

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

PANSSAROINTI NYKYAIKAISISSA TAISTELUPANSSARIVAUNUISSA

Kandidaatintutkielma

Kadetti
Lauri Pitkänen

Kadettikurssi 96
Huolto-opintosuunta

Huhtikuu 2012

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 96	Linja Huolto-opintosuunta
Tekijä Kadetti Lauri Pitkänen	
Tutkielman nimi PANSSAROINTI NYKYAIKAISISSA TAISTELUPANSSARIVAUNUISSA	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika 25.04.2012	Tekstisivuja 24 Liitesivuja 4
TIIVISTELMÄ <p>Tutkimuksessa tarkastellaan kolmannen sukupolven taistelupanssarivaunujen panssarointiratkaisuja, panssareiden rakennetta ja niiden merkitystä osana vaunun kokonaissuojaa. Tutkimuksessa käytetty tutkimusmenetelmä on kirjallisuustutkimus. Tutkimuksen lähtökohtana on hyödynnetty alan aiempia tutkimuksia, joita on täydennetty painetuilla oppailla ja verkkojulkaisuilla. Tutkimuksessa esitellään nykyisiä taistelupanssarivaunuja neljän esimerkin avulla.</p> <p>Tutkimuksen pääkysymys on: ”Kuinka nykyaikaiset taistelupanssarivaunut ovat panssaroitu?”. Lisäksi tutkimuksessa vastataan alakysymyksiin: ”Mikä on panssaroinnin rooli vaunun kokonaissuojassa?” ja ”Millaisia eri panssarointimateriaalit ovat rakenteeltaan?”. Tutkimus on rajattu tarkastelemaan panssarointien teknisiä arvoja ja mitattuja suorituskykyjä. Taistelutekniikan ja taktiikan merkitystä ei huomioida.</p> <p>Taistelupanssarivaunut ovat maataistelussa käytettävistä ajoneuvoista kehittyneimpiä niin tulivoimaltaan kuin suojaltaankin. Panssarivaunun ja panssarintorjunta-aseen kehityksen kilpajuoksu on johtanut yhä suojaavampien panssarointimateriaalien keksimiseen. Nykyaikainen panssarointi koostuu useita eri materiaaleja yhdistävistä monikerroksisista ratkaisuista. Tutkimuksessa selvitetään eri materiaalien ominaisuuksia ja merkitystä nykyaikaisten panssareiden osana.</p> <p>Taistelupanssarivaunun suoja on kokonaisuus, joka muodostuu toisiaan tukevista elementeistä. Tutkimuksessa tarkastellaan panssaroinnin toimintaa osana vaunun tarjoamaa kokonaissuojaa sekä sen tarjoamia mahdollisuuksia ja rajoitteita. Lopputulos on yhteenveto nykyaikaisen taistelupanssarivaunun keskeisistä panssarointiratkaisuista.</p>	
AVAINSANAT ballistinen suojaus, keraami, kerrospanssari, panssarointi, panssarointimateriaali, suoja, taistelupanssarivaunu, teräspanssari	

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Yleistä	1
1.2 Näkökulma, rajaukset ja tutkimuskysymykset.....	2
1.3 Tutkimusmenetelmä.....	2
1.4 Aiempi tutkimustieto.....	3
2. PANSSAROINTI OSANA TAISTELUPANSSARIVAUNUN KOKONAISUOJAA	4
2.1 Yleistä	4
2.2. Miltä panssaroinnilla suojaudutaan?.....	5
2.3 Panssaroinnin käyttöperiaatteet.....	7
2.4. Vaunun kokonaissuoja	10
3. ERI PANSSAROINTITYYPIT JA NIIDEN KÄYTTÖ.....	13
3.1. Passiiviset panssarointimateriaalit	13
3.1.1. Teräspanssarit.....	13
3.1.2. Panssarialumiini	14
3.1.3. Panssarititaani	14
3.1.4. Keraamipanssarit.....	15
3.1.5. Komposiittipanssarit	16
3.2. Reaktiivipanssarit.....	17
3.3. Kerrospanssarit.....	18
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	20
4.1 Johtopäätökset.....	20
4.2 Tutkimuksen kritiikki ja jatkotutkimus.....	24
5. LÄHTEET	25
LIITTEET	28
Liite 1: Keskeiset käsitteet	
Liite 2. Kuvat esimerkkipanssarivaunuista	

PANSSAROINTI NYKYAIKAISISSA TAISTELUPANSSARIVAUNUISSA

1. JOHDANTO

1.1 Yleistä

Nykyaikaisessa maasodankäynnissä taistelupanssarivaunut ovat taistelukentän tulivoimaisimpia ja tehokkaimpia maanpinnalla liikkuvista taisteluvälineistä. Nykyään yleisesti aktiivikäytössä on niin kutsuttu taistelupanssarivaunujen kolmas sukupolvi, joka käsittää suurimmilta osin 1960–70-luvun kylmän sodan ajan vaunujen jatkokehitysversioita. Nämä versiot on otettu käyttöön 1990-luvulla tai myöhemmin. Myös vanhempiin toisen sukupolven vaunuihin on kehitetty päivityspaketteja, joilla ne saavuttavat riittävän taistelukyvyn nykyaikaiseen sodankäyntiin. Tässä tutkielmassa taistelupanssarivaunuja käsitellään neljän esimerkin avulla, jotka on valittu yleisimmistä palveluskäytössä olevista taistelupanssarivaunuista:

- Abrahms M1A2
- Merkava Mk.4
- T-90
- Leopard 2A4

Taistelupanssarivaunut ovat panssaroinnin ja muun suojauksen osalta kehityksen kärjessä verrattuna muihin panssariajoneuvotyyppeihin, kuten rynnäkö- tai miehistönkuljetusvaunuihin. Ne ovat säilyttäneet asemansa sodankuvan muutoksesta huolimatta. Niiden tehokkuus perustuu tulivoiman ja raskaan panssaroinnin lisäksi psykologiseen pelotteeseen, jota isokokoiset ja raskaasti aseistetut vaunut aiheuttavat vastapuolelle.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää esimerkkien avulla nykyaikaisen panssarointiratkaisun peruseriaatteita ja niiden tarjoaman suojan teknisiä perusteita. Myös eri panssarointityyppien rakenteen ja toimintaperiaatteen selvittäminen auttaa ymmärtämään panssaroinnin kokonaisuuden ja suorituskyvyn muodostumista.

1.2 Näkökulma, rajaukset ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen näkökulmana on panssarointien tekninen tarkastelu. Aihetta käsitellään tutkimuksessa tekniikan näkökulmasta, joten eri panssareiden ominaisuuksia, käytettävyyttä ja vaikutuksia tutkitaan vain teknisiin suorituskykyihin ja mitattuihin arvoihin nojautuen. Taktiikan ja taistelutekniikan vaikutuksia ei oteta tutkimuksessa huomioon.

Tutkimus rajataan koskemaan taistelupanssarivaunuja ja niiden eri panssarointeja. Taistelupanssarivaunujen käsittelyssä pääpaino on kolmannen sukupolven vaunuissa. Taistelupanssarivaunuihin kohdistuvaa asevaikutusta käsitellään varsin pintapuolisesti, jotta ymmärretään uhat joihin eri panssarointiratkaisut pyrkivät vastaamaan.

Tutkimuksen pääkysymys on ”Kuinka nykyaikaiset taistelupanssarivaunut ovat panssaroitu?”. Alakysymykset ovat ”Mikä on panssaroinnin rooli vaunun kokonaissuojassa?” ja ”Millaisia eri panssarointimateriaalit ovat rakenteeltaan?”

Tutkimuksen tavoitteena on luoda kattava kokonaiskuva eri panssarointimateriaalien ominaisuuksista, käyttöperiaatteista ja rakenteesta sekä tarkastella esimerkkien avulla taistelupanssarivaunuissa tehtyjä panssarointiratkaisuja.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuusselvitys. Kirjallista aineistoa on kerätty eri lähteistä ja joukossa on niin suomen- kuin englanninkielisiä lähteitä. Suomenkieliset lähteet ovat pääosin tutkimuksia, oppaita, ohjesääntöjä ja englanninkielisissä lähteissä on julkaistua kirjallisuutta, esitteitä ja tietokannoista löydettyjä julkaisuja. Tutkimuksessa esiintyvät faktatiedot ovat peräisin luotettavasta kirjallisuudesta. Käsiteltäessä taistelupanssarivaunujen antamia suojarvoja on jouduttu turvautumaan asiantuntijoiden arvioihin, sillä panssarointiratkaisujen tarkka rakenne ja testatut suoritusarvot eivät ole saatavilla. Esimerkeissä keskitytäänkin tutkimaan

vaunun panssaroinnin antaman suojan muodostamaa kokonaisuutta, johon vaikuttavat myös muotoilu ja vaunun koko.

Tyypillisesti kirjallisuusselvitys on luettava esitys työn kannalta olennaisesta asiasta. Selvityksen lähteiden tulee olla ajantasaisia ja niitä tulee olla riittävästi. Tyypillinen lähdeaineisto käsittää standardeja, käsikirjoja ja tutkimusraportteja. Muodoltaan kirjallisuusselvitys on referaatti, mutta ei suoraa tekstikopiointia [11].

Tutkimuksessa ensimmäisessä pääluvussa selvitetään taistelupanssarivaunun kokonaissuojaa sekä panssaroinnin osuutta siinä. Luvussa käsitellään myös panssaroinnin yleisiä periaatteita ja vaunuun kohdistuvaa uhkaa. Toinen pääluku käsittelee panssarimateriaalien rakennetta, ominaisuuksia sekä niiden käyttöä käsiteltävissä esimerkkivaunuissa. Johtopäätökset -luku kokoaa yhteen tutkimuksen aikana tehdyt havainnot sekä vertailee ja analysoi esimerkeiksi valittujen taistelupanssarivaunujen panssarointiratkaisuja.

1.4 Aiempi tutkimustieto

Panssarointeja käsittelevää ja tutkielman aihetta sivuavaa tutkimusta on tehty jonkin verran. Esimerkkejä aihepiiriä käsittelevistä tutkimuksista ovat Tuomo Norosen Pro Gradu –työ ”Taistelupanssarivaunun suoja panssarintorjunta-aseilta 2000-luvulla” ja Jukka Arvilan kandidaatintutkielma ”Mekanisoitujen joukkojen ballistisen suojan parantaminen tilapäisvälinein”. Aihetta osaltaan sivuaa myös Pekka Kortelaisen diplomityö ”Maalimalli panssarintorjunta-aseiden aseteknisen suorituskyvyn määrittämiseksi koe- ja kenttäammunnoissa”. Aikaisemmissa tutkimuksissa painopiste on ollut muualla kun taistelupanssarivaunujen panssaroinnin rakenteen ja ominaisuuksien tutkimisessa.

Kirjallista aineistoa aiheesta on myös tuotettu melko paljon. Muutamien lähteiden osalta täytyy annettuihin tietoihin suhtautua varauksella, sillä panssarointien tarkat rakenteet ja suojarvot ovat lähinnä asiantuntija-arvioita. Kaikkia löydettyjä lähteitä on pyritty hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

Aiempi tutkimustieto on osaltaan käsitellyt asiaa vain osana toisen asian tutkimista. Itse panssaroinnin rakenteeseen ja erityisesti taistelupanssarivaunun suojan kokonaisuuteen tähtäävää tutkimusta ei ole ollut. Aiempi tutkimustieto on kuitenkin validia ja hyödyttää asian ympärillä tapahtuvaa jatkotutkimusta.

2. PANSSAROINTI OSANA TAISTELUPANSSARIVAUNUN KOKONAISUOJAA

2.1 Yleistä

Taistelupanssarivaunu on raskain panssarivaunutyyppi. Taistelupanssarivaunujen tehtävä on toimia hyökkäyksen kärjessä, tuhota vihollisen panssarivaunuja ja antaa suojaa jalkaväelle. Vaunun pääaseena on suorasuunnattua tulta ampuva yleensä halkaisijaltaan 100–125 millimetrinen sileäputkinen panssarivaunukanuuna. TAE-sopimus [1] määrittelee taistelupanssarivaunun hyvin suojatuksi ja telaketjuilla liikkuvaksi asejärjestelmäksi, jota ei ole tarkoitettu joukkojen kuljetukseen. Taistelupanssarivaunun massa on vähintään 16,5 tonnia tyhjänä ja se on aseistettu 360 astetta ympäri kääntyvällä tornilla, jossa on vähintään 75 millimetrin korkean lähtönopeuden tykki. Tykin lisäksi taistelupanssarivaunussa on yleensä ainakin yksi 7,62–12,7 millimetrin konekivääri pehmeämpiä maaleja vastaan

Taistelupanssarivaunu rakentuu rungosta eli lavetista ja siihen kiinnitetystä tornista, joka kääntyy 360 astetta. Pääase on kiinnitetty torniin. Miehistö toimii rungon sisällä olevassa taistelutilassa. Vaunun henkilöstö koostuu yleisimmin neljästä henkilöstä, jotka ovat ajaja, johtaja, ampuja ja lataaja. Joissakin taistelupanssarivaunutyypeissä latausjärjestelmä on automaattinen, jolloin lataajaa ei tarvita.

Panssarivaunun suoja on kokonaisuus, jolla pyritään suojaamaan kohde vihollisen tiedustelulta, paikantamiselta ja asevaikutukselta. Taistelupanssarivaunun kokonaissuojaan kuuluvat:

- häiveominaisuudet (emissioiden hallinnan ja häiveteknologian sekä maastouttamisjärjestelmien käyttö, joilla estetään paljastuminen)
- liike (estetään vaikuttaminen paljastuneeseen kohteeseen)
- harhauttaminen (vaikeutetaan maalinvalintaa)
- omasuojajärjestelmä (estetään asevaikutus valittuun maaliin)
- ballistinen ja NBC-suoja (estetään läpäisy)
- tuhovaikutuksen minimointi (osastointi, palontorjunta ja puhdistusjärjestelmät) [20].

Nykyaikainen taistelupanssarivaunu on erittäin pitkälle kehitetty kokonaisuus, jonka suoja koostuu useista toisiaan tukevista elementeistä. Tärkeimmät vaunun suojaan liittyvät asiat ovat siis havaituksi tulemisen välttäminen, asejärjestelmien osumisen välttäminen ja osuman tapahtuessa läpäisyn estäminen ja vahinkojen minimointi. Nämä tavoitteet pyritään täyttämään vaunun rakenteellisilla ratkaisuilla, suorituskyvyn optimoinnilla, tarkoituksenmukaisilla panssarointiratkaisuilla sekä tekniikkaan perustuvien omasuojajärjestelmien käytöllä.

Taistelupanssarivaunun panssarointi on eri osatekijöistä muodostuva kokonaisuus, jonka tehtävänä on suojata vaunun miehistö ja asejärjestelmät erilaisten asejärjestelmien vaikutukselta. Panssaroinnin tulisi kyetä mahdollistamaan myös taistelun jatkaminen tai siitä vetäytyminen vaunun saadessa osuman. Taistelupanssarivaunuissa käytettäviä panssarointimateriaaleja ovat kovuuteen perustuvat metallista, keraameista ja komposiiteista valmistetut passiiviset panssarit sekä liikkeeseen tai räjähdysenergiaan perustuvat aktiiviset reaktiivi- ja monikerrospanssarit.

On siis olemassa passiivista ja aktiivista panssarointia. Passiivinen panssari pysäyttää tulevan projektiin materiaalin fysikaalisten ominaisuuksien mukaan. Aktiivinen panssari sen sijaan saa projektiilista kineettisen vastareaktion, jolla sen läpäisyvaikutusta heikennetään [13]. Aktiivista panssarointia ei tule kuitenkaan sekoittaa aktiivisiin omasuojajärjestelmiin, joita käytetään uhkien havaitsemiseen ja eliminointiin jo ennen kuin ne pääsevät vaikuttamaan panssarivaunuun. Panssaroinnit ovat passiivisia omasuojajärjestelmiä, joilla pyritään minimoimaan osuvan saavuttavan asejärjestelmän vaikutus panssarivaunuun.

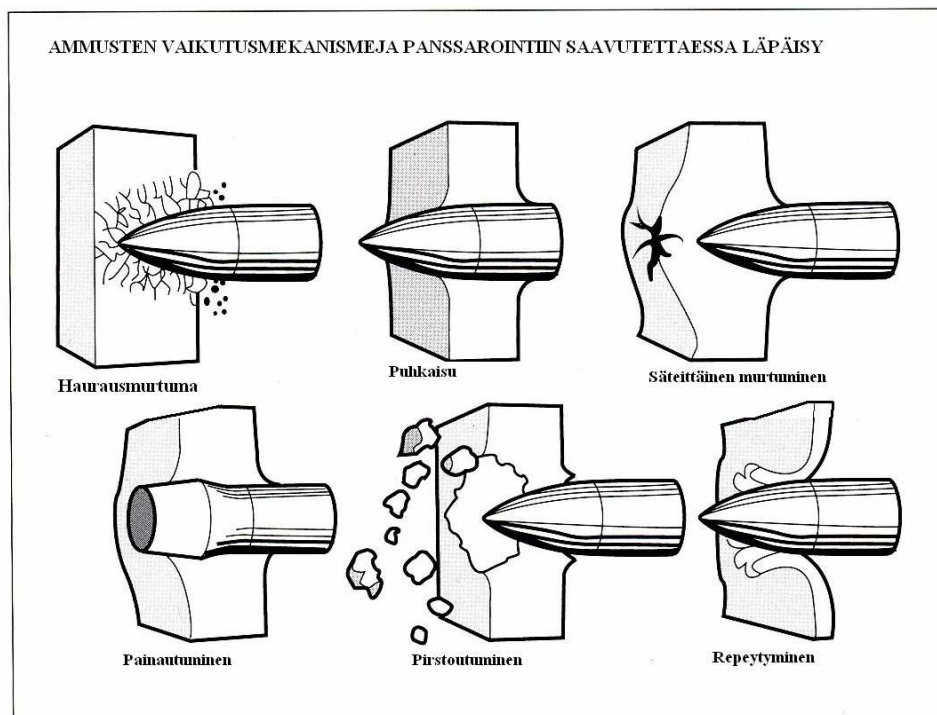
2.2. Miltä panssaroinnilla suojaudutaan?

Taistelupanssarivaunulle uhkatekijöinä taistelukentällä ovat ensisijaisesti toiset taistelupanssarivaunut. Vaikka vaunujen suojan suunnittelun yleinen lähtökohta onkin oman pääaseen osuman kestäminen, on niiden pääasiallinen käyttötarkoitus vihollisen taistelupanssarivaunujen tuhoaminen hyökkäyksen kärjessä. Nykyaikaiset taistelupanssarivaunut käyttävät toisten vaunujen tuhoamiseen pääasiassa alikaliiperiammuksia.

Alikaliiperiammus on valmistettu joko köyhdytetystä uraanista tai wolframista. Sen tiheys on noin 18000 kg/m^3 ja lähtönopeus noin 1700 m/s [26]. Alikaliiperiammuksen läpäisy perustuu erittäin suureen iskunopeuteen, suureen kineettiseen energiaan ja pieneen iskupinta-alaan. Taistelupanssarivaunujen pääaseen kaliiperi (100-125 millimetriä) on ammusta suu-

remppi sirpale- ja ontelokranaattien sekä ohjusten ampumista varten. Siksi ohut ammus on sidottu hylsyynsä tiivistävällä ja keskittävällä ohjausosalla, joka on esimerkiksi alumiininen sektoreista koostuva tiivisteholkki. Ohjausosa saattaa ammuksen putken läpi ja aukeaa ilmanvastuksen johdosta irti siitä putken suun jälkeen. Alikaliiperiammuksilta pystytään suojautumaan parhaiten erilaisilla kerrosspanssarointiratkaisuilla, jotka perustuvat ammuksen oman liike-energian hyödyntämiseen itseään vastaan sen osuessa panssarointiin.

Kuvassa 1 on esitetty liike-energiaan perustuvien ammusten kuten alikaliiperiammusten ja panssariammusten vaikutusmekanismeja eri panssareihin saavutettaessa läpäisy. Haurausmurtuma on tyypillinen erittäin kovien materiaalien, kuten keraamien, pettämissmekanismi niiden joutuessa liian kovan rasituksen kohteeksi ammuksen vaikutuksesta. Myös pirstoutuminen sekä säteittäinen murtuminen ovat tyypillisiä erittäin kovalle mutta hauraille materiaaleille. Muut läpäisemistävät painautuminen, puhkaisu ja repeytyminen ovat pehmeämmille panssarointimateriaaleille ominaisia pettämistapoja.



Kuva 1. Kineettisen energiaan perustuvan ammuksen läpäisytavat [7]

Panssarointimateriaalin pettämissmekanismi on siis pääosin verrattavissa sen rakenteen kovuuteen. Kovat materiaalit eivät muokkaudu rakenteeltaan ammuksen osumasta, vaan rikkoutuvat ja sitovat sen energiaa heijastamalla iskun rakenteessaan. Pehmeiden panssarointimateriaalien kohdalla ammuksen liike-energia sitoutuu materiaalin rakenteen muodonmuutokseen, eivätkä ne kykene rikkomaan ammusta yhtä tehokkaasti kuin kovat materiaalit. Kovien panssarointien osalta osuma aiheuttaa myös koko panssaritiilen tai elementin vaurioitu-

misen, jolloin se ei enää kykene suojaamaan taistelupanssarivaunua uudelta osumalta. Pehmeissä materiaaleissa taas vaikutukset eivät tuhoa koko elementin suojauskykyä, sillä ammuksen liike-energia sitoutuu panssarointimateriaalin paikalliseen muodonmuutokseen.

Toinen panssarintorjuntaan yleisesti käytetty ase on ontelopanos. Se muodostuu kartion muotoisesta metallista valmistetusta ontelosta ja sen ympärille vuoratusta räjähdysaineesta. Ontelopanoksissa käytettävän räjähdysaineen detonaationopeus on noin 7000 – 9000 m/s [26]. Kartiossa käytetään metallina useimmiten terästä tai kuparia. Räjähdysaine sytytetään pohjasytyttimellä kärjen koskettaessa panssaria. Ontelopanosta käytetään niin kertasingojen kranaateissa, panssarintorjuntaohjuksissa kuin taistelupanssarivaunun itsensä ampumisissa kranaateissa.

Ontelopanoksen teho perustuu Munroe-efektiin, jossa suurella nopeudella detonoiva räjähdysaine muodostaa kartion metallista suurinopeuksisen suihkun. Suihkussa kartion metalli on kiinteässä muodossa. Suihku muodostuu kartion sisäpinnan hiukkasten muodostamasta suurinopeuksisesta kärkisuihkusta, jossa on noin 10-15% kartion massasta ja hitaammasta jälkisuihkusta [26]. Nopeuseroista johtuen suihku venyy muodostuen pitkäksi ja ohueksi osuessaan panssariin. Pyörimisliike heikentää ontelopanoksen läpäisyä, sillä suihkun muoto rikkoutuu herkemmin jos sillä on liikettä pituusakselinsa ympäri. Tästä syystä ontelopanoksen sisältävät kranaatit tai ohjukset ovat useimmiten pystövakavoituja.

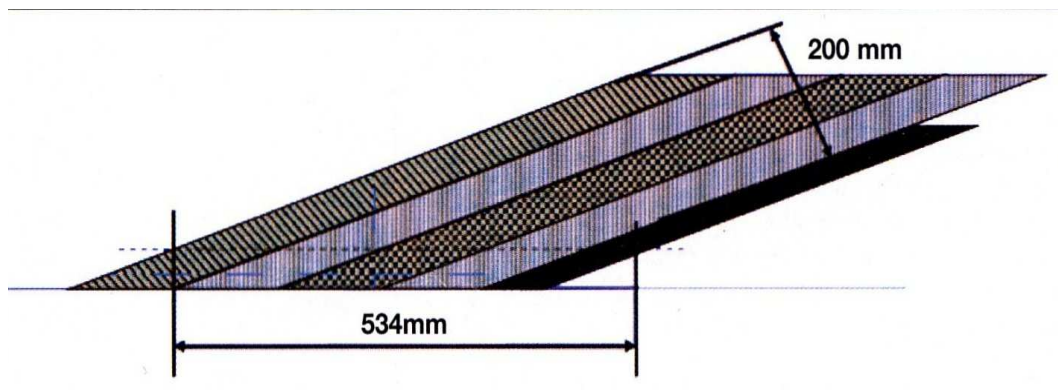
Metallisuihkun teho panssareita vastaan perustuu pienelle pinta-alalle kohdistuvaan erittäin suureen paineeseen. Panssarin lujuuden ollessa suihkun painetta pienempi saavutetaan läpäisyä aina suihkun riittävään hidastumiseen tai muodon hajoamiseen saakka. Suihkun pituuden venyessä liikaa se hajoaa pienempiin osiin, jotka osuvat läpäistyn materiaalin seinämiin eivätkä lisää läpäisyä pohjalla [25].

2.3 Panssaroinnin käyttöperiaatteet

Taistelupanssarivaunun panssaroinnin nyrkkisääntönä on perinteisesti pidetty sitä, että se kykenee kestävänsä omaa pääasettaan vastaavan aseensa suoran osuman. Panssaroinnin suunnittelussa on otettava huomioon vaunun muu rakenne, miehistön sijoittuminen ja painorajoi-
tukset. Taistelupanssarivaunun panssaroinnin paksuus vaihtelee kuitenkin täten paikasta riippuen muutamasta sentistä aina metriin asti. Paksuin panssarointi on sijoitettuna eteen, sillä taiste-

lupanssarivaunu pyrkii taistelussa olemaan keula kohti uhanalaisinta suuntaa. Ohuimmin panssaroidut kohdat taistelupanssarivaunussa ovat pohja, takapää ja katto.

Myös panssaroinnin muoto vaikuttaa sen tarjoamaan suojaan. Tästä johtuen taistelupanssari-vaunun suunnittelussa ei suositeta maanpintaa vasten pystysuoria pintoja, vaan pyritään suunnittelemaan maanpintaan verrattuna mahdollisimman kaltevia muotoja panssaroinnin suojan parantamiseksi. Tällä tavoin saavutetaan paksumpi panssarointi osumasuunnassa, mikäli asevaikutuksen oletetaan suuntautuvan vaunuun maanpinnan suuntaisesti. Vinolla kohtauskulmalla myös jokaisen kerroksen etu- ja takapinta hankaavat ja kuluttavat läpäisevää projektiilia vähentäen läpäisyä. Kuluttava vaikutus lisääntyy, jos levyjen välissä on ilmatila tai sopiva väliaine [4].



Kuva 2. Vinon panssarin vaikutus tarvittavaan läpäisyyn [21]

Jos taistelupanssarivaunun tornissa panssarointi on sijoitettu esimerkiksi 30° kulmaan vaakatasosta, kuten T-90:ssa ja lisäksi tiedetään sen suoja-arvon vastaavan keskimäärin 750 millimetriä RHA-terästä alikaliiperisia ammuksia vastaan [24], voidaan laskea panssaroinnin verrannollinen paksuus RHA-teräksenä kaavasta.

$$\sin(\text{kallistus}) = \frac{\text{Panssaroinnin paksuus}}{\text{Panssaroinnin suoja - arvo}}$$

Tästä laskemalla saadaan panssaroinnin verrannolliseksi paksuudeksi 375 millimetriä. Täten voidaan päätellä kallistuksella saavutettavan kaksinkertainen suoja-arvo vertikaalisesti sijoitettuun panssarointiin nähden. Lisäksi viistossa kulmassa oleva panssarointi lisää ammuksen mahdollisuutta kimmota räjähtämättä, jolloin sen tarjoama suoja paranee entisestään.

Taistelupanssarivaunun panssaroinnin runko muodostuu RHA-panssariteräksestä. Panssariteräksen hyvät mekaaniset ominaisuudet ja edullisuus tekevät siitä ensisijaisen materiaalin kaikissa taistelupanssarivaunujen panssarointiratkaisuissa. Vaunun suojaa täydennettäessä ja painoa rajoitettaessa panssarointiin lisätään metallikerrosten päälle ja väliin erilaisia komposiitti- ja keraamikerroksia täydentämään kokonaissuojaa. Tällaisilla kerrospanssareilla kyetään saavuttamaan suurempia suoja-arvoja pienemmillä painonlisäyksillä.

Verrattaessa panssarien suojaa ampumatarvikkeita vastaan referenssinä käytetään perinteistä teräspanssaria RHA (tiheys ρ_{Fe}). Eri panssarointien (tiheys ρ_{maali}) tehokkuutta verrataan toisiinsa massatehokkuusluvun E_M avulla, joka on ampumatarvikekohtainen. Eri suojamateriaalien paksuus mitoitetaan siten, että ne antavat saman suojan samalla ampumatarvikkeella. Tällöin esimerkiksi alikaliiperiammusta ja onteloammusta vastaan lasketut materiaalien massatehokkuusluvut poikkeavat toisistaan. Massatehokkuusluku lasketaan hydrodynaamisen läpäisyteorian avulla.

$$E_M = \sqrt{\frac{\rho_{Fe}}{\rho_{maali}}}, \text{ missä}$$

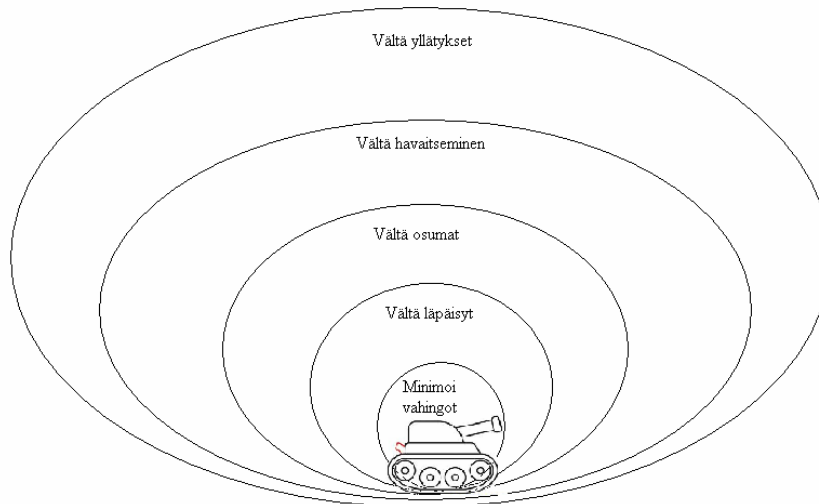
ρ_{Fe} = referenssimateriaalin tiheys

ρ_{maali} = verrattavan panssaroinnin tiheys

Panssarintorjunnan ampumatarvikkeilla nopeusalue on alle 2000 m/s, mikä on hydrodynaamista läpäisyteoriaa ajatellen liian pieni. Kaavaa sovelletaan eri ammuksille tukeutumalla tehokkuuskertoimiin, esimerkiksi onteloammuksen kerroin on 0,9 ja nuoliammuksen 0,66 [24]. Esimerkkinä kaavalla saadaan alumiinioksidin (3900 kg/m³) massatehokkuusluvuksi verrattuna RHA-teräkseen (7500 kg/m³) 1,39. Panssaroinnissa parhaat materiaalit antavat kuitenkin paremman suojan kuin massatehokkuusluku edellyttää.

2.4. Vaunun kokonaissuoja

Kuten aiemmin todettiin, on taistelupanssarivaunun suoja useista eri tekijöistä koostuva kokonaisuus. Suojauksen voi karkeasti jakaa vaunun havaitsemisen välttämiseen, vaunua vastaan suunnattujen asevaikutusten osumien välttämiseen sekä osuman saavuttaneen asejärjestelmän vaikutuksen minimointiin.



Kuva 3. Vaunun suojauksen tavoitteet

Nykyaikaiset taistelupanssarivaunut sisältävät runsaasti sensoreita ja muuta tekniikkaa, joilla ne kykenevät havainnoimaan ympäristöönsä tehokkaasti kaikissa olosuhteissa. Taistelupanssarivaunu ei koskaan toimi taistelukentällä yksin, joten sen yhteydessä olevat muut vaunut ovat kytketty johtamisjärjestelmän kautta toisiinsa. Täten ne kykenevät hyödyntämään myös ulkopuolista tiedustelutietoa ja täydentämään tilannekuvaansa.

Nyky aikaista elektroniikkaa ja materiaaleja käytetään myös pyrittäessä piilottamaan vaunu tutkalta tai suoralta tähystykseltä. Tutkasäteilyä absorboivat häivemateriaalit eivät vielä ole levinneet laajaan käyttöön panssarivaunukalustossa, mutta lupaavia kokeiluja on tehty eri maissa. Käytössä on kuitenkin maaleja, jotka vähentävät tutkasäteilyn heijastumista [7]. Lisäksi tutkassa havaittavuuteen voidaan vaikuttaa muotoilemalla panssarivaunu siten, että se heijastaa mahdollisimman vähän säteilyä takaisin tutkakeilan suuntaan. Lähiaikoina on tutkittu myös teknologiaa, jolla kyettäisiin heijastamaan vaunun takana oleva taustanäkymä tarkkailijan suuntaan ja täten luomaan tarkkailijalle näkymä, jossa vaunu on vain osa ympä-

ristöä. Tällaisen teknologian haittana on korkea hinta ja erittäin suuri sähköntarve, johon akkuteknologialla ei toistaiseksi kyetä vastaamaan.

Asejärjestelmien osumien välttämiseksi taistelupanssarivaunun tärkeimmät suojakeinot ovat liike ja erilaiset aktiiviset omasuojajärjestelmät. Liikkeen avulla vaunu kykenee vetäytymään uhkaavasta tilanteesta ennen kuin siihen ehditään vaikuttamaan. Liikkeeseen voidaan vaikuttaa moottorivalinnalla sekä vaunun painoa säätelemällä. Painon vähentäminen kuitenkin tarkoittaa yleensä panssaroinnin karsimista ja täten vaunujen suunnittelussa joudutaankin tekemään useita kompromisseja haluttujen ominaisuuksien välillä. Useimmat taistelupanssarivaunutyypit onkin nykyään mahdollista varustaa lisäpanssaroinneilla, jolloin peruspanssarointiin ei tarvitse käyttää liikaa raskasta panssaria, vaan vaunun panssarointia voidaan tarvittaessa vahvistaa.

Taistelupanssarivaunuissa käytettävät aktiiviset omasuojajärjestelmät sisältävät monia erilaisia järjestelmiä, joiden tarkoituksena on estää vaunun toiminnan lamaantuminen erilaisten asejärjestelmien vaikutuksesta. Havainnoivilla järjestelmillä pyritään etsimään aktiivisesti ajoneuvoon suuntautuvia uhkia ympäristöstä ja niistä tehtyjen havaintojen mukaan vaikuttamaan uhkaan ennen aseiden vaikutusta panssarivaunuun.

Taistelupanssarivaunuihin on asennettu erilaisia ympäristöä havainnoivia järjestelmiä, kuten lämpökamera, lasertunnistin ja biologisten sekä kemiallisten aineiden läsnäolon tunnistinturrit. Lämpökameralla vaunu kykenee tunnistamaan näköetäisyydeltä erilaiset suorammuntaan perustuvat panssarintorjuntajärjestelmät ja pyrkii vaikuttamaan niihin ensimmäiseksi omalla aseistuksellaan. Lämpökameran toiminta perustuu kappaleen lähettämään infrapunasäteilyyn. Mitä kuumempi kappale on sitä tehokkaammin ja laajakaistaisemmin se lähettää infrapunasäteilyä. Lämpökameran suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi maalin koko, muoto ja lämpötila, sääolosuhteet ja näkyvyys sekä havaintoetäisyys.

Lasertunnistimet ympäri vaunua havainnoivat välittömästi erilaiset lasertähtäykseen perustuvat asejärjestelmät, joka yhdistettynä vaunun automaattitähtäykseen antavat mahdollisuuden nopeasti vaikuttaa niihin. Lasertunnistimen suorituskykyyn vaikuttaa muun muassa laitteen lähetysteho ja -aallonpituus. Vaunut on myös useimmiten varustettu kemialliset ja biologiset aineet suodattavalla järjestelmällä ja ne kykenevät toimimaan myös saastuneella alueella. Vaunu on tällöin ylipaineistettu, joten aineet eivät pääse sen sisään.

Yleinen omasuojajärjestelmä vaunuissa on myös savutusjärjestelmä, jonka tarkoituksena on joko mahdollistaa vaunun vetäytyminen yllättävästä tilanteesta tai suojata taistelupanssari-vaunu visuaaliselta tähystykseltä. Erilaisia lisäaineita käyttämällä suojasavutuksella voidaan häiritä myös infrapunasäteilyyn perustuvaa tähystystä. Savutus toteutetaan joko erillisillä savuheitteillä tai suihkuttamalla kuumaan pakosarjaan polttoainetta, joka höyrystyy ja savutus toteutuu pakokaasujen poiston yhteydessä.

Aktiivisista omasuojajärjestelmistä taistelupanssarivaunuissa käytetään erilaisia hard- ja soft-kill-järjestelmiä. Hard-kill-järjestelmä pyrkii tuhoamaan vaunua kohti suuntautuvan asejärjestelmän ennen kuin se ehtii saavuttamaan osuman. Tämä toteutetaan yleisimmin laukaamalla vaunusta kappale, joka tuhoaa ammuksen tietyllä etäisyydellä. Soft-kill järjestelmä perustuu esimerkiksi tutkan varassa toimivan panssarintorjuntaohjuksen hakupään häirintään, jolloin voidaan välttää osuma vaunuun. Soft-kill järjestelmä ei siis tuhoa kohdettaan vaan pyrkii estämään osuman häirinnällä.

3. ERI PANSSAROINTITYYPIT JA NIIDEN KÄYTTÖ

3.1. Passiiviset panssarointimateriaalit

Passiiviseen panssarointiin voidaan käyttää useita eri materiaaleja. Ne voidaan jakaa kahteen kategoriaan ominaisuuksien ja vaikutustapojensa perusteella. Panssarointimateriaalit ovat joko ammuksen energiaa häiritseviä tai absorboivia. Häiritsevät materiaalit ovat lujaa ainetta kuten korkealujuuksista terästä tai keraamia. Näiden tarkoituksena on sirpaloida projektiili tai kuluttaa se nopeasti. Toisin sanoen ammuksen kineettinen energia pyritään pilkkomaan ja suuntaamaan pois suojattavasta rakenteesta. Absorboiva materiaali sitä vastoin imee itseensä iskuenergian ja muuttaa sen toisenlaiseksi energiaksi kuten lämmöksi. Jäykät ja sitkeät metallit ovat hyviä absorboijia, sen lisäksi että niillä on myös häiritseviä ominaisuuksia [10].

3.1.1. Teräspanssarit

Teräspanssarin perustyyppinä pidetään standardin MIL-A-12560H mukaan määriteltyä valssattua homogeenista panssarilevyä, josta yleisesti käytetään lyhennettä RHA (rolled homogeneous armor; valssattu homogeeninen panssari). Tähän levyyn verrataan yleensä muita panssariteräksiä ja myös muita panssarointimateriaaleja. Normi kattaa teräslevyt, joiden paksuus vaihtelee 6-300 millimetrin välillä. Suuresta paksuusvaihtelusta johtuen kemiallista analyysiä ei määrätä. Hiilipitoisuudelle määritellään yläraja 0,30-0,35% [26]. RHA-teräs valmistetaan valssaamalla ja nuorruttamalla se haluttuun kovuuteen. Panssariterästä voidaan valmistaa myös valamalla, mutta tällöin se on valssaamalla tuotettua pehmeämpää. Nykyään käytettyjen panssariterästen kovuus on noin 350 HV. Mikäli levyn kovuus ylittää tämän arvon, irrottaa läpäisemätönkin ammus panssarin sisäpinnasta sirpaleita. Sirpaleiden irtoaminen johtuu sokkiaallon heijastumisesta panssarin sisäpinnasta [16].

Haluttavat ballistiset ominaisuudet saadaan valssaamalla tietyn koostumuksen omaavaa teräsharkkoa, kuumentamalla se 820–860 –asteiseksi ja upottamalla sen jälkeen öljyyn tai veteen. Kovuuden aiheuttamaa haurautta vähennetään päästöhehkutukseksi kutsutulla prosessilla, jossa lämpötilalla säädetään haluttuja ominaisuuksia; matalampi lämpö kovia ohuita panssareita varten ja korkeampi paksuja sitkeitä panssareita varten [10].

RHA-teräksestä kovempi versio on kova panssariteräs (käytetään lyhennettä HH-RHA tai HHS). Kova panssariteräs pysäyttää ammuksen paremmin kuin RHA, mutta on haurasta ja särkyi iskusta helpommin. Standardin MIL-A-46100D määrittelemä levyn suurin paksuus on 50 millimetriä, hiilipitoisuuden yläraja 0,32% ja epäpuhtauksia sallitaan vähemmän kuin RHA-teräksessä [26].

Kaikissa tutkimuksen esimerkkivaunuissa teräs on keskeisin osa panssarointiratkaisua. Teräs muodostaa niiden kerrospanssaroinnin rungon, jota täydennetään muiden materiaalien tuomilla lisäominaisuuksilla. Teräksen käyttökelpoisuus perustuu sen muokattavuuteen; erilaisilla lämpökäsittelyillä ja koostumusta muuttamalla siitä saadaan muokattua ominaisuuksiltaan useaa erilaista laatua.

3.1.2. Panssarialumiini

Puhtaan alumiinin tiheys on 2800kg/m^3 , eli noin kolmannes teräksen tiheydestä. Keveytensä vuoksi alumiinia käytetään panssarointimateriaalina seostettuna magnesiumilla ja muilla metalleilla. Haittana alumiiniseosten käytölle panssaroinnissa on niiden pehmeys. Luodit eivät muokkaudu lävistäessään alumiinia, eikä niiden energia jakaudu kaliiperia suuremmalle alueelle [26]. Tästä johtuen alumiiniseos ei voi olla pääasiallinen taistelupanssarivaunun suoja vaan sitä on täydennettävä kovemmilla panssarityypeillä riittävän suojan saavuttamiseksi.

Alumiinin pehmeystä johtuen se on heikko suoja säännöllisen muotoisia ammuksia vastaan, mutta sillä saavutetaan kohtalainen suoja epämääräisen muotoisia sirpaleita vastaan. Taistelupanssarivaunuissa alumiinin käyttö on ollut melko olematonta eikä sitä tulla luultavasti hyödyntämään tulevaisuudessakaan [13]. Panssarialumiinin valmistusmenetelmä on valssaaminen ensin kuumassa ja sen jälkeen huoneenlämmössä halutun paksuiseksi.

3.1.3. Panssarititaani

Panssarititaania käytetään joissakin taisteluvaunujen panssarointiratkaisuissa. Panssarititaani vastaa kovuudeltaan perinteistä RHA-panssariterästä, mutta on tätä kevyempää titaanin terästä pienemmän tiheyden vuoksi (n.60% teräksen vastaavasta). Panssarititaanin haittana on panssarialumiinien tavoin herkkä sirpaloituminen levyn takapinnalta. Panssarititaanin laa-

jemman käytön esteeksi on muodostunut sen korkea hinta. Titaanilevyn hinta on noin 10 – 20-kertainen vastaavan ballistisen suojan tarjoavaan teräslevyyn verrattuna [13]

Panssarititaanin hyvistä lujuus- ja sitkeysominaisuuksista sekä keveydestä johtuen siitä on tullut kalleudestaan huolimatta lentokoneiteollisuuden rakennemateriaali. Sotilasajoneuvoissa panssarititaania käytetään joissakin lisäpanssareissa [21]. Panssarititaanin venytyskestävyys on parempaa kuin useimpien alumiinipohjaisten panssareiden. Näin ollen massatehokkuudeltaan nykyiset panssarititaaniseokset ovat 30–40 % parempia kuin RHA-panssarit [26,10]

3.1.4. Keraamipanssarit

Termi keraami on yleisnimi ei-metallisille materiaaleille. Yleensä ne on valmistettu kuumentamalla ja puristamalla pulverimaista jauhetta kiinteäksi aineeksi. Tätä prosessia kutsutaan nimellä sintraus [13]. Panssaroinnin yhteydessä keraameilla tarkoitetaan kovia oksideja, karbideja, nitrideja ja borideja. Panssarikeraamit ovat huomattavasti kovempia kuin panssariteräkset (Vickers-asteikolla enintään 800 HV). Panssarikeraamien kovuudet vaihtelevat välillä 1800–3000 HV. Kovuudesta johtuen panssarikeraamit ovat hauraita. Peruskeraamina pidetään alumiinioksidia. [26].

Keraamit ovat hauraita materiaaleja. Hauraudesta johtuen niitä ei voida käyttää taistelupanssarivaunun pääasiallisena tai päällimmäisenä panssarointimateriaalina vaan niitä käytetään yhdessä eri metallipanssareiden kanssa. Rikkoutuessaan koko keraaminen elementti menettää suojausominaisuutensa. Näin ollen niitä on edullisempaa käyttää pienempinä erillisinä levyinä, jotka kiinnitetään peruspanssaroinnista koostuvan tukirakenteeseen yleensä liimamalla.

	Kemiallinen koostumus	Tiheys kg/m ³	Kovuus HV	Taivutuslujuus N/mm ²
Alumiinioksidi	Al ₂ O ₃	3 900	1 800	600
Piikarbidi	SiC	3200	2600	500
Boorikarbidi	B ₄ C	2500	3300	600
Titaaniboridi	TiB ₂	4500	3000	-

Taulukko 1. Eri keraamien ominaisuuksia [26]

Kuten taulukosta on nähtävissä, niin keraameilla on moninkertaisia kovuusarvoja panssari-teräksiin verrattuna. Kovuutensa takia ne ovatkin hyödynnettävissä esimerkiksi kerrospanssareiden kovina elementteinä. Yleisimmin panssaroinnissa käytetty materiaali on alumiinioksidin Al_2O_3 . Kaikki tutkimuksen taistelupanssarivaunut hyödyntävät keraameja kerrospanssaroinnissaan. Ne ovat kovuutensa ansiosta parhaita ottamaan vastaan suuria liike-energioita ja ne ovat oleellinen osa eri kovuisten materiaalien muodostamaa kerrospanssarointia, jossa saavutetaan läpäisyn esto ohuemmalla panssarikerroksella verrattuna homogeeniseen teräspanssariin.

3.1.5. Komposiittipanssarit

Ballistiset komposiitit koostuvat kuiduista ja niitä sitovasta sideaineesta eli matriisista. Kuidut on kudottu kankaaksi ja ne pinotaan kerroksiksi, jotka lujitetaan sideaineella. Kuitumateriaaleina käytetään mm. aramidia, lasia ja polyeteeniä ja kuidut lujitetaan sideaineella eli matriisilla. Näitä ovat mm. polyesteri, epoksi ja fenolihartsit. Kuituja ja sideaineita voidaan yhdistää esimerkiksi laminoimalla [26]. Ballististen kuitujen käyttö panssaroinnissa perustuu niiden kykyyn sitoa luodin tai sirpaleen liike-energia itseensä kuitujen venyessä ja kangaskerrosten delaminoituessa.

Ballististen kuitujen tehokkuus luotien ja sirpaleiden pysäyttäjänä perustuu kuidun keveyteen, suureen murtovetolujuuteen ja kimmokertoimeen. Murtovenymä on pieni nailonia lukuun ottamatta. Parhaat suojausominaisuudet ovat erikoislujalla polyeteenillä ja aramidilla. Edellinen ei kestä korkeita lämpötiloja. Sen ylin käyttölämpötila on noin $+100^{\circ}C$ [26].

Lasikuitua käytetään myös taistelupanssarivaunujen kerrospanssaroinneissa. Lasikuitulaminaatti estää ontelohanoksen suihkun läpäisyä paremmin kuin sen hydrodynaamisen läpäisyteorian mukaan pitäisi. Lasi käyttäytyy jokseenkin samalla tavalla kuin keraami. Sillä on eräs edullinen erikoispiirre: Lasin tilavuus on korkeassa paineessa jopa 10 % pienempi kuin normaalipaineessa. Tilavuuden muutos aiheuttaa joustoilmiön, joka sulkee ontelosuihkun muodostaman kraaterin suihkun kärjen takana. Tämä häiritsee suihkun etenemistä. Ominaisuus esiintyy lasikuitulaminaateissa, joiden lasipitoisuus on suuri [26].

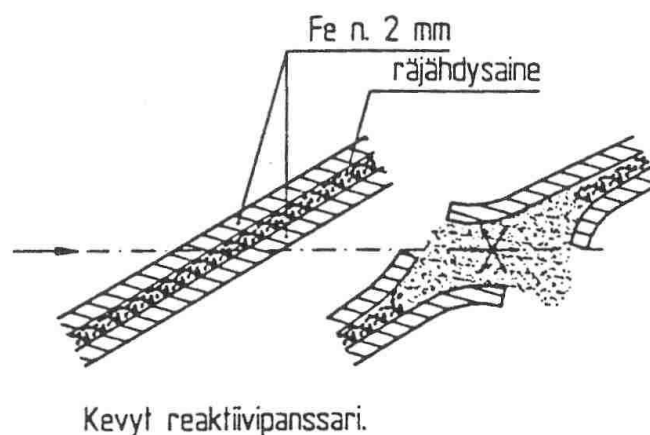
Tutkimuksen vaunuista Leopard 2A4:n sisätila on vuorattu aramidilaminaatilla [2], jolla pyritään estämään läpäisyn saavuttaneen ammuksen jälkivaikutuksia. Vuorauksen tehtävänä on pysäyttää ammuksen kulkusuunnasta poikkeavat sirpaleet ja täten minimoimaan läpäisyn se-

kundäärisiä vaikutuksia vaunun sisätiloissa. Myös T-90:n kerrospanssarissa on hyödynnetty lasikuitua [8].

3.2. Reaktiivipanssarit

Reaktiivipanssarit ovat liikkeeseen perustuvia lisäpanssareita, jotka koostuvat erillisistä räjähdysainetta sisältävistä elementeistä. Reaktiivipanssarointi sijoitetaan taistelupanssarivaunun varsinaisen panssaroinnin päälle ja sen täytyy olla sijoitettuna viistosti ampumasuuntaan nähden. Toimintaperiaatteena on metallikerrosten välissä olevan räjähdysaineen detonointi asejärjestelmän osuman seurauksena ja elementin liikkeen aiheuttama haitta ontelohanoksen muodostumiselle tai nuoliammuksen toiminnalle. Reaktiivipanssarit suunnitellaan siten, että ne eivät räjähdä kiväärikaliperisten ammusten vaikutuksesta.

Reaktiivipanssarin yleisesti tunnetussa rakenteessa, kevyessä reaktiivipanssarissa, on kahden noin 2 millimetrin teräslevyn välissä noin millimetrin paksuudelta räjähdysainetta (Kuva 4). Tavallisesti kaksi tällaista elementtiä sijoitetaan teräslaatikkoon, joka kiinnitetään panssari-vaunuun. Panssari on erittäin tehokas onteloammuksen suihkua vastaan, mutta nuoliammuksen sillä ei ole merkittävää vaikutusta. Tämä johtuu panssarin lyhyestä ”eliniästä”, keveiden teräslevyjen suuresta nopeudesta johtuen se on noin 60 millisekuntia. [26].



Kuva 4. Kevyt reaktiivipanssari ja sen toimintaperiaate [26]

Raskas reaktiivipanssari on nimensä mukaisesti raskaampaa ja huomattavasti paksumpaa kuin yleisemmin käytetty kevyt reaktiivipanssari. Koska päällimmäinen teräslevy on noin 25 millimetriä paksua, voidaan kyseistä panssariratkaisua käytettäessä valita räjähdysaine siten että se detonoituu nuoliammuksen osumisnopeudella. Tällä saavutetaan merkittävä hyöty nuoliammuksen vaikutuksen minimoimiseksi verrattuna kevyeen reaktiivipanssariin. Raskaat

reaktiivipanssarielementit vaativat kuitenkin painonsa ja räjähdysvoimansa puolesta raskaan pohjapanssaroinnin, jotta ne itsessään eivät vahingoittaisi taistelupanssarivaunua toimissaan.

T-90 –vaunun peruspanssaroinnin päälle on rakennettu Kontakt-5-niminen reaktiivipanssarointi, joka peittää etuviistopanssarin, kyljet sekä tornin sivut. Panssarointi koostuu kahden, neljän ja kuuden reaktiivielementin kokonaisuuksista. Elementit rakentuvat etu- ja päätylevyistä, joiden välissä ovat ERA-tiilet (Explosive reactive armour). Elementit on lisäksi sijoitettu siten, että niiden ja pohjapanssaroinnin väliin jää ilmatila, joka osaltaan häiritsee ammuksen tai suihkun toimintaa [24].

3.3. Kerrospanssarit

Kerrospanssaroinnin peruseriaatteena on usean eri panssarointimateriaalin käyttö yhteen liitettyinä paremman suojan saavuttamiseksi. Kerrospanssaroinnit yhdistävät kovia materiaaleja, joiden tehtävä on ammuksen rikkominen, sekä pehmeämpiä ja sitkeitä materiaaleja, jotka vähentävät sirpaloitumista ja absorboivat ammuksen liike-energiaa. Sotilaskäytössä yleisimmin käytössä ovat olleet kaksikerrospanssareissa metalli-metalli ja metalli-komposiittiyhdistelmät. Uudet aktiiviset kerrospanssaroinnit kuitenkin yhdistelevät monipuolisesti eri panssarointimateriaaleja ja näillä onkin nykyaikaisissa taistelupanssarivaunuissa saavutettu erinomaisia suoja-arvoja eri panssarintorjunta-aseita vastaan.

Esimerkki yleisestä kerrospanssarista on brittien 1960-luvulla kehittämä Chobham-panssari, joka on nimetty samannimisessä kaupungissa sijaitsevan panssaritutkimuskeskuksen mukaan. Se muodostuu keraamisista tiilistä metallisessa matriisissa, joka on sijoitettu kahden RHA-teräslevyn väliin. Tällainen rakenne toimii erityisen hyvin ontelohanosta vastaan, sillä ollessaan puristuksissa teräksen välissä pyrkii hajonnut keraamielementti purkautumaan ontelosuihkun sisääntuloreiästä häiriten edelleen sen etenemistä [3]. Esimerkkivaunuista Abrams M1A2:n panssarointi perustuu Chobham-tyyppiseen ratkaisuun.

Inerti kerroslisäpanssari on panssarityyppi, jonka toiminta perustuu ammuksen tai ontelosuihkun oman liike-energian käyttöön sitä vastaan. Panssari koostuu kahdesta levystä, joiden välissä on inerttiä ainetta (kumiseos, vesi, sitkeät teräkset), joka puristuu kasaan ammusvaikutuksesta ja työntää levyt liikkeelle poikkeuttaen ammuksen tai suihkun optimaaliselta

reitiltään. Tällä panssaroinnilla saavutetaan reaktiivipanssaria parempi suoja alikaliiperiamuksia vastaan.

Inertissä panssarirakenteessa voidaan käyttää useita erilaisia väliaineita, muun muassa vettä. Valmistajat pitävät tarkoin salassa, millä väliaineella saadaan aikaan tehokkain läpäisyn heikkeneminen ja mikä levyjen ja väliaineen suhteen on oltava. Eräissä ratkaisuissa on väliaineena käytetty elastomeereja. Elastomeeri on suurimolekyylinen aine, joka palautuu nopeasti muotoonsa jännityksen aiheuttaman muodonmuutoksen jälkeen. Tällainen aine on esimerkiksi kumi [15].

Kerroskanssaroinnin kiistattomat edut homogeenisiin teräspanssareihin verrattuna ovat nostaneet ne taistelupanssarivaunujen peruspanssaroinnin ensisijaiseksi ratkaisuksi. Kaikki nykyaikaiset taistelupanssarivaunut hyödyntävät kerroskanssarointia. Tarkkoja koostumuksia ei tiedoteta julkisuuteen, mutta ne hyödyntävät useita edellä käsiteltyjä materiaaleja rakenteessaan. Kaikkia ratkaisuja yhdistävänä tekijänä on RHA-teräksen käyttö yhtenä panssaroinnin elementtinä. Sen suoja täydennetään kovemmilla teräslaaduilla, keraameilla ja muilla materiaaleilla.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Johtopäätökset

Nykyaikainen taistelupanssarivaunu on erittäin pitkälle kehitetty kokonaisuus, jonka suoja koostuu useista toisiaan tukevista elementeistä. Tärkeimmät vaunun suojaan liittyvät asiat ovat havaituksi tulemisen välttäminen, asejärjestelmien osumien välttäminen ja osuman tapahtuessa läpäisyn estäminen ja vahinkojen minimointi. Nämä tavoitteet pyritään täyttämään vaunun rakenteellisilla ratkaisuilla, suorituskyvyn optimoinnilla, tarkoituksenmukaisilla panssarointiratkaisuilla sekä tekniikkaan perustuvien omasuojajärjestelmien käytöllä. Vaunuissa joudutaan tekemään kompromisseja eri vaihtoehtojen välillä esimerkiksi hinnan tai liiallisen painonnousun välttämiseksi. Eri taistelupanssarivaunuissa painotetaan eri osaluueita.

Taistelupanssarivaunun keskeisin tehtävä taistelukentällä on vastapuolen taistelupanssarivaunuja vastaan toimiminen ja panssaroinnin suunnittelun perusajatuksena onkin vaunun oman pääaseen suoran osuman kestäminen etupanssariin ammuttuna. Tästä lähtökohdasta on nykyaikaisiin vaunuihin jouduttu kehittämään täysin uudenlaisia panssarointiratkaisuja, sillä uusimman tyyppiset panssariammukset ovat nostaneet läpäisyä huomattavasti.

Panssaroinnissa käytetään useita erilaisia materiaaleja, joilla haetaan panssarointiratkaisulle tiettyjä ominaisuuksia. Panssarointiin soveltuva materiaali on tyypillisesti kovaa, kevyttä, edullista ja kykenee sitomaan itseensä suuren määrän liike-energiaa. Materiaaleja luokitellaan koviin ja pehmeisiin, kovien ollessa hauraita ja pehmeiden joustavampia. Nykyään panssaroinnissa hyödynnetään eri materiaalien parhaita puolia ja pyritään saavuttamaan parempia suoja-arvoja eri materiaaleja yhdistämällä.

Taistelupanssarivaunujen panssaroinnin kehittyminen onkin osaltaan ollut vastareaktio panssarintorjunta-aseiden kehitykselle. Nykyiset kerrospannsaroinnit ovatkin saavuttaneet jo jopa yli metrin paksuisen RHA-teräslevyn suoja-arvoja yhdistämällä erilaisia materiaaleja. Panssarintorjunta-aseet ovatkin siirtyneet kehityksessä iskemään vaunujen heikommin suojattuihin kohtiin, kuten kattoon. Suurin uhkatekijä panssaroinnille muodostuu nykyaikana pääosin toisten taistelupanssarivaunujen ampumista alikaliiperiammuksista ja erilaisten sinkojen ja

panssarintorjuntaohjusten ontelopanoksista. Muihin uhkatekijöihin, kuten panssarimiinoihin pyritään vastaamaan vaunun alaosan muotoilulla tai erillisillä pohjaan asennettavilla lisäpanssaroinneilla. Tämä johtuu siitä, että pohjan panssarointia on jouduttu vähentämään liiallisen painonnousun ehkäisemiseksi.

Alikaliiperiammuksia vastaan toimivin panssarointiratkaisu on monikerroksinen pehmeitä, kovia ja inerttien aineiden kerroksia yhdistävä panssari. Alikaliiperiammuksen kohdistuessa äärimmäisen suuren paineen pienelle alueelle, on sen läpäisy siis pyrittävä estämään muulla keinoin kuin ainoastaan panssaroinnin paksuutta kasvattamalla. Tähän soveltuva monikerrospanssari kykenee suuntaamaan alikaliiperiammuksen energiaa sitä itseään vastaan inerttien kerrosten toimiessa jousen tavoin. Monikerrospanssarointi yhdistelee useaa eri materiaalia ja pääperiaatteena on kovien materiaalien suorittama ammuksen hajottaminen osiin, jonka liike-energia absorboituu pehmeämpien materiaalien muodonmuutoksiin. Tämänäyttöiset ratkaisut ovatkin kolmannen sukupolven taistelupanssarivaunujen peruspanssaroinnin lähtökohtana. On myös helposti pääteltävissä vaunujen suoja-arvoja ja massoja vertailtaessa, että niiden panssarointiratkaisun on oltava jotain muuta kuin pelkkää RHA-terästä.

Ontelopanoksia vastaan merkittävin tehoa heikentävä ratkaisu on reaktiivipanssarointiin perustuva lisäpanssarointi pohjapanssaroinnin päälle asennettuna. Reaktiivipanssarielementin teho perustuu ontelosuihkulle aiheutettavaan poikkeutumiseen reitiltään rajähtämällä liikkeesseen saatettavien teräslevyjen avulla. Reaktiivipanssarielementin heikkoudet ovat kertakäyttöisyys ja sen tuoma painonlisäys taistelupanssarivaunulle. Kolmannen sukupolven vaunuista kuitenkin lähes kaikki on mahdollista tarvittaessa varustaa jälkiasennettavalla reaktiivisella lisäpanssaroinnilla.

Tarkastelluilla kolmatta sukupolvea edustavilla taistelupanssarivaunuilla on samansuuntaisia ratkaisuja panssaroinneissaan, mutta toisaalta myös merkittäviä eroja. Keskeisenä trendinä on havaittavissa länsimaisten (johon tässä lasken kuuluvaksi myös Israelin Merkavan) vaunujen raskaaseen panssarointiin pohjautuvat ratkaisut, joihin Venäjä vastaa kevyemmällä, mutta erilaista panssarointiratkaisua hyödyntävällä vastineellaan. Seuraavaan taulukkoon on koottu keskeisimmät tiedot tarkasteltujen vaunujen panssarointiratkaisusta.

	Abrams M1A2	Merkava Mk.4	T-90	Leopard 2A4
Panssarointi	Chobham- tyyppinen [14] monikerrospannarointi	Keraami – teräs – nikkeli - komposiittimatriisi [6]	Keraami – teräs - lasikuitu - kerrospannari [8]	Keraami – teräs - kerrospannari aramidilaminaatti vuorauksella [2]
Paino	n.65 tn	n.65 tn	n. 47 tn	n. 55 tn
Vahvuus, torni (KE), mm RHA [17]	940-960	600-1030	-	590-690
Vahvuus, torni (CE), mm RHA [17]	1320-1620	750-1340	-	810-1290
Vahvuus, keula (KE), mm RHA [17]	560-590	-	800-830	600
Vahvuus, keula (CE), mm RHA [17]	510-1050	-	1150-1350	710
Reaktiivipanssarointi	Lisättävissä	Lisättävissä	Kontakt-5	Lisättävissä
Moottori	Monipoltto- aineturbiini 1500 hv	Suorasuihkutusdie- sel 1500 hv	Monipoltto- ainediesel 840hv	Monipoltto- ainediesel 1500 hv

Taulukko 3. Esimerkkipanstrarivaunujen tietoja

Tutkimuksen pääkysymys oli ”Kuinka nykyaikaiset taistelupanssarivaunut on panssaroitu?”. Kaikki tarkastellut vaunut pohjautuvat panssaroinniltaan erilaisiin monikerrospannarointiratkaisuihin. Peruseriaatteena on kovien materiaalien suorittama ammuksen hajottaminen osiin, joiden liike-energian sitkeämmät panssarikerrokset sitovat ja estävät läpäsyt. Tällöin saavutetaan huomattavasti suurempia suoja-arvoja kuin vastaavalla paksuudella homogeenista panssariterästä. T-90:ssä on lisäksi joukon ainoana vaununa vakiona asennettu reaktiivipanssarointi. Arvioituja suoja-arvoja ja vaunujen painoa tarkasteltaessa voidaan olettaa, että muut vaunut on panssaroitu T-90:ä paksummin, mutta se saavuttaa silti todennäköisesti jopa paremmat suoja-arvot reaktiivipanssarointinsa ansiosta.

Tarkasteltaessa panssarointien antamia suoja-arvoja, voidaan todeta nykyaikaisten monikerrospanssareiden olevan suojausominaisuuksiltaan todella suuria verrattuna homogeeniseen teräspanssarointiin. Yhdistämällä materiaaliset hyödyt panssaroinnin vinoon sijoittamiseen saavutetaan ohuemmallakin kerroksella huomattava suoja-arvo pystysuoraan RHA-teräkseen verrattuna. Nykyään palveluskäytössä olevien raskaiden kertosinkojen läpäisyn ollessa keskimäärin 600–800 millimetriä RHA:ta [13], saavutetaan taistelupanssarivaunulla riittävä suoja-arvo läpäisyn välttämiseksi etusektorissa. Taistelupanssarivaunujen suurimmaksi uhkaksi muodostuvatkin heikommin suojattuihin kohtiin osuman saavuttavat ammuksat, sillä liiallisen painonnousun ehkäisemiseksi vaunua ei kyetä suojaamaan kaikkialta tarpeeksi vahvasti läpäisyn estämiseksi.

Muotoilun osalta kaikki tarkastellut taistelupanssarivaunut hyödyntävät rungossaan voimakkaan viistoja pintoja, jolloin saavutetaan suurempi suojaavuus kuin vastaavalla pystysuoralla pinnalla. Hyvin suunnitellun muotoilun ansiosta myös taistelupanssarivaunun pinta-ala maalina pienentyy huomattavasti. Tornin osalta muut noudattavat vastaavia kaltevia pintojen suosimista, mutta Leopardissa on käytetty huomattavan pystysuoria pintoja uhkasuuntaan nähden [Liite 2]. Vaunujen suunnittelussa huomionarvoinen seikka on myös Merkavan ratkaisu sijoittaa moottori eteen heti panssaroinnin taakse, jolloin se antaa miehistölle merkittävän lisäsuojan vaunun keulan ollessa kohti uhkasuuntaa. Tämä näkyy myös tykkitornin sijoittamisessa selvästi lähemmäs vaunun takaosaa kuin muissa vertailun vaunuissa [5, Liite 2].

Tulevaisuudessa taistelupanssarivaunujen panssaroinnin kehittyminen suuntautunee heikoin suojatuille osille, joihin uusimmat panssarintorjunta-aseet pyrkivät saavuttamaan osuman. Tällaisia kohteita ovat katto, pohja sekä vaunun takaosa. Myös materiaalien osalta pyritään löytämään entistä keveämpiä ja kestävämpiä materiaaleja, sekä hyödyntämään jo olemassa olevia erilaisissa yhdistelmissä. Panssaroinnissa saatetaan tulevaisuudessa siirtyä yhä vahvemmin kohti modulaarista panssarointia, joka mahdollistaa useita eri panssarointivaihtoehtoja esimerkiksi yksittäisen tehtävän mukaisesti.

4.2 Tutkimuksen kritiikki ja jatkotutkimus

Tutkimuksen tulokset antavat vain yleiskuvan nykyaikaisten taistelupanssarivaunujen panssarointiratkaisuista. Tämä johtuu osaltaan eri valmistajien panssareiden tarkan koostumuksen salaisuudesta sekä luotettavien testaustulosten vaikeasta saatavuudesta. Tähän on tutkimuksessa pyritty vastaamaan käsittelemällä aihetta yleisemmällä tasolla ja löytämään syitä ja yhteyksiä eri materiaaliratkaisujen väliltä.

Lähteiden ilmoittamat arvot panssaroinneille ovat suuntaa antavia ja niiden oikeellisuuteen tuleekin suhtautua varauksella. Tärkeämpää onkin esimerkkivaunujen suoja-arvojen vertailu keskenään ja johtopäätösten tekeminen niiden pohjalta. Pätevien johtopäätösten saamiseksi on huomioitu myös muiden seikkojen kuten muotoilun ja painon vaikutus kokonaisuuteen.

Jatkotutkimuksen osalta oleellista olisi selvittää taistelupanssarivaunun muiden suojajärjestelmien nykytilaa kolmannen sukupolven kalustossa. Myös vasta-asekehityksen tulevaisuuden suuntaa olisi paikallaan selvittää, jotta saataisiin tietoa uusimpien panssarintorjunta-aseiden suorituskyvystä nykyaikaisia panssarointeja vastaan. Myös kevyempien rynnäkköpanssarivaunujen suojajärjestelmien nykytila on tutkimisen arvoinen aihe.

5. LÄHTEET

- [1] Agreement on adaptation of the treaty on conventional armed force in Europe
(Tavanomaiset aseet Euroopassa -sopimus)
<http://www.osce.org/library/14108>
- [2] Army Technology. Leopard 2, Germany
<http://www.army-technology.com/projects/leopard>
- [3] Chobham armour: Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Chobham_armour
- [4] Course in Fundamentals of Armour Protection 21.-23.1.1997; matkakertomus
Puolustusvoimien Tutkimuskeskus, fysiikan osasto, 559/14.2/D/I, 28.4.1997
- [5] Defence Update. IDF Continues Merkava Mk 4 Evolution
www.defense-update.com/features/du-2-06/feature-merkava.htm
- [6] Defence Update. Merkava Mk4 Detailed
<http://defense-update.com/directory/merkava4.htm>
- [7] Doig, Alistair. Military metallurgy
The Royal Military College of Science 1998
ISBN 1-86125-061-4
- [8] Federation of American Scientists. T-90
<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/row/t-90.htm>
- [9] GlobalSecurity.com. T-90
<http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/t-90.htm>
- [10] Hazell, Paul J: The development of armour materials.
MILTECH 4/2006

- [11] Lappalainen, Esa ja Jormakka, Jorma. Tekniset tutkimusmenetelmät maanpuolustuskorkeakoulussa.
Maanpuolustuskorkeakoulu. Tekniikan laitos. Helsinki 2004
ISBN 951-25-1540-7
- [12] M1A1/2 Abrams
<http://www.fprado.com/armorsite/abrams.htm>
- [13] Noronen, Tuomo. Taistelupanssarivaunun suoja jalkaväen panssarintorjunta-aseilta 2000-luvulla
Pro Gradu -tutkielma. Maanpuolustuskorkeakoulu 2007
- [14] R. P. Hunnicutt. Abrams: A History of the American Main Battle Tank
ISBN-13 9780891413882
- [15] Salonen Lasse ja Moilanen Seppo: Taistelupanssarivaunun panssarointi ja läpäisymahdollisuudet vuonna 2010; Teknisen kehityksen seurantaraportti 1996
PvTK 1996, Ylöjärvi
- [16] Salonen Lasse. Panssarointi; Sotatekniikan kehitys tekniikan aloittain
Sotatekninen arvio ja ennuste, STAE 1993 I osa
- [17] Suomen Puolustusvoimat. Maavoimien kuvat
<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/Erikoissivustot/Maavoimien+kuvat/Suomeksi/panssarikalusto>
- [18] Tank protection levels
<http://collinsj.tripod.com/protect.htm>
- [19] TheBluePrints.com. Merkava Mk.Iv
http://www.the-blueprints.com/blueprints/tanks/tanks-ma-mz/43071/view/merkava_mk_iv/
- [20] Teknologian kehitys. Sotatekninen arvio ja ennuste 2020. STAE 2025, osa 1
Pääesikunta sotatalousosasto 2008

- [21] Tuovinen, Pekka. Kurssin 4B10-Asejärjestelmärakenteet luennot.
Kopio luentokalvoista tekijällä
Maanpuolustuskorkeakoulu 2011
- [22] T-90: Wikipedia, the free encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/T-90>
- [23] US Army. Abrams tank fact file
<http://www.army.mil/factfiles/equipment/tracked/abrams.html>
- [24] Venäläisten panssarivaunujen ERA-suojaus
PvTT, Asetekniikkaosasto
Ylöjärvi 2011
- [25] Walters, William. An overview of the shaped charge concept
<http://knygos.sprogmenys.net/knygos-2/Explosives/Shaped%20Charges,%20Penetrators/Shaped%20Charge%20Concept,%20An%20Overview%20-%20Walters.pdf>
- [26] Yleinen ase- ja asejärjestelmäopas.
Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 2001
ISBN 951-25-1277-7

LIITTEET

Liite 1: Keskeiset käsitteet

Liite 2: Kuvat esimerkkipanssarivaunuista

Liite 1: Keskeiset käsitteet

CE (Chemical Energy) – Kemiallisen energian kestävyys. Kuinka paksua RHA-teräslevyä kyseinen panssari vastaa kemiallista energiaa hyödyntäviä aseita vastaan (esim. ontelopanos)

HB (Hard Brinell) - Kovuustesti, jossa mitataan aineen kykyä vastustaa kuulan muotoisen teräskappaleen tunkeutumista siihen tietyllä kuormituksella

HH-RHA (High Hardness Rolled Homogenous Armour) - Kovempi ja hauraampi versio panssariteräksestä. Määritelty standardissa MIL-A-46100D

HV (Hard Vickers) - Sama kuin HB, mutta testivälineenä tylpän pyramidin muotoinen kappale

Iskusitkeys - Aineen kyky vastustaa hetkittäistä voimaa tai iskuä

KE (Kinetic Energy) – Kineettisen energian kestävyys. Kuinka paksua RHA-teräslevyä kyseinen panssari vastaa liike-energiaa hyödyntäviä aseita vastaan (esim. alikaliiperiammus)

Keraami - Yleisnimitys ei-metallisille panssarimateriaaleille

Komposiitti - Kuiduista ja sidosaineesta eli matriisista valmistettu ballistinen suojamateriaali

Kovuus - Materiaalin mekaaninen ominaisuus, kyky vastustaa muodonmuutosta eli naarmuuntumista, kulumista ja leikkaantumista.

Massatehokkuusluku - Ampumatarvikekohtainen suure, jolla verrataan aineen kykyä pysäyttää asejärjestelmän vaikutus verrattuna yleensä RHA-teräkseen

NBC (Nuclear, Biological and Chemical) – Ydin-, biologiset ja kemialliset aseet

Ontelopanos - Suunnattuun räjähdysvaikutukseen perustuva panssarintorjunta-ase.

RHA (Rolled Homogenous Armour) - Standardin MIL-A-12560H mukainen valssattu homogeeninen panssariteräs. Käytetään perustana vertailtaessa muita panssariteräksiä ja panssarointeja.

Sintraus – Prosessi, jossa jauhepartikkelit kylmähitsautuvat toisiinsa diffuusion vaikutuksesta. Sintraus tehdään sulamispistettä alemmassa lämpötilassa, jolloin partikkelit tai niiden osat eivät sula prosessissa.

Sitkeys - Aineen kyky vastustaa siihen kohdistuvaa jatkuvaa voimaa

Valssaus - Metallin käsittelymenetelmä, jossa se saadaan kovetettua puristamalla sitä valsseilla eli rullilla

Liite 2. Kuvat esimerkkipanssarivaunuista



Leopard 2A4 [16]



T-90 [20]



Merkava Mk.4 [19]



Abrams M1A2 [12]