

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT
TEKSTIILITEHNOLOOGIA ÕPPETOOL**

**TORKE- JA KUULIKINDLAD MATERJALID
Bakalaureusetöö**

Cärol Kralla

Juhendaja: Anti Viikna, Tekstiilitehnoloogia õppetool,
professor, õppetooli juhataja

Materjalitehnoloogia õppekava KAOB02/09
2014

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

Cärol Kralla

Ees- ja perekonnanimi

Sisukord:

Sissejuhatus.....	5
1. Torkekindlad materjalid	6
1.1 Ajalugu.....	6
1.2 Noa torge.....	6
1.3 Torkamisele vastupidava turvise konstruktsioon ja tootmine	8
1.4 Torke potentsiaal	9
1.5 Katvus ja kantavus.....	10
1.6 Torkekindel turvis.....	11
1.6.1 Kõvad torkekindlad tekstiilid.....	12
1.6.2 Poolpehmed torkekindlad tekstiilid	12
1.6.3 Pehmed torkekindlad tekstiilid	13
1.7 Viimistlusega saavutatav torkekindlus	14
1.8 Mitte-Newtoni vedelik	14
2. Ballistiliste kaitseomadustega materjalid	15
2.1 Ajalooline taust	15
2.2 Kahekümnes sajand.....	16
2.3 Kõvad turvised.....	17
2.4 Pehmed turvised	17
2.5 Ballistilistes rõivastes kasutatavad levinuimad kiud	18
2.5.1 Kevlar.....	18
2.5.2 Twaron	18
2.5.3 Spectra.....	18
2.5.4 Dyneema	19
2.5.5 Zylon (PBO).....	19
2.5.6 Nylon	19
2.6 Turvistes kasutatavad kangastruktuurid	19
2.7 Turvise töömehhanism.....	22
2.8 Ballistiline testimine ja kaitse hindamine.....	22
2.9 Programm CASPER – näide kaitse arvutipõhisest analüüsist.....	26
2.10 Kaitse tasemete ja materjalikihtide suhe.....	26
2.11 Ameerika Ühendriikide Riikliku Õigusinstituudi (NIJ) kuulikindlate vestide standardid	27
2.12 Riikliku Õigusinstituudi (NIJ) kuulikindlate vestide klassifikatsioon.....	27
2.12.1 Tase I (väikse kaliibrilised relvad)	27

2.12.2 Tase II-A (väiksema kiirusega .375 kaliibriga magnum)	27
2.12.3 Tase II (suurema kiirusega .357 kaliibriga magnum).....	27
2.12.4 Tase III-A (.44 kaliibriga magnum).....	28
2.12.5 Tase III (suure võimsusega vintpüss).....	28
2.12.6 Tase IV (soomustlâbistav vintpüss)	28
2.13 Kuulikindlate kaitserõivaste kujundamine ja tootmine	28
2.14 Ballistilise kaitse saavutamine polümeersete nanokomposiitidega	29
3. Rakendused	30
3.1 Ballistiliste vestide kujundus	30
3.1.1 Naistele mõeldud kuulikindlate vestide kujundus	31
3.2 Ballistilised kiivrid	32
3.2.1 Ballistilistes kiivrites kasutatavad materjalid	33
3.2.2 Ballistiliste kiivrite disain	33
3.2.3 Ballistiliste kiivrite klassifikatsioon	34
4. Tuleviku arengusuunad kaitserõivaste tehnoloogias.....	35
Kokkuvõte.....	37
Summary	38
Kasutatud kirjanduse loetelu	38

SISSEJUHATUS

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on kirjeldada ballistilist- ja torkekindlat kaitserõivastust, ning uurida vastavate vestide ning kiivrite omadusi, tulenevalt nende töömehhanismist ja ehitusest.

Töö jagatakse neljaks suuremaks teemaks, mis omakorda jagunevad sobilikeks alateemadeks, ning mis hõlmavad endast torkekindlaid- ja ballistiliste kaitseomadustega materjale, nende tuleviku arengusuundi ning olulisemaid rakendusi kaitserõivastuses.

Antud bakalaureusetöö teema osutus valituks tänu sarnase teema käsitlesele erialases referaadis. Kuna teema oli huvi pakkuv oma elutähtsa rolli tõttu tänapäeva ühiskonnas, kus peamiseks ohuks on teine inimene ning temapoolt tekitatud kahju, tundus igati loogilise jätkuna sellesse sügavamalt ja põhjalikumalt süüvida, et oma varasemaid teoreetilisi teadmisi veelgi laiendada.

Töös plaanitakse lähemalt uurida ja tutvustada torke- ja kuulikindlate materjalide ajalugu ning nende jagunemist vastavalt ehitusele, tekstiilmaterjalides enim kasutatavaid kiude, mugavusomadustest tulenevat kaitsemäära ja selle hindamist, turviste töömehhanisme, aga ka nende tootmist ja konstruktsiooni.

Lisaks on plaanis välja tuua peamised kaitserõivastusse kuuluvad komponendid, nagu näiteks kiivrid, ning uurida lähemalt nende jagunemist ja disainimist mõjutavaid aspekte. Samuti leiavad käsitlust torke- ja kuulikindlate materjalide potentsiaalsed arenguvõimalused lähitulevikus.

Kavas on leida vastus ka küsimusele, et mille poolest erinevad kuulikindlad ja ballistilised materjalid. Huvipakkuvaks on ka viimistlusega saavutatava kaitse võimalikkus ning torke- ja tulirelvade puhul tarviliku kaitse määra erinevuste leidmine.

1. TORKEKINDLAD MATERJALID

1.1 Ajalugu

Turviste arengu ajalooline kronoloogia ulatub juba iidseesse Mesopotaamiasse ligikaudu 2500.a. eKr. Briti Muuseumis olevas väljapanekus võib näha sõdureid, kes kannavad needitud tuunikaid ning vasest või pronksist kiivreid. Neil paistavad olevat ka soomusseelikud, mis koosnevad metallist või nahast liisatakutest. Sarnaseid seelikuid kanti ka Asüürias 745-727.a. eKr. Lamellstruktuuriga kaitserõivad valmistati suurest hulgast üksikutest soomusplaatidest. Varasemates disainides ühendasid plaate nöörid, mis pingutamisel sulgesid plaatide vahel paiknenud tühimikud, ning moodustasid rea ülekattumisi. Hiljem hakati plaate nahast alusrõivaste külge neetima. Sellist disaini kasutati ka keskajal.^[3]

Esmakordselt kasutasid tekstiile asüürlased, kes kasutasid turvistes tepitud linase kihte. Tundub, et juba selle ajastu disainerid mõistsid, et turvise kandmine tekitas ebamugavust, ning seega tuli teha kaitse arvelt mõningaid kompromisse. On tõenäoline, et tepitud linastest valmistatud turviseid kasutati kaitseks vibuküttide vastu, ning lamellstruktuuriga turviseid kaitseks odade eest.^[3]

Järgmine edasiminekuks saabus rõngassärgi leiutamiseks. Rõngassärk valmistati tavalistest omavahel otsakuti ühenduses olevatest või kokkuneeditud otsadega lülidest. Materjalina kasutati sepistatud rauast traati.^[3]

Hilisemalt võeti Euroopas kasutusele rõngassärgid, milles oli kasutatud erineva suurusega ketilülisid. Paksemad raskemad lülid katsid elutähtsaid organeid rinnapiirkonnas ning kergemad õhemad lülid vähem kaitset vajavaid piirkondi.^[3]

1.2 Noa torge

Kõige ohtlikumad relvad on teravad noad (KET on 210 J/mm^2) ja naasklitaolised torkeriistad. Tavaliselt on nende lööki raske peatada, sest nad läbivad kudumi (kiudude kihid) kergesti.^[9]

Noa tera puhul on olulised tera paksus, mis materjalist see valmistatud on, ning millise nurga moodustavad tera ots ning servad. Noa ots, mis on väga terava nurga all, on parimate torkeomadustega.^[3]

Noa tera peab olema piisavalt tugev, et servad püsiks torkel teravad, ent samas piisavalt paindub, et mitte liigse rabaduse tõttu murduda.^[3]

Ergonoomilise käepidemega nuga on pussitamiseks väga efektiivne relv. Enamik noa käepidemetest on kogu käepoolt rakendatud jõu ülekandmiseks kas liiga väiksed või vale kujuga.^[3]

Üldiselt on noa torkel kaks etappi. Esimeses etapis puutub noa teravik materjaliga kokku ning algavad kolm toimingut – sihitud materjal hakkab noa mõjujõu alt eemalduma, samaaegselt takistades löike levikut, ning nuga takerdub kangasse. Teine etapp algab, kui nuga on materjali läbistanud. Seejärel nuga laiendab tekkinud auku ning tungib läbi materjali. Selline etappide jaotusviis on vajalik torkekindlate turviste disainimiseks, kus eesmärgiks on absorbeerida kogu torkeenergia enne materjali läbistamist.^[3]

Kuigi torke rünnaku energia ei pruugi olla nii ülemäärane kui löögi oma, muudab probleemseks ta asjaolu, et see on rakendatud noa otsa poolt nii väiksele piirkonnale. Torke kiirus ja jõud määravad ära sihtmärgile rakendatud impulsi ning kineetilise energia. Tavalise torke kiirus on 5 m/s ning energia 25 Džauli. Terava noa otsa pindala võib olla ligikaudu $1/4 \text{ mm}^2$. See tähendab, et materjalile mõjub energiatihedus 100 J/mm^2 , mis on kõrgem kui enamuse kuuli energiatihedus arvutusi.^[3]

Rõngassärk kaotab oma kaitsvad omadused, kui noa ots ühe või mitu rõngast lõhestab. Võimaliku deformatsiooni hulk, mille rõngas enne murdumist välja kannatab, sõltub selle mõõtmetest ja metalli mehaanilistest omadustest (voolavuspiir, nõtkus, sitkus).^[3]

Tegelik mehhanism, mille järgi rõnga purunemine või murdumine toimub, sõltub erinevatest asjaoludest, nagu näiteks rõnga valmistamise meetod. Seega on oluline, kas rõngas on valmistatud neetimise, keevitamise või tahkest ainest välja löömise teel.^[3]

Enamus viimasel ajal torkekindlates turvistes toimunud arengutest on seotud erinevate metallide struktuuride paigutamise ja elastse toetusega paindlikesse kandjatesse. Kiu- ja kanga tootjad on aga püüdnud väljaarendada materjale, mis oleks piisava vastupanuvõimega ka ilma metalle kasutamata. Üheks selliseks materjaliks on Duponti poolt toodetav Kevlar Correctional.^[3]

Kootud kangaste puhul võib nuga tungida väikese vahemaa läbi kanga lihtsalt kiude kõrvale surudes. Sügavam kanga läbistamine eeldab siiski kiudude läbilõikamist. Eriti kehtib see tihedalt kootud kangaste puhul.^[3]

Kootud kangaste läbistamise puhul muutub oluliseks lõiketera teravus. Kui tera otsa raadius on palju suurem kui materjali paksus, on materjalil lihtsam tera ääre all painduda, ning sisselõiget on raskem teha. Sellistes tingimustes toimub kiu purunemine pigem venitamise tagajärjel rebenemise tõttu, kuna kiud on tera ümber takerdanud ning nende otsene lõikamine on raskendatud. Teisest küljest, kui tera otsa raadius on materjali paksusest tunduvalt väiksem, toimub sisselõike järel järkjärguline lõikamine.^[3]

Energia neeldub kaitserõivastuse väliskihis. See on tingitud kaitsepaneeli ning selle all paikneva keha läbipaindest. Keha viskoosus ja elastsus on erinevatel individuaalidel erinev.^[3]

1.3 Torkamisele vastupidava turvise konstruktsioon ja tootmine

Enamus kasutajaid, kes vajavad torkevastast kaitset, vajavad ka ballistilist kaitset. Seega on peaaegu kõik torkekindlad tooted ka kuulikindlad. See on kasulik, kuna metallist torkekindlad lahendused toimivad elastse neeldunud energiat üle suure ala hajutada aitava toega paremini, ning ballistilised soomuspaneelid sobivad selleks ideaalselt.^[3]

Paneeli deformatsiooni käigus neeldunud energia maksimaliseerimiseks võib keha lähedal kasutada vetruvaid materjale. Tüüpilisteks materjalideks võivad olla suure tihedusega vahtplastid ning erinevad kummid, mis paindumisel või kokkusurumisel neelavad energiat. Selline efekt on limiteeritud, kuna rõiva mahukus (paksus) ning suurenenud kaal mõjutavad ebasoodsalt kandja mugavusomadusi.^[3]

Plaatideks või rõngassärgiks valitud materjali headeks mehaanilised omadusteks peaksid olema tugevus, kõvadus ja sitkus. Tugevus on võime vastu pidada tõmbetugevusele, survetugevusele või põiki mõjuvale jõule. Kõvadus on võime vastu pidada kulumisele, deformatsioonile ja taandele. Sitkus on võime vastu pidada lõhenemisele. Roostevaba teras ja titaan on sellistele nõudmistele vastamiseks peamised kandidaadid. Neist 0,6 millimeetrise diameetriga traatidest valmistatakse 7 millimeetrise läbimõõduga rõngaid, mida kasutatakse rõngassärgides, ning mis on sobivad ka mitmete teiste torkekindlate rakenduste valmistamiseks.^[3]

Et takistada noa otsa poolt materjali läbistamist selle nüristamise kaudu, on olulisemaks mõjutajaks materjali välispinna kõvadus. Ideaalseteks materjalideks on alumiiniumoksiidi või boorkarbiidi baasil keraamilised komposiidid.^[3]

Kiudude ja kangaste puhul on üheks lahenduseks vaiguga töötlemine. Kui terava tipuga torkerelv puutub kokku lihtsakoelise mitmekihilise aramiidkangaga, siis enamasti kalduvad kiud rohkem lahku liikumisele ning tera sügavamale jõudes hakkab toimuma kiudude läbilõikamine. Kui aga kangas on vaiguga töödeldud, ei ole üksikutel kiududel võimalik nii hõlpsasti üksteisest eralduda.^[3]

Kui noa ots siiski läbib materjali, on järgnevas etapis materjali lõikamine, mille puhul noa ja turvise vastastikune mõju on muutunud. Lõiget mõjutavateks teguriteks on tera üldine profiil ning kogu serva pikkus. Tüüpiliseks selliseks materjaliks on polükarbonaat. Selle polümeeri läbimiseks ja deformeerimiseks on vaja rakendada palju energiat. See tähendab, et isegi kui nuga tungib läbi materjali, on selle edasine liikumine takistatud. Kuna materjal lukustab tera endasse, on seda peaaegu võimatu ka tagasi välja tõmmata.^[3]

Võib eeldada, et peaaegu kõik kasutajad nõuavad mitmekihilisi ballistilisi paneele. Vaiguga töödeldud aramiide, nagu näiteks Protexa, või spetsiaalselt kootud materjale, nagu Kevlar Correctional või Twaron SRM, kasutatakse kombineeritud ballistiliste ja torkekindlate paneelide valmistamiseks.^[3]

Kõige olulisemad parameetrid turvise disainimisel on nõutud kaitsetase, katvus ja kantavus.^[3]

1.4 Torke potentsiaal

Statistiliselt on palju suurem tõenäosus jääda noa rünnaku ohvriks, kui see, et sind tulistatakse. Eriti Lääne-Euroopas, kus on karmide relvaseaduste tõttu keerulisem relva omada.^[4]

Erinevat tüüpi nugade valik on väga lai ning on võimatu ennustada, millist kindlat tüüpi nuga konkreetses olukorras kasutatakse. Lisaks võivad erineda ka torkamismeetodid. Ülekäe löögid on tavaliselt suurima energiaga ning üldjuhul kokkupuude kannatanuga toimub ülevaltpoolt allapoole. Vigastada saavad peamiselt ülarindkere, selg ning õlapiirkond. Kerge tõusunurgaga altkäe löögid põhjustavad vigastusi tavaliselt seljale või rindkere alumisele poolele.^[3]

Torkehaavade puhul on haava sügavus suurem kui haava pikkus. Torkerelvad tungivad sügavale ning tekistavad vigastusi rinnus ning kõhus asuvatele siseorganitele. Mida rohkem tera haavas liigutada, seda suuremaid sisemisi vigastusi see põhjustab. Torkehaava sügavus on tavaliselt suurem kui noa pikkus, kuna nahk ja nahaalused struktuurid on kokkusurutavad.^[3]

Torke potentsiaal on määratud mitmesuguste järgnevate muutujatega:

- Nuga : tera geomeetria, otsa teravus, terase tugevus, ääre teravus, noa käepide.
- Ründaja : sugu, vormisolek, keha mass ja füüsis, vaimne seisund, treenitus/kogemus.
- Torke hetk : ülevalt/alt/torge/lõige, käe- ja tera kiirus, torke jõud, torke energia, tera nurk torkel, kokkupõrke järgne tera väänamine/pööramine, torgete arv.
- Ohver : keha mass, reaktsioon, torkamise piirkond.^[3]

1.5 Katvus ja kantavus

Traditsiooniline kasutuses olev turvis koosneb kahest paneelist - eesmisest ja tagumisest. Esipaneel võib koosneda kahest kattuvast poolest. Sageli jääb kandja külgedele esi- ja tagapaneeli vahele väike tühimik mugavusomaduste parandamiseks.^[3]

Enim torkeid tabavad üldjuhul rinna- ja kõhu piirkonda. Sellele järgnevad pea- ja käte piirkond. Kõige vähem torkeid tabab tavaliselt jalgade piirkonda. Suurimaks ohuks ellujäämisele on südame-veresoonkonna vigastus.^[3]

Lisaks torkekindluse tagamisele ning piisavale katvusele peab hea turvis olema ka piisavalt elastne, kerge, minimaalse paksusega ning madala soojusisolatsiooniga, vältimaks kandja ülekuumenemist.^[3]

1.6 Torkekindel turvis

Kuulikindel rõivastus on võimeline vastupidama suure kiiruse ja -energiaga kuulide mõjule. Leidub inimesi, kes seetõttu arvavad, et see peab vastu ka teravatele torgetele. Tegelikult aga on kuuli- ning torkekindlate mehhanismide vahel sisuline erinevus. Torkekindla mehhanismi tuumaks on energia neeldumine väikse pindalaga lõikeservalt. Niisiis peab materjalil olema tugev torkevastane mitmekihiline struktuur, mis peab vastu noa tipu poolt tekitatud energiale.^[6]

Riikides, kus kehtivad karmid relvaseadused, on pistodad ja noad inimestele peamiseks ohuks. Seetõttu on märkimisväärse tähtsusega torkekindlate turviste kiire areng nii tsiviil- kui ka sõjalistest valdkondades.^[7]

Torkekindla turvise konseptsioon on lihtne. Esiteks peab see ennetama terariista läbitungi kaitsvatest kihtidest ning kandja kehani jõudmist. Teiseks peab see kahju minimaliseerimise eesmärgil hajutama või kulutama relvast tulenevat energiat.^[7]

Tekstiili läbitorkekindlus sõltub kiudude omadustest, riide konstruktsioonist ja torkeriistast.^[9]

Turvistes kasutatavad kiud peavad olema tugevad, suure elastsusmooduli ning torkekindlusega. Peamisteks turvistes kasutatavateks kõrgsuutlikeks kiududeks on aramiidid, ülikõrge molekulmassiga polüetüleen, keraamilised- ja süsinikkiud.^[7]

Tuginedes erinevatele uurimustele võib järeldada, et rindkere kaitse on kõrgeima prioriteediga, kui eesmärgiks on vältida surmaga lõppevat pussitamist. Maksimaalse kaitse saavutamiseks peaks kaitserõivastus katma võimalikult suure osa torsost ning ka reied ja vaagnaluu.^[1]

Kehtivad testi standardid nõuavad torkekindlate kaitserõivaste vastupidavust 25- 43 J suurusele löögienergiale. Kuigi see on tunduvalt madalam kui kuuli löögienergia, mõjub see väga väiksele pindalale. See viib väga kõrge kontaktjõuni, mis taandab materjali radiaalselt.^[1]

Metallsüsteemid võivad pakkuda piisava kõvaduse korral head kaitset. Pehmed metallid, nagu näiteks alumiinium, nõuavad kaitse saavutamiseks suuremat paksust, kuid on suhteliselt kerged. Parimad tulemused on saavutatud titaani ja tema sulamitega, mis on küllaltki kallid. Titaan on väga sitke, mis muudab ta torgetele ja lõigetele väga vastupidavaks.^[1]

Torkekindel kiht koosneb tavaliselt kõrgsuutlikest kiududest moodustatud tekstiilist või paindlikest ühesuunalistest komposiitmaterjalidest.^[7]

Tugevusastme järgi jaguneb torkekindel turvis kolmeks – kõva, poolkõva ning pehme.^[6]

1.6.1 Kõvad torkekindlad tekstiilid

Kõvad torkekindlad tekstiilid koosnevad tegelikult jäikadest plaatidest, mis asetatakse turvise küljes olevatesse kandjatesse. Kõvades torkekindlates tekstiilides kasutatakse tavaliselt metallist materjale, mis on kerged, tugevad, kõvad ja korrosioonikindlad. Näiteks võib tuua metallisulamist materjalid, ülitugevad kvaliteetsed kerged metallid (alumiinium), traadid ja kerged lehtmehallid.^[6]

Kõvade torkekindlate materjalide puuduseks on materjali jäikus, mida pole võimalik muuta. Paindumatuse tõttu on nad kandjale ebamugavad ning põhjustavad füüsilist kurnatust.^[6]

Jäik turvis võib noa alistada takistades perforatsiooni või põhjustades tera paindumist.^[1]

Jäigal turvisel on veel üks oluline puudus – see ei talu painutamist ega väänamist – ning seega tuleb oht peatada selle paksuse sees. Tavaliselt viitab see vajadusele kasutada piisava kaitse saavutamiseks raskeid või pakse plaate. Võrreldes tekstiilkaitsematerjalidega on see oluliseks erinevuseks, kuna tekstiilturvised deformeeruvad kandja keha poole, ning nende energia ülekande toimub seeläbi tunduvalt suuremale vahemaale, kui kõigest nende esialgne paksus.^[1]

1.6.2 Poolpehmed torkekindlad tekstiilid

Poolpehmed torkekindlad tekstiilid on mõningal määral painduvad. Need koosnevad komposiitkihtidest, mille keskel on erilised metallplaadid või teras rõngad. Poolpehmete torkekindlate materjalide mehhanism kujutab endast kõrgsuutlike kiudude ja komposiitmaterjalide liitmist.^[6]

Poolpehmete torkekindlate tekstiilide tootmisprotsessi keerulisuse tõttu pole võimalik rakendada masstootmist.^[6]

1.6.3 Pehmed torkekindlad tekstiilid

Pehmed torkekindlad riided on valmistatud ühesuunalistest torkekindlate kangaste kihtidest või kõrgefektiivsetest kiududest valmistatud komposiitmaterjalidest.^[6]

Polümeersete materjalide tormilise arengu tõttu pööratakse pehmetele materjalidele kõige rohkem tähelepanu. Tänu paremate omadustega polümeeridele paranevad torkekindlate materjalide jõudlus ja kaal, millest tulenevalt ka mugavus. Tihedus on väga oluline faktor.

Pehme torkekindla materjali protsess on aeglane ja pidev. Takistades tera edasiliikumist, saavutab see kaitse eesmärgi.^[6]

Efektiivseks viisiks torkekindlate rõivaste paindlikkuse parandamiseks on suurendada kõrgsuutlike kiudude kontsentratsiooni, mis oleks võimelised torkerelva peatama.^[6]

Võrreldes kõvade ja poolkõvade turvistega, võib pehmeid turviseid kanda igapäevaselt, kuna nad on painduvad ning jäävad tavarõivaste all märkamatuks.^[7]

Pehmete torkekindlate rõivaste puudujäägiks on industrialiseerimise kõrge maksumus. Samuti võrreldes teiste torkekindlate materjalidega on nende tootmistehnoloogia keerulisem ning raiskab rohkem toorainet.^[6]

Parem torkevastase kaitse lahendus on sarnane kuulikaitseks kasutatavale tekstiilturvisele. Parima torkekindlusega on Kevlar ja Twaron. Siiski on oluline, et torkerelva oleks sunnitud neid kiude lõikama, mitte lihsalt kudumit laiali lükkama. Seda on osaliselt võimalik saavutada tänu peenemalt, tihedamalt kootud kangastele. Selliste süsteemide eeliseks on see, et säilitades täieliku paindlikkuse, võivad sellised turvised lisaks torkekindlusele pakkuda ka mõningat ballistilist kaitset.^[1]

Rõngassärki võib samuti kasutada painliku torkevastase kaitsena. Sellisel juhul on rõngaste ahelate eesmärgiks tera ots peatada pärast minimaalselt perforatsiooni. Sellepärast on vaja kasutada kas väga väikese läbimõõduga rõngaid või polsterdus süsteemi. Tavaliselt on rõngassärk asetatud mitmekihilise ballistilise kanga peale, moodustades ühtse kaitsesüsteemi. Selline ehitus on väga paindlik ning omab nii torke- kui kuulikindlaid omadusi, ning on võrreldav lamineeritud kanga lahendusega.^[1]

1.7 Viimistlusega saavutatav torkekindlus

Üks kanga stabiilsuse parandamise meetoditest on tema katmine või lamineerimine õhukese polümeerse kihiga, mis seob lõngad omavahel osaliselt kokku. Kuigi selline lahendus vähendab kanga paindlikkust, mis omakorda vähendab mugavust ja ballistilisi kaitseomadusi, võib see vähendada nüri trauma esinemissagedust.^[1]

Lamineeritud tekstiilmaterjalist kaitserõivastus on nii kuuli- kui ka torkekindel, olles samaaegselt piisavalt elastne ja lihtsa konstruktsiooniga. Need süsteemid on muutunud 21. sajandil domineerivaks.^[1]

Materjalidega, millele antakse kaitsvad omadused nende erilise töötlemise (viimistlemise) käigu, kaasneb alati oht, et viimistlusained irduvad riidelt näiteks hooldusprotsesside (pesemine, kuivpuhastus) käigus ja materjal kaotab oma kaitsvad omadused.^[9]

1.8 Mitte-Newtoni vedelik

Ameerika Ühendriikide sõjaväe teadusuuringute labor on välja töötamas uut materjali, mis muudaks turvise kergemaks ja paindlikumaks. Mitte-Newtoni vedelik koosneb vedelikku puistatud kõvadest osakestest. Maisitärklise ja vee segu on klassikaline näide mitte-Newtoni vedelikust.^{[5][7]}

Mitte-Newtoni vedeliku põhiomadus on see, et tema viskoossus ei ole konstantne, vaid muutub vastavalt sellele, kui kiiresti selle kuju deformeeritakse, ehk siis kui kiiresti ta voolama peab. Rahuliku liigutamise korral käitub selline vedelik vedelikuna. Kiirel muutusel seevastu hakkab ta käituma tahkisenä.^[10]

Tahkestumise põhjuseks on nihke poolt tingitud siirdeagregaatide teke ning perkolatsioon, mis suurendavad vedeliku viskoossust. Kui löögijõu mõju kaob, taastub kokkupuute pinna vedel olek, ning materjal muutub uuesti pehmeks. Tegemist on pöörduva protsessiga.^[7]

Peamine meetod torkekindluse parandamiseks on kanga vedelikuga immutamine. Mitte-Newtoni vedelik loodi silikageeli kolloidosakeste disperseerimisel polüetüleenglükooli. Võrdlustest näitab, et selle vedelikuga töödeldud Kevlar kiududest kangas on oluliselt parema torkekindlusega kui tavaline Kevlar kangas.^[7]

Mitte-Newtoni vedelikuga tõhustatud tekstiilkangaste tootmist on juba alustatud nimetuse Deflexion all, kuigi 2008nda aasta seisuga pole ühtegi valmistoodet veel kaitserõivastuse turule tulnud.^{[5][1]}

2. BALLISTILISTE KAITSEOMADUSTEGA MATERJALID

2.1 Ajalooline taust

Kuni üheksateistkümnenda sajandi lõpuni peeti maismaa lahinguid lähivõitlusena. Sõjaväe vormirõivad olid erksad, läikivad ja värvilised nii rügemendi identifitseerimiseks kui ka vaenlastes hirmu tekitamiseks. Kasutatud materjalid olid kõik loodusliku päritoluga, näiteks vill, kitsevill, puuvill, siid, hobusejõhvid, sea harjased, karusnahk ning ka linnusuled. Sellised vormirõivad olid lahinguväljal kandmiseks rasked, ebamugavad ning ebapraktilised.^[2]

Tsivilisatsiooni arenedes toimusid arengud ka kaitserõivastuses, mis jagunesid kolme kategooriasse:

1. Nahast, kangast või nende vahelduvatest kihtidest valmistatud turvis, mida tugevdati tepingutega,
2. Põimitud rauast või terasest valmistatud rõngassärk,
3. Metallist, puidust, plastikust, või sarnaste tugevus- ja vastupanu võimetega materjalidest valmistatud jäik kehakaitse.^[3]

11. sajandil eKr. kandsid hiina sõdalased viiest kuni seitsmest kihist ninasarviku nahast valmistatud turvist. Sarnaselt hiinlastele kasutasid mongolid 13. sajandil pKr. härja nahku. Kreeka raskejalavägi kasutas 5. sajandil eKr. paksudest mitmekihilisest linasest kūrassidega tekstiilturvist. Keskaja jaapani sõdalased kasutasid tihedalt kootud siidist valmistatud tekstiilturviseid. Põhja-Indias kasutati kuni 19. sajandini tepitud linasest mantleid.^[3]

Vanakreeka jalaväelased kasutasid puidust kilpe ning nahast valmistatud kūrasse. Kūrass on kehakaitse, mis kaitseb kandja torsot, mis jääb puusadest või vööst ülespoole. Algselt oli see paks nahast rõivas, mis ulatus kandja peast taljeni, kattes ka kaelaosa. Rooma leegionärid kasutasid nahast riideid, rõngassärki ning pronksist soomusrüüd.^[3]

Keskajal ei tuntud Lääne-Euroopas turviseid, mis koosnesid suurtest plaatidest. 12. ja 13. sajandil oli peamiseks keha ja jäsemeid katvaks kaitserõivastuseks rõngassärk. 14. sajandil

asendas metallturviste tulek rõngassärkide kasutamise. Umbes 1510. aastal kasutasid sakslased paindlike liigestega metallrüüd, mis kattis kogu kandja keha pealaest jalatalleni, omades ainult sepistatud metallist kiivris pilu silmade ning väikseid auke hingamise jaoks.^[3]

Keskajal mujal Euroopas kasutusel olnud metallturvised koosnesid suurtest teras- või raudplaatidest, mis olid lõdvalt ühendatud neetide ja sisemiste nahkribadega, mis jätsid kandjale maksimaalse liikumisvabaduse. Metallturvised domineerisid Euroopa kehakaitse disainis kuni 17. sajandini, mis ajaks tulirelvade areng oli muutnud need iganenuks.^[3]

Enamus traditsioonilistest turvistest polnud enam efektiivsed, kuna ei pakkunud tulirelvade vastast kaitset. Õigupoolest pakkusid ainsana tulirelvade vastast kaitset tehistõkked, nagu kivi- ja müüriseinad, ning looduslikud tõkked, nagu näiteks kivid, puud ja kraavid.^[3]

Tegelikult lõpetas püssirohu avastamine turviste arengu sajanditeks, kuni 1850. aastal kuulus Austraalia lindprii Ned Kelly leiutas katlaplaadi rauast vesti, ning kasutas seda isiklikul otstarbel kuritegevuseks. Austraalia politseil õnnestus ta tabada alles 1880. aastal, pärast korduvate tabamuste saamist alajäsemetesse, mida tema kaitserõivastus ei katnud.^[3]

2.2 Kahekümnnes sajand

Teine Maailmasõda ja Korea sõda olid turvistele tõeliseks taassünniks. Tehnoloogiline innovatsioon ja võitlusmeetoditega katsetamine tagasid kindla vajaduse efektiivsete turviste järele. Juba mitmeid aastaid on tekstiilitööstus pööranud suurt tähelepanu ja kulutanud ressursse tehnoloogiatele, mis tõstaksid uutest materjalidest valmistatud kaitseriie mugavust, tõhusust, vastupidavust ning usaldusväärsust.^[3]

Pikka aega takistas kaitserõivaste ja tehniliste tekstiilide arengut vajalike omadustega kiudude puudumine. Polümeerikeemia tekkimine ja areng, ehk ülitugevate ja kõrgmolekulaarsete kiudude välja töötamine 1960ndates viis uue kaitserõivastuse ajastuni, mis pakkusid kaitset väikerelvade laskemoona suhtes ning olid suutelised neelama suurtes kogustes energiat väikese ajaga. Selle tulemuseks olid materjalid, mis suutsid muidu surmavad haavad muuta vaid sinikateks. Tekstiilist kaitserõivad on tänapäeval kõige uuemad ja revolutsioonilisemad materjalid kaitserõivaste valdkonnas.^{[3][9]}

Umbes kahekümnenda sajandi vahetusel toimusid tehnoloogias ja teaduses jõudsad edusammud, tänu millele hakati tootma rohkem parema sihikuga pikamaa relvi. Oluliseks muutus väeosade ning relvade peitmine ning taustaga ühtseks sulandumine.^[2]

Kaasaegsed turvised jagatakse kahte suuremasse kategooriasse: kõvad- ja pehmed turvised.^[3]

2.3 Kõvad turvised

Kõvad turvised on valmistatud tugevatest ballistilistest materjalidest nagu keraamika, plast või metallist plaadid. Sellised materjalid on piisavalt tugevad ennetamiseks terariistade poolt tekitatavaid torke- ja löikehaavu. Kuuekümnendate alguses töötati välja alumiiniumoksiidist (keraamika) klaasikiuga lamineeritud komposiitmaterjal, et peatada suure energiaga lendkehi. Tänapäeval sisaldab keraamiline armor alumiiniumoksiidi, räni- ja boorkarbiidi. Klaasiga tugevdatud plastikuks on kombinatsioon kootud klaasikiududest ja keemilisest vaigust. See sobis hästi peatamiseks madala kiirusega kuule ning miini- ja granaadi kilde, kuid ei suutnud peatada vintpüssi suure kiirusega kuule. See on kerge, kuid kallis.^[3]

Optimeerimisuuringud on näidanud, et keraamiline osa peaks moodustama 2/3 kogu turvise kaalust. Ülejäänud 1/3 peaks moodustama amortisatsioon. Teine puhtempiiriline rusikareegel on, et keraamilise kihi paksus peaks olema ligikaudu võrdväärne ohtu põhjustava relva kaliibriga.^[1]

2.4 Pehmed turvised

Pehmed turvised on valmistatud kergkaalulistest polümeersetest kiudmaterjalidest, mis ilmutavad suuresti paranenud ballistilist vastupanuvõimet. Tekstiilist turvised hõlmavad aramiide (Kevlar, Twaron, Technora), kõrgorienteeritud ülikõrge molekulmassiga polüetüleene (Spectra, Dyneema), PBO-d (Zylon), polüamiide (Nylon) ja nii edasi. Mõned neist materjalidest, nagu näiteks aramiidid, on tänu oma ballistilistele kaitseomadustele laialdaselt kasutusel kuulikindlates vestides, kuid on ka neid kiude, mis on näidanud suurt potentsiaali, ent mida ei ole sellel alal veel kasutusele võetud.^[3]

Pehmete turviste puhul on oht, et vigastusi võivad tekitada turvist mitte läbivad lendkehad, mis põhjustavad nüri traumat. Kuigi see on võimalik oht, on selle esinemissagedus siiski väga madal. Selle esinemine piirdub väikese arvu ebatavaliste juhtumitega, kus kuul on tabanud turvise serva lähedust või kokkupõrke energia on olnud kindlas punktis püsiv.^[1]

2.5 Ballistilistes rõivastes kasutatavad levinuimad kiud

2.5.1 Kevlar

Kevlar, mis on välja töödatud Dupontis, on laialdaselt kasutusel kaasaegsetes kergekaalulistes riiete alla peidetavates kuulivestides. Kevlarist valmistatud kaitserõivaid iseloomustab võrreldes eelkäijatega paranenud ballistiline kaitsevõime. Kevlarkiud koosnevad pikkadest molekuli ahelatest, mille moodustavad polüparafenüleentereftaalamiidid. Ahelad on kõrgelt orienteeritud ning nende molekulide vahel on tugevad sidemed. Kõik see on tekitanud kevlarile omapäraste omaduste kogumi, kuhu kuuluvad kõrge tõmbetugevus väikestel raskustel, väike venivus enne purunemist, kõrgmolekulaarsus (struktuurne jäikus), madal elektrijuhtivus, kõrge keemiline vastupidavus, väike termiline kokkutõmbumine, suur tugevus, suurepärase mõõtmete stabiilsus ehk algvormi säilitamine, tulekindlus ja hea vastupidavus terariistade suhtes.^[3]

Kevlarkiud ei sula ega pehmene. Kiudu ei mõjuta ka veega kokkupuude, kuid niiskusega kokkupuude võib ballistilisi omadusi halvendada. Kevlar on rauast viis korda tugevam ning ta on kerge, elastne ja mugav. Tekstiilitööstusfirmadel on kevlarkiudu väga lihtne töödelda.^[3]

2.5.2 Twaron

Akzo Nobel-i (praegune Tejin Twaron) poolt välja töötatud para-aramiid kiud, mida kasutatakse kaasaegses kuulikindlas kaitserõivastuses. Akzo Nobeli väidete kohaselt on lõngas kasutatud vähemalt tuhandet peeneks kedratud üksikut kiudu, mis toimivad energia kāsna, absorbeerides kuuli mõju, ning hajutades seeläbi kuuli energia ühendatud ja külgnevate kiudude kaudu. Mida rohkem kiude kasutatakse, seda kiiremini kuuli mõju hajub. On öeldud et Twaron-i mikrokiust valmistatud kuulivest on 23% kergem kui aramiid lõngast valmistatud vest.^[3]

2.5.3 Spectra

Spectrakiud on ülikõrge tugevusega polüetüleenkiud. Ülikõrge molekulmassiga polüetüleen lahustatakse lahustis ning kiud moodustatakse geelketrus protsessi käigus. Kiud on kaaluliselt terasega üks ühele, kuid on terasest kümme korda tugevamad. Samuti on nad vastupidavamad kui polüester ning nende eritugevus on 40% suurem kui aramiid kiududel.^[3]

2.5.4 Dyneema

Samamoodi nagu Spectra puhul on Dyneema näol tegemist kuulivestides kasutatava HPPE kiuga, mis on valmistatud geelketrusel. Dyneemal on erakordselt suur tugevuse ja kaalu suhe ning see on piisavalt kerge, et jääda vee peale hõljuma. Kiule on iseloomulik kõrge energiaimavus ning võime kiiresti lööklaineid hajutada.^[3]

2.5.5 Zylon (PBO)

Zylon on kõrgsuutlik kiud, mille töötas välja Toyobo, ning seda kasutatakse kaasaegsetes kaitserõivastes. See koosneb jäikadest vardakujulistest ahelatest. Zylonkiud on p-aramiidkiust ligi kaks korda tugevam. Lisaks omab ta 10°C kõrgemat lagunemistemperatuuri kui p-aramiidkiud.^[3]

Zylonkiust valmistatud kaitserõivad on kergemad, mugavamad ja tugevamad kui aramiidist valmistatud turvised. Ekstreemsetes kuumustes ja inimteguritest tulenevalt (näiteks higi) võib aga Zylonkiu tõmbetugevus märgatavalt väheneda.^[3]

2.5.6 Nylon

Nailon (Nylon) on polüamiidkiud. Nailonkiud olid domineerivad enne 1972. aastat. Need näitasid märkimisväärset mittelineaarsust pingede-deformatsiooni käitumisel suhteliselt suure piknemise korral enne purunemist. Nailon 6,6 (ballistiline nailon) on suure kristalsusastmega ja madala katkevenivusega, ent on siiski kasutusel kuulikindlates vestides.^[3]

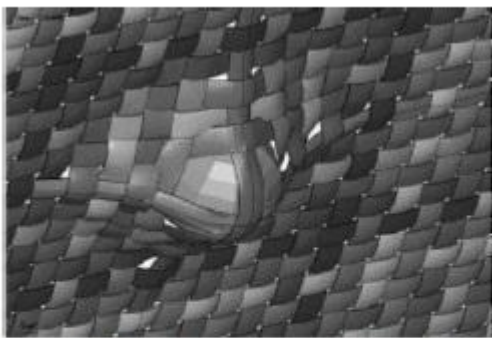
2.6 Turvistes kasutatavad kangastruktuurid

Kuulikindlat kangast valmistatakse kõrgsuutlikest kiududest, nagu näiteks Kevlar, Twaron või Dyneema. Kootud materjali ballistiline tulemuslikkus sõltub nii kanga moodustavate kiudude mehaanilistest omadustest kui ka kanga geometriast (koetüüp, kiudude arv lõngas, kudumise tihedus ja nii edasi). Tavaliselt kasutatakse ballistilise kanga kudumiseks tihedalt kootud labast kudet (joonis 2.6.1) või ristkudet. On täheldatud, et lõdvalt kootud või tasakaalust väljas oleva koega kangastel on halvemad ballistilised kaitseomadused. Koe pakkimistihedus, mida indekseeritakse katte teguriga, on määratud lõime- ja koelõngade laiuse ja kaldega, ning see annab aimu kanga poolt kaetud brutoala protsendist.^[3]



Joonis 2.6.1 Labasekoeline riie

Et olla ballistilistes rakendustes kasutamisel efektiivne, peaks kanga katte tegur olema vahemikus 0,6-0,95. Suurema kui 0,95 katteteguri korral toimub tavaliselt kanga lagunemine kudumisprotsessil ning väiksema kui 0,6 katte teguri korral võib kangas olla liiga lõtv ning seega kaotada oma kaitseomadused. Joonisel 2.6.2 on kujutatud kuuli kinni püüdmine lihtsakoelise kootud kanga poolt.^[3]



Joonis 2.6.2 Kuuli peatav ballistiline kangas

Lõdvalt kootud kangaste puhul on suurem tõenäosus, et lendkeha põhjustab kokkupõrkel kangaga lõngasilmade laiali jagunemise, pääsedes kangast läbi. Kui lendkeha põrkub vastu kangast, siis kangas deformeerub risti kiude ja koesilmad on välja venitatud, mille tulemusena suureneb lõngadevaheline ruum. Kui lendkeha on suhteliselt väike ning kokkupõrge kangaga toimub mingi nurga all, siis võib ta lõngade purustamise asemel neid kõrvale tõugates lipsata läbi tekkinud avause.^[3]

Selleks, et vältida kuuli poolt mõjutatud lõngade libisemist, on ballistiliste kangaste valmistamiseks kasutusele võetud ka leno struktuurid. Tänu selliste struktuuride lukustuvale efektile on lõngade liikumine kangas suhteliselt ebatõenäoline. Tähelepanu väärt on aga asjaolu, et leno struktuur ei võimalda valmistada tihedat kangast, mis võib halvendada kanga ballistilisi omadusi.^[3]

Selleks, et ballistilistes kangastes asuvad lõngad oleksid paremate kaitseomadustega ning suutelised kokkupõrkeenergiat kiiremini hajutama, on ballistiliste paneelide tootmisel kasutusele võetud ühesuunalised lõngad.^[3]

Näiteks Dyneema UD materjalis paiknevad kõik kiud kokkukudumise asemel paralleelselt samal tasapinnal. See materjal on valmistatud mitmest sellistest tasapinnast koosnevast kihist, mis on üksteise suhtes üheksakümne kraadise nurga all. Ühesuunaline kiudude paigutus Dyneema kangas võimaldab kuuliga kokkupõrkel tekkinud energia palju kiiremini ja tõhusamalt hajutada kui tavaliselt kootud kangastel. Seda seetõttu, et tavalistes kootud kangastes neeldumisenergia läheb ristumispunktides kaotsi, kuna need punktid pigem peegeldavad kui neelavad lööklainest pärinevat energiat. Dyneema kangas kaasatakse kuuli peatamisele aga palju rohkem materjali, mis teeb selle ballistiliste kaitseomaduste poolest paremaks.^[3]

Viimastel aastatel läbiviidud uuringud on näidanud, et mittekoatud- ehk lausmaterjali meetodil valmistatud ballistiline kangas on tunduvalt kergem võrreldes kootud kangaga. Seda tasakaalustab oluliselt suurenenud süsteemi massi. Ühesuunalised materjalid on vähem painduvad kui nende kootud teisikud. Väidetakse, et mittekoatud materjalid võimaldavad suurt niiskuse- ja soojusülekanne võrreldes kootud materjalidega, mis muudaks ballistiliste vestide kandmise tunduvalt mugavamaks. Niiskus ning UV kiirgus siiski vähendavad ballistilist tulemuslikkust, ning seetõttu tuleb sõjavarustust hoida kuivas ja õhukindlalt suletult.^[3]

2.7 Turvise töömehhanism

Kuulikindlate vestide peamiseks tööpõhimõtteks on vastu kangast põrkuva kuuli kineetilise energia kiire muundamine ja hajutamine, deformeerimaks ballistilise kaitserõiva süsteemi-energiat. Kaasaegne turvis võib tagada kaitse kolmel meetodil: 1) Kaitsev materjal tõukab lendkeha kokkupõrkel täielikult tagasi, mis ei ole levinud variant. 2) Kaitsev materjal aeglustab ja peatab lendkeha, hajutades piki tasapinda materjalile mõjuvat kineetilist energiat. 3) Kombinatsioon kahest eelnenust.^[3]

Selleks, et kirjeldada ballistilist mõju kiule, on oluline esmalt aru saada ristipidisest mõjust kiududele. Kui lendkeha põrkab kiuga kokku, tekib kahte liiki laineid - piki- ja ristilained, mille levimise algpunktiks on kokkupõrke koht. Pikisuunaline tõmbelaine liigub mööda kiu telge materjali helikiirusel allapoole. Kuna tõmbelaine levib kokkupõrke punktist eemale, siis lainefrondi taha jäänud materjal liigub mõjupunkti suunas, mis paindub lendkeha liikumisega samas suunas. See kiu ristisuunaline liikumine moodustabki ristilaine, mille levimiskiirus on materjali omast madalam.^[3]

Kui kuul tabab kuulikindlat vesti, võib öelda, et see püütakse kinni justkui väga tugevatest kiududest moodustatud võrgu poolt. Need kiud neelavad ja hajutavad kuuli poolt vestile tekitatud löökenergiat ning põhjustavad kuuli deformeerumise. Täiendav energia neeldub iga järgneva materjali kihi läbimisega kuni kuuli peatumiseni. Kokkupõrke energia levib üle terve vesti pinna tohutu kiirusega (kuni 900 m/s). Kuna kiudude vaheline koostöö toimub nii üksikutes materjali kihtides kui ka teiste kihtidega, on suur osa rõivast seotud kuuli läbimise takistamisega. See aitab hajutada jõude ning tänu sellele saadakse ainult pindmisi kahjustusi, mis ei vigasta siseorganeid.^[3]

2.8 Ballistiline testimine ja kaitse hindamine

Kaitsetekstiilide valik ja nende pindtihedus sõltub ballistilise objekti liikumiskiirusest kokkupõrkel kaitseriietusega ja selle riietuse mugavusest kandmisel. Riietus peab võimaldama vaba liikumist. Nii peab liikuva kuuli energia absorbeerima tekstiilmaterjalist võrgustik ja selliselt vältima lokaalselt keha vigastamist. Ohu faktoreid on hinnatud järgmiselt (tabel 2.8)^[9]

Kineetilise energia tiheduse (KET) järgi klassifitseeritud mehaanilised ohud

Tabel 2.8

Ohu liik	Kiirus, m/s	Kineetiline energia, J	Pindala, mm ²	KET* J/mm ²	Soomus-kaitse liik
Nuga	10	43	2,5 tömp 0,2 terav	17 210	Eri tekstiilid või plaadid
Käsirelva kuul (0,357")	450	1032	65 alg 254 lõpp	16 4	Tekstiilid
Vintpüssi kuul (AK 47)	720	2050	45	45	Komposiidid
Kiired kuulid (SA 80)	940	1805	24	75	Keraamiline plaat

KET- kineetilise energia tihedus pindalaühiku kohta

Käsirelvadest tulistatud kuulid muutuvad kokkupõrkel kaitsetekstiilidega peaaegu lapergusteks ja nende poolt hõivatav pindala löögi momendil suureneb. Kaitsetekstiilid on seega väga efektiivsed vahendid kaitseks käsirelvade kuulide eest. Muidugi sõltub kaitsevesti kaitsevõime sellest, kui kaugelt ja millise kaliibriga relvast tulistatakse.^[9]

Seega käsirelva kuulid deformeeruvad mitmekihilise tekstiilmaterjali esimestes kihtides ja peatuvad seal. Põhiliselt toimub energia neeldumine kuuli löögist tekkivate tõmbepingete ületamisel, vähemal määral kiudude paindejõudude ja kiudude siseste hõõrdejõudude (kiudude lõhestumine makromolekulaarsel tasandil) ületamisel. Energia hajub lainetena, algselt piki kiude ja seejärel ristipidistes kiu põimingutes.^[9]

Tavaliselt kasutatakse Kevlar, Spectra ja Zylon tüüpi kõrgsuutlikke kiudusid. Need kiud on ülitugevad pikisuunas ja suhteliselt suure energiaga risti suunas. Samuti kõrge elastsusmooduli väärtusega, mistõttu kuuli löögi lained hajuvad kiiresti. Kuuli löögil kiud lõhestuvad, mis neelab suure hulga energiat.^[9]

Kudumi liigi ja kiudude paigutuse küsimus kuulivestis on kokkuleppeline. Parimaid tulemusi on saadud siledate kudumite kasutamisel. Selle kudumisviisi korral väheneb kiudude libisemine üksteise suhtes ja tekkinud kiudude säbrulisus vähendab omakorda lööklaine levimiskiirust. Seetõttu kasutatakse peenemaid kiude ja tihedamat kudumit. Kasutusel on ka 3D kudumid.^[9]

Lahingurelvade kiirelt liikuvad kuulid on inimesele ohtlikud ja nende eest kaitseks kirjeldatud kuulivestid ei sobi. Näiteks AK 47 kuuli kineetilise energia tihedus ületab 45 J/mm^2 , mistõttu lahingu kuulivestid valmistatakse kahekihilised: pehme ja jäik osa. Jäik osa on tavaliselt keraamiline plaat, mille tagakülg on kaetud polümeerse komposiidiga. Polümeerne kiht välistab keraamilise plaadi rabeda purunemise. Keraamiline plaat paigutatakse pehmesse kuulikindlasse kihti.^[9]

Sõjaväe ballistilisi pakke testitakse mõõteriistades varustatud laskeradadel kasutades standardiseeritud kaalu ja suurusega fragmente simuleerivaid lendkehi (FSP). FSP-d tulistatakse kolmel testkiirusel – V50, V0 ja VC. V50 on kiirus, mille korral oodatav läbimise tõenäosus on 50 %. Lihtsamini arusaadavamaks lahenduseks on mõõta V0 ja VC (kriitiline kiirus), mille korral penetratsiooni ei esine, kuna peamine eesmärk on kaitsta kandjat mistahes lendkeha eest. Siiski on V50 enimkasutatav mõõt, kuna V0 pole statistiliselt olemas.^[3]

Mitmeid muid ohte hinnatakse tavaliselt läbimise/mitteläbimise kaitsetesti abil. Kaitseturviste tõhususe hindamiseks võitlusolukorras kasutatakse vastavaid mudeleid. Mudelisse sisestatud esialgsete andmete hulka kuuluvad erinevate FSP suuruste V0 väärtused. Seejärel kaasatakse andmed kaitserõivastuses ja kaitserõivastuseta individuaalide kohta. Selline vigastuste minimaliseerimise analüüs võimaldab turviste arendajatel ennustada kaitserõivastuse tegelikku efektiivsust.^[3]

Kõigevastast kaitset ei ole võimalik saavutada. Vajalik on vastuvõetava tasakaalu saavutamine kaitse taseme ja talutava ohu vahel. Kaitserõivaste disainerid püüavad maksimeerida ohtliku töö tegija ellujäämis võimalusi. Relva disainerid jällegi otsivad kaitserõivastustes peituvaid vigu ja turvaauke. Kaitserõivastuse nõuetekohane hindamine ja optimeerimine on elu ja surma küsimus.^[1]

Peamiseks ohuks sõjaväe personalile ei ole püssikuulid, vaid hoopiski killustuvad lendkehad. Sõja puhul käib jutt granaatidest, miinipildujatest, suurtükimürskudest, miinidest ning terroristide poolt kasutatavatest improviseeritud lõhkeseadeltistest.^{[3][2]}

Tsiviilisikute (kaasa arvatud politsei ohvitseride) puhul on peamiseks vigastuste tekitajaks püssikuulid. Püssikuule võib liigitada kaheks. Väikese kiirusega kuule, mis pärinevad käsirelvadest (revolvrid, püstolid), tulistatakse lühema vahemaa pealt. Suure kiirusega kuule, mis pärinevad vintpüssist ja kuulipildujast, tulistatakse pigem pikema vahemaa pealt.

Üldisemalt rääkides ei ole aga kuuli kiirus siiski nii oluline tegur kui hoopis kineetiline energia, kuuli kuju ning -koostis.^[2]

Üksikisikule vajaliku kaitsetaseme tagamine on harva probleemiks. Kaitset limiteerivateks teguriteks on kaal, mahukus, jäikus ning turvise poolt põhjustatud kuumastress. Kuulivestides kasutatavad aramiidi virnad on mähitud veekindlasse ümbrisesse, mis muudab vesti õhukindlaks, ja seega füsioloogiliselt ebamugavaks. Neid asjaolusid arvestades on ilmne, et nõudmistele, nagu näiteks kerge kaal, paindumus ja mugavus, vastavad kõige paremini tekstiilstruktuurid.^{[2][4]}

Tekstiilist turvised pakuvad kaitset kildude ja väikses kiirusega kuulide eest, kuid on läbitavad 5.56 mm, 7.62 mm ja 12.7 mm kaliibrilistest vintpüssidest tulistatud suure kiirusega püssikuulide poolt. Tekstiilturvised on haavatavad ka terava otsaga noolte taoliste lendkehade suhtes. Sellisel juhul tuleb kasutusele võtta metallist, komposiitmaterjalist või kermaamikast vormitud plaadid. Need asetatakse kaitseks elutähtsate organite kohale.^[2]

On selge, et mida rohkem kaitsevarustust isik kannab, seda paremad on võimalused vigastuste vältimiseks. Küll aga väheneb varustuse liigse kaalu ja mahu tõttu töövoime.^[2]

Illustreerimaks kompromisse, mis varustuse valikult tuleb teha, võib välja tuua, et kõige kergem kildude eest kaitset pakkuv turvis, mis katab keha minimaalselt, kaalub 2.5–3.5 kg. Kui lisada aga suure kiirusega kuulide eest kaitset pakkuvad jäigad plaadid ning suurendades ülakeha katvuspiirkonda, võib varustuse kaal ulatuda 13-15 kilogrammini. Kusjuures selle hulgas pole arvestatud kiivrite ega jalgade kaitsevarustuse kaalu.^[2]

Pi näitab teovõimetuse tõenäosust erinevate kriteeriumite puhul. Näiteks surm erinevate lendkehade mõju läbi. Ründaja eesmärk on täidetud, kui tal õnnestub ohver tappa või teda vigastada. Ründaja tahab maksimeerida Pi väärtust. Kaitsja peamiseks eesmärgiks ohvri ellujäämine. Eesmärgiks on ka minimaalsete vigastuste või vigastusteta pääsemine. Kaitsja tahab minimaliseerida Pi väärtust.^[1]

Kasutegur (UF), mille abil hinnatakse ohu- ja kaitse suhet, on antud järgmise võrrandiga.^[1]

$$UF = P_{i_{\text{kaitserõivastuseta}}} - P_{i_{\text{kaitserõivastusega}}} \quad \text{Valem 2.8}$$

Lõppeesmärgiks on tagada kaitserõivastuse kandja parimad ellujäämis võimalused, samas võimaldades tal täita oma ohtliku töö ülesandeid.^[1]

2.9 Programm CASPER – näide kaitse arvutipõhisest analüüsist

Arvutil põhinevaid simulatsioone kasutatakse teovõimetuse kaotamise hindamiseks ilma turvisteta ja turvistega, ennustamaks vajalikku kaitset võimalike ohtlike olukordade puhul. Üheks selliseks simulatsiooniks on programm CASPER, mis on kasutusel killustuva laskemoona mõjude hindamiseks.^[1]

CASPER ühendab endas relva, kaitserõivastuses inimese ning nende kahe omavahelise mõju mudeleid. See hindab iga plahvatavast seadmest pärit fragmendi positsiooni ja kiirust. See võimaldab hinnata relvade vastast kaitset erinevate vahemaade, tõusunurkade ja kõrguste korral.^[1]

Ohu mudelid määratlevad kõik alates fragmentide esialgsest kiirusest kuni lõhkamis koha, massi, pindala koefitsentide, materjalide, õhutakistuse, rikošett nurkade ja telje põhise pöördsummeetria jaotusnurgani. CASPER sisaldab eelmääratletud uuringutes kasutatud relvade andmebaasi. On võimalus käsitsi sisestada ka lisaote, mis vastavad konkreetsele stsenaariumile.^[1]

CASPER leiab Pi väärtuse iga fragmendi ja teovõimetuse kriteeriumi korral. Lõpptulemusena annab CASPER Pi väärtuse nii kaitserõivastuses kui ka kaitserõivastuseta individuaali kohta, mida saab kasutada UF võrrandis ohu- ja kaitse suhte hindamiseks.^[1]

2.10 Kaitse tasemete ja materjalikihtide suhe

Kasutatav materjalikihtide arv pehmetes turvistes sõltub kaitse tasemest ja kanga stiilist, ning jääb vahemikku 7-50 kihti. Tabel 2.10 käsitleb turvise kaitse tasemete ja materjalikihtide arvu (paksuse) suhet. Täpsemaid ballistilisi tulemusi saab vaadates pindalapõhiseid kanga tihedusi, mis jäävad 90-250 g/m² vahele.^[3]

Kaitse tasemete ja materjalikihtide suhe

Tabel 2.10

Kihtide arv (paksus)	Kaitse tase
16-20 kihti Kevlarit	Tase II-A
20-24 kihti Kevlarit	Tase II
24-28 kihti Kevlarit	Tase III-A
1/4" Teras	Tase III
1/2" Teras	Tase IV

2.11 Ameerika Ühendriikide Riikliku Õigusinstituudi (NIJ) kuulikindlate vestide standardid

Ameerika Ühendriikide Riikliku Õigusinstituudi (NIJ) politsei kuulivestide liigitamiseks kasutatavad standardid on saavutanud ülemaailmse heakskiidu ning saanud vestide efektiivsuse hindamise etaloniks. Vastuseks sellele püüab NIJ teha tulevaste standardite kujundamises koostööd rahvusvahelise kogukonnaga.^[3]

2.12 Riikliku Õigusinstituudi (NIJ) kuulikindlate vestide klassifikatsioon

Viimaste tehniliste nõuetega NIJ standard 0101.04, mis töötati välja aktiivses koostöös kuulivestide tootjate ning –kasutajatega, tagab iga ballistilise vesti hästi määratletud minimaalse kaitsetaseme. Järgnevalt on välja toodud NIJ standardi 0101.04 klassifikatsiooni tüübid.^[3]

2.12.1 Tase I (väikse kaliibrilised relvad)

Tase I kuulivestide pakuvad kaitset .22 kaliibriga pika toruga vintpüssi kuulide eest, mille nominaal mass on 2,6 g, ning lennukiirus 320 m/s. Samuti pakub tase I vest kaitset ka enamuse .25 ja .32 kaliibriga käsirelvade padrunitest. I taseme vest on väga kerge, ning see on vähim kaitse, mida iga kandja peaks omama.^[3]

2.12.2 Tase II-A (väiksema kiirusega .375 kaliibriga magnum)

Tase II-A kuulivestid pakuvad kaitset .357 kaliibriga magnumi pehme otsaga mantelkuulide vastu, mille nominaal mass on 10,2 g, ning lennukiirus 381 m/s või vähem. Tase II-A vestid pakuvad kaitset ka tase I ohtude eest.^[3]

2.12.3 Tase II (suurema kiirusega .357 kaliibriga magnum)

Tase II kuulivestid pakuvad kaitset .357 kaliibriga magnumi pehme otsaga mantelkuulide vastu, mille nominaal mass on 10,2 g ning lennukiirus 425 m/s või vähem. Tase II vestid pakuvad kaitset ka tase I ja tase II-A ohtude eest.^[3]

2.12.4 Tase III-A (.44 kaliibriga magnum)

Tase III-A kuulivestid pakuvad kaitset .44 kaliibriga magnumi plii kuulide eest, mille nominaal mass on 15,55 g, ning lennukiirus 426 m/s või vähem. Tase III-A vestid pakuvad kaitset ka tase I, II-A ja II ohtude eest. Tase III-A kuulivestid on tavariiete alla peidetavatest vestidest kõrgeimat kaitset pakkuvad ning sobivad rutiinseks kandmiseks paljudes situatsioonides.^[3]

2.12.5 Tase III (suure võimsusega vintpüss)

III tasemega on jäiga või poolpehme konstruktsiooniga kuulivest, mis pakub kaitset 7,62 mm täismetallist kuulide eest, mille nominaal mass on 9,7 g, ning lennukiirus 838 m/s või vähem. Tase III vestid pakuvad kaitset ka tase I kuni tase III-A ohtude eest. Tase III vestid on ettenähtud ainult taktikalistes situatsioonides kasutamiseks, kus oht õigustab kaitse.^[3]

2.12.6 Tase IV (soomustlähbistav vintpüss)

IV tasemega kuulivest pakub kaitset .30 kaliibriliste soomustlähbistavate kuulide eest, mille nominaal mass on 10,8 g, ning mis saavutavad kiiruse 868 m/s või vähem. Turvis on võimeline vastupidama ka vähemalt ühele tase I kuni III ohule. Tase IV on praegu kõrgeim saavutatud kaitsetase. Kuna selline vest peab vastu pidama soomustlähbistavatele kuulidele, kasutatakse selles sageli keraamilisi materjale, mis on haprad ning võivad juba peale esimest lasku puruneda.^[3]

2.13 Kuulikindlate kaitserõivaste kujundamine ja tootmine

Kuulikindlatelt kaitserõivastelt oodatakse kaitset lendkehade vastu. Inimkeha pihta tulistatud kuuli surmavad tagajärjed on hästi teada. Löögist saadud trauma võib põhjustada mitmeid tõsiseid vigastusi elutähtsatele organitele nagu süda, maks, kopsud ja neerud, mis võib lõppeda surmaga. Lök võib põhjustada ka kergemaid vigastusi, nagu näiteks veritsus kõhuõõnes, kõhuvalu või mõrasid roietes.^[3]

Selleks, et kuulikindlat materjali kujundada, tuleb esmalt välja selgitada ohud, mille eest kaitset vajatakse, ning seejärel valida selliste ohtude eest kaitsvad materjalid, tehes selgeks, kui mitut kihti materjali on sobilikuks kaitseks vaja. Olulise faktorina tuleb arvestada ka valitaks osutunud materjali kaalu. Eesmärgiks on valmistada võimalikult kerge toode, mis

pakub vaja minevat kaitset, mis samal ajal on jätkuvalt mugav ning ei sega liikumist. Kuulivestis on mitu kihti kuulikindlat materjali (nagu näiteks Kevlar), mis on paigutatud plastikkile vahele selleks, et teksil püsiks kuiv. Kuulivestide kasutajateks on peamiselt sõjavägi ja politsei, aga ka turvatöötajad. Vestid projekteeritakse vastavalt rakendusele.^[3]

Kuulikindla vesti ballistiline paneel võib olla valmistatud ainult ühe tegumoega kangast, aga ka kahe või rohkema tegumoe kombinatsioonist. Iga tegumoega kangas mõjutab nii oma hulga kui paigutusega paneeli üleüldisi kaitsvaid omadusi. Mõned tootjad katavad ballistilise kanga erinevate materjalidega. Tootjad võivad selleks kasutada mitteballistilisi materjale, millel on ainult pindmiste kahjustuste eest kaitsev eesmärk. Ballistiliste paneelide paigutus ühte üksusesse erineb ka erinevate firmade võrdluses. Mõningatel juhtudel on kihid diagonaalselt kokku õmmeldud kogu paneeli ääre ulatuses, kui teiste puhul on kihid kokku traageldatud mitmetest eri kohtadest. Osad tootjad kasutavad kangast ühendades rohkearvulisi vertikaal- ja horisontaal õmbluseid. Mõned isegi tepivad terve ballistilise paneeli. Pisteridade kasutamine parandab deformeeritavust (eriti tömpide esemete korral) ning vastupidavust korduvtabamuste suhtes.^[3]

2.14 Ballistilise kaitse saavutamine polümeersete nanokomposiitidega

Nanokomposiitkiud on rohkem kui 15 korda tugevamad kui kvaliteet teras, ning kuni 74% tugevamad kui aramiidkiud. Sellised kiud hõljuvad vee peal, on väga kulumiskindlad ja vastupidavad niiskusele, UV kiirgusele ja mitmesugustele kemikaalidele.^[1]

Nanokomposiitkiud pakuvad suurepärase vibratsioonisummutust. Nad on vastupidavad korduvale painutamisele. Lisaks kõigele on kiududel madal hõõrdetegur ja madal dielektrilise läbitavuse konstant, mis muudab nad radaritele peaaegu märkamatuks.^[1]

Kuna nanokomposiitkiudude omadused sõltuvad täiteainete dispersiooni määra, mis sõltub ajast, on nende puhul suurimaks piiranguks nende tootmise raskus tööstuslikus ulatuses.^[1]

Peamised rakendused, kus nanokomposiitkiude kasutatakse, on äärmiselt mitmekesised. Näiteks kasutatakse neid kuulikindlates vestides ja kiivrites, aga ka ballistilise kaitsena sõjaväe ja politsei sõidukites.^[1]

3. RAKENDUSED

Pehmed kaitsevahendid on politseis ja sõjaväes kasutatavad kuulivestid, mis põhiliselt kaitsevad käsirelvadest tulistatud kuulide eest. Sellistes vestides kasutatakse ebakorrapäraselt paigutatud kiude, millede kihid vahelduvad kootud materjalist kihtidega.^[9]

Kiivrid ja kerged paneelid on jäigad kaitsevahendid, mis kaitsevad ka mürsu- ja graniidikildude eest. Paneelid ka tugeva löögijõuga armeerelvade kuulide eest. Paneele kasutatakse veel kuulikindlates vestides, tsiviilkäibes olevates autodes (VIP autod) ja kergekaalulistes sõjaväe transpordivahendites.^[9]

Erinevate testide abil on uuritud kahesuunaliselt orienteeritud polüpropüleeniga kasutamise võimalust ballistilistes rakendustes. Madalal temperatuuril läbiviidud torketestid näitasid, et risti rullitud polüpropüleeniga proovide sitkus ja tippkoormus on oluliselt paranenud. Võrreldes tavalise mitteorienteeritud polüpropüleeniga, mis on rabe, on kahesuunaliselt orienteeritud polüpropüleen kõrgtugev.^[8]

3.1 Ballistiliste vestide kujundus

Põhimõtteliselt tehakse kuuliveste kahes üldises vormis. Nimelt valmistatakse vastavalt otstarbele nii peidetud kui ka varjamatult väljapaistvaid kuuliveste. Peidetud funktsiooniga vesti puhul, mida kasutatakse sargi all, kasutatakse kinnitamiseks takjapaelu või elastseid kinniteid. Need on kergemad, lihtsamini pestavad ning kiiresti kuivavad. Tavaliselt on need valmistatud mitmest kihist ballistilisest kangast või mõnest muust ballistiliselt vastupidavast materjalist, mis on kokku ühendatud ballistiliseks paneeliks. See sama ballistiline paneel paigaldatakse seejärel nii-öelda kandjasse, mis on valmistatud tavapärasest rõivakangast. Ballistiline paneel võib olla kanga sisse kas püsivalt õmmeldud, või olla ka teisaldatav. Tavalised varjatud kuuliveste kaitsetasemed on II-A, II ja III-A.^[3]

Väljapaistvaid kuuliveste kantakse vormiriietuse peal. Nad on raskemad, neid ei ole nii lihtne pesta ning nad kuivavad aeglasemalt. Üheks levinud kujundusviisiks on taskud vesti sise- või väliskülgedel. Lisakaitse vajaduse korral asetatakse taskutesse lisa keraamilisi plaate.^[3]

3.1.1 Naistele mõeldud kuulikindlate vestide kujundus

Pikka aega toodeti kuulikindlaid veste ainult meessoost kasutajatele. Tõenäoliselt oli põhjuseks asjaolu, et sõjaväes töötasid valdavas osas ainult mehed. Tänapäeval töötavad naissõdurid ja -politseinikud külge-külje kõrval oma meessoost kolleegidega, ning kaasaegseid kuuliveste kujundatakse ja valmistatakse mõlema soo esindajatele.^[3]

Meeste veste on suhteliselt lihtne valmistada, kuna kasutatavad ballistilised plaadid on lameda ehitusega. Naistele mõeldud kuulivestide tootmisprotsess algab inimkeha mõõtmete digitaliseerimisest. 3D väljund genereerib muutujad, mida tuleb standardse kehakuju saamiseks korrigeerida. 3D rõivaste disain pakub mitmeid eeliseid, nagu näiteks parem istuvus ning toorainete opti-maalne kasutamine. Madalama hinnaga tooteid on võimalik kavandada lühikese aja jooksul.^{[1][3]}

Seejärel võetakse digitaalselt mudelilt erinevad mõõtmed, mille põhjal projekteeritakse morfoloogiliselt sobilike kontuuridega mannekeen. Järgmisena luuakse lihtsam mudel, mille põhjal hakatakse kujundama kuulivesti. Lihtsam mudel koosneb väljundpunktide võrgustikust. Need punktid põhinevad mannekeeni morfoloogilistel kontuuridel, mille parameetrite väärtused on saadud kohandatud ja kohandamata rõivaste erinevuste lõikejoontest. Nende kontuuride põhjal on võimalik koostada pinnamudel, mille pinnale on võimalik kujundada vesti määratlevaid jooni. Neid jooni kasutatakse esimese kaitsekihi positsioneerimiseks.^[1]

Lõpuks leiab aset 3D struktuuri lamendamine, tänu millele on võimalik võrrelda seda 2D struktuuriga. Sellise disainimeetodi boonuseks on kaitserõivaste lõikejoonte kohandamine vastavalt enam kaitset vajavatele piirkondadele.^[1]

Naiste vestide kavandamisel ning valmistamisel tuleb arvestada ülakeha kontuure selleks, et kuulivest sobiks ideaalselt kehakujuga. Büstiga sobiva topelt kumeruse moodustamiseks on kaks erinevat võimalust. Üheks neist on lameda ballistilise kanga voltimine. Kuigi see meetod on lihtne ning välistab kiudude lõikamise, tekitab see ebapraktilise reljeefse riba. Kui kümned kihid ballistilisi kangaid on kokku paigaldatud, siis need samad reljeefsed ribad peavad olema kogutud kaenlaalusesse piirkonda, mis omakorda teeb vesti kandmise ebamugavaks.^[3]

Teiseks meetodiks on kangasse õmblusvoldi sisse lõikamine ja seejärel kanga kokku õmblemine. See meetod viib küll täpsema kaju saavutamiseni, ent vähendab tunduvalt kaitseomadusi (eriti rinna piirkonnas), kuna kiud on kanga kihtides katkendlikud. Seega on naissoost kuulivesti kandjale samal tasemel mugavuse ja turvalisuse tagamine, kui seda suudetakse tagada meessoost kuulivesti kandjate puhul, jätkuvalt suureks väljakutseks.^[3]

3.2 Ballistilised kiivrid

Kiiver on üks osa kaitsevarustusest, mille eesmärgiks on kaitsta pead mistahes teda kokkupõrkel mõjutavate esemete eest. Tavaliselt on kiiver disainitud nii, et ta kaitseb kandja pead energia neeldumisel ja hajumisel põhineva mehhanismi abil. Erinevatest töötingimustest tulenevate ohtude tõttu on kiivrid projekteeritud spetsiifilisi rakendusi silmas pidades. Ballistiline kiiver kaitseb pead väikese energiaga lendkehade, nagu näiteks püstoli-, revolvrite- või väiksema kiirusega vintpüssi kuulide, aga ka pommikildude eest.^[1]

On levinud eksiarvamus, et ballistilised kiivrid on võimelised kandjat kaitsma kõikide tulirelvade poolt põhjustatud ohtude eest. Tegelikuses aga kaitsevad need ainult madala kiirusega lendkehade eest, ning nad ei ole disainitud vastupidama kõrgema energiaga, kui vintpüss, kuulidele.^[1]

Sõltumata asjaolust, et kaela ja pea osa moodustab kogu inimkeha pindalast ~12%, puutub pea piirkond kokku kuni 25% kõikide teada olevate lendkehade tabamustega. See on tingitud asjaolust, et töötav personal peab pidevalt oma ümbrust uurima, jättes aga oma pea- ja kaelapiirkonna lahinguoperatsioonide kestel ohtudele avatuks. Enamus lahingutes aset leidnud surmajuhtumitest on põhjustatud pea haavade poolt.^[1]

Kaasaegsetes lahingutes on sõdurite kiivrite eesmärgiks kaitsta neid pommikildude, sharpnellide ning väikestest kaliibritest tulistatud kuulide eest. Metallist kiivrid, mis olid varasemalt kasutusel, ning tõhusad noolte ja mõõkade vastu, ei pakkunud kaitset püssikuulide vastu. Lisaks oli metallist kiivrite kaal sõduritele liiga koormav, mistõttu tunnistati nad kasutamiskõlbmatuks. Ballistilisi kiivreid toodetakse suurusvahemikus XS-XL.^{[1][3]}

Disainerid peavad kiivrite disainimisel arvestama järgmiste teguritega: kaal, ballistilise materjali kvaliteet, tasakaal, mugavusomadused, kuulmise ja nägemise säilimine, varustuse ja

relva ühtsus, kättesaadavad materjalid ja tootmistehnoloogiad, vastupidavus, saastest puhastamine, käitlemine ja maksumus.^[3]

3.2.1 Ballistilistes kiivrites kasutatavad materjalid

Teadusuuringud uute kiivrimaterjalide leidmiseks võib jagada kahte põhivaldkonda. Esimene neist on täiesti uue materjali leiutamine, tehes edusamme keemia-, polümeeriteaduse- või metallurgia valdkonnas. Teine põhivaldkond on juba olemasolevate kaubanduslikult kättesaadavate materjalide uute kombinatsioonide ja ehituste kasutamine. Kahe põhivaldkonna ühildamisel, pakuvad need nii lühi- kui ka pikaajalisi lahendusi, mis aitavad säilitada ja parandada sõjaväelaste üleüldist kaitset.^[1]

Üheks metalliks, mis on viimasel ajal paistnud paljulubav nii oma struktuuri- kui ka ballistiliste rakenduste poolest, on magneesium ja tema sulamid. Magneesiumipõhised sulamid on hetkel huviorbiidis, kuna magneesiumi tihedus on ligikaudu 35% väiksem kui alumiiniumil, ning lausa ligikaudu 77% väiksem kui terasel.^[1]

Kiivri polsterdust on hinnatud kiivri süsteemide puhul kriitilise tähtsusega osaks. Nad aitavad energia neeldumise kaudu leevendada peale mõjuvat tipprõhku ning impulsi lööklainet õhus. Üldiselt sõltuvad vahtude omadused nende valmistamise mikrostruktuuri geometriast.^[1]

Modernsete kiivrite sisekinnitused on valmistatud kvaliteetsete materjalide, nagu nahk, polüester kangas, nailon või polüpropüleen rihmad, ning messingist truckide kombinatsioonina.^[3]

3.2.2 Ballistiliste kiivrite disain

Ideaalsel kiivril peab olema energia neeldumisvõime süsteem, mis vastab kokkupõrgete ja erinevate mõjude tingimustele. Kiiver peaks tagama ka selle, et peale edasikanduv jõud jääb lubatud piiridesse.^[1]

Kiivri pind, mis on valdavalt ümara kujuga ja sile, peab vähendama kokkupõrkel tangesiaalkiirendusest tingitud mõju ning hõõrdumist. See peab vastu pidama korduvatele löökidele ning katma kogu pea piirkonda.^[1]

Peakate peab olema võimeline taluma erinevaid tingimusi, nagu ultraviolettkiirgus, niiskus või termiline toime, ilma lagunemata.^[1]

Kinnitusüsteem peab kiivrit hoidma pea lähedal nii, et see ei põhjustaks tarbetuid vigastusi.^[1]

3.2.3 Ballistiliste kiivrite klassifikatsioon

Modrensed ballistilised kiivrid võib jagada järgnevatesse kategooriatesse:

Maavägedes kasutatav kiiver (PASGT) on tehtud kergest ballistiliselt vastupidavast kangast ja on kasutusel juba alates 1980ndate algusest. PASGT koosneb mitmest kihist Kevlar kiududest, fenool-formaldehüüdist (PF) ja polüvinüülbuturaali (PVB) vaigust. Kiiver on saadaval mitmes erinevas suuruses ja pakub ballistilist kaitset väiksekaliibriliste kuulide ning killustuvate lendkehade eest. Tänu väiksemale kaalule ning suuremale ballistilisele vastupanule kui traditsiooniline teraskiiver, pakub sõduritele paremat kaitset ja on mugavam.^{[1][3]}

Modulaarne integreeritud kommunikatsiooni kiiver (MICH) on kerge ballistiline kiiver. Kiiver on suuteline ühilduma enamuse mikrofonide ja taktikaliste peakomplektidega (näiteks öise nägemise prillid). Kiivri polsterdussüsteemi padjad koosnevad erinevat tüüpi energiat neelavatest vahmaterjalidest.^[1]

Parandatud omadustega võitluskiiver (ACH) sarnaneb oma disaini poolest MICHi disainile, ning neid mõlemaid võib pidada vanima PASGT disaini asendajaks. Kiiver on valmistatud ülikõrge molekulmassiga polüetüleenist. Kiivri polsterdussüsteem aitab pakkuda kõrgendatud kaitset 9 mm kuulide eest. Praegune ACH süsteem kasutab pealiskihis jäike süsinikkiududel põhinevaid komposiitmaterjali kihte, mis on taganud soovitud ballistilise tulemuslikkuse.^[1]

Ka kergekaaluline kiiver (LWH) töötati välja asendusena PASGT kiivrile. Nende disain on küll sarnane, ent LWH on valmistatud para aramiididest, mis pakuvad paremat ballistilist kaitset.^[1]

Tuleviku sõjaväelase kiiver (FFW) on uus tuleviku süsteemi kontseptsioon. Kiivri funktsioonide hulka kuuluvad kõrglahutus võimega nägemis prillid, GPS ja 3D audiosüsteem, mis asendavad praegu kasutusel olevaid audiovisuaalseid peakomplekte, ning muudavad kommunikatsiooni käte vabaks. Kiivrisse on sisse integreeritud spetsiaalne kolloidset tüüpi

sensor, mis jälgib ja hindab sõduri füüsilist ja tervislikku seisundit, teatades sise- ja välis kehatemperatuuri, südame löögisagedust, vererõhku ja kalorete tarbimise hulka.^[1]

Tüüpiline kiiver on olenevalt materjalist ja rakendusest 5-10 mm paks. Kiivri korpus võib olla valmistatud kasutades termoplastide pritsevalu või ballistiliselt tugevdatud vastupanuga kiudude-vaigu süsteemide survevalu. Energia neeldub kokkupõrkel korpuse paindumise ja polsterdussüsteemi vahu deformatsiooni käigus.^[1]

Kiivri korpuse kvaliteet ja tugevus on löögi summutamise võime puhul oluliseks teguriks. Üldjuhul on kiivrid valmistatud sfääriliselt, blokeerimaks ja suunamaks lööke.^[1]

4. TULEVIKU ARENGUSUUNAD KAITSERÕIVASTE TEHNOLOOGIAS

Kaitserõivaste tehnoloogia areng on viimasel ajal keskendunud uute materjalide ja struktuuride välja arendamisele ning disainimisele. Samuti on pööratud tähelepanu kaitse taseme ning mugavuse vahel sobiva tasakaalu leidmisele. Tõenäoliselt pööratakse samadele aspektidele suuremat tähelepanu ka tulevikus.^[5]

Tulevikus võivad toimuda torkevastastes kaitserõivastes järgmised muudatused:

- metalli vajaduse kaotamine ning asendamine tekstiilidega
- noa nüristamine materjaliga kokkupuutel
- kiu/noa hõõrdeteguri suurendamine
- polümeeridega immutatud tekstiilide jäikuse vähendamine langevuse parandamiseks
- kaitserõivaste soojusjuhtivuse parandamine, vältimaks kandja ülekuumenemist^[3]

Edasised muutused toimuvad, kui turviste valmistamiseks kasutatavate materjalide hinnad langevad tänu uutele või parandatud töötlemisprotsessidele.^[1]

Kuigi kiivrite tootmises kasutatakse jätkuvalt press-vormimise meetodit, on uurimisel uuemad ja tõhusamad tootmismeetodid, valmistamaks veelgi kvaliteetsemaid ja majanduslikult efektiivsemaid kiivreid.^[1]

Tänu üha rohkem muret valmistavatele keskkonna reostusega seotud probleemidele ning jätkusuutlikkuse küsimustele, on toimunud kiired muutused. Sünteetilisi kiudmaterjale nagu grafiit, aramiid, kõrgmolekulaarne polüetüleen ja klaas, kasutatakse sageli ülitugevate

komposiitmaterjalide valmistamiseks. Kuigi nad on vastupidavad ning suurepärase mehaaniliste omadustega, saadakse enamuse neist kaubanduslikest kiududest ja vaikudest süsivesinikel põhinevatest lähteainetest, mis on tuntud saasteallikad.^[1]

Vastuse võivad pakkuda looduslikud kiud. Arvesse tuleks võtta nendega seotud füüsikalisi ning mehaanilisi omadusi, kuid potentsiaal on ilmne. Võimaliku läbimurde võib saavutada tänu nanotehnoloogiale, mille abil paraneks looduslike kiudude omadused piisavalt, et olla samaväärsed oma sünteetiliste- ja orgaaniliste kolleegidega.^[1]

Veel üheks võimaluseks tulevikus kaitserõivastuse parandamiseks on ohu testimise simulatsioonide otsustajatele kättesaadavamaks tegemine. Hetkel on liiga palju kasutusel lähenemine „kasutada tuleb kogu olemasolevat kaitsevarustust“. Üleliigne kaitsevarustus on aga hoopis peamiseks ergonoomiliseks karistuseks. Näiteks on varustus, mis asub raskuskeskmele lähemal, ergonoomilises aspektis vähem kahjulik. Seega vajaks inimesed, kes vastutavad varustuse kasutamise eest, lihtsat ning usaldusväärset simulatsiooni, mis aitaks välja selgitada vajaliku kaitse ulatuse. Selliste simulatsioonide kasutamine annab parema aimduse reaalses olukorras toimuva kohta. Samuti on teoreetiliste simulatsioonide kasutamine odavam, täpsem ja vähem ohtlikum kui eksperimentaalsete testide läbiviimine. Lõppude lõpuks annab kaitsevarustus parima tulemuse siis, kui ohualas asuvad inimesed teavad kuidas seda kasutada.^{[1][5]}

Kindlasti jätkub tulevikus töö ballistiliste kaitserõivaste ning kiivrite disainimisel ning konstrueerimisel tarkade lahenduste leidmisega. Nanotehnoloogia ja intelligentsed tekstiilid on tuleviku kaitserõivastuse arengus kaks olulist teemat. Nanokiudude suur pinna ja ruumala suhe teeb neist suurepäraseid barjääri materjalid ning pooride suur läbimõõt annab neile head mugavusomadused. Tarkade materjalide lisamine kaitserõivastele võimaldab kandjat paremini kaitsta tänu tundlikule ohte avastavale süsteemile, mis olukorrale vastavalt reageerib.^{[5][3]}

Alates 2008nda aasta keskpaigast töötatakse ämbliku siidist kuulikindlate vestide kallal, millel oleks olemas ka potentsiaalne turg. Nii Ameerika kui ka Briti sõjaväelased on ilmutanud huvi Cambridge'i ülikoolis välja töötatud süsiniku nanotorudest kootud süsinikkiudude vastu, mida oleks võimalik kehakaitse materjalides kasutada.^[1]

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli kirjeldada ballistilist- ja torkekindlat kaitserõivastust, ning uurida vastavate vestide ning kiivrite omadusi, tulenevalt nende töömehhanismist ja ehitusest.

Esimeses peatükis anti ülevaade torkekindlatest materjalidest. Käsitleti ajalugu, torke mehhanismi, sobiliku turvise konstruktsiooni ja tootmist, kandmise omadusi ning viimistlusega saavutatavat torkekindlust. Erilist tähelepanu pöörati torkekindlate turviste jagunemisele tugevusastmete järgi.

Teises peatükis pöörati tähelepanu ballistiliste kaitseomadustega materjalidele. Nagu ka torkekindlate materjalide puhul, käsitleti ajalugu, turvise töömehhanismi ja konstruktsiooni ning jagunemist. Selles peatükis uuriti ka ballistilistes rõivastes kasutatavaid levinuimaid kiude ning nende eeliseid võrreldes teiste kiudude ja materjalidega. Veel räägiti ballistilisest testimisest ja kaitse hindamisest, arvutipõhisest analüüsist, kuulikindlate vestide standartitest ja klassifikatsioonist, ning ballistilise kaitse saavutamisest nanokomposiitkiudude kasutamise läbi.

Kolmandas peatükis kirjeldati peamisi ballistilisi rakendusi. Olulise erinevusena toodi välja naissoost isikute kehaehitusest tulenev vajadus teistsuguse kuulivestide kujunduse järgi kui meessoost isikutel. Lähemalt räägiti ka ballistilistes kiivrites kasutatavatest materjalidest, nende disainist ja klassifikatsioonist.

Viimases peatükis sõnastati lühidalt tuleviku arengusuunad kaitserõivaste tehnoloogias. Toodi välja vajadus uute ja paremate materjalide ning tehnoloogiate järele. Kirjeldati ohu testimise simulatsioonide piiratud kättesaadavust ning nende laiemale kasutamisele võtmise positiivseid külgi ja eeliseid.

Tööst võib järeldada, et võrreldes varasemaga on 20. sajandi lõpupoole tekkinud polümeerkeemia, ning ülitugevate kõrgmolekulaarsete kiudude areng, viinud uue ajastuni kaitserõivastuses. Edukas nanotehnoloogia rakendamine looduslike kiudude puhul võib aga viia taaskordse suurema muutuseni. Lisaks selgus töö teostamise käigus, et ballistiline kaitse ei kujuta endast ainult kaitset kuulide, vaid kõikvõimalike lendkehade eest.

Arvestades kõike eelnevalt kirjapandut, võib väita, et töö eesmärk on saavutatud.

SUMMARY

The aim of this Bachelor's final thesis, titled „Stab resistant and bulletproof materials“, was to research ballistic- and stab resistant protective clothing, and to study the properties of the corresponding vests and helmets, due to their working mechanisms and structures.

The first chapter provided an overview of stab resistant materials. It discussed history, suitable armor design and manufacturing, properties of wearing and stab resistance achieved by coating. Particular attention was paid to the division of stab resistant armor by its different strength levels.

The attention in the second chapter was paid to materials with ballistic protection. Similarly to the previous chapter it discussed history, suitable armor design, manufacturing and division. It also covered the most common fibers, testing and the evaluation of ballistic protection, computer-based analysis, standards and classification of body armor and the achievement of ballistic protection through the use of nanocomposite fibres.

The third chapter described the main ballistic applications. For instance ballistic helmet materials, design and classification.

In the last chapter was briefly formulated the future trends in technology of protective clothing.

From this thesis it can be concluded that the development of polymer chemistry has led to a new era in the protective clothing. The successful implementation of nanotechnology, however, can lead to another major change.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Sparks, E., Advances in Military Textiles and Personal Equipment, 2012, Woodhead Publishing
2. Horrocks, A.R.; Anand, S.C., Handbook of Technical Textiles, 2000, Woodhead Publishing
3. Scott, Richard A., Textiles for Protection, 2005, Woodhead Publishing
4. Mahltig, B.; Textor, T., Nanosols and Textiles, 2008, World Scientific
5. Pan, N.; Sun, G., Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health, 2011, Woodhead Publishing
6. Qian, Xiaoming; Liu, Huawu, Advanced Textile Materials, Part 1, 2011, Trans Tech Publications Ltd
7. Wang, Rui; Liu, Huawu, Advances in Textile Engineering, 2011, Trans Tech Publications Ltd
8. N/A, ANTEC 2006 Plastics: Annual Technical Conference Proceedings, 2006, Society of Plastics Engineers
9. Viikna, A., Kõrgsuutlikud kiud ja materjalid, 2007, TTÜ kirjastus
10. [www] <http://www.fyysika.ee/opik/index.php?tase=asi&idex=792&idse=5960>