konkreetsete ja üheselt mõistetavate andmetega (Neuman, 2014, p. 204). Magistritöö autor soovis töö katsetes subjektiivsust võimalikult suurel määral vältida, võimaldamaks töö katseid soovi korral korrata ka uurijatel, kes ei tunne kohtuekspertiisi võrdlusuuringu meetodeid ega oma vastavat kogemust. Kuna hoolimata mitmetest ettepanekutest ei eksisteeri endiselt objektiivset standardmeetodit võrdlusekspertiisi kokkulangevuse määra väljendamiseks (Petraco, *et al.*, 2012, p. 2; Riva & Champod, 2014, p. 637; Howitt, *et al.*, 2008), kasutatakse selles magistritöös objektide kirjeldusel ja võrdlusuuringutes eksperimendi meetodi puhul eelistatud (Fisher, 1935, p. 108) klassikalist pikkuse mõõtmist.

Pakendid katsekuulidega jagatakse katselaskmise järel nende pakendil oleva grupi nime põhjal katsegruppidesse. Magistritöös loetletud järjekorras tehakse kontroll- ja katsegruppidega võrdlusuuringud (käesolev töö, lk 44, 46). Iga grupi esimese kuuliga võrreldakse kõiki sama grupi ülejäänud kuule. Jälgede mõõtmise ühetaolisuse tagamiseks paigutatakse vertikaalne piirjoon mõlemal kuulil tüüpnaidise eeskujul (käesolev töö, lk 50) kuuli põhjaosa lähedale. Katses kasutatud relv jätab kuuli põhja lähedusse liivakella meenutava kujuga jäljevöö, mistõttu orienteeritakse võimalikult objektiivse tulemuse saavutamiseks soonte jälgede ühitamise koht kõikide võrdlusuuringute puhul selle vöö keskossa. Mikroskoobi aluste valgustus seatakse paika esimese võrdlusuuringu käigus ja selle asendit ei muudeta kogu võrdlusuuringu vältel – peegelduste kõrvaldamiseks reguleeritakse vajadusel vaid selle intensiivsust. Nii on tagatud kõikide võrdlusuuringute ühetaolisus, mis omakorda aitab tagada sisemist valiidsust.

Võrdlusmikroskoobiga mõõdetakse vindiälja jälgede laius (kasutatud relval 1,94 mm – autori märkus), mis esindab ühe jälje suurimat võimalikku kokkulangeva ala pikkust ja mis kantakse Exceli andmetabelisse. Võrdlusuuringuid tehakse jälgedega järjestuses 1...6 (käesolev töö, lk 51) ja kuulidel olevate vindiälja jälgede kokkulangev osa piki vertikaalset ühendusjoont dokumenteeritakse millimeetermõõtmisega täpsusega kaks kohta peale koma (0,01 mm). Iga jälje kõikide kokkulangevate lõikude pikkused kantakse Exceli andmetabelisse, kus tabelarvutusprogrammis toimuvad eelkoostatud valemite alusel reaajas arvutused (tabel 4). Ühe jälje kokkulangevate lõikude pikkused liidetakse ja teisendatakse protsendiks jälje laiusest. Kuuli kõikide vintsoonte protsentide summa on kuuli üldine kokkulangevuse määr, mida väljendatakse skaalal 0-600.

Tabel 4. Võrdlusuuringute tulemuste tabeli näitlikustav väljavõte (autori koostatud)

Kuuli soone üldlaius 1,94 mm	1. jälje kokkulangevad lõigud mm				1. jälg kokku mm	1. jälje kokkulangevuse määr soone laiusest %
Grupi nimi ja padruni jrk nr grupis					=SUM (kõik lõigud)	=lõikude SUM*100/ 1,94)
KATA10	0,25	0,46	0,34		1,05	54,12
KATA11	0,22	0,45	0,23		0,90	46,39
KATA12	0,13	0,24	0,55	0,24	1,16	59,79
KATA13	0,15	0,52	0,14	0,20	1,01	52,06

Peale kõikide gruppide võrdlusuuringute tegemist ja Exceli tablisse kandmist tehakse vigade leidmiseks andmeväljadele erinevad loogikakontrollid – mõned näited: kõikides järgarvudega veergudes peavad kõik arvud olema ühekordselt, üheski arvuveerus ei tohi olla tähemärke, lõikude kokkulangevuste määra lahtri väärtus peab olema vahemikus 0-600 jms. Lõplik kokkulangevuse määr ümardatakse täisarvuks. Peale sellist kvaliteedikontrolli ja andete korrastamist eesmärgipärasele kujule on andmestik valmis edasiseks analüüsiks.

Järgnevas alajaotuses kirjeldatakse katselaskmise käiku.

2.1.4. Katselaskmiste protsess

Töö selles osas kirjeldatakse padrunite lasujärjestuse määramist, relva ja laskude tegemist.

Objektide järjestuse määramisel katselaskude üldises jadas tuleb võtta arvesse, et relv määrdub ja soojeneb peale igat lasku ning selle rauaõone seinte jälgi jätvad pinnad kuluvad ja muutuvad vähesel määral progresseeruvalt (käesolev töö, lk 48) – nende tegurite mõju ja ühtlustamist tuleb katselaskude tegemisel sisemise valiidsuse saavutamiseks arvestada. Kuna

püstoli puhastamise osas tehakse katse suhteliselt piiratud mahtu arvestades tõenäoliselt ainuvõimalik valik püstol puhastada ainult enne katsete algust, ei teki selle teguri mõjus suuri muutusi, vaid eksisteerib progresseeruvalt kasvav mõju läbi kogu katseseeria. Püstoli soojenemise mõju ühtlustatakse ettevalmistava grupi kasutamise ja laskude tegemise rutiiniga - laskude vahe hoitakse mõõdetult ühtlasena. Relva kulumist kompenseerida ei ole võimalik, kuid on võimalik seda tegurit arvestada padrunit üldisesse laskude jadasse jaotamisel.

Eksperimenti üldises teoorias nenditakse, et ajaloo ja küpsemise kontrolli all hoidmine luhtub, kui terve katsegrupp osaleb katses enne kontrollgruppi, ja soovitatakse katsete järejestust juhuslikustada nii, et mõlemad nimetatud tegurid mõjuvad kogu katse vältel ühtlaselt (Campbell & Stanley, 1963, p. 14). Seega otsustas magistr töö autor jagada kõikide katsegruppide padrunit korrapärasesse ja eesmärgipärase sammuga segatud jadasse (tabel 5). Nii mõjutavad relva progresseeruv kulumine ja määrdumine kõiki katsegruppe ühetaoliselt. Selleks dokumenteeritakse gruppide koosseisud padrunit numbrite alusel ja pakenditele kantakse grupi nimi ja padrunit järjekorranumber grupis (KatA1, KatA2 jne – autori märkus). Grupi nime ja grupi järjekorranumbri järgi sorteeritakse kõik 130 padrunit laskude jadas vajalikku vahelduvjärjestusse (tabel 5) ja pakenditele kirjutatakse lasu järjekorranumber.

Et tagada kogu katselaskude jadale ühesugused tingimused (käesolev töö, lk 41), tehakse katselasud ühe katkematu jadana EKEI lasulaboris, kus on ühtlane õhutemperatuur, -niiskus ja -vahetus. Laskude vahel hoitakse 3-minutilist intervalli, mille pikkus valiti eelkatsete käigus eeldusega, et see peab võimaldama rahulikus tempos läbida kõik ühe lasu protseduurid.

Tabel 5. Laskude jada kujunemine gruppidest (esitatud osaliselt; autori koostatud)

Grupi nimi	Lasu järjekorranumber katselaskude jadas 1-130					
	1 ... 10					
KontA	11	17	23	29	...	125
KontB	12	18	24	30	...	126
KatA	13	19	25	31	...	127
KatB	14	20	26	32	...	128
KatC	15	21	27	33	...	129
KatD	16	22	28	34	...	130

Intervalle jälgitakse treeningtarkvara intervalltreeningu funktsionaalsusega, mis annab uuringu tegijale helisignaali märku määratud intervalli möödumisest ja teadustab järgmise intervalli

järjekorranumbri. Katselaskude tegemise ajaks valiti periood, kus laborit ei kasuta keegi peale katse tegija, mis minimeerib ootamatute kõrvalmõjude, nagu lasujada sunnitud katkestus, keskkonnatingimuste järsk muutus jms, esinemise riski. Varasematest uuringutest tuletatud vajadus **ühtlustada laskekatse viis** (käesolev töö, lk 49) täidetakse otsusega, et katselaske ei tehta käest, vaid relvahoidikust. Püstol kinnitatakse spetsiaalsesse jäiga konstruktsiooniga hoidikusse ja lasu ühetaoline asend tagatakse relvaraua joondamisega veepaagi ava alumise seinaga – joondust kontrollitakse iga lasu eel. Selliste protseduuridega on ühtlased keskkonnatingimused tagatud.

Valitud **relv** on 9x19 mm kaliibriline poolautomaatne püstol Beretta 92S, mille relvarauas on 6 parempidist löigatud vintsoont (Bolton-King, 2017, p. 226). Püstol ja selle padrunisalv puhastati enne katselaskude algust ja kuna laskude üldarv jäi alla ühes uuringus nimetatud 400 lasu piiri (käesolev töö, lk 18, 49), seda katse käigus ei puhastatud. **Laskemoonaks** valiti töös eelnevalt kirjeldatud põhjustel (käesolev töö, lk 42) tootja Fiocchi Munizioni SPA (Fiocchi Munizioni SPA, 2021) poolt valmistatud padrunimudel tootja tähistusega „9 Luger FMJ“, millel on täismantelkuul ja mida toodetakse kahe kuuli massiga. Hoidikusse kinnitatud relva sisestatakse tühi padrunisalv, mis jääb relva katsete lõpuni. Salve olemasolu tagab kelgu lukustumise tagumisse asendisse peale igat lasku, mis võimaldab püstolil laskude vahel jahtuda ning tagab vaba ligipääsu padrunipesale, võimaldades padrunit sisestades tähise (käesolev töö, lk 51) järgi orienteerida. Püstoli kaitseriiv rakendatakse laadija ohutuse tagamiseks alati enne padruni pessa paigutamist ja kelgu eesmisesse asendisse laskmist, misjärel see uuesti vabastatakse. Relva päästetakse distantsilt orgaanilisest klaasist visiiri tagant, kusjuures katse tegija kannab nägemis- ja kuulmiskaitset. Katsepadrunit pakendid laotatakse enne katsete algust nende lasujärjestusele vastavasse jadasse labori põrandale. Iga lasu eel avatakse üks pakend, laetakse selles olnud padruniga relv ja tehakse lask. Peale lasku võetakse üles padrunikest, eemaldatakse kuulipüüdjast kuul, kuivatatakse see ja asetatakse koos kestaga vastava pakendi peale kuivama. Rutiini korratakse, kuni kogu laskude jada on läbitud. Kõikide laskude järel **pakitakse iga lasu kuul ja kest** oma pakendisse tagasi ja pakendid grupeeritakse järgnevas võrdlusuuringu etapiks oma katsegrupi nime järgi. Pakkimise ajal hinnatakse katselaskude objektide vigastusi ja võrdluskõlblikkust.

Järgmises alajaotuses kirjeldatakse kogutud andmete analüüsimiseks kasutatud meetodeid ja vahendeid.

2.1.5. Andmeanalüüsi põhimõtted ja meetodid

Kvantitatiivse uuringu üheks põhiomaduseks on see, et andmete tõlgendamiseks kasutatakse statistilisi meetodeid, mis eeldab analüüsitava andmestiku saamist **arvandmete** kujule. Nii on tagatud objektiivsus valdkonna uuritavate nähtuste suhtes. Analüüsi hõlbustamiseks kasutatakse ka tulemuste ja tõlgendamise esitlemiseks struktureeritud standardseid väljundeid. (Mertler, 2018, p. 109) Kuna kõikide eelkirjeldatud etappide käigus kogutud andmed dokumenteeriti arvandmetena, ei ole nende konverteerimine vajalik. Kasutatud mõõtevahendite (käesolev töö, lk 43) täpsusklasside valiku tõttu puudub ka vajadus andmete ümardamiseks.

Nullhüpootees (Fisher, 1935, pp. 18, 40), mille suhtes otsitava mõju olemasolu ja määra arvutatakse, on antud töös seisukoht, et manipuleeritud uurimismuutujatega gruppide kuulidel olevad jäljed ei erine ei manipuleerimata kontrollgruppide jälgedest ega gruppide vahel ehk siis padruni omadustel ei ole kuulile jäävatele jälgedele mitte mingit mõju. Et seda hüpooteesi testida, tuleb saada katse erinevaid gruppe iseloomustavad arvnäitajad, mille abil hüpooteesi paikapidavust testida. Arvnäitajatega tehtavat analüüsi jagatakse kirjeldavaks ja järelduslikuks statistikaks (Neuman, 2014, p. 396, käesolev töö, lk 39) – põhimõtet kasutatakse kas selles töös.

Kasutatud objektide iseloomustamiseks ja järeldusliku statistika meetodite eesmärgipäraseks valikuks tehakse laskmise tulemusel saadud kuulide võrdluste tulemuste kohta ettevalmistavad statistilised arvutused kirjeldava statistika vahendeid kasutades. Kirjeldav statistika annab võimaluse kontrollida valimi objektide normaaljaotusele vastavust ning saada eksperimendi gruppe omavahel võrrelda võimaldavad arvandmed – nende põhjal saab eeldatavasti vastata töö uurimisküsimusele, kas padruni omadused mõjutavad jälgi kuulil. **Kirjeldava statistika** eesmärgiks on lihtsate mustrite tuvastamine ja näitamine andmestikus (Neuman, 2014, p. 396). Selles töös kasutatakse selleks uurimisobjektide füüsilisi parameetreid, mis mõõdeti enne katsete alustamist eesmärgiga iseloomustada populatsiooni ning objekte ja saada referentsväärtused edasiste otsuste tegemiseks. Kuna kõikide 130 padruni kohta on tänu valitud uuringudisainile (käesolev töö, lk 44) olemas nende üldpikkus, kasutatakse seda objektide normaaljaotuse kontrolliks, mis iseloomustab padrunit üldise koostekvaliteedi kaudu populatsiooni ühetaolisust. Viimane pakub taustainfot populatsiooni kohta ja aitab seeläbi tagada välist valiidsust. Levinud kirjeldava statistika arvutused on ulatus (väärtuste hajuvuse näitaja – autori märkus) ja kolm andmete keskmise väärtuse näitajat: mood (tunnuse kõige sagedamini esinev väärtus – autori märkus), mediaan (arv, millest suuremaid ja väiksemaid on jadas ühepalju – autori märkus) ja keskvärtus (tunnuste väärtuste aritmeetiline keskmine –

autori märkus) koos standardveaga (valimi keskmise sarnasus populatsiooni keskmisega – autori märkus), mida kasutatakse ka selles töös. Kui nimetatud kolm andmete keskmise väärtuse näitajat on võrdsed, on andmed, mille kohta need arvutati, normaaljaotusega (Neuman, 2014, p. 399).

Järgmise etapina kasutatav järelduslik statistika võimaldab leida katse gruppides kasutatud uurimismuutujate kombinatsioonide seoseid võrdlusuuringute tulemusel saadud kokkulangevuse keskmiste määradega. **Järeldusliku statistika** eesmärgiks on juhusliku valimi baasil teha tõenäosusarvutustega järeldusi valimis avastatud seaduspärade kehtivuse osas esindatavas populatsioonis (Neuman, 2014, p. 422). Selles töös kasutatakse selliseid meetodeid nullhüpoteesi kehtivuse kontrollimiseks koos seose tõenäosuse arvutamisega padrundi omaduste ja kuulile kujunenud jälgede vahel. Kuna selle magistritöö katsete grupid on suhteliselt väikesearvulised, tuleb statistilisi meetodeid valida eesmärgipäraselt, et objektide arv ei kallutaks tulemusi. Selleks tuleb sisustada mõiste „väikesearvuline“. Näiteks biostatistikas loetakse väikesearvuliseks katseid, kus objekte on 10 või isegi 6 (Morgan, 2017, pp. L873-L874) ja alles selle lävendi ületamisel soovitatakse katset tõlgendada kui väikesearvulist. Selles töös on objektide arv siiski märgatavalt suurem, mistõttu saab kasutada normaalsuuruses valimitega töötavaid statistilisi meetodeid. Kummagi uurimismuutuja seose olemasolu ja tõenäosuse analüüsiks kasutatakse **mitmest lineaarset regressioonivõrrandit**, millega arvutatakse kummagi uurimismuutuja mõju suurus kokkulangevuse määrale ja selle usaldusväärsus. Statistilist olulisust hinnatakse 95-protsendilise usaldusnivooga. Tuvastamaks muutujate kombinatsioonide mõju, lisatakse võrrandile muutujate **interaktsioonimuutuja**, mis arvutatakse sõltumatute muutujate binaarsete väärtuste korrutisena ja on seetõttu ka ise lihtsalt tõlgendatava väärtusega „1“ või „0“. Töös kasutatud mitmese lineaarse regressiooni mudelit väljendatakse valemiga (mõlemad valemid kohandatud selles töös kasutatud kahele sõltumatule muutujale – autori märkus):

$$\hat{y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (1)$$

ja lisatud interaktsioonimuutuja puhul valemiga

$$\hat{y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_2 \quad (2)$$

kus y on sõltuv muutuja, a on vabaliige, X_1 on esimene sõltumatu muutuja ehk püssirohu mass, X_2 on teine sõltumatu muutuja ehk kuuli mass ja X_1X_2 on interaktsioonimuutuja.

Lineaarse regressiooni mudeli koefitsiendid arvutatakse vähimruutude meetodil ehk mudeli muutujate seost näitavate andmepunktide kogumit esindab selline sirgjoon, mille suhtes kõikide üksikute andmepunktide Y-telje suunaliste kauguste ruutude summa on vähim võimalik.

Regressioonanalüüsi tulemuste üldistamiseks kontrollitakse ka selle olulisi eelduseid: heteroskedastiivsuse esinemist, multikollineaarsuse esinemist ja mudeli jääkliikmete normaaljaotust. Kõikide testide tegemiseks kasutatakse vabavara Gretl. Heteroskedastiivsuse testiks kasutatakse jääkliikmete visualiseerimist graafikuna. Kollineaarsuse diagnostikaks kasutatakse Belsley-Kuh-Welsch'i testi. Mudeli jääkliikmete normaaljaotuse testimiseks kasutatakse Doornik-Hanseni testi nullhüpoteesiga, et jääkliiked alluvad normaaljaotusele.

Andmete analüüsiks kasutatakse Microsoft Office paketti kuuluvat Excel tabelarvutusprogrammi (Microsoft, 2021) koos selle statistika mooduliga ning vabavaralist paketti Gretl (Sourceforge, 2021).

2.1.6. Eetilised ja vormilised küsimused

Magistritöö haakub ühiskonnas mitme tundliku ja avalikkuse jaoks olulise teemaga – kuritegevus, selle ohjamine, lahenduste ja tulemuste leidmine ja vormistamine, seonduva avaliku teenuse pakkumine efektiivsel ja tulemuslikul viisil jne. Ressurss, mida selle magistritöö tegemisel kasutatakse, on ootuslikul tasemel nõ ühisomand – riigile kuuluvad vahendid ja tööruumid ning riigi palgal oleva töötaja aeg. Magistritöö tulemused ja kaasnevad järeldused võivad aktiivselt mõjutada ja muuta teoreetilist suundumust, viisi või kiirust, millega kohtuekspertiisi ballistika praktika Eestis jätkub. Magistritöö autor tunnetab praktiseeriva kohtuekspertina täiel määral magistritöö tegemise ja järelduste formuleerimise juures vaikimisi eeldatavat rõhutatud objektiivsust, enesekriitilisust, põhjendatust ja igakülgust ning:

- tõlgendab uuringuid neutraalselt ja võrdselt;
- järgib katseseeriade käigus kvaliteetse teadustöö põhimõtteid: korratavus, jälgitavus, objektiivsus, läbipaistvus, kriitilisus;
- jälgib, et järeldused vastaksid heale akadeemilisele tavale ja oleks: põhjendatud, kaalutud, kooskõlas magistritöö sõnastatud eesmärkide ja raamidega.

Magistritöö katsete tegemiseks kasutatud ressursside maht on kooskõlastatud nende valdaja esindaja Eesti Kohtuekspertiisi Instituudi tehnikaosakonna juhiga.

2.2. Tulemused

2.2.1. Andmete ettevalmistamine

Käesoleva töö alajaotuses 2.1.5 on kirjeldatud meetoodika ja põhimõtted, millele tuginedes andmeanalüüsi tehakse. Suur osa andmetest on katsete järel olemas vajalikus formaadis andmestikuna. Osa andmetest tuleb omavahel kombineerida, et saada edasisteks otsusteks või analüüsi etappideks vajalikku algmaterjali.

Padrunite üldpikkus ning kuuli ja püssirohu mass on arvandmetena dokumenteeritud. Nende andmetega massiivi tuleb sorteerida nii, et vastavalt vajadusele eralduks kas vajaliku kuuli massiga alagruppi või vajalikku katsegruppi kuuluvad kuulid. Võrdlusuuringute tulemusel on dokumenteeritud referentsväärtusena kasutatav vindivälja laius kuulil – 1,94 mm (käesolev töö, lk 53). Automaatvalemitega on liidetud iga vintsoone kokkulangevad lõigud, arvatud nende protsentuaalne osakaal vindivälja laiusest ja liidetud kokku kõikide kuue vintsoone kokkulangevad osad, saamaks selle kuuli kokkulangevuse määra (käesolev töö, lk 53). Exceli andmetabelisse on lisatud fiktiivsed binaarsed muutujad, mis loodi katseobjekte iseloomustavate arvandmete põhjal töö autori poolt. Fiktiivsete muutujate väärtustega „0“ ehk väike või „1“ ehk suur väljendatakse kuuli või püssirohu massi väärtust diskreetse muutujana (käesolev töö, lk 43) ning veergu, milles on nimetatud diskreetsete väärtuste korrutis regressioonanalüüsi tegemiseks (käesolev töö, lk 57). Abiveergude lisamise järel on andmestik valmis statistiliste vahendite kasutamiseks. Edasise statistika paremaks jälgitavuseks koostati tabel, milles on näha tegevused kogu valimiga (tabel 6).

Tabel 6. Kogu katseseeria padrunite arv ja tegevused nendega (autori koostatud)

	Arv grupis			Püssirohu muudetud mass		Möödeti väärtus			Muudeti
	Kerge kuul	Raske kuul	Kokku	Väike	Suur	Üldpikkus	Kuuli mass	Püssirohu mass	Püssirohu mass
EG	5	5	10			jah	ei	ei	ei
KontA	10	10	20			jah	ei	ei	ei
KontB	10	10	20			jah	jah	jah	ei
KatA		20	20	jah		jah	jah	jah	jah
KatB		20	20		jah	jah	jah	jah	jah
KatC	20		20	jah		jah	jah	jah	jah
KatD	20		20		jah	jah	jah	jah	jah
KOKKU	65	65	130	2	2	7	5	5	4

2.2.2. Kirjeldav statistika

Valimi ja populatsiooni üldiseks iseloomustamiseks arvatati katsete kõikide **padrunite üldpikkuse** kohta keskväärtus koos standardveaga, mood, mediaan ja ulatus (tabel 7). Kuna need on vääruselt üksteisele väga lähedased, saab magistritöö autori arvates teaduskirjanduses toodud reeglipära alusel öelda, et katse juhuvalimi esindatud populatsiooni padrunid on normaaljaotusega (käesolev töö, lk 57), mis oli ka ootuspärane, sest padruni üldpikkus on standardne mõõt, mille kõikumine ühe tootja ja padrunimudeli raames näitaks koostekvaliteedi madalat taset.

Tabel 7. Kõikide 130 padruni üldpikkuse kirjeldav statistika (autori koostatud)

	Keskväärtus	Standardviga	Mood	Mediaan	Ulatus	Objekte
Üldpikkus	29,291	0,00493711	29,27	29,28	0,3	130

Kuuli massi osas otsustas magistritöö autor analoogset arvutuskäiku mitte teha, sest esiteks ei avatud kõiki padruneid ja teiseks selgus padrunite avamisel, et nende hermeetilisuse tagamiseks on tootja kuulid kesta suudmesse kinnitanud liimilaadse tardainega, mille jäägid jäid kuulide külge ebaühtlases koguses ja mõjutasid seetõttu kuuli massi. Nende jääkide eemaldamine ilma kuuli tüviosa kahjustamata ei olnud võimalik, mistõttu avatud padrunite kuuli massi küll mõõdeti ja dokumenteeriti, kuid selle arväärtuse põhjal statistilisi arvutusi ei tehtud.

Püssirohu massi mõõdeti kõikidel avatud padrunitel. Katsegrupi padrunitel seda hiljem ka muudeti, et saavutada soovitud suunas 5% nihe, mistõttu on nendel katses dokumenteeritud padrunitel kaks mõõdetud püssirohu massi väärtust – tehasekogus ja muudetud kogus. Populatsiooni padrunite kvaliteedi iseloomustamiseks arvatava normaaljaotuse kontrolliks kasutatakse püssirohu tehasekoguste arväärtuseid. Kuigi püssirohu massid olid mõlema kuuli massiga padrunitel väga sarnased, ei kohelda neid selles arvutuses siiski ühe suure valimina, vaid arvutatakse eraldi väikese ja suure massiga kuuliga padrunite tüüpilised kirjeldava statistika väärtused: keskväärtus koos standardveaga, mood, mediaan ja ulatus (tabel 8).

Tabel 8. Avatud 100 padruni tehase püssirohukoguse kirjeldav statistika (autori koostatud)

	Keskväärtus	Standardviga	Mood	Mediaan	Ulatus	Objekte
Kerge kuul	0,3322	0,0020462	0,34	0,33	0,07	50
Raske kuul	0,3246	0,00115033	0,32	0,32	0,03	50

Ka selle omaduse põhjal saab magistritöö autori arvates kolme keskmise väärtuse näitajat pidada mõlemal grupil piisavalt sarnaseks, et andmestikku lugeda normaaljaotusega olevaks. Siiski tuleb meeles pidada, et püssirohu kogusel põhineva arvutuskäigu aluseks ei ole kogu töö valim (käesolev töö, lk 59).

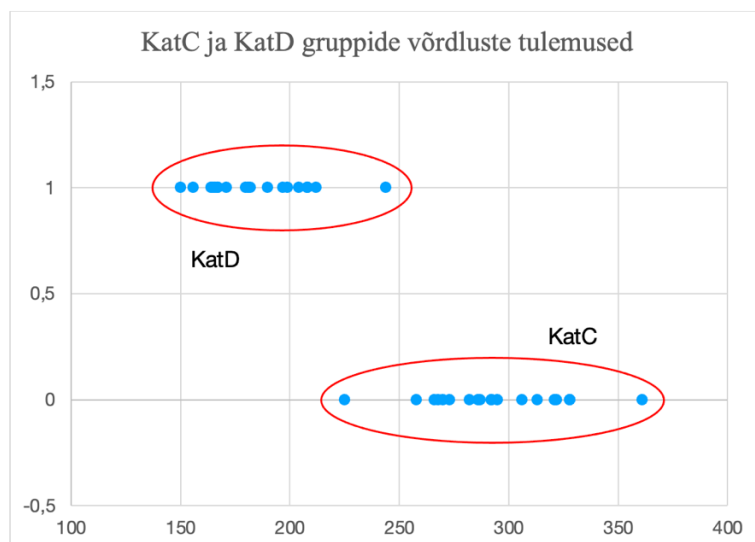
Kokkulangevuse määra osas arvutatakse välja tüüpilised kirjeldava statistika väärtused: keskväärtus koos standardveaga, mood, mediaan ja ulatus (tabel 9), eesmärgiga neid gruppide vahel võrrelda tendentside ja gruppide erinevuste tuvastamiseks.

Tabel 9. Gruppide kokkulangevuse määra kirjeldav statistika (autori koostatud)

	Keskväärtus	Standardviga	Mood	Mediaan	Ulatus	Võrdlusi
KontA	303,105263	7,59458669	N/A	307	122	19
KontB	328,157895	9,461297946	N/A	324	171	19
KatA	301,894737	7,176510879	292	303	131	19
KatB	166,947368	3,777026341	173	170	61	19
KatC	293,315789	7,175760298	292	292	136	19
KatD	184,789474	5,449169124	208	181	94	19

Kokkulangevuse määra andmetes on mitmeid väärtusi, millele tähelepanu pöörata. Kõigepealt on näha, et gruppide KontA ja KontB moodi ei olnud võimalik arvutada, kuna kõik grupi väärtused on unikaalsed. Selle selgitus on ilmselt selles, et mõlemas grupis on vaheldumisi võrdses koguses kerge ja raske kuuliga padrunid (käesolev töö, lk 44), mistõttu tõenäosus, et kokkulangevuse määrad on mitmel võrdlusel samased, on väike.

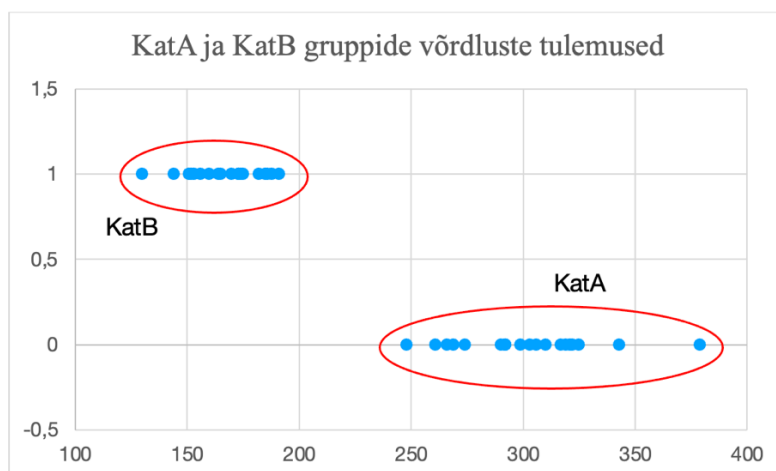
Olulisema seosena on tabelis väikese püssirohu kogusega grupid KatA ja KatC omavahel sarnased ning suure püssirohu kogusega grupid KatB ja KatD omavahel sarnased. Gruppide KatA ja KatC keskväärtused on ümardatult 302 ja 293 – mõlemad selgelt lähestikku. Samade gruppide ulatused on vastavalt 131 ja 136 – samuti lähestikku. Gruppide KatB ja KatD keskväärtused on ümardatult 167 ja 185, mis on küll suurema erinevusega kui eelkirjeldatud paaril, aga selgelt samas suurusjärgus. Nende gruppide ulatused on vastavalt 61 ja 94 – samuti suurusjärgult sarnased. Kirjeldatud tendentside paremaks illustreerimiseks kuvati kerge kuuli mõlema grupi (KatC ja KatD) võrdluste kokkulangevuse määrade väärtused koos püssirohu massi väärtusega ühele graafikule (vt joonis 6).



Joonis 6. Kerge kuuliga gruppide võrdluste tulemused (autori koostatud)

Raske kuuli mõlema grupi (KatA ja KatB) võrdluste kokkulangevuse määrade väärtused koos püssirohu massi väärtusega kuvati teisele graafikule (vt joonis 7).

Graafikute vertikaalteljel on diskreetsete muutujatena väärtusega „0-väike“ ja „1-suur“ väljendatud gruppide püssirohu kogust (käesolev töö, lk 46) ja horisontaalteljel kokkulangevuse määra skaalal 0-600. Erisus vertikaalteljel ei kannu endas mingit tendentsi, sest on osa katsete disainist, kuid kahte kogumisse koondumine horisontaalteljel saab sama kuuli massiga grupipaaride puhul olla põhjustatud ainult püssirohu massi erinevusest.



Joonis 7. Raske kuuliga gruppide võrdluste tulemused (autori koostatud)

Kokkuvõttes näitab kirjeldava statistika analüüs, et kõikide **padrunite üldpikkuse** ja avatud padrunite **püssirohu massi** põhjal (käesolev töö, lk 60) on tegemist normaaljaotusega andmetega, mis näitab esindatava populatsiooni padrunite head kvaliteeti. Padrunite üldpikkuse andmestik esindab juhuvalimit ja populatsiooni hästi ning usaldusväärselt, püssirohu massi andmestiku üldistusvõimalused on piiratumad ja omaduste üldistamist populatsioonile tuleks sõnastada tõenäolisena. **Kokkulangevuse määra** statistika analüüs (käesolev töö, lk 61) näitas selgelt esile kerkivaid tendentse. Väikese püssirohu kogusega katsegrupid KatA ja KatC ning suure püssirohu kogusega katsegrupid KatB ja KatD näitavad nimetatud paaridena omavahel selgelt sarnases vahemikus kokkulangevuse määra skooride keskväärtust ning ulatust. Kuna mõlemas grupipaaris on üks grupp kerge ja teine raske kuuliga, näitab see, et sama püssirohu koguse väärtusega gruppidel on hoolimata kuuli massi erinevusest sarnased kokkulangevuse skoorid. Sellist seost saab magistrیتöö autori hinnangul lugeda **tendentsiks**, mis näitab, et **püssirohu kogusel on selgelt väljendunud mõju kokkulangevuse määrale**.

2.2.3. Järelduslik statistika

Järeldusliku statistika meetodid võimaldavad leida muutujate mõju suurust ja usaldusväärsust ning üldistada valimi omadusi populatsioonile (käesolev töö, lk 57). Selles magistrیتöös on nullhüpotees sõnastatud kui väide, et padruni omaduste manipuleerimine ei avalda mingit mõju kuulile kujunevatele jälgedele. Eelmises alapeatükis käsitletud kirjeldav statistika tõi esile andmetes nähtavad seosed ja tendentsid, selles alajaotuses kasutatakse eelnevalt kirjeldatud regressioonanalüüsi (käesolev töö, lk 58) sõltumatute muutujate mõju arvutamiseks. Sõltumatuid muutujaid on selles töös kaks – kuuli mass ja püssirohu mass, millele lisatakse muutujate kombinatsiooni mõju näitamiseks interaktsioonimuutujana nende korrutis (käesolev töö, lk 57). Nii uurimismuutujaid kui nende korrutist kasutatakse regressioonanalüüsis binaarse väärtusega „0-väike“ või „1-suur“. Regressioonanalüüsi sõltuvaks muutujaks on kõikide nelja katsegrupi kuulidele kujunenud jälgede kokkulangevuse määra esindav skoor, mida kasutatakse kolmekohalise täisarvuna skaalal 0-600 (käesolev töö, lk 53). Regressioonanalüüse tehti kaks – ainult kahe uurimismuutujaga ning kahe uurimismuutuja ja nende korrutisena arvatud interaktsioonimuutujaga. Mõlema analüüsi ühised andmed on tabelis 10.

Kahe uurimismuutujaga ilma interaktsioonita regressioonanalüüsi üldandmed on tabelis 10 ja muutujate koefitsientide andmed tabelis 11. Mudeli determinatsioonikordaja R-ruudu väärtus on 0,84 ja parandatud determinatsioonikordaja väärtus 0,83. Mitmese regressiooni puhul näitab korrigeeritud determinatsioonikordaja lisandunud sõltumatu muutuja reaalsel mõju.

Tabel 10. Mõlema regressioonanalüüsi ühised andmed (autori koostatud)

	Ilma interaktsioonita mudel	Interaktsiooniga mudel
Objektide arv	76	76
R-ruut	0,84	0,85
Parandatud R-ruut	0,84	0,84
Standardviga	27,09	26,42

Harilik determinatsioonikordaja suureneb muutuja lisandudes mingil määral alati, kuid kui korrigeeritud determinatsioonikordaja seejuures oluliselt väheneb, näitab see, et lisatud muutuja mõju ei ole oluline. (Sõmer & Seppo, 2019, lk 9) Seega kui nende kahe näitaja väärtused on mitmeses regressioonivõrrandis väga lähedased, võib R-ruudu väärtust lugeda usaldusväärseks. Determinatsioonikordaja näitab oma mõlemas versioonis, kui suurt osa sõltuva muutuja varieeruvusest kirjeldavad esitatud mudeli sõltumatud muutujad – selle mudeli puhul on osakaal **84%**. Regressioonanalüüsi standardviga 27,0 on mudeli vea väärtus sõltuva muutuja ühikutes. Kuna uuringu katsegruppide kokkulangevuse keskväärtuste (käesolev töö, lk 61) keskväärtus on 237, on standardviga ligikaudu 10% kokkulangevuse määra.

Muutujate osalised mõjukoeffitsiendid (Johnson & Christensen, 2014, p. 501) näitavad kummagi sõltumatu muutuja ja nende kordaja mõju sõltuvale muutujale. Püsirohu massi koeffitsient -121,74 näitab, et massi ühe ühiku võrra suurenedes ja teise muutuja samaks jäädes väheneb kokkulangevuse määr -121,74 võrra. Kuna katses on rohu massil vaid kaks väärtust, siis saame seose sõnastada, et suure rohu massiga padrunite kokkulangevuse skoor on -121,74 võrra väiksem. Kuuli massi koeffitsient -4,63 näitab analoogselt, et suure kuuli massiga padrunite kokkulangevuse skoor on -4,63 võrra väiksem. Koeffitsientide väärtustest on näha, et **püsirohu massi mõju kokkulangevuse määrale on väga suur ja kuuli massi mõju väike.**

Tabel 11. Lineaarse regressioonanalüüsi tulemused ilma interaktsioonita (autori koostatud)

Sõltumatud muutujad	Koeffitsiendid (SE)	Usalduspiirid
Vabaliige	299,92 *** (5,38)	[289,19; 310,65]
Püsirohu mass	-121,74 *** (6,21)	[-134,12; -109,35]
Kuuli mass	-4,63 (6,21)	[-17,02; 7,75]

Selgitused: * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$; SE on standard error ehk standardviga

Tabelis 11 koeffitsiendi järele sulgudesse lisatud standardviga võimaldab koeffitsiendi reaalsel mõju täiendavalt hinnata – püsirohu massil on see vaid 5% koeffitsiendist, kuid kuuli massil ületab standardviga koeffitsiendi enda väärtust. Regressioonanalüüsiga arvutatav koeffitsiendi p-

väärtus näitab tõenäosust, et üldkogumi mudelis on koefitsiendi väärtus null – tabelis 11 esindavad p-väärtust tärnid koefitsiendi järel. Püssirohu koefitsient on tähistatud kolme tärniga ehk teisisõnu on selle usaldusväärsus vähemalt 5% olulisuse nivool kõrge, kuuli massi koefitsiendil tärnid puuduvad, mis näitab selle madalat usaldusväärust.

Kahe uurimismuutuja ja nende interaktsiooniga regressioonanalüüsi (vt tabel 12) tulemusi tõlgendades näeme, et mudeli üldised andmed (vt tabel 10) on sisuliselt samad, kuid märgatavad erinevused tekkisid muutujate koefitsientides. Interaktsioonimuutujaga mudelil tõlgendatakse eraldiseisvate muutujate mõju mudeli põhiefektina, millele lisandub interaktsioonimuutuja mõju juhul, kui viimane on sõltumatute muutujate korrutisena väärtuses „1“. Seega on mudeli suure püssirohu massi mõju ilma interaktsioonimuutuja mõjuta ehk väikese kuuli massi korral -108,53. Suure püssirohu massiga padrunit kokkulangevuse skoor on -108,53 võrra väiksem ja suure kuuli massiga padrunit kokkulangevuse skoor 8,58 võrra suurem. Seega on ka selle analüüsi kohaselt koefitsientide väärtustest näha, et **püssirohu massi mõju kokkulangevuse määrale on väga suur ja kuuli massi mõju väike**. Analoogselt eelmisele analüüsile standardviga hinnates on näha, et püssirohu massi viga tõusis 10%-ni koefitsiendist, kuid kuuli massil ületab standardviga endiselt koefitsiendi enda väärtust. Uurimismuutujate koefitsientide p-väärtuste tõlgendus jääb samaks – püssirohu koefitsiendi usaldusväärsus on vähemalt 5% olulisuse nivool kõrge, kuuli massi koefitsiendi usaldusväärsus on endiselt madal. **Kuuli massi mõju suuna muutus näitab lisaks selle standardveale kõrgele p-väärtusele, et selle muutuja mõju ei saa lugeda usaldusväärseks.**

Tabel 12. Lineaarse regressioonanalüüsi tulemused interaktsiooniga (autori koostatud)

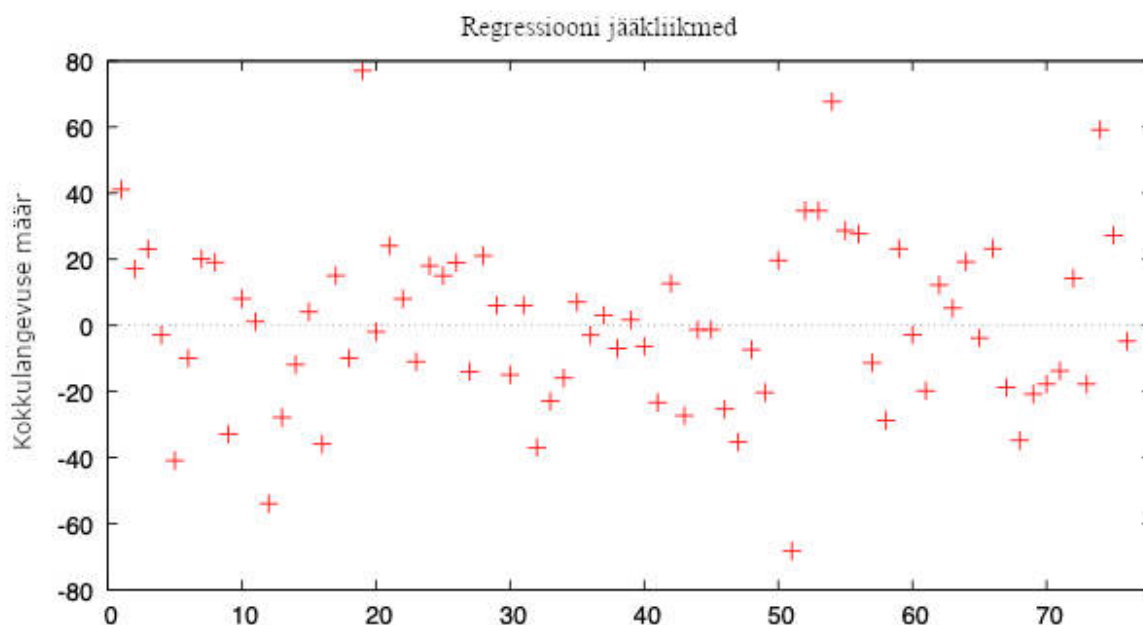
Sõltumatud muutujad	Koefitsendid (SE)	Usalduspiirid
Vabaliige	293,32 *** (7,18)	[279,01; 307,62]
Püssirohu mass	-108,53 *** (9,01)	[-126,49; -90,56]
Kuuli mass	8,58 (10,15)	[-11,65; 28,81]
Interaktsioonimuutuja (rohi x kuul)	-26,42 ** (12,10)	[-50,59]; [-2,26]

Selgitused: * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01; SE on standard error ehk standardviga

Teises analüüsis on ka kolmas muutuja – kahe uurimismuutuja korrutisena saadud interaktsioon. Interaktsioonimuutuja saab selles töös olla kas „1“ või „0“. Väärtusega „0“ saab see muutuja olla kolmel juhul – kui mõlema sõltumatu muutuja massid on väärtusega „0“ või kui ühe sõltumatu muutuja väärtus on „0“. Interaktsioonimuutuja väärtus „1“ väljendab mõlema sõltumatu muutuja väärtust „1“ ehk suure kuuli massi ja suure püssirohu massiga padruneid.

Seetõttu lisandub sõltumatu muutuja koefitsiendi väärtusele ka interaktsiooni koefitsiendi väärtus, mistõttu tuleb interaktsioonimuutuja suurenemist ühe võrra ehk väärtust „1“ tõlgendada nii: kui nii kuuli mass kui püssirohu mass on suured, muutub kokkulangevuse määra arvutuskäiguga $-108,53 - 26,42$ ehk püssirohu massi mõjule lisandub mõlema uurimusmuutuja raske staatuse kombinatsioonis täiendavalt $-26,42$. Sisuliselt on sellise variandi puhul tegemist ainsa uurimismuutujate kombinatsiooniga, mille puhul kuuli massi mõju esineb. Tõlgenduse sõnastuseks on seega, et suure kuuli massi ja suure püssirohu massi koosinemise korral on kokkulangevuse määra $-134,95$ võrra väiksem.

Regressioonanalüüsi osas tuleb selle tulemuste populatsioonile üldistamiseks kontrollida ka selle eelduseid – selleks kasutati eelnevalt kirjeldatud vahendeid (käesolev töö, lk 58) tarkvaraga Gretl. Esimeseks eelduseks on jääkliikmete normaaljaotusele vastavus, mida iseloomustab andmepunktide pilve tekitatav rõhtsa võõndi kuju. Nagu näha joonisel 8, moodustub valdavast enamusest andmepunktidest konstantset hajuvust kinnitav kuju, milles enamik jääb rõhtsa nulltelje lähedusse. Eksisteerivad üksikud äärmusliku väärtusega andmepunktid, kuid neid on vähe.



Joonis 8. Interaktasiooniga regressiooni jääkliikmete jaotuse graafik (autori koostatud)

Teiseks eelduseks on kollineaarsuse puudumine, mille osas Belsley-Kuh-Welsch'i test kinnitab, et seda mudeli sõltumatute muutujate vahel ülemääraselt ei esine. Kolmandaks eelduseks on jääkide normaaljaotus, mida testiti Doornik-Hansen'i testiga. Teststatistiku väärtus on 3,8 p-

väärtusega 0,15. Kuna p-väärtus on suur, ei lükata andmete normaaljaotust eeldavat nullhüpoteesi ümber ehk jäägid on normaaljaotusega.

Eelnevate kontrollide tulemusel vastab andmestik seega normaaljaotusele ja regressioonanalüüsi tulemusi saab esindatavale populatsioonile üldistada.

Kasutades regressioonvõrrandi arvutuskäiku (käesolev töö, lk 57), saaks arvutatud kolmest koefitsiendist välja arvutada ka kõikide muutujate kombinatsioonide mõju kokkulangevuse määrale. Näiteks suurendab suur kuuli mass kokkulangevuse määra 8,58 võrra, kuid samaaegse suure püssirohu massi korral tekkiva ühismõju arvutuskäik on 8,58-26,42, mis muudab mõju vastassuunaliseks. Olulisem on siinkohal järeldus, et kuuli massil üksiku muutujana statistiliselt usaldusväärset mõju ei ole, kuid see vähemalt teoreetilise arvutuskäigu mõttes tekib alati, kui samaaegselt on ka püssirohu mass suur.

Kokkuvõttes on regressioonanalüüsi tulemusel **tõendatud uurimismuutujate põhjuslik seos jälgedega kuulil ning on tõendatud püssirohu mõju jälgedele kuulil**. Sellega on püstitatud nullhüpotees ümber lükatud ja **tõendatud, et padruni valitud omadused omavad selget mõju kuulile jäävatele jälgedele**. Kuuli massi mõju osutus üksiku mõjurina väheseks ja vähetõenäoliseks, mistõttu otsustas magistr töö autor, et selle kasutamisel tõlgendamises oleks valede järelduste tegemise tõttu risk üldistamisele ehk välisele valiidsusele sedavõrd kõrge, et seda ei tehta.

2.3. Järeldused

2.3.1. Töö tulemuste seos varasemate uuringutega

Varasematest uuringutest saadi töös kahesugust sisendit – esiteks koondati eksperimendi disainiks vajalik teoreetiline baas ja teiseks saadi valdkonna seniste uuringute analüüsist padruni omadusi käsitlevate uuringute tulemused, millega saab võrrelda selle töö tulemusi ja luua neile konteksti.

Varasemate uuringute analüüsi tulemusel leidis magistr töö autor nii inim- kui masinotsusega tegelevates töödes viiteid padruni omaduste mõjust jälgedele (käesolev töö, lk 21, 31). Kõikide selliste uuringute ühiseks jooneks oli see, et nende peamised uurimiseesmärgid ei olnud seotud mitte padruni omadustega, vaid mõne muu kohtueksperimenti valdkonna küsimuse lahendamise, mistõttu padroneid käsitlevad aspektid on sõnastatud üldistuste ja tähelepanekutena. Lepiku, *et al.* järeldused, et padruni püssirohu osakeste omadused mõjutavad

tekkivaid ladestusi sihtmärgil (käesolev töö, lk 21) ning magistritöös selle alusel tehtud järeldus, et sellise väite aluseks olev püssirohu tekitatud surve muutus eeldatavasti mõjutab ka jälgi kuulil, leidsid selle magistritöoga selget kinnitust – püssirohu kogus mõjutab jälgi kuulil. Siiski jääb kehtima magistritöös tehtud järeldus, et Lepiku juhitud uurimusega sarnaselt üles ehitatud töödega kogutud kuule ei õnnestu padruni omaduste mõju uurivate töödega võrrelda, kuna tahma- ja püssirohuladestuste uurimiseks kasutatavate laskekatsete käigus ei saa kuule edasiseks uurimiseks ja võrdlemiseks koguda. Ka Jedlicka, *et al.* töö tulemusel sõnastatud järeldus, et padruni komponentidest mõjutavad püssirohu mass ja kuuli mass lasu käigus relvas tekkivat gaasisurvet (käesolev töö, lk 22), on analoogse seosega selle magistritöö mõttes. Nende tööst saab üldistavalt järeldada, et padruni omaduste muutumine mõjutab siseballistilisi omadusi ning nende kaudu ka jälgi kuulil, kuid ka Jedlicka, *et al.* uurimusega sarnaselt üles ehitatud tööde tulemusi ei õnnestu võrrelda padruni omaduste mõju uurivate töödega, kuna välisballistiliste omaduste uurimiseks kasutatavate katsete käigus ei ole võimalik kuule hilisemaks võrdlusuuringuks koguda. Masinuuringute algusperioodil leidsid De Kinder, *et al.* ning De Ceuster ja Dujardin ühena esimestest, et padruni omadustel on tajutav mõju jälgedele – küll on nende uuringutes jutt kestadest (käesolev töö, lk 31). Kuigi masinuuringutes räägitakse täpsemalt padruni erinevate osade omadustest kui mõju allikatest, on neist enamiku ühiseks jooneks hinnangu subjektiivsus ja pigem tunnetuslik kirjeldus mõju olemusest. Bernardi uuring on varasematest uuringutest ainus, milles padruni omaduste mõju väljendati koos usaldusnivoo kirjeldamisega (käesolev töö, lk 31) – samas on oluline erisus, et uuringus kasutati kokkulangevuse määra ja seega ka padruni omaduste mõju määratlemiseks võrdlussüsteemi ehk masinhindamist võrdlusalgoritmide abil. Sellise uurimuse väljundit on raske üldistada või tõlgendada väljaspoole uuringus kasutatud võrdlussüsteemi inforuumi. Kuna selliste võrdlussüsteemide tööpõhimõtteid kaitseb ärisaladus, ei saa siin töös nende mehhanismi kohta mingeid selgitusi anda, kuid igal juhul on selge, et need ei kasuta selles magistritöös rakendatud kokkulangevate osade pikkuse mõõtmist võrdlusmikroskoobi abil. Nennstiel ja Rahm kasutasid oma üldistavas uuringus samuti võrdlussüsteemi ja jõudsid järeldusele, et sama tootja laskemoona kasutades on võrdlusuuringu tulemused alati sarnasemad (käesolev töö, lk 32), kuid kuna nad laske ei teinud ja kasutasid politseitöoga kogutud lastud objektide massiivi filtreerimise tulemusi, saab nende tööd lugeda vaid sümptomeid selgitavaks metauuringuks ja tagantjärele põhjusliku seose järeldamiseks – nende algmaterjalist ei ole võimalik tuletada padruni omadusi, mis mõju omavad. De Smet, *et al.* uuringus otsiti kaudselt samuti padruni omaduste mõju (käesolev töö, lk 33), kuid eesmärgina üritati mõista, kas lasu viisi muutes

muutuvad tajutavalt ka jäljed. Ülejäänud uuringud võib kokku võtta kui passiivselt padruni omaduste mõju nentivad, ent seda mitte uurivad või täpsustavad tööd.

Kokkuvõttes saab välja tuua kaks olulist erisust selle töö ja varasemate uuringute vahel: **esiteks** ei ole varasemate tööde uurimiseesmärk autorile teadaolevalt üheski uuringus padruni omaduste põhjusliku mõju uurimine – see on **alati kaasnev järeldus või tähelepanek**; **teiseks** on kõikides sellistes uuringutes padruni omaduste mõju kajastavat kokkulangevuse määra kas **hinnatud masina abil**, mille tegelik toimemehhanism ei ole teada, **või inimese poolt tunnetuslikult** mingit arvuliselt väljendatavat skaalat kasutamata. Selle magistritöö eksperimendi selge eelis on kvantitatiivse uurimismeetodi ja hindamisvahendite kasutamine, mis võimaldas saada selgelt tõlgendatavad ja analüüsitavad arvandmed. Töö katsegruppide kokkulangevuse määra keskväärtuste keskmine oli 237 (käesolev töö, lk 64), mis annab konteksti erineva püssirohu massiga gruppide skooride vahel ilmnenu erinevusele – väikese püssirohu massiga gruppide keskväärtused olid 302 ja 293 ning suure püssirohu massiga gruppide keskväärtused 167 ja 185. Nii suur püssirohu massist tulenev erinevus katsegruppide vahel on ilmne põhjuslik seos ja näitab selle töö eksperimendi disaini eesmärgipärasust. Seda kinnitab ka regressioonanalüüsi püssirohu massi mõju tugevust näitav koefitsient (käesolev töö, lk 64), mis on sisuliselt 50% katsegruppide keskmisest kokkulangevuse määrast. Arvandmete saamist saab lugeda selle töö olulisimaks saavutuseks, kuna senised inimotsusel põhinevad uuringud on opereerinud vaid tunnetuslike hinnangutega.

Magistritöö peamiseks erinevuseks varasematest uuringutest ja tugevuseks on selle katse tegemiseks kasutatud kvantitatiivne lähenemine ja eksperimentaaluuringu meetod. Tulemusel saadi arvulised andmed, mida on kerge analüüsida, korrata ja edasistes uuringutes kasutada, kontrollides seejuures riske sisemisele ja välisele valiidsusele (käesolev töö, lk 40). Eksperimendi loomulikku tugevat sisemist valiidsust aitas tagada objektide rõhutatult ühetaoline ja rutiinne kohtlemine, täpne mõõtmine ja ettevaatlikkus tulemuste tõlgendamisel. Välise valiidsuse tagamiseks pöörati erilist tähelepanu katse tegija käitumise neutraalsusele ja põhjendatusele populatsioonile üldistamisel. Lisaks kasutati ka eeskujuvale valiidsuse põhimõttel varasemate uuringute sünteesi tulemusel kogutud ja katselaskmise ajal kontrollitud parameetreid, mis samuti tõstsid olulisel määral eksperimendi loomulikku sisemist valiidsust ja aitasid kaasa välise valiidsuse tagamisele (käesolev töö, lk 40).

2.3.2. Töö praktiline väärtus

Töö tulemused on eelkõige oma selge väljendumisega kindlasti valdkonna praktikale kasu toovad. Kuigi magistritöö praktilises osas tehakse katsed, tulemuste analüüs ja tõlgendamine EKEIs, on selle uurimisülesanne ja tulemused huvipakkuvad ning rakendatavad kõikides tänapäevaseid tulirelvi ja kohtuekspertiisi meetodeid kasutavates riikides.

Saadud andmed on tänu eksperimendi meetodi kasutamisele kogu protsessi ulatuses üheselt mõistetavad, dokumenteeritud, olemuselt kvantitatiivsed ja vajavad seetõttu reaalse praktikaga kõrvutamisel vähest tõlgendamist. Uurimismuutujatena kasutatud kuuli massi ja püssirohu massi mõju jälgedele osutus kahetiseks. Kuuli massi mõju esines statistiliselt olulisena vaid kombinatsioonis suure püssirohu massiga, kuid püssirohu massi mõju väljendus väga selgelt ja tugevalt kõrge statistilise usaldusväärsusega. Püssirohu massi mõju kokkulangevuse määrale oli gruppide vahel võrreldes ligikaudu 30% keskmisest kokkulangevuse määrast (käesolev töö, lk 61), mida saab lugeda oluliseks.

Kohtuekspertiisi valdkonnale on töö tulemusel antud senisest üldlevinud tõeskspidamisest oluliselt kõrgema taseme põhjendus jälgedes esinevate erisuste põhjuste kohta. Eksperdid saavad nüüd olla kindlad, et on olemas põhjuslik seos padruni objektiivselt mõõdetavate omaduste ja lasu järel kuulile kujunenud jälgedes esinevate muutuste vahel. See julgustab eelkõige tegema täiendavaid uuringuid ja seeläbi laiendama sellise põhjendusliku baasi ulatust ja varieeruvust, mis võimaldaks teha üldistusi ja sõnastada üldiseid tõendatud seaduspärasid. Sisuliselt saab seda tööd lugeda esimeseks etapiks pikemas ja läbimõeldud ühiste eesmärkidega uuringute sarjas.

Julgeolekuasutustele saab sellest tööst anda sisendit relvade ja laskemoona soetamisel ja kasutamisel paremate otsuste tegemiseks. Mõju olemust saab tõlgendada selgitusega, et suurem püssirohu mass lükkab kuuli läbi relvaraua õõne pikisuunas suurema kiirusega, mistõttu kuuli ümber oma telje pöörlema suunavatele vintsoontele on surve suurem ja jäljed kujunevad nõ „kiirustades ja lohakalt“. Praktikasse üle kandes võib sellest mõttekäigust teha järelduse, et suurema püssirohu massiga padrunitel kaasneb lisaks eelduslikele oodatud omaduste muutustele nagu kuuli algkiiruse suurenemine, suurem purustusjõud, suurem peatamis- ja tappejõud ning pikem lennuteekond ka väiksem kõlblikkus võrdlusuuringute tegemiseks. Näiteks õiguskaitseorganid võiksid laskemoona valides kaaluda, kas võimsuse kasvuga kaasnev paratamatu risk võrdluskõlblikkuse vähenemise näol on korrakaitsepraktika üldises vaates (alati) õigustatud. Kohtuekspertiisi praktikasse saab siit samuti võtta kaalutlusmomendi

teadaolevalt keskmisest tugevama laenguga laskemoonal kas enne katselaskmist püssirohu koguse vähendamiseks või vähemasti katselaskude tegemist nii algse kui ka vähendatud laenguga padrunitega, saavutamaks maksimaalselt head jälgede kujunemist. Igal juhul võimaldab selle magistritööga saadud teadmine sisejulgeolekut tagavatel asutustel teha põhjendatumaid otsuseid laskemoona mudeli valikul nii soetusprotsessi käigus kui ka erinevates olukordades kasutamisel valikuid tehes. Kuigi eeldatavasti ei ole relvade ja kuulide võimalikult efektiivse võrdlusuuringu aspekt valikukriteeriumites prioriteetsel kohal, on selle magistritöö tulemusi siiski võimalik kasutada paremate valikute tegemiseks näiteks regulaarsete laskemoonahangete raames.

2.3.3. Töö piirangud ja puudused

Järeldustes on juba rõhutatud ettevaatust, millega töö tulemusi tõlgendada ja kasutada tuleks. Lisaks üldisele ettevaatusele kutsumisele toob magistritöö autor välja ka konkreetsema kriitika.

Metoodikas kirjeldatud sisemise valiidsuse ohutegurit „küpsemine“ (käesolev töö, lk 36) pidas autor töö teooria osa kirjutades suunatuks eelkõige relvale, kuid tegur on kindlasti riskiks ka uuringu tegijale. Sellise uuringu käigus tuleb eraldi kõrgendatud tähelepanu pöörata läbivalt ühetaolisele suhtumisele, mis selles uuringus väljendus enim mikroskoobivõrdluste etapis. Kokkulangevuse määra hinnates tuleb kasutatud metoodikaga ühetaolise hinnangu saamiseks eelistada üht hindajat kogu katse kestel, kuid see toob endaga kaasa ka hindaja „küpsemise“ ja teatava rutiini tekkimise. Selle maandamiseks tasub kaaluda teatava „soojendusgrupi“ või „kalibreerimisgrupi“ kasutamist ka eksperimendi mikroskoobivõrdluste etapis, mis minimeeriks katse objektide ebaühtlase hindamise.

Selles töös kasutatud võrdlusmetoodika on oma pikkuse mõõtmisega töövahendi mõttes nii objektiivne kui võimalik, kuid probleemne võib olla meetodi kui terviku rakendamine. Kui uuringu tegija on võrdlusi tehes teadmatuses katsegruppide eristavate omaduste ja eksperimendi disaini osas, on tema neutraalsus kindlasti suurem kui juhul, kui ta on ise kogu eksperimendi disaininud ja läbi viinud. Seega peaks selline uuring olema etappide mõistes koostatud ja läbi viidud erinevate uurijate poolt – nii tõuseb katse objektiivsus ning sisemine ja väline valiidsus veelgi.

Andmestiku arvandmete kujule saamine on eksperimendi üks olulisemaid etappe. Sõltuvalt eeldatavasti või teadaolevalt kasutatavate statistiliste meetodite nõudmistest tuleb katsete tegemise etapis andmeid dokumenteerida teatud formaadis. On meetodeid, mis nõuavad

pidevaid arvandmeid ja meetodeid, mis vajavad diskreetseid andmeid. Rohkeveeruliste ja eritüübiliste andmete korduv konverteerimine töötlemise etapis on aeganõudev ja aldis vigade tekkeks. Eksperimenti disainides tuleks seda ette näha ja leida viis dokumenteerida andmed viisil ja ulatuses, mis võimaldaks neid vähese töötlusega kasutada võimalikult paljude planeeritud meetoditega. Kuna selliste uuringute kaugem eesmärk on olla korratav, kõrvutatav ja uuesti tehtav, peaks dokumenteerimine vähemalt ühes infoväljas tehtavatel uuringutel olema võimalikult standardiseeritud.

Katsete konkreetse etapi üldmaht tuleb valida selline, mis võimaldab katsete tegijal säilitada tähelepanu ja objektiivsus kogu seeria vältel. Selles töös algselt valitud maht kasvas katset disainides eksperimendi põhimõtteid järgides prognoositust suuremaks ja jäi kokkuvõttes ühe uurija mõistliku mahu piirimaile. Suuremamahulist katseseeriat disainides tuleks see planeerida mitmes järgus või näha ette mitme uurija kasutamine. Mõlemad toovad eksperimenti kaasa oma mõjurid ja suure tõenäosusega vähendavad selle neutraalsust ja ühetaolisust, mis omakorda viitab vajadusele standardiseerida vahendid ja tulemuste dokumenteerimise viis ning üle vaadata ja põhjendatult valida kõikide etappide meetodid.

Regressioonanalüüsi koefitsientide mõju osas tuleb eraldi rõhutada ettevaatlikkust nende üldistamisel väljaspoole töös defineeritud populatsiooni (käesolev töö, lk 41). Padrunites kasutatav püssirohi on harvadest juhuslikult esinevatest sarnasustest ja oletuslikest loogilistest mustritest hoolimata igal tootjal ja igal margil väga spetsiifiliste omadustega. Sama kaliibri padrunite laadimisandmete mingis kombinatsioonis võivad erinevate püssirohtude massid juhuslikult olla samad, kuid nende koguste muutumiskõverad ei ole samased, mistõttu ei saa nende koguseid analoogselt muuta ega ka muutusi prognoosida. Seetõttu ei tohi ka selle töö tulemusi populatsioonist välja üldistada ilma täiendavaid katseid tegemata.

2.3.4. Vastused uurimisküsimustele

Uurimisküsimuste vastused sõnastatakse järgmiselt:

1. Milliseid laskekatse tingimusi tuleks eksperimendi meetodi kasutamisel eesmärgi saavutamiseks kontrollida ja kajastada?

Laskekatset sisaldavad uurimused on oma olemuselt tõenäoliselt enamasti eksperimendid. Seetõttu kehtivad katsetele kvantitatiivse uurimisviisi üldised põhimõtted ja tingimused. Kuna neid on erialakirjanduses ja töö metoodika osas (käesolev töö, lk 35) kajastatud põhjalikult, ei loetleta neid siinkohal. Eksperimendi üldistele nõuetele lisanduvad valdkonnaspetsiifilised

parameetrid, mis aitavad tõsta uuringu sisemist ja välist valiidsust. Tulirelva laskekatsete eripäradest tulenevalt ei saa neid teistelt teadusharudelt üle võtta, mistõttu tuleb sellist uurimust planeerides kindlasti tutvuda valdkonnas eelnevalt tehtud tööde ja nendes kasutatust leidnud praktikatega. Seejuures on oluline arvestada, et mõistlik on üle võtta selline eeskuju, mille osas on varasema uurimuse sisust aru saada, et see toimib ja on otstarbekas. Selle töö teooria osa analüüsi tulemusel sõnastati järgmised parameetrid, millele tuleb tähelepanu pöörata (käesolev töö, lk 49):

- laskekatse keskkonnatingimused, mis hõlmavad laskekatse viisi ja keskkonna füüsilisi parameetreid, kuna nende osas on mitmetes eelnevates uuringutes täheldatud tuvastatavat mõju katsete tulemustele
- relva valiku tingimused, mis hõlmavad kaliibri ja mudeli esinduslikkust ja tüüpilisust ning relva seisundit, kuna esimene mõjutab otseselt välist valiidsust ehk esindatavat populatsiooni ja teine võib varjata või moonutada uurimismuutujate mõju ning seetõttu mõjutada sisemist valiidsust
- laskemoona valiku tingimused, mis hõlmavad laiemas mõttes tootjat ja spetsiifilisemalt padruni iga komponendi üksikomadusi. Halva kvaliteediga tootja võib katsesse tuua eelkõige soovimatut ebatäpsust, aga ka põhjustada sisemise valiidsuse vähenemist või isegi puudumist, kui valitakse tootja, kelle padrunit juures esinevad kõrvalised tegurid peidavad uuritavate omaduste mõju. Padrunit omaduste mõju olemasolu on varasemates uuringutes korduvat kinnitust saanud, mistõttu on nende valik väga olulise tähtsusega. Padrunid on laskekatse juures enamasti peamise tähtsusega objektid, mida kas ühel või teisel viisil uuritakse või mis osalevad oma mõjuga uurimisülesande lahendamises. Ka see magistr töö kinnitab padrunit omaduste mõju jälgedele kuulil, kuid spetsiifilisemalt kui analüüsitud varasemad uuringud.

Magistr töö autori hinnangul on katse tingimuste kontrollimisega samavõrra oluline ka nende hilisem detailne kajastamine. Ilma sisulise infota ei ole võimalik katse kvaliteedis veenduda ja selle nüansse mõista.

2. Kas selles magistr töös uurimismuutujatena kasutatud padrunit omaduste manipuleerimise mõju on kuulile jäävates jälgedes tuvastatav?

Uurimismuutujatena kasutatud padrunit omaduste kuulil massi ja püssirohu massi manipuleerimise mõju kuulile jäävates jälgedes tuvastati selles töös nii mõju mõõtmiseks

kasutatud kokkulangevuse määra skoori (käesolev töö, lk 53) keskväärtuste võrdlusega katsegruppide vahel (käesolev töö, lk 61) kui ka uurimismuutujate ja kokkulangevuse määra regressioonanalüüsi tulemusega (käesolev töö, lk 64). Kuuli massi mõju üksiku mõjurina on väike ja ebausaldusväärne, kuid kombinatsioonis raske püssirohu massiga siiski oluline. Püssirohu massi mõju väljendus katsegruppide vahel ligikaudu 30%-lise kokkulangevuse määra erinevusega kõrge statistilise tõenäosusega, mis on suur ja selgelt väljendunud mõju.

3. Milliseid järeldusi võimaldavad analüüsitud teooria ja katsetega saadud andmestik teha otsitava seose kohta?

Uurimismuutujate põhjuslik seos muutustega kuulil olevates jälgedes leidis kinnitust. Selle täpsemaks näitamiseks kasutati regressioonanalüüsi (käesolev töö, lk 57), mis näitas kahetisi tulemusi – kuuli massi mõju ei saa lugeda usaldusväärseks, kuid püssirohu massi mõju väljendus kõrge usaldusväärse nivooga (käesolev töö, lk 64). Seega saab järeldada, et mõlema padrundi omaduse mõju oli tuvastatav, kuid statistiliselt usaldusväärne oli see püssirohu massil.

Varasemate uuringute analüüsist kogutud senine praktika on valdavas enamuses kasutanud kvalitatiivseid vahendeid uuringu läbiviimiseks ja tulemuste esitlemiseks. Selle magistritööga selgus, et valdkonna teadustöid on võimalik disainida kõrge sisemise ja välise valiidsusega eksperimentuuringuna, saades tulemuseks arvandmetes väljenduvad seosed koos statistilise usaldusväärse näitajaga. Töö näitas, et padrundi omadusi on võimalik põhjuslikult seostada jälgedega lastud kuulil, mis avab uue uurimissuuna ja julgustab valdkonna praktikuid analoogseid uuringuid tegema.

2.4. Ettepanekud

Uuringusuunda tervikuna jätkates tuleks talitseda soovi leitud seoseid üldistada laiemalt kui selles töös kasutatud populatsioon. Tulirelva laskemoona komponentide valik ja omadused on padrundi valmistamisel üliolulised ja ühe püssirohu margiga saadud tulemusi ei tohi kindlasti üle kanda ükskõik kui sarnasele teisele margile. Seetõttu tuleb üldistuste suunas liikuda läbi **mitmete võimalikult sarnaste jätku-uuringute tegemise**, kus korruga muudetakse ainult ühte katseobjektide omadust – kogu metoodika tuleks jätta samaks. Kui ka selliste uuringute tulemusena leitakse sarnased seosed ja tendentsid, on alust ettevaatlike üldistuste tegemiseks. Näiteks võib jätku-uuringutes ainsaks muudetud omaduseks olla kas relva mudel, relva liik, püssirohu mark või padrundi kasutatav kuul. Kindlasti on soovitatav jätkates kasutada

eksperimenti üldiseid põhimõtteid, sest uurimismeetodina osutus see katselaskudega uuringu jaoks sobivaks ja tagas vajaliku sisemise ja välise valiidsuse.

Samuti oleks huvipakkuv disainida analoogne katse kasutades lisaks 5% ulatuses muudetud +- massidele ka **püssirohu massi keskväärtust kui muutujat** – selline lähenemine võimaldaks **leida mõju muutumiskõvera** ja hinnata, kas see on lineaarne, kasvav või kahanev. Veelgi täpsemad tulemused saaks, kui keskväärtuse ja 5% vahele lisada veel astmeid – näiteks 2,5% võrra muudetud mass. Kui sellistes jätku-uuringutes kasutada selle töö disaini ja populatsiooni, ei pea katseid iga kord kogu mahus uuesti tegema, vaid saab neid etappidena lisada algsele andmestikule ja säilitada valiidsus nii võrreldavuse kui üldistuse osas. Selle uuringu püssirohu massi regressioonikoefitsiendi kõrge statistiline olulisus (käesolev töö, lk 64) lubab eeldada, et ka väiksema massimuutuse mõju võiks olla tuvastatav ja osutada statistiliselt oluliseks. Sellisel juhul oleks andmete praktikas kasutamiseks väga oluline teada muutumiskõvera omadusi. Võimalus on ka teha regressioonanalüüsi prognoosina – anda sõltumatu muutujana ette vahepealset püssirohu massi esindav oletuslik muutuja väärtus ja leida arvutustega seose tugevus. Oluliselt väärtuslikum on siiski viis teha sama disaini ja objektidega täiendavad katsed.

Oluline on jätkata katsete peamise mõõtmise aluseks oleva **võrdlusmeetodi edendamist**. Kuna see on etapp, milles esineb kõige enam subjektiivsust, tuleb selle riski maandamisega tegeleda, otsides aktiivselt kokkulangevuse määra iseloomustamiseks sobivaid viise, mille puhul otsuste aluseks olevad põhimõtted on ka mitme uurija koostöö korral sarnaselt tõlgendatud ja rakendatud. Tuleb otsida meetodeid, mis oleks efektiivsemad ja kiiremad, võimaldades mitmel uurijal võrdluste massiivi osadeks jagades saavutada kiirem, kuid sama neutraalne ja objektiivne tulemus. Selle tulemusel on võimalik jätkata statistilise aluse loomist valdkonna võrdlusuuringutele.

Andmeanalüüsi etapi edendamisel saab liikuda mitmes erinevas suunas. Järeldusliku statistika meetodite rakendamisel saab nii regressioonanalüüsiga jätkates kui teisi meetodeid lisades leida selle tööga kogutud andmestikust veel detailsemaid järeldusi. Näiteks võib regressioonanalüüsi rakendada mitte kõikidele alagruppidele üheaegselt, vaid ainult kuuli või püssirohu massi ühe väärtusega padrunitele.

KOKKUVÕTE

Tööga otsiti vastust küsimusele, kas padruni omaduste mõju lastud kuulile jäävates jälgedes on tuvastatav. Sõltumatute uurimismuutujatena kasutati kahte padruni omadust – püssirohu massi ja kuuli massi. Otsitav mõju operatsionaliseeriti läbi lastud kuulide omavahelisel võrdlusel saadud kokkulangevuse määra, mida kasutati sõltuva muutujana.

Töö teoreetilises osas koondati eksperimendi kui meetodi põhimõtetest ja tulirelva valdkonna varasematest uuringutest teoreetiline raamistik, mille alusel disainiti praktiline katse padruni omaduste mõju tuvastamiseks kuulile kujunevatele jälgedele. Eksperimendi põhimõtetest saadi raamistiku peamiste etappide nõuded ja katsedisaini üldised juhised, millele uuringutest lisati valdkonnaspetsiifilised parameetrid. Uuringud jagati kahte alagruppi – inimotsustega seonduvad uuringud ja inimotsuse võimekuse osalise arvutitele üleandmisega tegelevad masinuuringud. Kummaski alagrupis toodi eraldi välja tööd, milles on kas uuritud või järeldustes kirjeldatud padruni omaduste mõju jälgedele või nende tekkemehhanismile üldisemalt.

Katsed tehti kekstulepadrunit kasutava 9x19 mm kaliibrilise poolautomaatse püstoliga, kasutades ühe tootja padruneid, millel on sama tüübi ja kujuga täismantelkuul, mida tootja pakub kahe massiga. Püssirohu massiga manipuleeriti $\pm 5\%$ ulatuses, tekitades nii kahe uurimismuutuja kõiki kombinatsioone esindavad neli katsegruppi. Eksperimendile omaselt kasutati kontrollgruppe ja ettevalmistavat gruppi sisemise valiidsuse tagamiseks. Lasud tehti püsivates keskkonnatingimustes, kasutades tehnilisi abivahendeid laskude rutiini ja viisi ühetaolisena hoidmiseks kogu katse vältel.

Katsetega saadud kuulidele kujunenud jälgi võrreldi gruppide sees omavahel, kogudes nii gruppide kokkulangevuse määra ulatused ja keskväärtused, millega iseloomustati gruppide esindatud uurimismuutujate kombinatsioonide mõju kokkulangevuse määrale. Andmete dokumenteerimiseks ja esmasteks arvutusteks kasutati Microsoft Excel'i tabelarvutusprogrammi koos selle andmeanalüüsi lisapaketiga. Andmestiku kvaliteedi tagamiseks kasutati Excel'i automaatarvutusi ja erinevaid andmeväljade loogikakontrolle.

Katsetega saadud andmestiku analüüsiks kasutati kirjeldava ja järeldusliku statistika vahendeid – kolme levinud keskmise väärtuse väljendust (keskväärtus, mood, mediaan) ja andmete ulatust ning peidetud seoste näitamiseks mitmest lineaarset regressioonanalüüsi nimetatud muutujate ning sõltumatute muutujate interaktsiooni kaudu. Regressioonanalüüsi tegemiseks lisati

andmestikule objektide mõõdetud arvnäitajatel põhinevad fiktiivsed andmeveerud binaarsete väärtustega 0 ja 1, mis võimaldas katsegruppide kummagi uurimismuutuja lihtsat ja kergesti jälgitavat kodeerimist.

Kirjeldava statistika analüüsi tulemusel selgus, et katsegruppide kokkulangevuse määrade keskmiste erinevus on selges seoses püssirohu massiga. Nii sai selles uurimuse etapis vastuse uurimisküsimus, kas padruni omaduste mõju jälgedele kuulil on tuvastatav. Vähimruutude meetodil arvutatava mitmese lineaarse regressioonanalüüsi meetodit kasutades uuriti nii ainult kahe uurimismuutuja mõju kokkulangevuse määrale kui ka neile täiendava interaktsioonikordaja lisamisel väljendunud uurimismuutujate koosmõju. Selgus, et mudeli üldised andmed R-ruut, korrigeeritud R-ruut ja standardviga olid mõlema regressioonanalüüsi puhul väga sarnased – tulemused näitasid, et esitatud mudeli sõltumatud muutujad kirjeldavad sõltuva muutuja varieeruvusest 84%. Regressioonanalüüsi standardviga 27,0 on mudeli sõltuva muutuja ühikutes ligikaudu 10% kokkulangevuse määrast.

Koefitsientide mõju arvutused olid kummalgi analüüsil siiski veidi erinevad. Kahe muutujaga interaktsioonita analüüsi tulemus näitas, et suure püssirohu massiga padrunitel kokkulangevuse skoor on -121,74 võrra väiksem ja suure kuuli massiga padrunitel -4,63 võrra väiksem. Kahe muutuja ja nende interaktsiooniga analüüsi tulemus näitas, et suure püssirohu massiga padrunitel kokkulangevuse skoor on -108,53 võrra väiksem ja suure kuuli massiga padrunitel kokkulangevuse skoor 8,58 võrra suurem. Omapärane leid on seos, et kuuli massil üksiku muutujana statistiliselt usaldusväärset mõju ei ole, kuid see tekib alati, kui samaaegselt on ka püssirohu mass suur. Püssirohu massi mõju usaldusväärsus oli vähemalt 5% olulisuse nivool kõrge, kuid kuuli massi mõju statistiline usaldusväärsus sedavõrd madal, et seost ega mõju ei saa lugeda usaldusväärseks. Interaktsioonimuutuja avaldas analüüsile mõju vaid mõlema uurimismuutuja väärtuse „1“ korral, mis näitas, et raske kuuli ja raske püssirohu koosinemise korral on kokkulangevuse määr -134,95 võrra väiksem.

Mitmese regressioonanalüüsi eelduste kontrollide tulemusel vastab andmestik normaaljaotusele ja regressioonanalüüsi tulemusi saab esindatavale populatsioonile üldistada.

Töö tulemus näitas, et koondatud teoreetilise raamistiku ja valdkonna varasematest uuringutest koondatud parameetrite sünteesi tulemusel disainitud eksperimentuuring on katselaskmisi sisaldava uuringu tegemiseks hea valik, mis väljendus katse heas sisemises ja välises valiidsuses ning saadud kvaliteetsetes andmetes. Kirjeldava statistika abil saadi kinnitust

padruni omaduste põhjuslikust seosest jälgedega lastud kuulil ning järelalusliku statistika abil täpsustati mõju tugevust ja usaldusväärsust.

Töö lõpus alaosas 2.4. sõnastati ettepanekud edasiste uuringute tegemiseks. Lühidalt kokku võttes on oluline jätkata nii selles töös kasutatud metoodikaga analoogsete katsete tegmist saadud tulemuste kinnitamiseks kui ka kasutatud meetodite parandamist ja paremate lahenduste otsimist. Jätkuvalt tuleks keskenduda katsete sisemise ja välise valiidsuse tagamisele ning võimalusel jätkata uurimissuuna ja -võtetega, mis ei eelda uurijalt kohtuekspertiisi eriteadmisi. Vältida tuleks valdkonna varasemates teadustöodes valdavalt kasutatud lähenemist keskenduda mingile muule uurimiseesmärgile ja teha padruni komponentide mõju osas töö tulemuste põhjal kaudseid järeldusi.

SUMMARY

This thesis is establishing the effects of the parameters of a rifled firearm cartridge on the marks left on fired bullet. Bullet mass and gunpowder mass are used as independent variables and the resulting bullet comparison score is used as the dependant variable.

To achieve this goal the thesis has two parts – theoretical part which is collecting a theoretical framework for the experiment conducted in the practical part and a practical test based on simple classical factorial experimental design. The theoretical part uses scientific literature to establish the guidelines for experimental design and a selection of previous scientific works on forensic firearms examination. Previous works, which were divided into human-decision branch and machine-decision branch, are analysed to gather practice of performing and describing test-shooting procedures to further enhance the inherent internal and external validity of experimental design. The guidelines and knowledge from these two sources are synthesized together to create a theoretical framework used to conduct the practical testing.

The practical part of the thesis is performed to prove the usability of the synthesized theoretical framework and to establish the causal connection between independent and dependent variables. Independent variables are manipulated within 4 test groups and reference value is provided by 2 control groups. The resulting collection of fired bullets are intercompared within each group to establish the average comparison score which then is used to compare the test groups. A multiple linear regression analysis based on the comparison score, bullet weight, gunpowder weight and their interaction variable is used to calculate causal effect and its statistical significance of both independent variables and their combination.

The results show that the synthesized theoretical framework is usable and has no obvious flaws. The comparison score method has successfully given usable data to establish the causal connection between variables. Proposed model of interconnection is proven to be statistically significantly true – gunpowder mass has a clearly established effect on marks left on bullets. Bullet weight's effect is also established, but at a much lower factor and significance level which makes it not trustworthy.

In conclusion both the theoretical and practical tasks of the thesis are fulfilled and the proposed model proven to be true.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Addinall, K., Zeng, W., Bills, P., Wilcock, P.T. & Blunt, L., 2019. The effect of primer cap material on ballistic toolmark evidence. *Forensic Science International*, 298, pp.149-156.

Advokatuur, s.d. *Kriminaalpoliitika põhialused aastani 2030 seletuskiri*. [Võrgumaterjal] Leitav: [https://advokatuur.ee/uploads/files/Seletuskiri\(1\).pdf](https://advokatuur.ee/uploads/files/Seletuskiri(1).pdf) [Kasutatud 28.10.2020].

Alliant Powder, 2021. *Warning*. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://www.alliantpowder.com/reloaders/> [Kasutatud 15.02.2021].

Baldwin, D.P., Bajic, S., Morris, M., & Zamzow, D., 2014. *A Study of False-Positive and False-Negative Error Rates in Cartridge Case Comparisons*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Study-of-False-Positive-and-False-Negative-Error-Baldwin-Bajic/850b2cc4d380ffd37463e1eb826cad47a11c5f93> [Kasutatud 03.02.2021].

Banno, A., Masuda, T. and Ikeuchi, K., 2004. Three dimensional visualization and comparison of impressions on fired bullets. *Forensic Science International*, 140 (2-3), pp. 233-240.

BBC News Europe, 2012. *Timeline: How Norway's terror attacks unfolded*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.bbc.com/news/world-europe-14260297> [Kasutatud 27.11.2019].

Bell, S., Sah, S., Albright, T.D., Gates, S.J., Denton, M.B. and Casadevall, A., 2018. A call for more science in forensic science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (18), pp. 4541-4544.

Bernard, M., 2005. The effects of ammunition brand and firearm use on IBIS correlation scores. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 38 (2), pp. 69-83.

Bolton-King, R.S., Bencsik, M., Evans, J.P.O., Smith, C.L., Allsop, D.F., Painter, J.D. and Cranton, W.M., 2012. Numerical classification of curvilinear structures for the identification of pistol barrels. *Forensic Science International*, 220 (1-3), pp. 197-209.

Bolton-King, R.S., 2016. Preventing miscarriages of justice: A review of forensic firearm identification. *Science & Justice*, 56 (2), pp. 129-142.

Bolton-King, R.S., 2017. Rifling methods of factory fitted 9 mm Luger (9×19 mm) pistol barrels: a reference resource. *AFTE Journal*, 49 (4), pp. 225-238.

- Bonfanti, M.S. & De Kinder, J., 1999. The influence of manufacturing processes on the identification of bullets and cartridge cases - a review of the literature. *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*, 39 (1), pp. 3-10.
- Booker, J.L., 1980. Examination of the badly damaged bullet. *Journal of the Forensic Science Society*, 20 (3), pp.153-162.
- Britannica, s.d. *Ballistics*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.britannica.com/science/ballistics> [Kasutatud 01.11.2021].
- Cai, S., Huang, C.L., Liu, K., Li, Z.X. and Wu, Z.L., 2020. Theoretical and numerical investigations on the headspace of cartridge cases considering axial deformation and movement. *Defence Technology*, 16 (1), pp. 88-95.
- Campbell, D.T. & Stanley, J.C., 1963. *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Houghton Mifflin Company.
- Carlucci, D.E. & Jacobson, S.S., 2014. *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition. Second Edition*. CRC Press.
- Carroll, J., 2018. Chapter 13 - The Medical Examiner-Coroner and the Firearms Examiner. Book: L. Sathyavagiswaran & C. B. Rogers, ed-s. *Multidisciplinary Medico-Legal Death Investigation*. Academic Press, pp. 245-264.
- Chen, Z., Chu, W., Soons, J.A., Thompson, R.M., Song, J. and Zhao, X., 2019. Fired bullet signature correlation using the Congruent Matching Profile Segments (CMPS) method. *Forensic Science International*, 305, 109964, pp. 1-19.
- Chen, Z., Song, J., Soons, J.A., Thompson, R.M. and Zhao, X., 2020. Pilot study on deformed bullet correlation. *Forensic Science International*, 306, 110098 , pp. 1-11.
- Christen, S. and Jordi, H.R., 2019. Individuality testing of new Glock pistol barrels “Marksman Barrel”. *Forensic Science International*, 295, pp. 64-71.
- Chu, W., Song, J., Vorburger, T. & Ballou, S., 2010b. Striation density for predicting the identifiability of fired bullets with automated inspection systems. *Journal of Forensic Sciences*, 55 (5), pp.1222-1226.

Chu, W., Song, J., Vorburger, T., Yen, J., Ballou, S. and Bachrach, B., 2010a. Pilot study of automated bullet signature identification based on topography measurements and correlations. *Journal of Forensic Sciences*, 55 (2), pp. 341-347.

Chu, W., Song, J., Vorburger, T.V., Thompson, R. and Silver, R., 2011. Selecting valid correlation areas for automated bullet identification system based on striation detection. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 116 (3), pp. 647-653.

Chu, W., Thompson, R.M., Song, J. & Vorburger, T.V., 2013. Automatic identification of bullet signatures based on consecutive matching striae (CMS) criteria. *Forensic Science International*, 231 (1-3), pp. 137-141.

Chung, D.Y., Oh, M., 2003. New empirical method to enhance the accuracy in the erosion prediction of cannon tube. *Wear*, 255, pp. 98–101.

C.I.P., *s.d. Introduction*. [Vörgumaterjal] Leitav: <https://www.cip-bobp.org/en/cip> [Kasutatud 01.01.2021].

Collender, M.A., Doherty, K.A. & Stanton, K.T., 2016. An investigation into the factors that influence toolmark identifications on ammunition discharged from semi-automatic pistols recovered from car fires. *Science & Justice*, 57 (1), pp. 41-52.

Crank, J.P., 2003. Institutional theory of police: a review of the state of the art, *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*, 26 (2), pp. 186-207.

De Ceuster, J. and Dujardin, S., 2015. The reference ballistic imaging database revisited. *Forensic Science International*, 248, pp. 82-87.

De Kinder, J., 2002. Ballistic fingerprinting databases. *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*, 42 (4), pp. 197-203.

De Kinder, J. & Bonfanti, M., 1999. Automated comparisons of bullet striations based on 3D topography. *Forensic Science International*, 101 (2), pp. 85-93.

De Kinder, J., Tulleners, F. and Thiebaut, H., 2004. Reference ballistic imaging database performance. *Forensic Science International*, 140 (2-3), pp. 207-215.

De Smet, P., Hermsen, R., van Leuven, B., De Kinder, J. and Hoffmann, K., 2008. Experimental evaluation of the impact of seating depth variations on observed marks on primers. *Forensic Science International*, 179 (2-3), pp. 163-171.

Delfi, 2011. FOTOD: Tulevahetuses hukkusid kaitsepolitseinik ja eraisik, kaks korrakaitsjat sai haavata. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.delfi.ee/artikkel/45292929/fotod-tulevahetuses-hukkusid-kaitsepolitseinik-ja-eraisik-kaks-korrakaitsjat-sai-haavata> [Kasutatud 27.04.2021].

Delfi, 2016. *DELFI FOTOD SÜNDMUSKOHALT: Lasnamäel peeti kinni tapmises kahtlustatav politseinik*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.delfi.ee/artikkel/75707015/delfi-fotod-sundmuskohalt-lasnamael-peeti-kinni-tapmises-kahtlustatav-politseinik> [Kasutatud 27.04.2021].

Delfi, 2020. *Katri Raik relvalubade taotlemisest: äsja läksime lödvendamise teed ja nüüd oleme traagilises olukorras*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.delfi.ee/news/paevauudised/eesti/katri-raik-relvalubade-taotlemisest-aj-laksime-lodvendamise-teed-ja-nuud-oleme-traagilises-olukorras?id=90103359> [Kasutatud 28.10.2020].

Eesti Päevaleht, 2020. *Lihula õppetund. Joomarlus ja naisepeks jätab tulevikus püssita*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://epl.delfi.ee/uudised/lihula-oppetund-joomarlus-ja-naisepeks-jatab-tulevikus-pussita?id=90111355> [Kasutatud 28.10.2020].

Eesti Rahvusringhääling, 2020a. *Kohus võttis Lihulas inimesi tulistanud mehe vahi alla*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.err.ee/1099697/kohus-vottis-lihulas-inimesi-tulistanud-mehe-vahi-alla> [Kasutatud 08.09.2020].

Eesti Rahvusringhääling, 2020b. *Politsei alustab taas elanikelt relvade kogumise kampaaniat*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.err.ee/1141412/politsei-alustab-taas-elanikelt-relvade-kogumise-kampaaniat> [Kasutatud 29.11.2020].

Feng, G.T., Zhou, K.D., Wang, J.Y., Lei, H.E. & Huang, X.Y., 2016. Numerical Analysis and Experimental Study of Gun Barrel's Two-dimensional Transient Temperature Field. *DEStech Transactions on Materials Science and Engineering*, pp. 1-8.

Fiocchi Munizioni SPA, 2021. *Ammunition and cartridges*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.fiocchi.com/en> [Kasutatud 06.03.2021].

Fisher, R.A., 1935. *The design of experiments*. Oliver and Boyd.

Gerules, G., Bhatia, S.K. & Jackson, D.E., 2013. A survey of image processing techniques and statistics for ballistic specimens in forensic science. *Science & Justice*, 53 (2), pp. 236-250.

Ghani, N.A.M., Liong, C.Y. and Jemain, A.A., 2010. Analysis of geometric moments as features for firearm identification. *Forensic Science International*, 198 (1-3), pp. 143-149.

Ghani, N.I.M., Abd Malek, M.F., Harun, R., Kuppuswamy, R. and Kerian, K., 2013. Breechface Recess Marks Recorded on Cartridge Cases Expended from Beretta Px4 Storm Subcompact 9mm Pistols. *AFTE Journal*, 45 (3), pp. 273-276.

Giannelli, P.C., 2007. *Daubert Challenges to Firearms (“Ballistics”) Identifications*. Case Western Reserve University, Faculty Publications.

Giannelli, P.C., 2010. Ballistics evidence under fire. *Criminal Justice*, 25, p. 50.

Griffin, T.J., 2002. *Lyman 48th Reloading Handbook*. Lyman Products Corporation.

Hamby, J.E., Brundage, D.J. and Thorpe, J.W., 2009. The identification of bullets fired from 10 consecutively rifled 9mm Ruger pistol barrels: A research project involving 507 participants from 20 countries. *AFTE Journal*, 41 (2), pp. 99-110.

Hamby, J.E., Norris, S. & Petraco, N.D., 2016. Evaluation of Glock 9 mm firing pin aperture shear mark individuality based on 1,632 different pistols by traditional pattern matching and IBIS pattern recognition. *Journal of Forensic Sciences*, 61 (1), pp. 170-176.

Hamby, J.E., Brundage, D.J., Petraco, N.D. & Thorpe, J.W., 2019. A Worldwide Study of Bullets Fired From 10 Consecutively Rifled 9 MM RUGER Pistol Barrels—Analysis of Examiner Error Rate. *Journal of Forensic Sciences*, 64 (2), pp. 551-557.

Hammersley, M., 1987. Some notes on the terms ‘validity’ and ‘reliability’. *British Educational Research Journal*, 13 (1), pp. 73-82.

Hare, E., Hofmann, H. and Carriquiry, A., 2017. Automatic matching of bullet land impressions. *The Annals of Applied Statistics*, 11 (4), pp. 2332-2356.

Hatcher, J.S., Jury, F.J. & Weller, J., 1957. *Firearms Investigation, Identification and Evidence*. Harrisburg, Stackpole Co.

- Howitt, D., Tulleners, F., Cebra, K. & Chen, S., 2008. A calculation of the theoretical significance of matched bullets. *Journal of Forensic Sciences*, 53 (4), pp. 868-875.
- Howitt, D.G., 2016. Update on: A Calculation of the Theoretical Significance of Matched Bullets. *Journal of Forensic Sciences* 2008 Jul; 53 (4): 868–875. *Journal of Forensic Sciences*, 5 (61), pp. 1389-1389.
- Jauhari, M., Rao, M.S. and Pal, A., 1987. A scheme for the computerization of rifling specifications of firearms. *Forensic Science International*, 34 (3), pp. 183-188.
- Jedlicka, L., Komenda, J. and Beer, S., 2012. Analysis of ballistic characteristics of pistol cartridge. *Advances in Military Technology*, 7 (1), pp. 32-40.
- Johnson, R.B. & Christensen, L., 2014. *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches*. Sage publications.
- Kaitsepolitseiamet, 2019. *Aastaraamat 2019-20*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://www.kapo.ee/sites/default/files/public/content_page/Aastaraamat%20-%202019.pdf [Kasutatud 28.10.2020].
- Kaplan, J., Ling, S. and Cuellar, M., 2020. Public beliefs about the accuracy and importance of forensic evidence in the United States. *Science & Justice*, 60 (3), pp. 263-272.
- Kassin, S.M., Dror, I.E. & Kukucka, J., 2013. The forensic confirmation bias: Problems, perspectives, and proposed solutions. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 2 (1), pp. 42-52.
- Kirk, J.N., Law, E.F. and Morris, K.B., 2017. Estimation of changes in breech face and firing pin marks over consecutive discharges and its impact on an IBIS® Heritage™ System. *Forensic Science International*, 278, pp. 47-51.
- Law, E.F., Morris, K.B. and Jelsema, C.M., 2018. Determining the number of test fires needed to represent the variability present within 9 mm Luger firearms. *Forensic Science International*, 276, pp. 126-133.
- Leon, F.P., 2006. Automated comparison of firearm bullets. *Forensic Science International*, 156 (1), pp. 40-50.

Leon, F.P. and Beyerer, J., 1999. Automatic comparison of striation information on firearm bullets. Book: D.P. Casasent, editor. *Intelligent robots and Computer Vision XVIII: algorithms, techniques, and active vision*. International Society for Optics and Photonics, pp. 266-277.

Lepik, D., Vasiliev, V., Reisenbuk, H. and Põldsam, Ü., 2008. Comparison of injuries caused by the pistols Tokarev, Makarov and Glock 19 at firing distances of 25, 50, 75 and 100 cm. *Forensic Science International*, 177 (1), pp. 1-10.

Li, D., 2006. Ballistics projectile image analysis for firearm identification. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15 (10), pp. 2857-2865.

Li, X., Mu, L., Zang, Y. and Qin, Q., 2020. Study on performance degradation and failure analysis of machine gun barrel. *Defence Technology*, 16 (2), pp. 362-373.

Liong, C.Y., Ghani, N.A.M., Kamaruddin, S.B.A. and Jemain, A.A., 2012. Firearm classification based on numerical features of the firing pin impression. *Procedia Computer Science*, 13, pp. 144-151.

Lõuna-Eesti Postimees, 2020. *VIDEOLUGU*) Sangastesse sõitnud motorahvas leinas hukkunud Virgot Rägastikku. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://lounapostimees.postimees.ee/6996424/sangastesse-soitnud-motorahvas-leinas-hukkunud-virgot-ragastikku> [Kasutatud 28.10.2020].

Ma, J., 2018. The law of barrel wear and its application. *Defence Technology*, 14, pp. 674–676.

Mattijssen, E.J., 2020. Interpol Review of Forensic Firearm Examination, 2016-2019. *Forensic Science International: Synergy*, 2, pp. 389-403.

Mertler, C.A., 2018. *Introduction to educational research*. Sage publications.

Microsoft, 2021. *Microsoft Excel*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.microsoft.com/et-ee/microsoft-365/excel> [Kasutatud 18.02.2021].

Montgomery, R.S., 1983. The sliding behaviors of copper alloys. *Wear*, 87 (3), pp. 339-349.

Morgan, C.J., 2017. Use of proper statistical techniques for research studies with small samples. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 313 (5), pp. L873-L877.

Murdock, J.E., 1972. The effect of crowning on gun barrel individuality. *Journal of the Forensic Science Society*, 12 (1), pp. 305-308.

Murdock, J.E., Petraco, N.D., Thornton, J.I., Neel, M.T., Weller, T.J., Thompson, R.M., Hamby, J.E. & Collins, E.R., 2017. The development and application of random match probabilities to firearm and toolmark identification. *Journal of Forensic Sciences*, 62 (3), pp. 619-625.

National Forensic Science Technology Center, *s.d.*, *History, 1800s*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://projects.nfstc.org/firearms/module02/fir_m02_t04.htm [Kasutatud 25.11.2019].

NCJRS (National Criminal Justice Reference Service), 2013. *An Empirical Study To Improve The Scientific Foundation Of Forensic Firearm And Tool Mark Identification Utilizing Consecutively Manufactured Glock EBIS Barrels With The Same EBIS Pattern*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/244232.pdf> [Kasutatud 21.01.2021].

Nelli Teataja, 2020. *Lihula mõrtsukas Mikk Tarraste ei varjanud probleeme vaimse tervisega*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.nelli.ee/lihula-mortsukas-mikk-tarraste-ei-varjanud-probleeme-vaimse-tervisega> [Kasutatud 28.10.2020].

Nennstiel, R. & Rahm, J., 2006. A parameter study regarding the IBIS™ correlator. *Journal of Forensic Sciences*, 51 (1), pp. 18-23.

Neuman, W.L., 2014. *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Harlow: Pearson Education Limited.

Nichols, R.G., 2007. Defending the Scientific Foundations of the Firearms and Tool Mark Identification Discipline: Responding to Recent Challenges. *Journal of Forensic Sciences*, 52 (3), pp. 586-594.

NIST, *s.d.* *What is forensic ballistics?* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.nist.gov/ballistics> [Kasutatud 01.01.2021].

Obama White House Archives, 2016. *REPORT TO THE PRESIDENT Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods*.

[Võrgumaterjal] Leitav: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_forensic_science_report_final.pdf [Kasutatud 26.11.2019].

Our World in Data, 2020. *Terrorist attacks by region, 2017*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://ourworldindata.org/grapher/terrorist-attacks-by-region?year=latest> [Kasutatud 08.09.2020].

Pealinn, 2015. *RELV KODUS, MÕRV MAJAS: Kodu kaitsmise asemel lasevad relvaomanikud oma lähedasi*. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://www.pealinn.ee/koik-uudised/relv-kodus-morv-majas-kodu-kaitsmise-aseemel-lasevad-relvaomanikud-n140435> [Kasutatud 28.10.2020].

Petraco, N.D., Shenkin, P., Speir, J., Diaczuk, P., Pizzola, P.A., Gambino, C. & Petraco, N., 2012. Addressing the national academy of sciences' challenge: A method for statistical pattern comparison of striated tool marks. *Journal of Forensic Sciences*, 57 (4), pp. 900-911.

Postimees, 2011. *Kaitseministeeriumi ründaja oli Karen Drambjan*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.postimees.ee/527604/kaitseministeeriumi-rundaja-oli-karen-drambjan> [Kasutatud 27.04.2021].

Postimees, 2012. *Kaitsevägi ega politsei ei suuda selgitada, kuidas kuul pereautot tabas*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.postimees.ee/986586/kaitsevagi-ega-politsei-ei-suuda-selgitada-kuidas-kuul-pereautot-tabas> [Kasutatud 27.04.2021].

Postimees, 2018. *Lasnamäel teetöolisega riidu läinud meest tulistati vähemalt viis korda, üks lask tabas ohvrit pähe*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.postimees.ee/6027833/lasnamael-teetoolisega-riidu-lainud-meest-tulistati-vahemalt-viis-korda-uks-lask-tabas-ohvrit-pahe> [Kasutatud 27.04.2021].

Postimees, 2020a. *Uued detailid: Tarraste läks Lihulas sõtta*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://leht.postimees.ee/7001297/uued-detailid-tarraste-laks-lihulas-sotta?_ga=2.222959195.1991783962.1592635315-2101708864.1573889487 [Kasutatud 28.10.2020].

Rahm, J., 2012. Evaluation of an electronic comparison system and implementation of a quantitative effectiveness criterion. *Forensic Science International*, 214 (1-3), pp. 173-177.

Relvaseadus (2020) RT I, 03.07.2020, 3.

Riva, F. and Champod, C., 2014. Automatic comparison and evaluation of impressions left by a firearm on fired cartridge cases. *Journal of Forensic Sciences*, 59 (3), pp. 637-647.

Riva, F., Mattijssen, E.J., Hermsen, R., Pieper, P., Kerkhoff, W. and Champod, C., 2020. Comparison and interpretation of impressed marks left by a firearm on cartridge cases – Towards an operational implementation of a likelihood ratio based technique. *Forensic Science International*, 313, pp. 1-13.

Saribey, A.Y., Hannam, A.G. and Tarimci, Ç., 2009. An investigation into whether or not the class and individual characteristics of five Turkish manufactured pistols change during extensive firing. *Journal of Forensic Sciences*, 54 (5), pp. 1068-1072.

Saribey, A.Y. & Hannam, A.G., 2012. Comparison of the Class and Individual Characteristics of Turkish 7.65 mm Browning/. 32 Automatic Caliber Self-Loading Pistols with Consecutive Serial Numbers. *Journal of Forensic Sciences*, 58 (1), pp. 146-150.

Science.osti.gov, s.d. About. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://science.osti.gov/About/PCAST/About> [Kasutatud 19.03.2021].

Shen, C., Zhou, K.D., Lu, Y. & Li, J.S., 2019. Modeling and simulation of bullet-barrel interaction process for the damaged gun barrel. *Defence Technology*, 15 (6), pp. 972-986.

Sierra Bullets, s.d. Why does reloading data change between manuals? [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.sierrabullets.com/why-does-reloading-data-change-between-manuals/> [Kasutatud 15.02.2020].

Sinha, J.K., Mehrotra, V.K. and Kumar, L.A., 1977. Unusual rifling marks for identifying lead core and non-identifiable jacket pieces. *Forensic Science*, 9, pp. 139-144.

Siseministeerium, 2015. *Siseturvalisuse arengukava*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://www.siseministeerium.ee/sites/default/files/dokumendid/Arengukavad/siseturvalisuse_arengukava_2015-2020_kodulehele.pdf [Kasutatud 28.10.2020].

Siseministeerium, 2020. *Siseturvalisuse avaliku arvamus uuringu aruanne*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://www.siseministeerium.ee/sites/default/files/siseturvalisus_aruanne_final.14.05.2020.pdf [Kasutatud 29.11.2020].

Smith, T.P., Andrew Smith, G. and Snipes, J.B., 2016. A validation study of bullet and cartridge case comparisons using samples representative of actual casework. *Journal of Forensic Sciences*, 61 (4), pp. 939-946.

Song, J., Whittenton, E., Kelley, D., Clary, R., Ma, L., Ballou, S., & Ols, M., 2004. SRM 2460/2461 Standard Bullets and Casings Project. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 109 (6), pp. 533–542.

Song, J., Vorburger, T.V., Ballou, S., Thompson, R.M., Yen, J., Renegar, T.B., Zheng, A., Silver, R.M. and Ols, M., 2012. The national ballistics imaging comparison (NBIC) project. *Forensic Science International*, 216 (1-3), pp. 168-182.

Song, J., Vorburger, T.V., Chu, W., Yen, J., Soons, J.A., Ott, D.B. and Zhang, N.F., 2018. Estimating error rates for firearm evidence identifications in forensic science. *Forensic Science International*, 284, pp. 15-32.

Sourceforge, 2021. *Gretl*. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://gretl.sourceforge.net/> [Kasutatud 18.02.2021].

Sõmer, M. & Seppo, I., 2019. Regressioon. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.riigitootaja.ee/rtip-client/app/api/trainings/materials/download/B72ABBBE31E CACDE7D07ACFAE08F5B92> [Kasutatud 08.04.2021].

Zelenko, V.K., Korolev, V.M. & Drozdov, Y.N., 2010. Correlation between the wearing process of a sniper rifle barrel and bullet structure. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 39 (3), pp. 272-275.

Zhang, K., Luo, Y. and Zhou, P., 2017. Reproducibility of characteristic marks on fired cartridge cases from five Chinese Norinco QSZ-92 9×19 mm pistols. *Forensic Science International*, 278, pp. 78-86.

Zhang, K. and Luo, Y., 2018. Slight variations of breech face marks and firing pin impressions over 3070 consecutive firings evaluated by Evofinder®. *Forensic Science International*, 283, pp. 85-93.

The Guardian, 2015. *Charlie Hebdo timeline: how events have unfolded*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.theguardian.com/world/2015/jan/09/-sp-charlie-hebdo-timeline-events> [Kasutatud 27.11.2019].

The National Academies Press, 2009. *Strengthening Forensic Science in the United States*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.nap.edu/download/12589> [Kasutatud 26.11.2019].

Thompson, R.M., 2010. *Firearm identification in the forensic science laboratory*. National District Attorneys Association.

Vabariigi Valitsus, 2019. *Siseturvalisuse arengukava 2020-2030 koostamise ettepanek*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://www.valitsus.ee/sites/default/files/content-editors/arengukava_d/stak_koostamise_ettepanek_09.2019.pdf [Kasutatud 26.11.2019].

Vanderplas, S., Nally, M., Klep, T., Cadevall, C. and Hofmann, H., 2020. Comparison of three similarity scores for bullet LEA matching. *Forensic Science International*, 308, pp. 1-11.

Vihtavouri, s.d.a *Vihtavouri reloading safety rules*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.vihtavuori.com/reloading-data/reloading-safety/> [Kasutatud 15.02.2021].

Vihtavouri, s.d.b *9 mm Luger / 9x19 mm*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.vihtavuori.com/reloading-data/handgun-reloading/?cartridge=89> [Kasutatud 15.02.2021].

Vorburger, T.V., Song, J. and Petraco, N., 2015. Topography measurements and applications in ballistics and tool mark identifications. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4 (1), pp. 1-35.

Waltz, K. N., 2004. Neorealism: Confusions and criticisms. *Journal of Politics and Society*, 15 (1), pp. 2-6.

Warlow, T., 2012. *Firearms, the law, and forensic ballistics*. CRC Press.

Weller, T.J., Zheng, A., Thompson, R. and Tulleners, F., 2012. Confocal microscopy analysis of breech face marks on fired cartridge cases from 10 consecutively manufactured pistol slides. *Journal of Forensic Sciences*, 57 (4), pp. 912-917.

Werner, D., Rhumorbarbe, D., Kronseder, P. & Gallusser, A., 2018. Comparison of three bullet recovery systems. *Forensic Science International*, 290, pp. 251-257.

YouTube, 2011. *Fiocchi Factory Tour - An Insider's Look At Fiocchi's Historic Ammunition Plant In Italy*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.youtube.com/watch?v=VwEgAkI6sEA> [Kasutatud 06.03.2021].

JOONISTE JA TABELITE LOETELU

Joonis 1. Kesktulepadruni läbilõige (Carroll, 2018, p. 255, muudetud autori poolt).....	12
Joonis 2. Uuringu protsessiskeem ja valiidsuse aspektid (autori koostatud).....	40
Joonis 3. Padrunite jaotus gruppidesse (autori koostatud)	44
Joonis 4. Vindivälja jälje võrdlus kahe kuuli jälje ühitamisega (Carroll, 2018, p. 251 – kadreeringut muudetud magistritöö autori poolt).....	50
Joonis 5. Võrdlusmikroskoobi ehitus (Gerules, et al., 2013, p. 239 – tõlgitud autori poolt) ...	51
Joonis 6. Kerge kuuliga gruppide võrdluste tulemused (autori koostatud).....	62
Joonis 7. Raske kuuliga gruppide võrdluste tulemused (autori koostatud).....	62
Joonis 8. Interaktasiooniga regressiooni jääkliikmete jaotuse graafik (autori koostatud).....	66
Tabel 1. Inimotsuse ja ballistika üldiste küsimuste uuringud (autori koostatud).....	21
Tabel 2. Masinotsuse teemade uuringud (autori koostatud).....	32
Tabel 3. Püssirohu masside keskväärtused ja 5% väärtused (autori koostatud).....	48
Tabel 4. Võrdlusuuringute tulemuste tabeli näitlikustav väljavõte (autori koostatud).....	53
Tabel 5. Laskude jada kujunemine gruppidest (esitatud osaliselt; autori koostatud).....	54
Tabel 6. Kogu katseseeria padrunite arv ja tegevused nendega (autori koostatud).....	59
Tabel 7. Kõikide 130 padruni üldpikkuse kirjeldav statistika (autori koostatud)	60
Tabel 8. Avatud 100 padruni tehase püssirohukoguse kirjeldav statistika (autori koostatud) .	60
Tabel 9. Gruppide kokkulangevuse määra kirjeldav statistika (autori koostatud)	61
Tabel 10. Mõlema regressioonanalüüsi ühised andmed (autori koostatud)	64
Tabel 11. Lineaarse regressioonanalüüsi tulemused ilma interaktsioonita (autori koostatud).	64
Tabel 12. Lineaarse regressioonanalüüsi tulemused interaktsiooniga (autori koostatud).....	65