

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

TERMOBAARISTEN ASEIDEN KÄYTTÖ

Kandidaatintutkielma

Kadetti
Kristian Vuorio

99. Kadettikurssi
Maasotalinja

Maaliskuu 2015

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi 99. Kadettikurssi	Linja Maasotalinja
Tekijä Kadetti Kristian Oskar Vuorio	
Tutkielman nimi Termobaaristen aseiden käyttö	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2015	Tekstisivuja 30
TIIVISTELMÄ <p>Tutkimus käsittelee termobaaristen aseiden toimintaperiaatteita sekä niiden käyttötarkoituksia. Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuustutkimus ja näkökulma on sotatekninen. Tavoitteena on ollut muodostaa selkeä kuva lukijalle miten termobaarinen ase tuottaa vahinkoa sekä miten nykyisiä aseversioita mahdollisesti kannattaa käyttää eri tilanteissa taikka miten minimoida niiden tuho vaikutus. Tutkimus käsittelee ainoastaan Yhdysvaltojen ja Venäjän jalkaväen käyttämiä termobaarisia aseita.</p> <p>Aihetta on aiemmin tarkasteltu Puolustusvoimissa yksittäisissä tutkimusraporteissa, joissa on keskitytty käsittelemään aseteknologiaa enimmäkseen fysikaaliselta kannalta jättäen aseteknologian kehittymisen vaiheet sekä sovellukset vähemmälle huomiolle.</p> <p>Termobaariset aseiden käyttö on lisääntynyt 1980-luvulta lähtien ja Venäjä on edelläkävijä aseteknologian suhteen tällä hetkellä. Yhdysvallat on kuitenkin kehittänyt viime vuosikymmenen aikana aktiivisesti termobaarisia aseitaan saadakseen lisää tuho voimaa jalkaväen sotilaille.</p> <p>Termobaarinen ase on henkilöstöä vastaan käytettävä lämpö- ja painevaikutteinen räjähdese, joka varsinkin on kaupunkiympäristössä huomattavasti tehokkaampi tuhoalueellaan kuin sirpalevaikutukseen perustuvat aseet, sillä asevaikutukselta on vaikeampi suojautua. Kohteelle tuotetut vahingot ovat vaikeasti hoidettavia, joten asetta käytettäessä tulee olla varma, ettei välittömässä läheisyydessä ole siviilejä.</p> <p>Tutkimuksessa on laskettu turvalliset etäisyydet termobaarisille aseille käyttäen hyödyksi varomääräyksen D 6.1 asettamia vaara-alueita erikokoisille panoksille räjäytettäessä aukealla ja suljetussa tilassa. Lisäksi tutkielmassa on pyritty selvittämään miten paineaallot käyttäytyvät suljetussa tilassa, minkä avulla pyritään ymmärtämään mikä on tehnyt termobaarisista aseista tehokkaan kaupunkiympäristössä. Lopputuloksena oli, että termobaariset aseet ovat tehokkaampia suljetussa tilassa, mikä tarkoittaa aseiden olevan tehokkaimmillaan asutuskeskustaisteluissa. Kuitenkin myös metsämaastossa turvallinen etäisyys on suuri, ellei henkilö ole suojautunut millään lailla. Käytetty laskumenetelmä tuottaa omat haasteensa luotettavien tuloksien aikaansaamiseksi, mutta metodi toimii suuntaa antavana tapana havainnollistaa jonkin tietyn aseiden tehokkuutta.</p>	
AVAINSANAT termobaarinen, aerosoli, räjähdese, paine, lämpö, suojaetäisyydet, poltto, suojele	

TERMOBAARISTEN ASEIDEN KÄYTTÖ

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset.....	1
1.2	Tutkimusmenetelmä.....	2
1.3	Rajaus.....	2
2	TERMOBAARISEN ASEEN TOIMINTAPERIAATE.....	3
2.1	Taustaa	3
2.2	Aerosoliräjähteen toiminta	5
2.3	Termobaarisen räjähteen toiminta.....	6
2.4	Paine- ja lämpöominaisuudet	7
2.5	Tuhovaikutus ihmiseen	10
2.6	TNT-ekvivalenttimenelmä	11
2.7	Reaktion vaatima hapenmäärä	14
3	TERMOBAARISEN ASEEN HISTORIIKKI.....	16
4	NYKYISIN KÄYTÖSSÄ OLEVAT TERMOBAARISET ASEET	18
4.1	RPO-A shmel ja RPO PDM-A.....	18
4.2	RG-60TB.....	19
4.3	SMAW - NE.....	20
4.4	GM-94.....	21
4.5	Kornet - E ja METIS-M1	22
4.6	RPG:n termobaariset raketit.....	23
4.7	TOS-1 ja TOS-1A	24
5	ASEEN SOVELTUMINEN ERI YMPÄRISTÖIHIN	25
5.1	Yleistä	25
5.2	Metsämaasto.....	25
5.3	Asutuskeskus.....	27
6	Yhteenveto	28
6.1	Johtopäätelmät.....	28
6.2	Jatkotutkimustarpeet	30

TERMOBAARISTEN ASEIDEN KÄYTTÖ

1 JOHDANTO

Termobaarisilla aseilla tarkoitetaan paine- ja lämpövaikutteisia aseita. Jo toisessa maailmansodassa Saksa käytti termobaarisia aseita Neuvostoliittoa vastaan. Niiden kehitys lähti vauhtiin kuitenkin vasta 1980-luvulla, kun sotavoimille tuli entistä suurempi tarve vaikuttaa suojautuneisiin joukkoihin. Tämän jälkeenkin paine- ja lämpövaikutteisten aseiden käyttö sodissa on jatkuvasti kasvanut tähän päivään asti. Tässä tutkielmassa termobaarinen ase määritellään sen toimintaperiaatteen mukaisesti eikä sitä tule sekoittaa aerosoliaseisiin. Koska vaikutustavoiltaan aerosoliaseet ovat hyvin samankaltaisia, ovat niiden fysikaaliset eroavaisuudet ja tärkeimmät sovellukset asejärjestelmien osalta myös käyty läpi. Pääpaino tutkielmassa on kuitenkin termobaariseen räjähdykseen perustuvissa aseissa.

Tutkimusaihe tuli esille ehdotuksesta täydentää Puolustusvoimien tietokantaa tästä varsin vähälle huomiolle jääneestä aseteknologiasta. Asejärjestelmän omalaatuisuuden takia ei edes kaikilla pioneeri- tai suojeluaselajin edustajilla ole selkeää kuvaa asejärjestelmän toiminnasta.

On myös yleistä, että eri lähteet käsittelevät terminologisesti sekaisin termobaarisia aseita ja aerosoliaseita. Aihetta ei ole tarkasteltu Puolustusvoimissa muuten kuin yksittäisissä tutkimusraporteissa, joissa on keskitytty käsittelemään aihetta enimmäkseen fysikaaliselta kannalta jättäen aseteknologian kehittymisen vaiheet sekä sovellukset vähemmälle huomiolle. Aiheeseen perehdyttyään huomaa, kuinka keskeistä on ymmärtää termobaarisen teknologian toimintaperiaate, joten tutkielmassa käydään läpi myös asejärjestelmän toiminnan fysikaalisia perusteita.

Tutkielman lähtökohtana oli selvittää miten asejärjestelmä soveltuu erilaisiin käyttötarkoituksiin taistelutilanteissa sekä kartoittaa tämän hetken suurvaltojen eri aseita, jotka hyödyntävät termobaarista räjähdystä vaikuttamiskeinonaan.

1.1 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoitus on selvittää, millainen on termobaaristen aseiden toimintaperiaate ja millaisia sovelluksia on kehitetty.

Tutkimuksen pääkysymys on:

- Millainen suorituskyky on termobaarisilla aseilla?

Tutkimuksen alakysymykset ovat:

- Mikä on termobaarinen ase?
- Miten termobaariset aseet tuottavat vahinkoa?
- Miten termobaarisia aseita käytetään tehokkaasti?

1.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmä on kirjallisuustutkimus, jonka tarkastelu näkökulma on sotateknillinen. Lähteinä on hyödynnetty kirjallisuutta, lehtiartikkeleita, Puolustusvoimien teknillisen tutkimuslaitoksen teettämiä kenttäkokeita sekä Internet-lähteitä.

Tutkimuksen tekoa vaikeutti hyväksyttävien primäärlähteiden löytäminen. Venäjän on merkittävin ja aktiivisin termobaaristen aseiden kehittäjä ja monet alkuperäislähteet ovat venäjänkielisiä. Tämän takia monet lähteet on jouduttu ottamaan englannin kielelle käännettyistä internetlähteistä. Tutkielmassa käytetyt lähteet on kuitenkin hyväksytetty asiantuntijan avulla paikkansapitäviksi.

Lisäksi suurena apuna on ollut Kariniemen ja Kujalan vuoden 2007 kirjallisuusraportti lähdeluetteloinen.

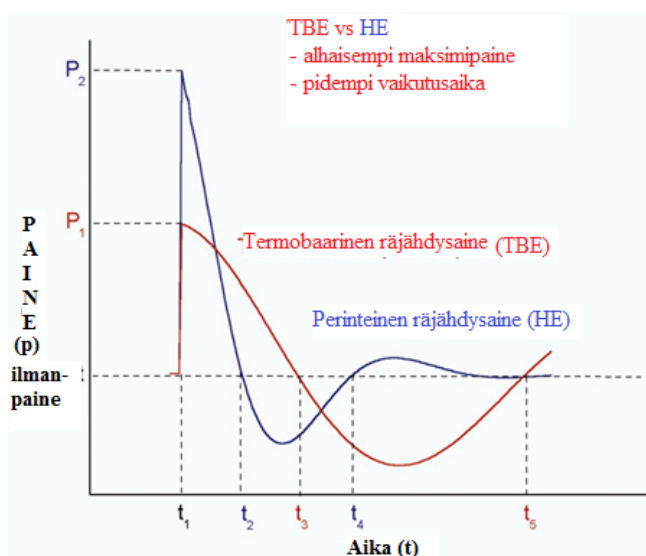
1.3 Rajaus

Tutkimus on rajattu käsittelemään vain maavoimien jalkaväen käyttämiä termobaarisia aseita. Tähän lukeutuu niin yksittäisen taistelijan kuljettamat sinkoaseet kuin eri lavetteihin kiinnitetyt asejärjestelmät. Lisäksi tutkimuksessa käsitellään sellaisia Yhdysvaltojen, Venäjän ja Neuvostoliiton kehittämiä termobaarisia aseita, joiden voidaan arvioida edustavan hyvin niiden tämänhetkistä keskimääräistä suorituskykyä. Eri aseita käsiteltäessä on keskitytty erityisesti termobaarisiin ominaisuuksiin jättäen yleisten ominaisuuksien tutkiminen vähemmälle huomiolle.

2 TERMOBAARISEN ASEEN TOIMINTAPERIAATE

2.1 Taustaa

Termobaarinen ase luokitellaan tilavuusaseeksi (volumetric weapon). Tähän luokkaan kuuluvat myös aerosoliräjähdeet. Termobaaristen räjähteiden avulla pyritään levittämään mahdollisimman voimakas paine- ja lämpöaalto ja siten vaikuttamaan kohteeseen. [1 ; 2 ; 3] Ne eroavat perinteisistä räjähteistä siten, ettei tilavuusaseiden räjähdysten tarkoituksena ole vain saada aikaiseksi mahdollisimman voimakasta paineaaltoa. Perinteisissä räjähteissä tappava vaikutus perustuu juuri tämän paineaallon maksimiarvon aiheuttamiin vammoihin [4] kuten käy ilmi kuvasta 1. On huomautettava erikseen, että perinteisistä räjähddeaineista puhuttaessa viitataan niin sanottuun ”high explosives” luokkaan, johon esimerkiksi trinitrotolueeni (TNT) kuuluu. Vertailtaessa tilavuusräjähteiden vaikutusta kyseiseen luokkaan tarkastellaan vain räjähdysten muodostamien paineaaltojen käyttäytymistä eikä huomioida kyseisten aseiden sirpalointikykyä. Esimerkiksi 105mm sirpalekranatoin paine alittaa 100kPa:n viiden metrin päässä millä saavutettaisiin henkilöstölle 50 prosentin todennäköisyys tuottaa tärykalvon puhkeaminen. Painevaikutuksen ollessa 250 kPa saavutetaan vasta yhden prosentin todennäköisyys tuottaa tappavia vammoja kohteelle [5, s. 13]. On kuitenkin selvää, että sirpalevaikutus kyseisessä aseessa aiheuttaa tappavan vaikutuksen paljon pidemmälle eikä aseiden tarkoituksena olekaan käyttää paineaaltoa pääasiallisena vaikuttamiskeinona. Sirpalevaikutteisten aseiden paineaalto kuluu myös pitkälti ammuksen kuoren rikkomiseen ja sirpaleille annettuun liike-energiaan toisin kuin painevaikutteisten aseiden joissa ulkokuori on hyvin ohut [6]. Tilavuusaseiden tehokkuutta tarkasteltaessa on tämän takia huomioitava mihin paine- ja lämpöaaltoon perustuva vaikutus soveltuu paremmin kuin sirpaleilla tuotettavaan vaikuttavuuteen.



Kuva 1. Paineen muutos ajan suhteen termobaarisessa ja perinteisessä räjähteessä [6]

Nimikkeiden käyttö on vaihtelevaa eikä ”tilavuusase” -termi ole kovin käytetty maailmalla. Osasyynä voi olla, etteivät eri maiden armeijat välttämättä paljasta aseensa tarkkaa räjähdemateriaalikoostumusta, mikä olisi tärkeää jos asejärjestelmät luokiteltaisiin karkeasti aerosoliaseisiin ja termobaarisoihin aseisiin. Tämän takia samasta asejärjestelmästä puhuttaessa voivat eri lähteet käyttää eri terminologiaa.

Suurimpia versioita termobaarisesta aseesta voidaan verrata taktisiin ydinaseisiin niiden tehon ja kohteen takia [7, s. 9]. Venäjä laukaisi vuonna 2007 maailman suurimman konventionaalisen pommin vastavetona Yhdysvaltojen BLU-82 pommiin, joka oli aiemmin ollut suurin. BLU-82 oli tekniikaltaan termobaarinen, kun taas Venäläisten versiosta on kiistaa oliko kyseessä termobaarinen vai aerosoliräjähdemateriaali. [8 ; 9] Tekniikaltaan kumpaakaan eivät koske samat säännökset kuin esimerkiksi ydinaseita taikka kemiallisia ja biologisia aseita. Etuina ydinaseisiin ovat laskeuman puuttuminen ja etteivät kansainväliset lait ole rajoittaneet aseiden kehitystä taikka myyntiä [10]. Suurimmat versiot ovat kuitenkin ilmasta pudotettavia lentopommeja eivätkä kuulu maavoimien kalustoon, mihin olen tämän tutkielman rajannut.

Suojelun käsikirja ottaa tilavuusaseisiin kantaa asiaan toteamalla, että aerosoliaseita voidaan käyttää polttoaseiden tavoin joissain tapauksissa [11, s.122]. Lisäksi käsikirjassa julkaisuhetkeensä verraten virheellisesti mainitaan, ettei aerosolipommeja ole vielä edes kenttäkäytössä [11], vaikka Neuvostoliitto oli käyttänyt aseita taisteluissa jo 1980-luvulla. Suojelun käsikirja määrittelee liekinheittimeksi laitteet, jotka ruiskuttavat sitkostettua polttotaisteluainetta taikka singon tyyppisiksi laitteiksi joilla ammutaan polttotaisteluainetta sisältäviä kapsелеita [11 ; s 130]. Kirjassa ei mainita kehittyneempiä termobaarisia räjähteitä lainkaan. Suojelun käsikirjan mukaan polttoaseella ”pyritään vastustajan joukkojen tuhoamiseen tai lamauttamiseen, pakottamaan niiden liike oman toiminnan kannalta edullisille alueille, aiheuttamaan niissä pakokauhua sekä sitomaan niitä tulipalojen sammuttamiseen. Aseella voidaan myös tuhota vastustajan asejärjestelmiä ja materiaalia.” Venäläiset ovat muun muassa sanoneet sen olevan hyvä tulipalojen sammuttamiseen niiden tehokkaan hapen kulutuksen takia [6]. Suojelun käsikirjassa todetaan, että koska tulipalot ovat keskeisessä osassa polttoaseiden määrittelyä. Näin ollen on vaikea luokitella termobaarista asetta polttoaseeksi, koska se ei täytä kyseistä määrittelyä.

Termistön käyttö on sekavaa muissakin valtioissa. Esimerkiksi Venäjällä termobaariset aseet, aerosoli- ja polttoaseet luokitellaan suoraan käännettyinä liekkiaseiksi, ”flame weapons”, taikka liekki-polttoaseiksi, ”flame – incendiary weapons [12 ; 13] mikä vaikeuttaa tarkkaa termobaarisiin ja aerosoliaseisiin perustuvaa lajittelua. On myös yleistä, että tilavuusaseista puhuttaessa aerosoli- ja termobaarinen ase menevät sekaisin terminologisessa mielessä. Puolustusvoimien oppaat kuitenkin sanovat harjoitusvastustajan pioneerijoukkojen käyttävän polttoaineiden levittämiseen liekinheittäjiä ja polttoaineita [14].

2.2 Aerosoliräjähteen toiminta

Aerosoliräjähteen toiminta perustuu kahteen vaiheeseen: polttoaineen levitykseen ja siitä syntyneen aerosolipilven sytyttämiseen. Tapahtuma on kaksivaiheinen, ja siinä käytetään kahta eri panosta. Polttoaineena käytetään herkästi syttyvää ja helposti höyrystyvää ainetta kuten esimerkiksi propyleenioksidia ja räjähdystä voidaan vahvistaa metallijauheilla. [15 ; 16] Tuhovaikutus elävää voimaa vastaan perustuu räjähdysten muodostaman tulipilven lämpötilaan, pitkäkestoiseen painejaksoon, sitä seuraavaan tyhjiöön ja happiköyhään ympäristöön [16]. Aerosoliräjähteen ongelma on sen sisältämän polttoaineen vaatimat syttymisolosuhteet. Esimerkiksi bensiini syttyy vain jos sitä on hengitysilmassa 1,3 % - 6 %. Tämän vaikeuttaa aerosoliräjähteen käyttöä eri olosuhteisiin. [15 ; 6] Melko samankaltaisen toimintaperiaatteen sekä eri maissa vaihtelevien luokittelutapojen takia aerosoliräjähteitä yleensä kutsutaan termobaariksi räjähteiksi, mutta kyseessä on kuitenkin kaksi eri toimintaperiaatteella toimivaa asejärjestelmää. Räjähdysten vaatimien erikoisolosuhteiden takia kyseisiä aseita käytetään pääasiassa alueelliseen vaikuttamiseen niiden vaatiman konsentraatiosuhteen takia [15]. Esimerkkeinä aerosoliaseista mainittakoon BM-30 Smerch raketinheitin. Ase koostuu 12 putkesta, joista voidaan ampua raketti, joka sisältää 100 kilogrammaa paloainetta. [17]

2.3 Termobaarisen räjähteen toiminta

Termobaariset räjähteet ovat polttoainerikastettuja sotilasräjähdysaineita, joiden tehokkuutta on parannettu lisäämällä räjähteen joukkoon reaktiivisia metalleja [16]. Termobaarinen räjähdde toimii kolmivaiheisesti. Nämä eri vaiheet tapahtuvat kuitenkin osittain samanaikaisesti sekä saumattomasti yhden panoksen avulla toisin kuin aerosoliräjähteessä. Jokainen vaihe vaikuttaa erityisesti tiettyyn ominaisuuteen räjähdysprosessissa, joten räjähdettä voi muokata haluamantalaisekseen esimerkiksi korostaen räjähdyskykyä murtaa rakennuksen seinämät. Räjähteen nimitys ja erikoisuus muihin räjähteisiin verrattaessa perustuu kolmannen vaiheen metalliseoksen ja hapen palamisreaktioon. Metalliseos voi sisältää pelkästään niin sanottua polttoainemetallia, joka reagoi hapen kanssa, mutta seos voi sisältää myös muita metalleja joiden tarkoitus on tehostaa räjähdysprosessia esimerkiksi laskemalla alumiinin syttymislämpötilaa. [6 ; 16 ; 18]

Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu anaerobinen detonaatio, joka määrittää räjähdystapahtuman huippuarvon. Tapahtuman aikana tapahtuu shokkipuristuminen, jonka takana on osittainen termo-kemiallisen reaktion vyöhyke. Tässä vaiheessa syntynyt detonaatioaalto on vielä vain millimetrejä dimensioltaan. Itse polttoainepartikkelit ovat lähes reagoimattomia tämän mikrosekunteja kestäneen vaiheen aikana. Tämä vaihe määrittää räjähteen kyvyn läpäistä kohteen suojaus. [6 ; 18]

Toisessa vaiheessa ensimmäisen vaiheen levittämä kaasumetallipartikkelipilvessä tapahtuu anaerobista reagointia metallipartikkelien sekä polttoainepartikkeleiden hajoamistuotteiden kanssa. Tämän vaiheen metallipartikkeleiden tulisi olla muodoltaan pallomaisia ja raekooltaan hienoa, jotta reaktiivinen pinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Toinen vaihe on dimensioltaan senttimetrejä ja tapahtuu satojen mikrosekuntien sisällä. Reaktio määrittää prosessin välipaineen suuruuden, mikä taas vaikuttaa räjähteen kykyyn rikkoa kohteen rakennelmia. [6 ; 16 ; 18]

Kolmannessa vaiheessa polttoaine- sekä loput metallipartikkelit reagoivat hapen kanssa muodostaen tulipilven, joka imee kaiken ulottuvilla olevan hapen. Koska metallin ja hapen reaktiotuotteiden tilavuus on pieni verrattuna alkuperäiseen kaasutilavuuteen, ei tämä lisää paineaallon tehoa toisin kuin perinteisissä räjähdysaineissa, jotka perustuvat juuri muodostuneiden kaasujen tilavuuden kasvamiseen. Reaktiossa muodostuva lämpö kuitenkin vahvistaa paineaaltoa tehden siitä samalla myös pitkäkestoisemmän, vaikkei välttämättä yhtä korkean painearvoltaan. Reaktio lakkaa vasta, kun räjähteen kaikki partikkelit ovat reagoineet hapen kanssa. Tämän vaiheen metallipartikkeleiden tulisi olla pallo- tai hiutalemaisista ja raekooltaan karkeampia, jotta hiukkaset lentävät mahdollisimman kauas ja palavat pidempään. Kolmas vaihe määrittää räjähteen kyvyn aiheuttaa suoraa vahinkoa henkilöstölle tai materiaalille. [6 ; 16 ; 18]

2.4 Paine- ja lämpöominaisuudet

Termobaariset aseet tuottavat huomattavasti enemmän vahinkoa kuin perinteiset räjähteet. Tämä johtuu räjähteen paine- sekä lämpöaallon hyödyntämisestä. Perinteisellä räjähteellä painevaikutusta syntyy vain detonaatiossa, joka heikkenee mitä pidemmälle painerintama etenee. Tämä n. 8 km/s liikkuva ylipainerintama aiheuttaa vahinkoa iskeytymällä kohteeseen rikkoen sen taikka sinkauttamalla ympäristön esineitä kovalla nopeudella kohteeseen. [6].

Termobaarisen räjähdysten synnyttämä ylipaine kulkee vain 4 km/s, mikä on hitaampaa kuin perinteisen räjähteen synnyttämä ylipaine [6]. Termobaarinen räjähdys kuitenkin saa lisää energiaa vielä detonaation jälkeenkin, minkä seurauksena rintama heikkenee huomattavasti hitaammin ja kohde alistuu pidemmän aikaa paine- sekä lämpörintamalle. Suuri kokoisten happimolekyylien muuttuessa pienikokoisiksi oksideiksi syntyy myös suuri alipaine [16]. Myös alipaine vaikuttaa pidempään kuin perinteisessä räjähteessä kuten käy selväksi kuvasta 1. Tämän seurauksena reaktion impulssivoimat ovat suurempia ja voidaan sanoa räjähteen olevan paljon tuhoisampi niin ihmisille kuin rakennelmille. Impulssivoiman periaate käy ilmi kuvasta 2 ja paineaallon tuhoivaikutuksen muutokset vaikutusajan suhteen taulukosta 1. [6]

$$I = F \Delta t,$$

I = Impulssi, joka muodostuu vaikuttavan voiman vaikutusajasta kohteeseen

F = Voima, joka tässä tapauksessa syntyy yli- ja alipaineen työntävästä sekä vetävästä vaikutuksesta.

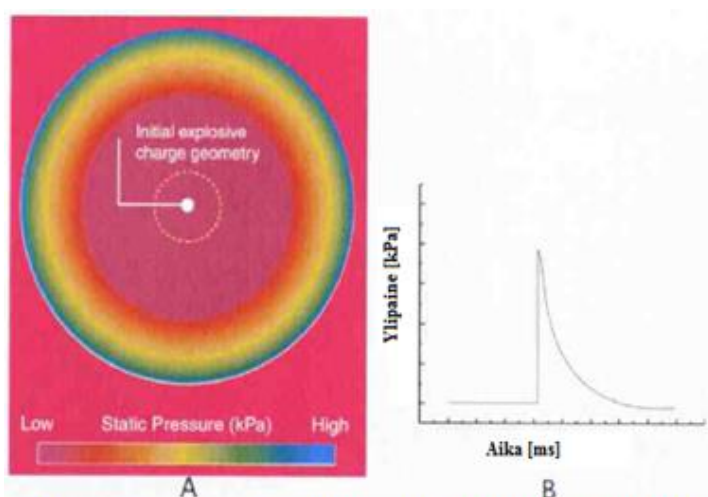
Δt = Vaikutusaika, joka syntyy ajasta missä yli- ja alipainerintamat vaikuttavat kohteeseen.

Kuva 2. Impulssivoiman riippuvuus vaikutusaikaan Lähde [19]

Taulukko 1. Paineen tuho vaikutuksen muutos riippuen painerintaman vaikutusajasta [16]

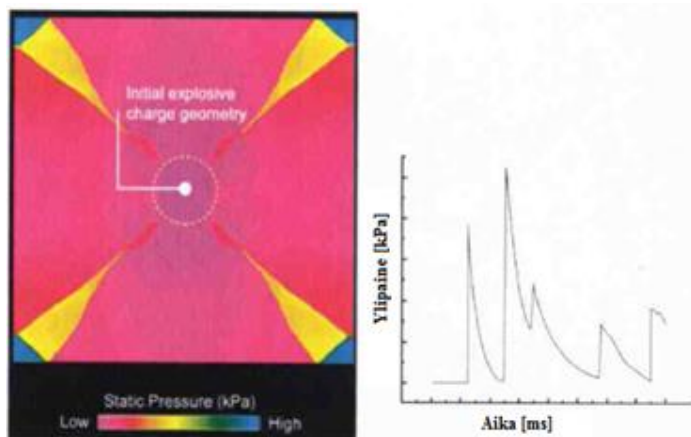
PAINEEN	30 μ s	100 μ s	300 μ s	1 ms	30 ms
Vaikutus/Kesto					
Vähäiset vaikutukset	0.77 bar	0.56 bar	0.42 bar	0.30 bar	0.22 bar
Keskinkertaiset vaikutukset	2.70 bar	1.88 bar	1.35 bar	0.94 bar	0.68 bar
Vakavat vaikutukset	3.04 bar	2.22 bar	1.67 bar	1.22 bar	0.92 bar
Kuolettava	5.34 bar	3.64 bar	2.80 bar	2.00 bar	1.47 bar

Mitä pienemmässä tilassa termobaarinen räjähdys tapahtuu, sitä voimakkaammaksi se muodostuu, sillä partikkelit sekoittuvat paremmin ilman kanssa [20] sekä paineaalto ottaa heijastuksia ympäröivistä seinistä [2, s 32- 33] kuten käy ilmi myös kuvista 3 ja 4. Yleinen ase- ja asejärjestelmäoppaan mukaan kohtisuorassa linjassa seinään osuvan paineaallon muodostaman heijastuksen takia seinän pinnalla on noin kymmenkertainen paine saapuvan aallon huippuun verrattuna [21, s. 322]. Tämän takia vaarallisimpia paikkoja sisätiloissa termobaarisen räjähdysaikana on olla seinien ja varsinkin nurkkien lähellä. Paineaallon voimakkuus riippuu suljetun tilan tilavuudesta [20, s. 4]. Termobaaristen aseiden tehokkuutta lisää myös paine- sekä lämpöaallon kyky vaikuttaa niin sanotusti kulmien taakse. Sirpaloitumiseen perustuvilta aseilta pystyy suojautumaan menemällä esteen taakse. [15]



Kohdassa A ilmentyy paineen korkeuskäyrä pallomaiselle paljaalle räjähteelle aukealla tietyn ajanhetken jälkeen räjähdyksestä. Paineaalto leviää säteittäisesti räjähteen ympärille. Kohdassa B näkyy tyypillinen painekäyrä tällaiselle tapahtumalle

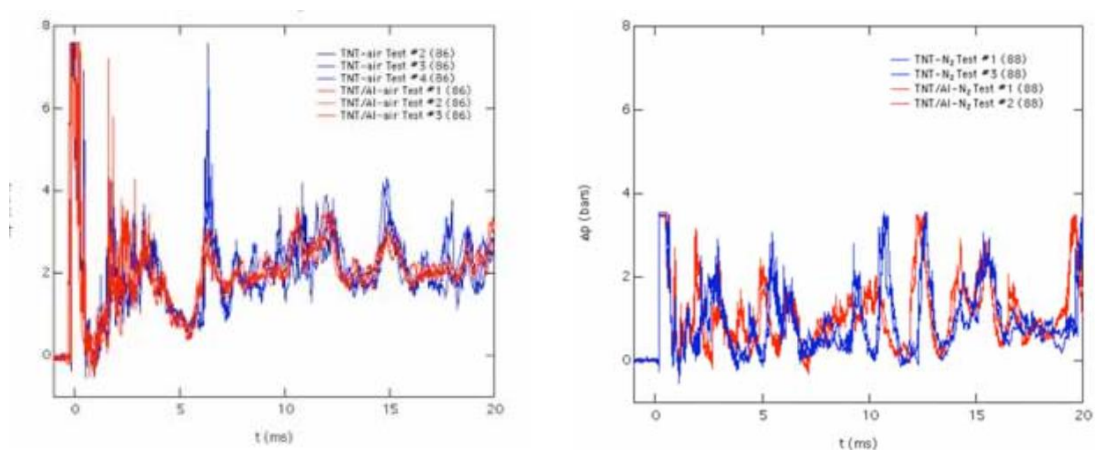
Kuva 3. Painerintaman käyttäytyminen aukeassa tilassa [6]



Kohdassa C ilmentyy samanlainen räjähdys keskellä huonetta. Paineaallot heijastuvat seinistä luoden vahvistetun painevaikutuksen varsinkin huoneen kulmissa. Kohdassa D on kuvaaja tällaisen tapahtuman paineen käyttäytymiselle ajan suhteen. Paine ei laske yhdenmukaisesti kuten kohdassa B vaan oskilloi eli heilahtelee ajan kuluessa. Efekti on epälineaarinen ja paineheijastus kulmissa voi moninkertaistaa ääripaineen monta kertaa.

Kuva 4. Painerintaman käyttäytyminen suljetussa tilassa [6]

Kun tilavuudeltaan $15,73 \text{ m}^3$ kokoisessa sylinterissä räjäytettiin $0,8 \text{ kg:n}$ termobaarinen räjähdde, se sai aikaiseksi noin $7,50 \text{ barin}$ maksimipaineen ja säilytti $2,0 \text{ barin}$ paineen vielä suhteellisen pitkään räjähdysketkestä. [20]. Samansuuntaisia mittaustuloksia saatiin detonaatiokalorimetrillä räjäytettäessä $1,5 \text{ gramman}$ panoksia, joissa räjähdde laukaistiin erikokoisissa kapseleissa ja tunneleissa. Lisäksi tutkimuksessa kävi ilmi, että minimoimalla ympäristöstä hapen määrä korvaamalla se typpellä, saatiin minimoitua paineen voimakkuutta kuten käy ilmi kuvasta 5. [20, s. 11] Periaatteessa näin ollen tiloja, joissa henkilön ei ole pakko oleskella voidaan suojata termobaariselta aseelta korvaamalla hapen määrää jollain suojakaasulla. Esimerkiksi varastotilat voisivat näin saada lisäsuojaa asevaikutukselta.



Kuva 5. Termobaarisen räjähdysen voimakkuus happi- sekä typpikammiossa [19]

Termobaarisen räjähdyspilven maksimilämpötilaksi saatiin 1,5 gramman räjähteellä kokeellisessa sekä laskennallisessa tutkimuksessa 2227 °C. Lämpötila saavutettiin alkudetonaatioissa sekä kolmannessa vaiheessa kun metallipartikkelit alkoivat lämmittää ilmaa. Tässä välissä ilma lämmitti metallipartikkeleita, jolloin lämpötila nousi vain 727 °C:een. Tutkimuksen tietokonemallinnuksessa maksimipaineeksi saatiin 10,0 baaria. [21, s. 6 - 7] Vertailtaessa lämmön tuhovaikutusta on huomioitava, että painerintama ylettyy pidemmälle [6], joka on näin ollen tärkeämpi tuhokeino aseelle.

2.5 Tuhovaikutus ihmiseen

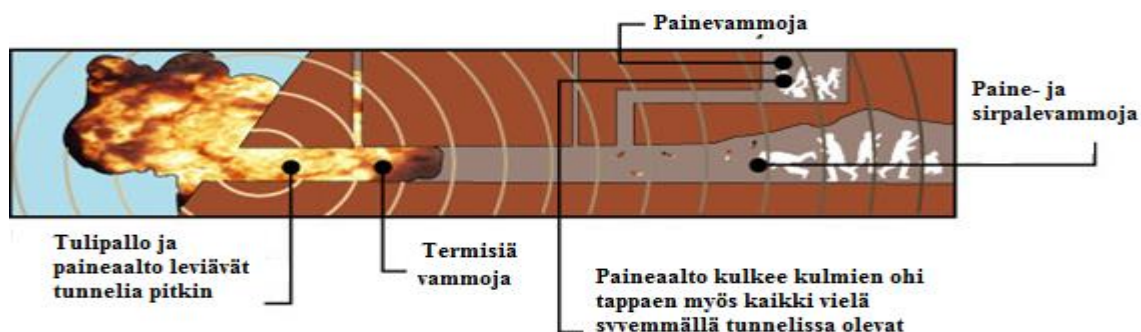
Räjähdyssvammat jaotellaan nykyään aiheutumistavan perusteella neljään luokkaan: primäärisiin, sekundäärisiin, tertiäärisiin ja kvaternäärisiin. [23] Esimerkki näiden vammojen muodostumisesta suljetussa tilassa näkyy kuvassa 6.

Primääriseen vammaan kuuluu räjähdyspaineesta ja lämmöstä syntyneet vammat. Paineen luoma impulssivoima aiheuttaa kehoon valtavan puristusvoiman. Kehon sisäelimet, joissa on ilmaa (keuhot, ruokatorvi ja korvat) ovat erityisen herkkiä. Pahimmassa tapauksessa keuhot litistyvät puristuksen takia ja muut rintakehän elimet aiheuttavat keuhkoihin verenvuotoa, turvotusta, keuhkojen repeytymisen ja lopulta sydänten verisuonten tukkeutumisen. [23; 6]

Sekundaariset vammat ovat seurausta aseiden sirpaloitumisesta taikka ympäristön pirstaleista. Sirpalevaikutus on termobaarisessa aseessa mitätön, sillä aseiden kuorta ei ole suunniteltu lisäämään sirpaloitumista vaan helpottamaan detonaatioita. Yleensä silmiin joutuu metallihippuja tai muuta soraa räjähdyspaineen takia. [23; 6]

Tertiääriset vammat syntyvät ylipaineen ja alipaineen aiheuttamasta suunnanmuutoksesta. Ylipaineen aikana henkilö on sinkoutumassa taaksepäin, mutta alipaine alkaa vetämään henkilöä takaisin päin. Kyseisen takaisin vetämisen aikana varsinkin henkilön niska on kovilla. Henkilö yleensä sinkoutuu kovalla voimalla seinämää päin ja pahimmillaan voi tapahtua paineen vaikutuksesta raajojen irtoamisia. Rakennusten sortumisesta aiheutuneet vammat lasketaan tähän kategoriaan. [23; 6 ; 18]

Kvaternääriset vammat johtuvat räjähdysten muodostamasta palamisesta ja sen aiheuttamasta happivajeesta. Tukeutumisen lisäksi mukaan luetaan kaikki mekanismit, jotka aiheuttavat palovammoja, metalli- ja polttoainemyrkytyksiä sekä saastumisesta aiheutuvia tulehduksia. [23]



Kuva 6. Termobaarisen räjähdysten vaikutukset luolastossa henkilöstölle [6]

2.6 TNT-ekvivalenttimenelmä

TNT-ekvivalenttimenetelmällä lasketaan eri räjähdysaineiden räjähdyskaasujen tuottama teho suhteessa trinitrotolueeniin. Tässä tutkimuksessa termobaarisen aseiden TNT-ekvivalenttiarvoa verrataan D 6.1 varomääräyksen turvallisiin etäisyyksiin. Tapa kertoo millä etäisyydellä henkilö on vaadittu suojavarustus päällään suurella todennäköisyydellä täysin turvassa.

Vuonna 2011 olleessa konferenssissa osoitettiin, että TNT-ekvivalenttimenetelmällä lasketussa tuloksessa on keskimäärin 23 % virhe. Suurimmillaan virhe oli 50 % ja useimmiten menetelmä antoi liian alhaisen tehokkuusarvon todelliseen nähden. [24] Virheen syytä olivat, ettei menetelmä huomioi alkuräjähdysten jälkeistä palamista, kaasujen laajentumista taikka uusien kaasujen syntymistä. Samassa yhteydessä esiteltiin vaihtoehtoinen tarkennettu laskutapa TNT- ekvivalenttimenetelmälle, jossa virhe oli vain 4 %. [24], kyseistä tarkempaa metodologia ei ole todennäköisesti otettu vielä laajemmin käyttöön. Tämän takia on suhtauduttava kriittisesti eri lähteiden TNT-ekvivalenttiarvojen tarkkuuteen ja ajateltava tuloksia enemmän suuntaa antavina.

Lisäksi vertailtaessa on huomioitava, että Puolustusvoimien varomääräyksen D 6.1 suojaetäisyystaulukko erottelee yksijakoisesti suojaetäisyydet räjäytettäessä pintapanoksia ja teräksiä. Termobaarisen aseenn kuori on luotu mahdollisimman vähän räjähdyspainetta pidätteleväksi ja minimoimaan räjähdyspaineen muuntamista kineettiseksi energiaksi kuoren sirpaleille [6]. Metallinen ulkokuori kuitenkin tuottaa pientä sirpalevaikutusta. Tässä tutkimuksessa asetta vertaillaan pintapanoksen eikä teräksen räjäyttämisen vaatimiin suojaetäisyyksiin. Jos aseenn räjähdysainemäärä ei ole sama kuin taulukossa, interpoloidaan lineaarisesti kahta lähimpää arvoa käyttäen mahdollinen suojaetäisyys. Syynä kahden lähimmän arvon käyttämiseen on painerintaman toimiminen epälineaarisesti, joten käyttämällä kahta lähintä arvoa saadaan minimoitua virhe. Interpolointi on tässä työssä laskettu suoraan excel -taulukon suuntausfunktion avulla.

Puolustusvoimien varomääräys D 6.1 on ehdoton suojaetäisyyksien suhteen räjähdyksissä aukealla. Varomääräyksen ilmoittamat etäisyydet takaavat erittäin suurella todennäköisyydellä täysin turvallisen välimatkan räjähteeseen. Varomääräyksessä on huomioitu myös suojautunut taistelija, joten painerintaman heikentyminen esteen takia on huomioitu, kuten näkyy taulukosta SU. Jos henkilö on liian lähellä räjähdettä, altistuu tämä mahdollisesti primäärisille, sekundaarisille, tertiäärisille ja äärimmäisissä tapauksissa jopa kvaternäärisille vammoille.

Murtoräjäytyksiin on omat suojaetäisyytensä, jotka näkyvät taulukossa MU. Sisätilan minimitilavuuden on täytyttävä panoksen ja ampuvan joukon välisellä suojaetäisyydellä. Etäisyyden ja minimitilavuuden lisäksi joukon on suojauduttava painerintamalta tuplakuulonsuojauksella, hyväksytyllä kypärällä, suojaliivillä, näönsuojuksella sekä peitettävä paljaat ihonkohdat sekä käytettävä hyödyksi jotain rakenteellista estettä räjäyttämisen ajaksi. Varomääräys antaa harjoituksen johtajalle luvan määrittää etäisyyden myös lyhyemmäksi mikäli suojajärjestelyt ja olosuhteet sen mahdollistavat. [25]

Taulukko 2 Suojaetäisyydet räjäytettäessä pintapanoksia aukealla [25]

Räjähdyssainemäärä (kg)	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa (m)	Suojautuneena maastoesteeseen, puun (vast) takana (m)	Suojautumattoman a sinkoumilta ja sirpaleilta (vaara-alueen säde, metriä)	Kuulonsuojaus raja (m)
0.001	3	5	20	30
0.06	8	20	80	120
0.2	11	30	120	180
0.5	15	40	160	240
1	18	50	200	300
5	30	90	350	500
10	40	110	450	650
20	50	140	550	800
50	70	190	750	1100
100	90	240	1000	1400
500	150	400	1600	2400

Taulukko 3. Suojaetäisyys murtoräjäytettäessä sisätiloissa [25]

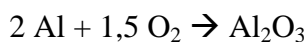
Panoskoko	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine	Sisätilan minimitulavuus (m ³), kammiopaine
1g	2	3
10g	5	12
30 g	8	35
50 g	9	58
75 g	10	87
100 g	11	116
200 g	13	232
300 g	14	348
400 g	16	464
500 g	17	580
750 g	19	869
1000 g	21	1159
1500 g	24	1738
2000 g	27	2318
2500 g	29	2897
3000 g	30	3476

2.7 Reaktion vaatima hapenmäärä

Räjähdyksistä syntyy paine- ja tulivaikutuksen lisäksi myrkyllisiä kaasuja sekä happivajetta. Näistä hapen puutteen suuruus on laskettavissa teoriassa, sillä räjähdysreaktion kolmannessa vaiheessa syntyvän polttoaineen sekä metallipartikkelipilven ainemäärät ovat laskettavissa. Tässä vaiheessa metallipartikkelit reagoivat hapen kanssa muodostaen reaktiotuotteena metallioksidia. Eri aseiden taistelulatauksen kokonaismassat sekä näiden sisältämän räjähddeaineen yleisnimitys ovat melko helposti löydettävissä. Ongelmaksi tarkan laskutuloksen saamiseksi tulee räjähddeaineseoksen tarkka koostumus sekä eri ainesosien suhde toisiinsa. Julkisista lähteistä on löydettävissä, että Yhdysvaltojen SMAW-D NE käyttää räjähteenä PBXIH-135:a. Sekoitus sisältää metallina alumiinia, sideaineena PCP-TMNETN:ää ja räjähdysaineena oktogeenia. Näistä vain ensimmäinen ainesosa, metalli, reagoi hapen kanssa merkittävästi. Räjähddeainemassan kokonaispaino on 1,8 kg. Tarkkaa sekoitussuhdetta ei tule esille. [26 ; 27]

Tehdään tapaustarkastelu, jossa koko taistelukärjestä puolet on alumiinia (Al) ja toinen puolikas hiilivetytipoista sidosaineen sekä räjähdysaineen sekoitusta ((CH₂)_n).

Tällöin alumiini sekä muu räjähdysaine myös reagoi happimolekyylien kanssa muodostaen alumiinioksidia

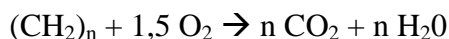


$$m(\text{Al}) = 26,98 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Al}) = 900\text{g}$$

$$\rightarrow n(\text{Al}) = M(\text{Al}) / M(\text{al}) = 33,36 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = 0,75 * n(\text{Al}) = 25,02 \text{ mol}$$



$$M((\text{CH}_2)_n) = 14,03 \text{ g/mol}$$

$$m((\text{CH}_2)_n) = 900\text{g}$$

$$\rightarrow n((\text{CH}_2)_n) = m((\text{CH}_2)_n) / M((\text{CH}_2)_n) = 64,15 \text{ mol}$$

$$\rightarrow n(\text{O}_2) = 1,5 * n((\text{CH}_2)_n) = 96,22 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{yht}} = 25,02 \text{ mol} + 96,22 \text{ mol} = 121,24 \text{ mol}$$

$$V_m = V / m, \quad V_m = 22,4 \text{ l/mol (ideaalikaasu)}$$

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2)_{\text{yht}} * V_m = 121,24 \text{ mol} * 22,4 \text{ l/mol} = 2715,78 \text{ l}$$

$$\rightarrow 2,71 \text{ m}^3 \text{ happea}$$

Ilmassa on 20% happea mikä tarkoittaa, että tapauksen räjähdettä tarvitsee $13,58 \text{ m}^3$ ilmaa palaakseen kokonaan ($V(\text{O}_2) / 0,2$).

Jos ajatellaan räjähdetilan räjähtävän asuinhuoneen sisällä, jonka huoneen korkeus on Suomen rakentamissääntöjen mukaan vähintään 2,5m [28], räjähdys kuluttaa happea pinta-alaltaan $5,43 \text{ m}^2$ kokoiselta alueelta. Tämän lisäksi räjähdys tuottaa muita ihmiselle haitallisia kaasuja kuten alumiinioksidia, joka on haitallista hengittämiseksi.

Johtopäätöksenä voi todeta, ettei hapen kuluttaminen alueelta ole termobaarisen aseiden suurimpia vahingontuottajia, vaikka räjähdys käyttäisi kohteen keuhkoissakin olevaa happea. Laskettu alue on silti hyvin pieni ja kohde altistuu primäärisille, sekundaarisille ja tertiäärisille vaikutuksille kyseisellä alueella hyvin voimakkaasti, millä jo todennäköisesti päästään haluttuun vaikutukseen. Kuitenkin termobaarisissa aseissa kvaternääriset vammat ovat paljon todennäköisempiä kuin perinteisissä räjähdysaineissa sillä happea käytetään tehokkaammin sekä ilmaan jää metallipartikkeleita, jotka voivat hankaloittaa hengittämistä.

3 TERMOBAARISEN ASEEN HISTORIIKKI

Venäjä on ollut edelläkävijä termobaaristen ja aerosoliaseiden kehittäjänä. Syynä tähän on muun muassa ollut Neuvostoliiton ja myöhemmin Venäjän käymien sotien ympäristön asettamat suorituskykyvaatimukset. Myös Yhdysvallat on lisännyt kyseisen aseteknologian käyttöä omissa taisteluissaan.

Vaikka asetta jo saksalaiset käyttivät termobaarista asetta toisessa maailmansodassa, se ei koskaan ehtinyt massatuotantoon ja unohdettiin pitkäksi aikaa. 1970-luvulla nousi Neuvostoliitossa esiin ajatus raketinheittäjästä, joka käyttäisi hyväkseen paine- ja lämpöaaltoon perustuvaa vaikutusta. [29] Syynä tähän oli maan tarve saada tykistöään tehokkaammaksi, sillä tykistön epäsuoratuli oli elintärkeä silloiseen läpimurtohyökkäykseen perustuneelle taktiikalle ja haluttiin käyttää tavanomaisia aseita mahdollisimman pitkälle eikä ydinaseita. Myöhemmin termobaarisen aseiden huomattiin myös soveltuvan tarkempaan yksittäisen kohteen tuhoamiseen kuten esimerkiksi linnoituksiin. [30, s. 170-174 189 ; 47 s. 3] Neuvostoliiton johto arvioi, että painevaikutteisten aseiden soveltuvan hyvin Kiinan muodostaman massa-armeijan uhkaan hyvänä henkilöstön tuhoamiskeinona [29]. Alun perin aerosolipommi kehitettiin aluskasvillisuuden ja miinoitteiden raivaamiseen [31 s. 3]. Raivausmenetelmä on järkevä, sillä sirpalevaikutuksella taikka ampumalla suoritettava raivaus vaatii suoran osuman, jonka on oltava tarpeeksi voimakas rikkoakseen miinan, kun taas lämpö- ja paineaalto mahdollisesti räjäyttää painesytyttimen. [11, s.122]

Neuvostoliitto sai tilavuusaseisiin perustuvan asejärjestelmän valmiiksi 1980-luvun alussa ja nimesi sen TOS-1:si. Asejärjestelmä koostui T-72:n päälle sijoitetusta raketinheittäjästä. Samoihin aikoihin saatiin myös valmiiksi olalta ammuttava RPO-A Shmel niminen sinkoase. Asejärjestelmiä käytettiin ensimmäisen kerran 1980-luvulla Neuvostoliiton toimesta Afganistanin sodassa, mutta niiden käyttö jäi enemmän kokeiluasteelle eikä niitä jaettu laajamittaisesti joukoille. [32] Asejärjestelmät otettiin vielä laajempaan käyttöön Tsetsenian sodissa, missä ne osoittautuivat tehokkaiksi. Varsinkin halvempi olalta ammuttava RPO-A Shmel osoitti kaupunkiloissa hyödyllisyytensä. Vuoden 1994 - 1996 sodassa. Venäjän joukot eivät saaneet vaikutusta aikaiseksi perinteisillä aseilla tarkka-ampujiin, kaivautuneisiin konekivääripesäkkeisiin taikka luoliin, jolloin kätevä olalta ammuttava sinkoase pääsi oikeuksiinsa. [6 ; 14 ; 33] Myöhemmässä 1999 syttyneessä Tsetsenian sodassa Venäjän armeijan hyökkäyksen hidastuttua Groznyn kaupungin ja vuoriston alueella harkittiin sekä kemiallisten ja termobaaristen aseiden käyttöä hyökkäyksen edistämiseksi. Poliittinen johto käytti veto-oikeuttaan hyväksi ja kielsi kemiallisten aseiden käytön ja salli kaupunkialueella käytettäväksi ainoastaan maasta laukaistavat termobaariset aseet. Ilmasta tiputettavia termobaarisia aseita käytettiin kaupungin rajojen ulkopuolella. [33]

RPO-A shmel ja sen jälkeen kehitellyt uudemmat mallit luokitellaan Venäläisen valmistajan sivuilla virallisesti liekinheittimeksi taikka liekkiaseiksi [34 ; 35]. Nimityksen syynä voi olla, että ase korvasi aiemmin joukoilla käytössä olleen liekinheittimen eikä varhaisversiossa ollut minkäänlaista panssarinläpäisevää räjähdedanosta [36 ; 37]. On mahdollista, että nimityksellä halutaan painottaa aseiden käyttötarkoitusta, joka on selkeästi painottunut henkilöstön tuhoamiseen [36 ; 37] ja erottaa se panssarintorjunnasta. Esimerkiksi Afganistanin sodassa RPO-A:lla ei saatu tuhottua panssarivaunuja [33].

Yhdysvalloissa huomattiin termobaaristen aseiden tehokkuus ja maa alkoi 2000-luvun vaihteessa kehittää aktiivisesti omia asejärjestelmiään. Jalkaväki sai vuonna 2003 ensimmäisen oman termobaariseen räjähdykseen perustuvan aseensa. Kyseessä oli 40mm XM1060 kranaatti, joka ammuttiin M32 kranaattikiväärillä. Kyseisen kranaatin käyttöönotto oli erittäin nopeaa. Joukot esittivät pyynnön marraskuussa 2002 termobaariseen prosessiin perustuvasta aseesta, joka soveltuisi paremmin Afganistanin taisteluihin. Vanhaa teknologiaa hyödyntäen vain viidessä kuukaudessa pyynnöstä XM1060 oli joukkojen aktiivisessa käytössä. [38]. Yhdysvaltojen halusta saada lisää termobaarista vaikuttamista taistelukentälle kertoo M-72 LAW aseiden moderni versio, jossa on termobaarinen taistelukärki asutuskeskustaisteluun [26].

Venäjän pyrkimyksessä uudistaa 70 % kalustostaan vuoteen 2020 mennessä myös armeijan luokittelemat liekkiaseet ovat modernisoinnin kohteena. CBRN- joukkojen komentajan, kenraalimajuri Eduard Cherkasovin, mukaan kyseisen asetyypin tehokkuus kasvaa huomattavasti uudistuksen jälkeen [12]. ”Lyhyesti sanottuna, jalkaväen liekkijoukot saavat tarkempia ja suuremman läpäisykyvyn ennen räjähtämistä saavuttavia aseita, joilla on kyky tuhota linnoitettuja kohteita, panssaroituja välineistöä ja henkilöstöä juoksuhaudoissa – Liekkiaseet ovat erittäin tehokkaita lähitaistelussa ja ne eivät ole pelkästään fyysisesti tuhoa tuottavia vaan niillä on myös psykologinen vaikutus viholliseen”. [39] Venäjän armeijan CBRN- joukkojen tehtävänä on muun muassa tuottaa viholliselle tappioita käyttämällä polttotaisteluaseita [41].

4 NYKYISIN KÄYTÖSSÄ OLEVAT TERMOBAARISET ASEET

4.1 RPO-A shmel ja RPO PDM-A

RPO-A shmel on venäläisvalmisteinen sinkoase, joka hyväksyttiin Venäjän armeijan käyttöön vuonna 1988, mutta se ei päässyt tuotantoon puuttuvan rahoituksen takia. Ase otettiin laajamittaiseen tuotantoon vasta vuonna 2001 Tsetsenian sodan jälkeen, koska oli havaittu tarve kaupunkitaisteluun soveltuvalla sinkoaseella. [37] Aseen toiminta perustuu valmistajan verkkosivujen mukaan aerosoliräjähdykseen [35] mutta muun muassa termobaaristen pommien kirjallisuusraportti sanoo aseiden olevan termobaarinen [18]. Aiemman version tarkoituksena oli saada vaikutusta vain kohteeseen pintapuolisesti. Myöhemmissä versioissa rakettiin liitettiin räjähdettä, minkä tarkoituksena on murtaa seinämän taikka heikosti panssaroidun pinnan, jonka jälkeen itse räjähdettä laukeaa kohteen sisällä. [37] Aseen ulkonäkö tulee ilmi kuvasta 7.

Asetta on tarkoitettu käytettävän ”suojautuneita osastoja vastaan kaupunki, vuoristo ja peltomaastossa kuten myös linnoitteita, suojaamattomia ja kevyesti panssaroituja ajoneuvoja vastaan” [34]. Ase on kertakäyttöinen ja taistelija on tarkoituksena kantaa kahta kappaletta mukanaan. Aseen voi myös ampua toisen singon ollessa vielä kiinni ammuttavassa kappaleessa. Aseen taistelukärki sisältää 2,1 kilogramman painoisen räjähdekuorman, joka aukealle ammuttaessa aseiden tappavan säteen pinta-ala suojautumattomalle henkilöstölle on 50 m², mutta suljetussa tilassa aseiden tapposäde kasvaa 80m². [35 ; 37] RPO-A:n TNT-ekvivalenttiarvoa ei ole ilmoitettu.

RPO tuotepöytäaseita kutsutaan liekinheitteiksi valmistajan omilla sivuilla vaikka kyseessä on sinkoase. Syynä tähän voi olla valmistajan halu erottaa sinkonsa panssarintorjunta-aseista, sillä aseille ei ole määritelty panssariteräksen läpäisykykyä missään lähteessä sekä historia, sillä ase korvasi aiemmin joukoilla käytössä olleen liekinheittimen [36 ; 37]. Lisäksi valmistaja itse mainitsee sivuillaan uudemman taistelukärjen olevan tehokas kaikkea muuta paitsi panssarivaunuja vastaan [34]. Asian puolesta puhuu myös Afganistanin sodan kokemukset, joissa sotilaat eivät yrityksistä huolimatta saaneet RPO-A:lla tuhottua panssarivaunuja [33]. Aseen sanotaan soveltuvan myös jokien jäiden rikkomiseen, potentiaalisten lumivyöryjen tuhoamiseen sekä tulipalojen tukahduttamiseen [6].

Uudempi versio RPO-A shmelista, RPO-M esiteltiin vuonna 2006. Toisin kuin aikaisempi versio, valmistaja ilmoittaa taistelukärjen olevan termobaarinen eikä aerosolivaikutteinen. Taistelukärjen kokoa on kasvatettu 3 kiloon, mikä valmistajan mukaan tuplaa tappavuuden vastaten näin ollen TNT-ekvivalenttimenetelmän mukaan 5-6 kilon räjähdeainemäärää. Lisäksi maksimikantamaa on nostettu 1700 metriin, tähtäystä parannettu lisäämällä optiikkaa runkoon sekä kokonaispainoa vähennetty 8,8 kiloon. [34] Verrattaessa 6 kilogrammaa TNT:tä varomääräykseen 6.1 saadaan suojaetäisyyksiksi taulukossa 4 ilmoitetut arvot.

Taulukko 4. Lasketut suojaetäisyydet RPO-M aseelle

32 metriä	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa
94 metriä	Suojautuneena maastoesteen, puun (vast) takana
370 metriä	Suojautumattomana sinkoumilta ja sirpaleilta
36 metriä	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine
6950 m ³	Sisätilan minimitulavuus (m ³), kammiopaine
2780 m ²	Tilavuuden vaatima pinta-alamäärä 2,5 metriä korkeassa huoneessa



Kuva 7 RPO-A shmel ampumakunnossa termobaarinen raketti vierellään [40]

4.2 RG-60TB

RG-60TB on venäläisvalmisteinen termobaarinen käsikranaatti, joka sisältää 240 grammaa räjähdysainetta. Asetta käytetään Puolustusvoimien käyttämän sirpalekäsikranaatin omaisesti, missä kahvan irtoaminen räjäyttää kranaatin. Räjähdyksestä seuraa termobaarinen reaktio, mikä vastaa TNT- ekvivalenttimenetelmän mukaan 550–660 gramman panosta. Käsikranaatti on tarkoitettu käytettäväksi henkilöstöä vastaan aiheuttaen 7 metrin kokoisen tuhoamissäteen. [41] Vertailun vuoksi Puolustusvoimien käsikranaatin vaikutusetäisyys on 15 metriä räjähdyspisteestä ja satunnaiset isot sirpaleet voivat vahingoittaa vastustajaa kauempaakin [42, s. 180]. On kuitenkin huomioitava suojautumismahdollisuudet molempien tuhovaikutusta vastaan. Sirpalevaikutteisia aseita vastaan on helpompi suojautua tarpeeksi vahvan esteen taakse. Termobaariset aseet taas kykenevät vaikuttamaan suojan taaksekin. Verrattaessa 0,66 kilogrammaa TNT:tä varomääräykseen 6.1 saadaan suojaetäisyyksiksi taulukossa 5 ilmoitetut arvot.

Taulukko 5. Lasketut suojaetäisyydet RG-60TB aseelle

15,96 metriä	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa
43,2 metriä	Suojautuneena maastoesteeseen, puun (vast) takana
172,8 metriä	Suojautumattomana sinkoumilta ja sirpaleilta
18,28 metriä	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine
764,96 m ³	Sisätilan minimitulavuus (m ³), kammionpaine
305,984 m ²	Tilavuuden vaatima pinta-alamäärä 2,5 metriä korkeassa huoneessa

4.3 SMAW - NE

Yhdysvallat loi aseensa jalkaväelle ensisijaisesti lisätäkseen vaikutuskykyään vihollisen linnoittuneeseen henkilöstöön ja jota voi myös toissijaisesti käyttää panssarintorjuntaan [43]. Aseeseen voi laittaa eri tarkoituksiin käytettäviä raketteja, joista yksi on juuri termobaarinen, jonka kohteena on vihollisen linnoittautunut henkilöstö [43 ; 27]. Vaikka aseella pitäisi olla kyky tunkeutua rakennelmaan seinänkin läpi, joutuivat Fallujahin taistelussa yhdysvaltalaiset sotilaat ampumaan aseensa ikkunoiden läpi taikka tekemään reiän seinään panssarintorjuntaan tarkoitettavalla raketilla [1]. Kyseinen ase näkyy kuvassa 8. Räjähdeainemassan kokonaispaino on 1,8 kilogrammaa PBXIH-135:ta. [27] TNT-ekvivalenttiarvoa ei ole ilmoitettu, mutta tehdään oletus RG-60TB:n pohjalta, jossa TNT-ekvivalenttiarvo oli noin kaksinkertainen räjähdemäärään. Tällöin arvoksi tulee 3,6 kg. Verrattaessa tätä määrää TNT:tä varomääräykseen 6.1 saadaan suojaetäisyyksiksi taulukossa 6 ilmoitetut arvot.

Taulukko 6. Lasketut suojaetäisyydet SMAW-NE aseelle.

25,8 metriä	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa
76 metriä	Suojautuneena maastoesteeseen, puun (vast) takana
297,5 metriä	Suojautumattomana sinkoumilta ja sirpaleilta
31,2 metriä	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine
4170,8 m ³	Sisätilan minimitulavuus (m ³), kammionpaine
1668,32 m ²	Tilavuuden vaatima pinta-alamäärä 2,5 metriä korkeassa huoneessa



Kuva 8. SMAW ase käyttövalmiudessa [44]

4.4 GM-94

GM-94 on venäläisvalmisteinen kranaattipistooli, joka ampuu 43 mm kranaatteja. Ase on tarkoitettu kaupunkitaisteluihin ja sen kantama on 300 metriä. Aseen tuhoalueen säteen kerrotaan olevan 3 metriä ja turvallisen etäisyyden olevan jo 10 metrin päässä räjähdyksestä. Sirpaloituminen on minimoitu käyttämällä muovisia ammuksia, jolloin tuhovaikutus tulee ainoastaan paine- ja lämpövaikutuksesta. Aseen termobaarinen kranaatti VGM-93 painaa 250 grammaa sisältäen 160 grammaa termobaarista räjähdysainetta. Ammus kykenee suoraosumalla tuhoamaan 10-12 cm paksun tiiliseinän sekä tekemään reiän 8 mm paksuun teräslevyyn. [45] GM-94 kranaattipistooli näkyy kuvassa 9. Tehdään oletus, että TNT-ekvivalenttiarvo on kaksinkertainen termobaarisen räjähdysaineen määrään kuten RG-60TB:n kohdalla. Tällöin arvoksi saadaan 360 grammaa. Verrattaessa tätä määrää TNT:tä varomääräykseen 6.1 saadaan suojaetäisyyksiksi taulukossa 7 ilmoitetut arvot.

Taulukko 7. Lasketut suojaetäisyydet GM-94 aseelle.

13,13 metriä	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa
35,3 metriä	Suojautuneena maastoesteeseen, puun (vast) takana
141,3 metriä	Suojautumattomana sinkoumilta ja sirpaleilta
15,2 metriä	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine
417,6 m ³	Sisätilan minimitulavuus (m ³), kammiopaine
167 m ²	Tilavuuden vaatima pinta-alamäärä 2,5 metriä korkeassa huoneessa



Kuva 9. GM-94 Lähde [45]

4.5 Kornet - E ja METIS-M1

Kornet-E on venäläinen jalustalta ammuttava laserilla ohjattava panssarintorjuntaohjuksen ampumalaite. Ase kehitettiin alun perin panssarivaunuja vastaan, mutta myöhemmin aseelle kehitettiin myös termobaarinen ohjus, 9N133F-1. Versiota on tarkoitus käyttää rakennuksia, panssaroiduttomia ja kevyesti panssaroituja ajoneuvoja sekä aukealla olevaa henkilöstöä vastaan. Ohjuksessa on TNT-ekvivalenttiarvoltaan 10 kilogramman verran räjähdysainetta. [46 ; 47 ; 48] Laitteen valmistajan sivuilla ohjuksen väitetään olevan aerosoliase [47], mutta sivuilla oleva läpileikkuukuva antaa käsityksen yhdestä panoksesta ja RPO sinkojen kohdallakin valmistajan verkkosivuston termistöjen käyttö oli johdonmukaisesti omanlaisensa. Kyseinen ampumalaite näkyy kuvassa 10. Uudemman version, Kornet- EM:n, rakennelmia vastaan käytettävän ohjuksen 9M133FM-2 TNT-ekvivalenttiarvo on myös 10 kilogrammaa. Huomionarvoista on kuitenkin että uudemmalla ampumalaitteella pystyy ampumaan vanhemman version ohjuksia [46 ; 48]. Kornet-EM:stä on myös automatisoitu versio joka on mahdollista kiinnittää ajoneuvoon jolloin tulinopeus kasvaa. [49] Verrattaessa 10 kilogrammaa TNT:tä varomääräykseen 6.1 saadaan suojaetäisyyksiksi taulukossa 8 ilmoitetut arvot.

Taulukko 8. Lasketut suojaetäisyydet Kornet-E ja Kornet-EM aseelle

40 metriä	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa
110 metriä	Suojautuneena maastoesteeseen, puun (vast) takana
450 metriä	Suojautumattomana sinkoumilta ja sirpaleilta
44 metriä	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine
11582 m ³	Sisätilan minimi-tilavuus (m ³), kammiopaine
4632,8 m ²	Tilavuuden vaatima pinta-alamäärä 2,5 metriä korkeassa huoneessa

Venäjä on kehittänyt myös uudemman panssarintorjuntaohjusten ampumalaitteen, Metis-M1:n jolle on valmistettu rakennelmia vastaan käytettävä termobaarinen ohjus 9M131FM. Tarkkaa selitystä aseeseen sisältämälle räjähdysaineelle ei ilmoiteta, joten tässä tutkielmassa ei perehdytä laitteeseen tarkemmin.



Kuva 10. Kornet E ampumalaite ohjuksineen Lähde: [47]

4.6 RPG:n termobaariset raketit

TBG-7V on termobaarinen taistelukärki, jonka toissijaisena vaikuttamiskeinona on sirpaloituminen. Laukaisulaitteena käytetään RPG-7 mallia. Raketin väitetään olevan tehokas henkilöstöä vastaan jopa 300 m³ kokoisissa huoneissa, juoksuhaudoissa 2 metriä kaiteesta sekä aseelle on ilmoitettu 10 metrin kokoinen tappava säde [50]. jolla viitataan todennäköisesti aukealla tapahtuvaan räjähdykseen. Raketti painaa kokonaisuudessaan 4,5 kiloa, mutta sen taistelulatauksen painoa ei ole ilmoitettu erikseen. Raketin kantama on vain 150 metriä mikä johtuu raketin painosta, joka on miltein tuplasti painavampi kuin muut raketit. [50] Venäläistä versiota voidaan verrata bulgarialaiseen termobaariseen rakettiin, GTB-7VS:ään, jonka kokonaispainoksi on ilmoitettu 4,4 kilogrammaa ja TNT-ekvivalenttiarvoksi 2 kiloa. Ainoana ulkopuolisena erona on hieman erimuotoinen kärkiosa. [51] TBG-7:n taistelukärjen muoto tulee ilmi kuvasta 11, mistä voi myös päätellä, ettei aseessa ole ontelovaikutusta.

TBG-29V on uudemman RPG-29:n termobaarinen raketti, jonka ilmoitettu tuhovoima on yhtä suuri kuin TBG-7V:n. Raketti kuitenkin painaa 6,7 kiloa mikä selittyy todennäköisesti kasvaneella kantamalla, joka on 500 metriä. Aseesta kerrotaan myös, että kun taistelukärki laukeaa metrin päästä ikkunaa tai oviaukkoa, on asean tuhovoima 50 m³ rakennuksen sisällä. [52] Verrattaessa 2 kilogrammaa TNT:tä varomääräykseen 6.1 saadaan suojaetäisyyksiksi taulukossa 9 ilmoitetut arvot.

Taulukko 9. Lasketut suojaetäisyydet TBG-7V taistelukärjelle

21 metriä	Suojautuneena katetussa ja sirpaleet ja sinkoumat kestävässä suojassa
60 metriä	Suojautuneena maastoesteeseen, puun (vast) takana
237,5 metriä	Suojautumattomana sinkoumilta ja sirpaleilta
27 metriä	Suojaetäisyydet panokseen (m), rintamapaine
2318 m ³	Sisätilan minimi-tilavuus (m ³), kammiopaine
927,2 m ²	Tilavuuden vaatima pinta-alamäärä 2,5 metriä korkeassa huoneessa



Kuva 11. TBG-7 taistelukärki [53]

4.7 TOS-1 ja TOS-1A

TOS-1 on Neuvostoliiton vuonna 1988 käyttöönottama raketinheitin, joka on asennettu T-72 tankin rungon päälle. Ensimmäistä versiota käytettiin Afganistanin sekä Tsetsenian sodissa saavuttaen hyviä tuloksia. TOS-1 sisältää 30 kappaletta putkia joihin voidaan ladata polttovaikutteisia tai aerosoliräjähdettä sisältäviä raketteja. Asejärjestelmällä voi ampua 0,4 – 3,5 kilometrin päähän. Kaikkien putkien laukaiseminen vie aikaa, joko 7,5 sekuntia taikka 15 sekuntia, sillä käyttäjä voi valita ampuuko kaksi rakettia kerrallaan taikka vain yhden. Kaikkien 30 raketin ampuminen tuottaa maalialueelle 200 x 400 metriä kokoisin tuhoamisalueen eli pinta-alaltaan 80 000 m². Natomailla ei ole tällä hetkellä mitään vastaavankaltaista asetta olemassa. [54 ; 55 ; 56]

Myöhempi versio TOS-1A otettiin käyttöön vuonna 2001. Siinä putkien määrää on vähennetty 24 kappaleeseen, mutta putkien pituutta on lisätty, minkä seurauksena maksimikantama on noussut 6 kilometriin. Kaikkien putkien laukaiseminen vie aikaa joko 6 taikka 12 sekuntia. [54 ; 55] Vuonna 2012 esiteltiin uusi versio raketista aseelle, jonka kantamaksi ilmoitettiin 6 kilometriä ja polttoaineen massaksi 90 kilogrammaa, jolloin kaikkien putkien ampumisella saavutetaan 40 000 m² kokoisin alueen peitto. [55 ; 57] Ilmoitettu tuhoalue on ristiriidassa vanhemman version kanssa, sillä tuhoalueen koko on vähentynyt puoleen vaikka rakettien määrää on vähennetty vain kuudella. Kyseinen ase näkyy kuvassa 12.

TNT-ekvivalenttiarvoa kyseisille aseille ei ole realistista arvioida.. Mahdollinen virhe muodostuu räjähdeainemäärän koon takia erityisen suureksi, jos oletetaan TNT-ekvivalenttiarvon olevan kaksinkertainen palomassaan verrattuna. Lisäksi ilmoitetut tuhoalueet poikkeavat toisistaan niin paljon, ettei niitä voi pitää kovin luotettavina tietolähteinä kyseisen asejärjestelmän kohdalla.



Kuva 12. TOS-1A [60]

5 ASEEN SOVELTUMINEN ERI YMPÄRISTÖIHIN

5.1 Yleistä

Termobaarinen ase on enemmän tarkkuustyöhön tarkoitettu toisin kuin aerosoliase, joka sopii laajoille aukioillesyttymisolosuhteidensa vaativuuden takia. Sirpalevaikutteiset aseet vaikuttavat pidemmälle kuin painevaikutteiset aseet, joten on perusteltua ajatella termobaarisia aseita enemmän tarkkuusaseina sekä rakennetun alueen taisteluun sopivina. Termobaaristen aseiden suurena etuna on kulman taakse vaikuttaminen sekä painevaikutukselta vaikea suojautuminen.

Termobaarisia aseita vastaan on vaikea suojautua. Linnoittamisopas 1:n mukaan avoimet ja katetut poterot eivät anna suojaa paineaaltoa vastaan [58, s. 68]. Vaikka vain osa paineaaltoista tunkeutuu poteroon, tuhovaikutus voimistuu paineallion seinämistä ottamien heijastuksien takia. [2, s. 32- 33] Sirpaleilta ja heitteiltä voi suojautua lisäämällä vaatekustaa, ympäristön suojausten parantamista tai ajoneuvojen panssaroinnin lisäämistä. Lämpöaaltoa voi minimoida käyttämällä tulenkestäviä vaatteita. Paineaaltoa ei kuitenkaan voi omia varusteita parantamalla välttää täysin. Tärkeintä olisi välttää umpinaisten suojien rakentamista, ettei rakennelmien seinämistä heijastuminen korostu. Tarvittaisiin jonkinlainen poistoventtiili, mitä kautta ylipaine pystyisi purkautumaan. [18]

Kypärällä, kuulonsuojauksella ja suojaliivillä on paineiskuvammaa lieventävä vaikutus [59]. Painevaikutukselta suojautumisen vaikeutta kuvastaa kuitenkin raivaajien käyttämien suoja-pukujen koko. Lisäksi ruotsalaisen FOI:n tekemässä tutkimuksessa todettiin sotilaiden sekä viranomaisten virkapukujen lisäävän termobaarisista aseista syntyneitä vammoja [18].

5.2 Metsämaasto

Termobaaristen aseiden paineallot voivat tunkeutua poteroihin avonaisista aukoista. Tästä syystä termobaaristen räjähdysten tapahtuessa on suojautunutkin henkilöstö vaarassa vaikka tämä olisi poteron pohjalla. Sirpalevaikutukseen perustuvassa räjähdyksessä suojan seinämien kestävyys määrittelee suoja-arvon. Painerintaman pyyhkiessä yli poteron, tunkeutuu osa paineesta sisään ja ottaa heijastuksia poteron seinämistä vahvistaen tuhovaikutusta. Kuitenkin verrattuna kaupunkiympäristöön on painerintamalle vähemmän heijastuksia aiheuttavia seinämiä muun muassa katon puuttumisen vuoksi, minkä seurauksena heijastuminen on huomattavasti heikompaa.

Kuten kävi ilmi RPG:n raketin tehokkuuden vähentymisestä, jos räjähdys tapahtuu suojan ulkopuolella [52], nousee tärkeäksi osaksi kohteen avonaisten aukkojen käyttäminen taikka aseiden läpäisykyvyn tehokkuus. Afganistanin sodassa Neuvostoliiton sotilaat pystyivät hyödyntämään kohteen ulkopuolella tapahtuneen räjähdysten muodostamaa pölypilveä taikka erikseen ammuttua savua, minkä avulla sotilaat pääsivät parempaan tuliasemaan [60, s.256]. Puolustusrakennelmiin vaikuttaminen vaati kuitenkin suoran näköyhteyden esimerkiksi tunnelin suuaukkoon, mikä vaikeutti aseiden käytettävyyttä [60, s.256]. RPO-A:n lisääntyneen käytön jälkeen kasvojen onnistuneiden tehtävien määrä sekä omien tappiot vähenivät, joten voidaan todeta aseiden olleen tehokas. Afganistanin sodassa aseita ei ollut kuitenkaan jaettu vielä laajamittaisesti joukoille. [60, s. 255-258]

Pelkän paineaallon tuottamaan tappavaan vaikutukseen tulee huomioida myös korsun kestävyys, koska taistelija voi mahdollisesti jäädä loukkuun romahtaneeseen suojarakennelmaan. Mahdollinen suojaovi heikentäisi ulkopuolella tapahtuvaa räjähdystä, mutta räjähdysten tapahtuessa suojarakennelman sisällä se vain voimistaa tuho vaikutusta. Suurempi uhka suojarakennelman romahdus on kuitenkin kaupunkiympäristössä, sillä metsään rakennetut tuliasemat eivät ole yhtä kookkaita ja niihin vaikuttaminen eri suunnista on hankalampaa.

Aukealla käytettäessä voidaan teoriassa olla varmoja aseiden tuhoalueesta, sillä paine- ja tulivaikutus ei saa lisätehoa suljetusta tilasta. Valitsemalla oikean tyyppinen termobaarinen ase voidaan rajata tuho vaikutusta pienemmäksi kuin monissa perinteisissä sirpalevaikutteisissa aseissa. Tuhoalueen rajaamisen tarve ei ole metsämaastossa kuitenkaan yhtä suuri kuin kaupunkiympäristössä, missä voi vielä mahdollisesti olla siviilejä lähialueella.

Puolustusvoimien Suojelun käsikirjassa termobaarisia aseita ei mainita vaan kirjassa puhutaan ainoastaan aerosoliaseesta, joka voidaan osittain käyttää polttoaseen tavoin [11]. Termobaarisille aseille ei ole ominaista massiivisten tulipalojen sytyttäminen. Ympäröivä happi käytetään räjähdysten aikana ja tulipilvi jää vain hetkelliseksi [6]. Tulentekokyvyn tehostommuuden puolesta puhuu myös RPO-A eri mallin, RPO-Z version, erikseen mainostettu kyky aiheuttaa polttovaikutus kohteeseen ja valmistaja mainostaakin aseita juuri vihollisen rakennelmien sytyttämistarkoitukseen soveltuvaksi toisin kuin RPO-A versiota [35]. Lisäksi venäläiset ovat kertoneet termobaarisen aseiden soveltuvan hyvin tulipalojen sammutukseen [6].

5.3 Asutuskeskus

Viimeisen 30 vuoden aikana termobaariset aseet ovat osoittautuneet tehokkaiksi kaupunkiolosuhteissa, missä on mahdollista mennä normaalilta asevaikutukselta helpommin piiloon. [1 ; 6 ; 33 ; 60]

Vaara-alueelaskuista käy ilmi, että asevaikutukselta suojautuminen vaatii suuremman etäisyyden kuin aukealla tapahtuvassa räjähdyksessä. Huomionarvoista on myös, että sisätilan minimitilavuus kasvaa nopeasti erittäin suureksi. Tämän takia suojautumista täytyy parantaa joko eristämällä huoneet toisistaan taikka rakentamalla ylipaineventtiileitä, jotka purkavat painetta rakennelman ulkopuolelle [18 ; 52].

Termobaarisia aseita käytettäessä on muita räjähdeaseita helpompaa välttää sivullisia uhreja. Muiden räjähdeaseiden kohdalla on saman lopputuloksen saamiseksi käytettävä huomattavasti voimakkaampaa asevaikutusta taikka ammuttava kohteeseen useampia kertoja, jotta esimerkiksi rakennuksen sisälle pystytään vaikuttamaan. Kun Tsetsenian sodassa viholliseen ei saatu vaikutusta perinteisellä asevaikutuksella kaupunkiympäristössä, turvaututtiin termobaarisiin aseisiin, joiden avulla hyökkäys alkoi taas edetä [31, s. 4]. Termobaarinen käsikranaatti RG-60TB on tuhoamisalueellaan tehokas, mutta sen vaara-alue on pienempi kuin normaalilla käsikranaatilla, mikä lisää turvallisuutta myös sitä käyttäville sotilaille [25 ; 26].

Toisaalta termobaariset aseet ovat paljon tehokkaampia tuhoalueellaan ja tuottavat uhrille kivuliaammat sekä vaikeammin hoidettavat vammat kuin esimerkiksi sirpalevaikutteiset aseet. Tämä tarkoittaa, että termobaarisia aseita käytettäessä on oltava varmoja, ettei kyseisellä alueella ole siviilejä. On käyttäjästä kiinni osaako tämä suhteuttaa vaadittavan voiman silloiseen uhkaan ja käyttääkö tämä esimerkiksi vain RPO-A tyyppisiä aseita tietyn huoneiston tuhoamiseen vai TOS-1 kaliiperin asetta, jolla Venäjä tuhosi kokonaisia kyliä Tsetsenian sodassa. [33] Kokemuksen kautta Yhdysvaltalaiset sotilaat oppivat myös ampumaan SMAW:eilla tietyllä tavalla, mikä sai rakennuksen katon romahtamaan [1]. Painevaikutus voisi olla hyvä keino raivata rakennuksen ensimmäisen kerroksen ansat. Nykyajan sotien siirtyessä entistä enemmän kaupunkeihin on selvää, että paine- ja lämpöaaltoihin perustuvat aseet antavat varsinkin hyökkääjälle etua, sillä puolustava osapuoli menettää ballistisen suojan hyödyn ja näin ollen etukäteisvalmisteluiden merkitys vähenee. Termobaaristen aseiden tehokkuuden puolesta puhuu myös, että osapuolet jotka ovat olleet viimeisen 20 vuoden sisällä taisteluissa asutuskeskusalueilla, ovat olleet vain entistä halukkaampia lisäämään niiden käyttöä ja kehittämistä [26 ; 39].

6 Yhteenveto

6.1 Johtopäätelmät

Termobaarinen ase on lämpö- ja painevaikutteinen räjähdese, jolla pyritään vaikuttamaan henkilöstöön, panssaroimattomiin ajoneuvoihin sekä kalustoon. Määriteltäessä onko kyseessä termobaarinen ase vai aerosoliase on yksi tapa määrittelyn helpottamiseksi miettiä kuinka monta panosta on tarvittu räjähdysten toteuttamiseen. Termobaariselle aseelle riittää yksi panos toisin kuin aerosoliaseelle. Aerosoliaseita käytetään pääasiassa alueelliseen vaikuttamiseen suurilla taistelukärjillä, jolloin polttoaineen syttymiseen vaadittu konsentraatiosuhde toteutuu varmasti. TOS-1 muodostaa kuitenkin poikkeuksen ja vaikuttaa kohdealueelle eikä yksittäiseen kohteeseen. Tässä mielessä ajateltuna venäläisten käyttämä terminologia jalkaväen käyttämien aseidensa suhteen on pääosin virheellistä, sillä käsitellyt aseet ovat perustuneet TOS-1:tä lukuun ottamatta tarkkaan vaikuttamiseen sekä räjäytetty yhdellä panoksella. Yhteneväinen terminologia helpottaisi ammattihenkilöstön aseteknologiaan perehtymistä, eikä tiedonhausta tulisi turhan raskasta termien käytön ollessa sekavaa.

Termobaariset aseet tuottavat vahinkoa primäärisin, sekundaarisin, tertiäärisin ja kvaternäärisin keinoin. Selkeästi vaarallisimpana ja kauas vaikutteisimpana keinona on primäärinen vaikutus, jossa paineaalto tuottaa vahinkoa aiheuttamalla kehoon valtavia puristusvoimia. Sekundaariset vammat, johon lukeutuu erilaisten sinkoutumien vaikutus, ovat huomattavasti mitättömämpiä, sillä aseiden kuorta ei ole luotu sirpaloitumaan. Tertiääriset vammat tuottavat vahinkoja, sillä ase on luotu muun muassa hajottamaan painevaikutuksen avulla räjähdysten ympärillä olevia rakennelmia, mikä korostuu entisestään kaupunkiympäristössä. Kvaternääriset vammat eivät ulotu yhtä kauas kuin aikaisemmat vammatyypit, mutta termobaarisen aseiden välittömässä läheisyydessä tapahtuva palaminen sekä hapen käyttö on erittäin vaarallista kohteelle. Näin voidaan olettaa, että ase on erittäin tehokas lähietäisyydellä olevia kohteita vastaan, mikä soveltuu erityisesti kaupunkiympäristössä taistelemaan, missä etäisyydet ovat pienempiä kuin metsämaastossa.

Termobaarisen aseiden tehokkuus perustuu painevaikutuksen tehokkaalle hyödyntämiselle. Tuho vaikutus saa lisätehoa, jos räjähdys laukeaa suljetussa tilassa, sillä mitä pienempi tila on kyseessä sitä tehokkaammin paineaalto vaikuttaa kohteeseen. Painerintaman kyky vaikuttaa rakenteellisten esteiden toiselle puolelle sekä välittömässä läheisyydessä tapahtuva palamisreaktio takaavat tuhoalueelle tehokkaan vaikutuksen. Tämän takia kaupunkiolosuhteet sopivat paremmin aseiden tehokkaalle käytölle, sillä räjähdysten kaikkia ominaisuuksia päästään hyödyntämään.

Varomääräykseen mukaan lasketut turvalliset etäisyydet ovat huomattavasti suurempia kuin aseille ilmoitetut tuhoalueet. Tämä on luonnollista, mutta kertoo etteivät aseet ole aivan yhtä turvallisia, mitä mainospuheista aseiden rajattuun tuhovaikutukseen on väitetty. Aseiden turvallisuutta on tarkasteltava enemmän vertailemalla vaara-alueita sirpalevaikutteisiin aseisiin. Lisäksi tutkielmassa käytetty laskumenetelmä, jossa verrataan TNT-ekvivalenttiarvoon räjähteen tehokkuutta muodostaa omat haasteensa. Lisäksi turvallisia etäisyyksiä vertailtaessa tulee huomioida, että murtoräjähdyksessä vaaditaan lähellä olevalta henkilöstöltä huomattavasti enemmän suojarusteita kuin aukealla tapahtuvassa räjäytyksessä, joten tuloksia ei voi suoraan verrata toisiinsa senkään takia.

Jalkaväen käyttämille termobaarisille aseille ei ole kerrottu mitään teräs panssarin läpäisyarvoja eivätkä niiden käyttäjät ole voineet aseella ampua kohdetta, mistä tahansa kulmasta vaan aseiden käyttäjä on joutunut esimerkiksi ampumaan kohteen ikkunan läpi. Aseissa ei ole erikseen mainittua läpäisypanosta ja tällaisen räjähtäminen saattaa häiritä termobaarisen prosessia. Tällöin räjähdde laukeaa kohteen ulkopuolella, jolloin vahingot muodostuvat huomattavasti pienemmiksi, kuin jos räjähdde laukeaisi kohteen sisällä. Näin ollen aseiden tehokas käyttäminen vaatii, jonkin sisäänmeno aukon minkä kautta räjähdde saadaan toimitettua suljettuun tilaan.

Termobaariselta aseelta suojautuminen on hankalaa, mutta eristämällä eri huonetiloja toisistaan, rakentamalla ylipaineventtiilejä eri osiin rakennusta sekä minimoimalla hapen määrä esimerkiksi varastotiloista voidaan vähentää aseiden tuhovaikutusta. Tilan sulkeminen entistä tiiviimmäksi voi kääntyä itseään vastaan, jos vastustaja kykenee toimittamaan räjähteen sisälle kohteeseen.

Mikäli tulevat sodat siirtyvät entistä enemmän kaupunkiympäristöön, on todennäköistä, että termobaaristen aseiden käyttö lisääntyy entisestään niiden tehokkuuden takia eikä niiden käyttöä ole rajoitettu erilaisilla sopimuksilla toisin kuin esimerkiksi ydinaseita. Näin ollen aseteknologiasta olisi syytä ottaa selvää perusteellisemmin, jotta voidaan määrittää luotettavasti millaisen uhka-arvon termobaariset aseet luovat niitä vastaan käytettävälle joukolle.

6.2 Jatkotutkimustarpeet

Tutkimuksessa on noussut esille selkeitä termistöön liittyviä vaikeuksia, joiden yhdenmukaistaminen selkeyttäisi kyseisen aseteknologian käsittelyä Puolustusvoimissa. Lisäksi Suojelun käsikirja on erittäin pahasti jäänyt jälkeen teknologian kehitymisestä ja vaatisi päivittämistä, jotta ammattihenkilöstö pystyisi helpommin perehtymään kyseisen asejärjestelmän muodostamaan uhkaan ja suhteuttamaan oman toimintansa vastaamaan paremmin sitä. Tarkempaa suorituskykyarviointia varten tarvitaan tarkemmat tiedot käytetystä räjähdaineesta sekä tarkemmat laskumenetelmät, sillä perinteinen TNT-ekvivalenttimenetelmä useimmiten aliarvioi suorituskykyä. Vaarallisen etäisyyden määrittämiseen olisi voinut käyttää EOD -raivaamisessa käytettäviä kaavoja määrittäen tappavan etäisyyden turvallisen etäisyyden sijaan. Mahdollinen jatkotutkimusaihe voisi ottaa kantaa vieläkin laajamittaisemmin termobaarisiin aseisiin, sillä nyt käsitellyt jalkaväen aseet ovat voimakkuudeltaan alhaisimpia.

LÄHTEET

- [1] Defencetech. *Marines quiet about brutal new weapon* [viitattu 16.8.2014]
Saatavissa: <http://defensetech.org/2005/11/14/marines-quiet-about-brutal-new-weapon/>
- [2] Michael, N. *A visual model for blast waves and fracture*. Diplomityö. Toronto 1998. Informaatioteknologian laitos. 132 s.
- [3] Global Security: *Thermobaric weapons*. [viitattu 18.7.2014] Saatavissa:
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/thermobaric.htm>
- [4] Global Security: *Explosives*. [viitattu: 28.7.2014] Saatavissa:
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives.htm>
- [5] Valve, H. *Ballistisen suojan vaikutus taistelijan fyysiseen toimintakykyyn*. Tutkielma. 2014. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 31 s.
- [6] Anna E. Wildegger-Gaissmaier: *Aspects of the thermobaric weaponry*. ADF Health, 2004. Vol 4, no. 1, s. 3-6.
- [7] Kristensen H *Non-strategic nuclear weapons* Federation of American Scientists, Special report No 3 2012 s 84
- [8] Ami Dor-On. *The Father of all Bombs*. IHLS [viitattu 15.2.2015] Saatavissa:
<http://i-hls.com/2013/08/the-father-of-all-bombs/>
- [9] BBC. *Russia tests giant fuel-air bomb*. 9.12.2007 [viitattu 13.1.2015] Saatavissa:
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/6990815.stm>
- [10] Wired. *Russian supersized thermobaric*. [viitattu 1.3.2015] Saatavissa:
<http://www.wired.com/2007/09/russian-super-1/#previouspost>
- [11] *Suojelun käsikirja*, Vaasa: Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus, 1996. 215 s. ISBN 951-25-0839-7
- [12] Kukil Bora. *Russian Army to get upgraded flame weapons, will modernize 70% of its arsenal by 2020*. International Business Times". 13.11.2014 [viitattu 2.2.2015]
Saatavissa: <http://www.ibtimes.com/russian-army-get-upgraded-flame-weapons-will-modernize-70-its-arsenal-2020-1722981>
- [13] *Troops of Radiological, Chemical and Biological Defence*. Ministry of Defence of the Russian Federation [viitattu 1.1.2015] Saatavissa:
<http://eng.mil.ru/en/structure/forces/ground/structure/rhbz.htm>
- [14] *A2 harjoitusvahvuudet*, Helsinki, 2004. Ohjesääntönumero 408 TLL V

- [15] Global Security. *Fuel/Air explosive*. [viitattu 12.8.2014]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/fae.htm>.
- [16] Martti Hagfors, *Matkakertomus termobaarisista räjähdysaineista*, Powerpoint esitys. PVTT, Suojan osaamiskeskus.
- [17] IHS Jane's tietokanta. *Splav 300 mm BM 9A52 (12-round) Smerch multiple rocket system*. 23.7.2013 [Viitattu 3.2.2015]
- [18] Kariniemi, A. & Kujala, E. *Termobaariset pommit*. kirjallisuusraportti. Ylöjärvi, 2007. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, Räjähde- ja suojelutekniikkaosasto TLL IV
- [19] Seppänen, R. Kervinen, M. Parkkila, I. Karkela, L. & Meriläinen, P. *MAOL-taulukot 2-3*. painos. Helsinki: Otava, 2006. 166 s. ISBN978-951-1-20607-1
- [20] Heinz Reichenbach, Peter Neuwald & Allen L. Kuhl *Waveforms measured in confined thermobaric explosion*. 37th International Conference Energetic Materials Characterisation and Performance of Advanced Systems Karlsruhe, Germany 30.5.2007.
- [21] *Yleinen ase- ja asejärjestelmäopas*. Vammala: Puolustusvoimien KOulutuksen kehittämiskeskus, 2001. 391 s. ISBN 951-251277-7
- [22] Allen L. Kuhl, John B. Bell, Vincent E. Beckner & Boris Khasainov. *Numerical Simulations of Thermobaric Explosions*. 37th International Conference Energetic Materials Characterisation and Performance of Advanced Systems Karlsruhe, Germany 30.5.2007.
- [23] Bean J. *Enhanced blast weapons and forward medical treatment*. US Army Medical Department Journal, 2004. s. 48-51
- [24] P. M. Locking. *The trouble with TNT equivalence*. Paper 11770. 26th international symposium on ballistics, Miami 2011. s. 25
- [25] Varsinainen varomääräys räjähdysaineiden ja sytytysvälineiden käyttöharjoituksissa, MAAVVAROM D 6.1 - MAAVEHENKOS, HK889. Mikkeli: Maavoimien Esikunnan henkilöstöosasto. 1.2.2015
- [26] Johnson, N. Carpenter, P. Newman, K. Jones, S. Schlegel, E & Gill, R. Elstrodt, R. Brindle, J. Mavica, T. & DeBolt, J. *Evaluation of explosive candidates for a thermobaric M72 LAW shoulder launched weapon*. 39th Annual Gun & Ammunition/Missile & Rocket Conference, Baltimore 13-16.4.2004. 23 s.
- [27] Talley Defence Systems. *SMAW-D NE*. [viitattu 5.2.2015] Saatavissa: <http://www.defensereview.com/stories/talleydefense/Talley%20Defense%20Systems%20SMAW-D%20NE%20Thermobaric%20Weapon%20System.pdf> SMAW NE taistelukärjen paino

- [28] Finlex. *G1 Suomen rakentamismääräyskokoelma* [viitattu 20.2.2015] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/28204-G1su2005.pdf>
- [29] Stankovich V. *AIR BLAST AMMUNITION: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW*, Armaments and Military Technology, No. 84 s 8-9, 24.8.2011
- [30] Kulomaa J. *Syvään taisteluun*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, 2004. 234 s. ISBN 951-25-1552-0
- [31] Grau, L. *Technology and the Second Chechen Campaign: Not all new and not that much*. Foreign Military Studies [viitattu 7.10.2014] Saatavissa: <http://fmso.leavenworth.army.mil/documents/Chechnya.pdf>
- [32] Shipunov, A. Dudka, V. Filimonov, G. & Kirillov, Y. *Sting of the bumblebee*. Military Parade. 1.7.2002 s. 56-59
- [33] Grau, L. *a 'Crushing' Victory: Fuel-Air Explosives and Grozny 2000*. Foreign Military Studies [viitattu 12.10.2014] Saatavissa: <http://fmso.leavenworth.army.mil/documents/fuelair/fuelair.htm>
- [34] KBP. *SHMEL-M*. [viitattu 1.9.2014] Saatavissa: <http://www.kbptula.ru/en/productions/small-arms-guns-grenade-launchers/flame-throwers/rpo-pdm-a-shmel-m>
- [35] KBP. *SHMEL*. [viitattu 1.9.2014] Saatavissa: <http://www.kbptula.ru/en/productions/small-arms-guns-grenade-launchers/flame-throwers/rpo-shmel>
- [36] Talley Defence systems. *Verifying Performance of Thermobaric Materials of Small to Medium Caliber Rocket Warheads*. [viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.dtic.mil/ndia/2003gun/lud.pdf>
- [37] IHS Jane's tietokanta. *Shmel RPO-A infantry rocket flame-thrower series*. [viitattu 20.11.2014]
- [38] Global Security. *XM1060 40mm Thermobaric Grenade*. [viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/m1060.htm>.
- [39] Sputnik International. *Russian army to receive upgraded flame weapons: RChBD troops head*. 13.11.2014 [viitattu 15.1.2015] Saatavissa: <http://sputniknews.com/military/20141113/1014678220.html>
- [40] World Guns. *RPO-A*. [viitattu 5.9.2014] Saatavissa: <http://world.guns.ru/grenade/rus/rpo-a-shmel-e.html>

- [41] IHS Jane's tietokanta. *RG-60TB thermobaric grenade*. [viitattu 4.2.2015]
- [42] *Sotilaan käsikirja 2011*. Helsinki: Maavoimien Esikunnan Henkilöstöosasto, 2011.
- [43] IHS Jane's tietokanta. *SMAW 83 mm shoulder-launched multipurpose assault weapon*. [viitattu 19.1.2015]
- [44] World Guns. Mark 153 (Mk. 153) SMAW rocket launcher (USA). [viitattu 19.1.2015] Saatavissa: <http://world.guns.ru/grenade/usa/mk153-smaw-e.html>
- [45] Future Weapons. *GM-94*. [viitattu 28.2.2015] Saatavissa: <http://future-weapons.org/gm-94/>
- [46] IHS Jane's tietokanta. *9K129 Kornet anti-tank guided-missile system*. [viitattu 20.1.2015]
- [47] KBP. *Kornet-E*. [viitattu 21.2.2015] Saatavissa: <http://www.kbptula.ru/en/productions/antitank-guided-weapon/kornet-e>
- [48] KBP. *Kornet-EM*. [viitattu 21.2.2015] Saatavissa: <http://www.kbptula.ru/en/productions/antitank-guided-weapon/kornet-em/portable-transportable-launcher>
- [49] KBP. *Kornet-EM automatic*. [viitattu 22.2.2015] Saatavissa: <http://www.kbptula.ru/en/productions/antitank-guided-weapon/kornet-em/automatic-launcher-on-carriers>
- [50] IHS Jane's tietokanta. *TBG-7V*. [viitattu 1.3.2015]
- [51] IH's Janes tietokanta. *Bulgarian GTB-7VS*. [viitattu 1.3.2015]
- [52] IHS Jane's tietokanta. *TBG-29V*. [viitattu 2.3.2015]
- [53] World Guns. *RPG-7*. [viitattu 23.1.2015] Saatavissa: <http://world.guns.ru/grenade/rus/rpg-7-e.html>
- [54] Military Today. *TOS-I*. [viitattu 20.2.2015] Saatavissa <http://www.military-today.com/artillery/tos1.htm>
- [55] IHS Jane's tietokanta. *TOS-1A advances Russian firepower*. [viitattu 21.2.2015]
- [56] Global Security. *TOS-1 Buratino 220mm Multiple Rocket Launcher*. [viitattu 25.2.2015]
- [57] Global security. *Russia Tests New Thermobaric Rocket System*. [viitattu 30.2.2015]

- [58] *Linnoittamisopas 1*. Vaasa: Puolustusvoimain Kehittämiskeskus, 2001. 220 s.
ISBN 951-25-1244-0
- [59] Saarelainen, T. *Taistelija 2020 - Tulevaisuuden kärkitaistelija*. Pro Gradu -
tutkielma. 2006. Maasotakoulu. 155 s.
- [60] Valentin Runov. *The Soviet-Afghan War : how a superpower fought and lost /
the Russian General Staff*. Kääntänyt englanniksi Grau, L. & Gress, M. Lawrence : University
Press of Kansas, 2002. 363 s.