Heräte-, aika- ja iskusytytin

Yleisesikuntamajuri K Huuhka

I JOHDANTO

Heräte-, aika- ja iskusytyttimen keskinäinen vertailu suoritetaan tässä lähinnä vaikutuslaskelmien valossa. Tällaisen työjärjestyksen on sanellut sotilaallinen tarkoituksenmukaisuus. Kun näin on ensin luotu paremmuusjärjestys vertailtavien sytytinten kesken, on helpompaa saada konkreettiset perusteet mm taktillisiin ja teollisiin suunnitelmiin.

Vaikutuslaskelmat pyrkivät helposti saamaan hallitsevasti matemaattisen luonteen. Tätä on pyritty seuraavassa välttämään niin pitkälle kuin lähdeviittauksien avulla kyseistä periaatetta voidaan noudattaa. Osaan tutkielmasta ei ole kuitenkaan löytynyt painettua tekstiä, minkä vuoksi on katsottu välttämättömäksi jossain määrin esitellä myös työhön liittyneitä laskelmia asianomaisine kaavoineen.

II SYTYTINTYYPIN VAIKUTUS PINTA-AMMUNNAN TULOKSIIN

A YLEISTÄ

Seuraavassa tullaan suorittamaan tarkastelu lähinnä venäläisten ja ruotsalaisten tutkimustulosten valossa. Omat kokemuksemme rajoittuvat pääasiassa iskusytyttimiin, joten objektiiviset vertailumahdollisuudet kotoisen aineiston perusteella ovat varsin niukat. Lähteistön pääosan muodostavat venäläisen tykistöinsinöörin V V Belousovin 122 mm:n sirpalekranaattia koskevat tutkimukset sekä ruotsalaisten kapteeni C E Grillin ja insinööri W Rosellin aika-, isku- ja herätesytyttimien vertailua käsittelevä kirjoitus Artilleri tidskriftissä n:o 2/1957. Viimeksi mainittu perustuu 105 mm:n kranaateilla suoritettuihin kokeisiin.

Sytytintyyppien keskinäinen vertailu on tarkoituksenmukainen vain sellaisten maalien osalta, jotka periaatteellisesti sopivat kaikille. Täten panssaroidut tai katetuissa poteroissa olevat maalit on ilman muuta jätettävä tarkastelun ulkopuolelle. Kyseeseen tulevat lähinnä suojaton tai avopoteroihin sijoittunut elävä voima, erikseen tässä vielä ns hehtaarimaali ja pistemaali.

Edellä mainittujen maalien haavoittuminen ja tuhoutuminen ovat lähinnä riippuvaisia sirpaleiden jakautumisesta maaleja sisältävään kenttään. Tulos muodostuu näin ollen sirpaloituvan ammuksen energian käyttöhyötysuhteen funktioksi. Mitä suurempi on niiden sirpaleiden määrä, jotka pääsevät leviämään maaleihin, ennenkuin ovat menettäneet läpäisyenergiansa (vähintään 3—42 kpm), sitä suurempi on räjähteen hyötysuhde. Näin ollen sytyttimen tulisi luoda edellytykset ammuksen räjäyttämiselle tietyissä optimipisteissä. Herkkä iskusytytin on tässä tapauksessa mahdollisuuksiltaan rajoitetuin. Se toimii vain esteen kohdattuaan ja räjähtää siinä, avomaastossa siis iskiessään maan pintaan. Jos maasto on hyvin epätasainen, eivät sirpaleet pääse tehollisina ollessaan maahan painautuneisiin maaleihin, joten vain täysosumalla on merkitystä. Sen sijaan sopiva ilmaräjähde mahdollistaa sirpaleiden osumisen epätasaiseen maastoon painautuneeseen tai avopoteroon suojautuneeseen maaliin. Räjähdyspisteen sijoittamiselle toivottuun kohtaan panee kuitenkin muun hajonnan lisäksi omat rajansa aikautusvirhe ja ns rata-aikahajonta, jos kyseessä on aikasytytin. Vaikeudet pienenevät huomattavasti käytettäessä herätesytytintä.

Koska sirpaleet periaatteellisesti muodostavat erilaisia viuhkoja riippuen ennen kaikkea sirpaleiden tulokulmasta ja -nopeudesta sekä räjähteen korkeudesta, on välttämätöntä suorittaa vertailu kaikilla kyseeseen tulevilla ampumaetäisyyksillä. Tällöin tulee samalla hajonnan osuus tulosten muodostamiseen sisällytetyksi tarkastelun puitteisiin.

Elävän kosketuksen säilyttämiseksi todellisuuteen on tässä yhteydessä kiinnitettävä huomiota myös jossain määrin maaston muotoon, laatuun ja peitteistöön sekä niihin käytännön ampumaopillisiin ja taktillisiin olosuhteisiin, joissa eri sytyttimien käytön valintaa joudutaan harkitsemaan.

B KEHITTÄMISTYÖN TÄHÄNASTISISTA TULOKSISTA

1. Historiikkia

Tiedot aikautettujen kranaattien eduista ovat varsin pitkältä ajalta, niiden käyttö taistelukentällä sen sijaan oli vielä II maailmansodankin aikana sangen vähäistä. On ilmeisiä todisteita siitä, ettei aina suinkaan ole ollut kyse taloudellisista esteistä. Esteet ovat pikemminkin koostuneet niistä sangen monista vaikeuksista, joita on ilmaantunut tielle pyrittäessä tarkasti aikautettuun tuleen. Kuten tiedetään, on iskemien saamiseksi maaliin tunnettava häiriötekijöiden vaikutuksia lukuun ottamatta vain sivusuunta, ampumaetäisyys ja sitä vastaava korotus. Ammuksen räjäyttämiseksi ilmassa tarvitaan uusi, sangen suuren määritystarkkuuden vaativa tekijä: lentoaika.

Oikean lentoajan ja sitä tietä räjähdyskorkeuden määrittämisessä piilee paljon vaikeuksia erityisesti kenttäolosuhteissa: tulenjohtajan työ komplisoituu. Kaikkien ponnistelujen jälkeen voi käydä vielä niin, ettei räjähteiden korkeus pysy niissä optimirajoissa, joiden puitteissa aikakranaattien vaikutusaste voidaan laskea suuremmaksi kuin iskukranaattien. Nyttemmin on taistelukentälle astunut uusi teknillinen väline: herätesytytin. Tämän välineen käyttö ei tee ammuntaa yhtään mutkikkaammaksi kuin iskusytyttimenkään käyttö. Ainoastaan taloudelliset tekijät saattavat panna sulun uuden välineen yleistymiselle. Maksaahan herätesytytin eri arvioiden mukaan 5000—15000 mk, kun sen sijaan aikasytyttimen hinta on n 5000 mk ja iskusytyttimen vain 10 % tästä, 500 mk. Ennen syventymistä periaatteellisiin yksityiskohtiin lienee valotettava asiaa käytettävissä jo olevan tutkimusaineiston lopputuloksilla.

2. Venäläisten sytytinkokeiluista

Insinöörieversti, dosentti V V Belousov on 122 mm:n sirpalekranaatin vaikutusta koskevissa tutkimuksissaan pitänyt aikasytytintä parempana kaikilla ampumaetäisyyksillä, joilla tulokulma $\varphi_t \leq 50°$. Hän jopa laskee aikasytyttimen tehon moninkertaiseksi verrattuna iskusytyttimen tehoon. Perusteelliselta vaikuttavassa tutkimuksessa päädytään, vain olennaisimmat mukaan ottaen, seuraaviin johtopäätöksiin.

1) Mitä laaempi on lentorata, sitä edullisempi on aikasytytin verrattuna iskusytyttimeen.

2) Edullisin räjähdekorkeus tulokulmilla 0°—50° on 1 6 m. Luokittelu eri räjähderyhmiin suoritetaan seuraavan taulukon mukaisesti. Taulukossa esiintyvät myös mielenkiintoiset vertailuarvoluvut (j), jotka ilmaisevat sirpalevaikutuksen suhteen edullisimmalla korkeudella saavutettuun.

Räjähdeluokka	Räjähteen korkeus (m)	Vertailuluku j	Huomautus
Nokkari	0	0,06	Nokkari j-luku on sama kuin pinta-räjähteen herkkää sytytintä käytettäessä
Matala	0—9	0,50	
Normaali	9—23	0,90	
Korkea	23—40	0,60	
Ylikorkea	40	—	

3) Pienillä räjähdekorkeuksilla on epäedullinen vaikutus kokonaistulokseen, päinvastoin kuin yleensä luullaan.

4) Aikasytyttimen sirpalevaikutuksen tehokkuus ei sanottavasti riipu tulokulman suuruudesta välillä $0° \leq \varphi_t \leq 50°$, ellei hajonnan vaikutusta oteta huomioon.

5) Yli 50 ° tulokulmilla pyrkii lentoajan hajonta muodostumaan niin suureksi, ettei aikasytytinten käytöllä enää saavuteta toivottuja etuja.

6) Aikasytytin soveltuu parhaiten nimenomaan alaltaan suurien maalien ammuntaan. Syvyyden pitää olla noin neljä aikaammunnan todennäköistä pituuspoikkeamaa.

7) Kimmokeammunnan sirpalevaikutus on ainakin 2—3, jopa joskus 6—8 kertaa edullisempi kuin herkkien iskusytytinten käytöllä saavutettu.

8) 122 mm:n aikakranaatilla on laskettu saatavan pystymaaleihin keskimäärin 5 kertaa paremmat tulokset kuin iskukranaateilla ja maassa makaaviin maaleihin vastaavasti jopa 9 kertaa paremmat tulokset.

9) Edullisin käytännöllinen korkeus on n 16 m, jolloin sirpaleiden jakautuma on ihanteellinen. Eniten tehokkaita sirpaleosumia on tosin saatu 2—6 m matalammilla räjähdyspisteillä, siis 14—10 m, mutta osuman saaneiden maalien lukumäärä on tällöin ollut pienempi kuin edellisessä tapauksessa.

Tutkielman suurin puute lienee kokeessa vallinneiden olosuhteiden soveltumattomuus meikäläisiin puitteisiin. Siinähän on yksipuolisesti tutkittu sirpaleiden tehoa avoimessa maastossa linnoittautumattomaan maaliin. Mainittakoon, että Tykistökoulumme kokeissa on aikakranaattien sirpalevaikutus havaittu n 3 kertaa suuremmaksi kuin herkillä iskusytyttimillä saatu vaikutus.

3. Ruotsalaisten tutkimuksista

a. Yleistä

Ruotsalaiset ovat tutkineet 105 H:n ja 105 K:n ammusten sirpaloitumista ja sirpalevaikutuksia tarkoituksena nimenomaan saada eri sytyttimien väliset vertailusuhteet. Kokeet on suoritettu tyypillisiin kenttätykistön aluemaaleihin, joissa yksityiset miesmaalit ovat joko suojautumattomina tai kaivautuneina. Maalityyppi A sisältää kooltaan 150×150 m alueella 20 tasaisin välein sijoitettua miesmaalia, syöksyjiä, jotka suojautuvat 3 sek:n kuluttua tykistön tulen alkamisesta. Maalityypissä B on 25 miesmaalia ryhmittyneenä 50×50 m suuruiselle alueelle kaivautuneita ja tulittamassa sekä 3 sek:n kuluttua tykistötulen alkamisesta alaspainautuneina kuoppiinsa. Tutkielma sisältää kokeelliset tai lasketut arviot myös metsän ja maan pinnan laadun vaikutuksesta maalien haavoittuvuuteen. Näin monipuolinen tutkimus mahdollistaa eri argumenttien osuuden arvioinnin ja tarjoaa laajemmat mahdollisuudet johtopäätösten tekemiseen kuin yksinomaan avomaastossa suoritetut kokeet (vrt Belousov).

Seuraavassa tutkitaan vain saatuja lopputuloksia, jottei esitys paisuisi tarpeettoman laajaksi. Lähdeaineiston käyttö tarjoaa lukijalle mahdollisuuden syventyä moniin yksityiskohtiin, jotka sinänsä ovat varsin mielenkiintoisia, mutta johtopäätösten tekemisessä sen sijaan vähemmän tärkeitä.

b. Aika- ja iskusytytin toisiinsa verrattuina

Belousov päätyi tutkielmassaan arvioon, että 122 mm:n kranaatin vaikutus alle 50° tulokulmilla nousee keskimäärin 5—9-kertaiseksi korvattaessa herkkä iskusytytin aikasytyttimillä. Vastaavat ruotsalaiset luvut saadaan kuvan 1 perusteella.

Aukealla olevaa suojatonta, pystyssä olevaa maalia aikakranaateilla tulitettaessa saadaan ruotsalaisen tutkielman tulosten perusteella maalityyppiin A n 5—2 kertaa, maalityyppiin B n 3—1 kertaa edullisemmat tulokset kuin herkkiä iskusytyttimiä käytettäessä. Maalin ollessa suojautuneena kasvavat vertailuluvut erittäin suuriksi (kuva 4). Aikasytyttimen ominaisuudet ovat tällöin ylivoimaisesti edullisemmat kaikilla korotuksilla.

Metsässä sen sijaan ovat vaikutusaste-erot varsin pienet. Pienillä korotuksilla aikasytytin on n 2—2 ½ kertaa parempi, suurilla korotuksilla suhde on jo päinvastainen. Vain maalin ollessa suojautuneena säilyy aikasytyttimien paremmuus selvästi korotuksesta ja panoksesta riippumatta (kuva 4).

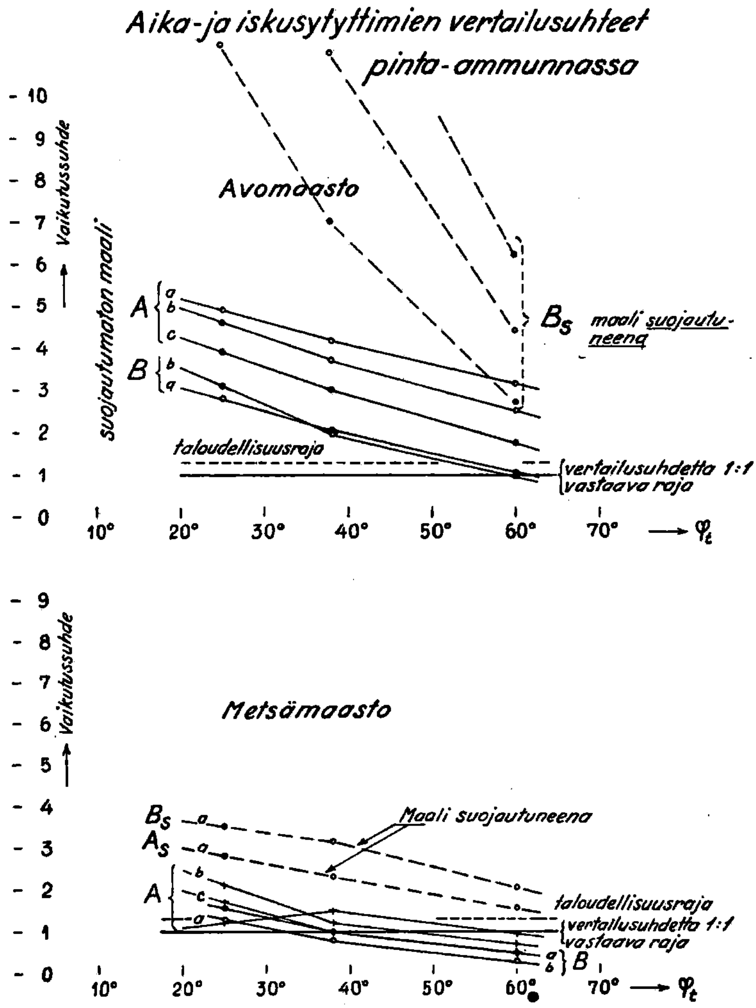
Yhteenvetona todettakoon, että maalin ollessa suojautuneena maastoon tai poteroon aikasytyttimen ylivoima on teoreettisesti laskettuna kiistaton. Erityisesti suo ja syvä lumi sekä epätasainen maasto tekevät iskusytyttimet suhteellisen pienitehoisiksi. Suo vähentää sen noin puoleen, jopa kahdeksanteen osaan, syvä lumi jopa huomattavasti enemmänkin[1]. Elleivät sytyttimet pysty toimimaan lumen pinnassa, niillä on mahdollista toimia tämän jälkeen vasta osuessaan maahan, jolloin sirpalevaikutus pienenee varsin mitättömäksi[2]. Näin ollen aukeat ja paksu lumipeite vaativat ilmaräjähteiden käyttöä.

Ennenaikaisten johtopäätösten välttämiseksi on kuitenkin esitettävä saadut tulokset eräin varauksin: Ruotsalaisten aikasytytinten hajonta on suhteellisen pieni ja tulokset lisäksi edustavat optimiräjähdekorkeuksia vastaavia arvoja. Käytäntö voi osoittaa, ettei näihin ideaaliarvoihin todellisuudessa helposti päästä. Suuri hajonta vaikeuttaa hakuammuntaa, mikä joka tapauksessa on tarpeen, sekä lisää odotetta-

---

[1] Artilleri tidskrift 2/57, sivu 41

[2] Meikäläisissä kokeissa 81 krh:n sirpaleiden tunkeutumiskyky ammuksen räjähtäessä lumen sisässä on todettu < 0,5 m
Tutkimuksia kannattaisi ehdottomasti jatkaa.



Selite:	A	miesmaaleja 20 kpl	150 × 150 m	alueella
	B	-"- 25 -"-	50 × 50 -"-	-"-
	a	105 H	3. p		
	b	105 H	5 - 7. p		
	c	105 K			

Kuva 1

vissa olevien nokkarien määrää tuntuvasti. Liian suuri määrä ylikorkeita räjähteitä aiheuttaa tuntuvan hukkaprosentin, nokkarit taas omaavat saman vaikutuksen kuin pintaiskemät herkkiä iskusytyttimiä käytettäessä.

c. Heräte- ja iskusytytin toisiinsa verrattuina

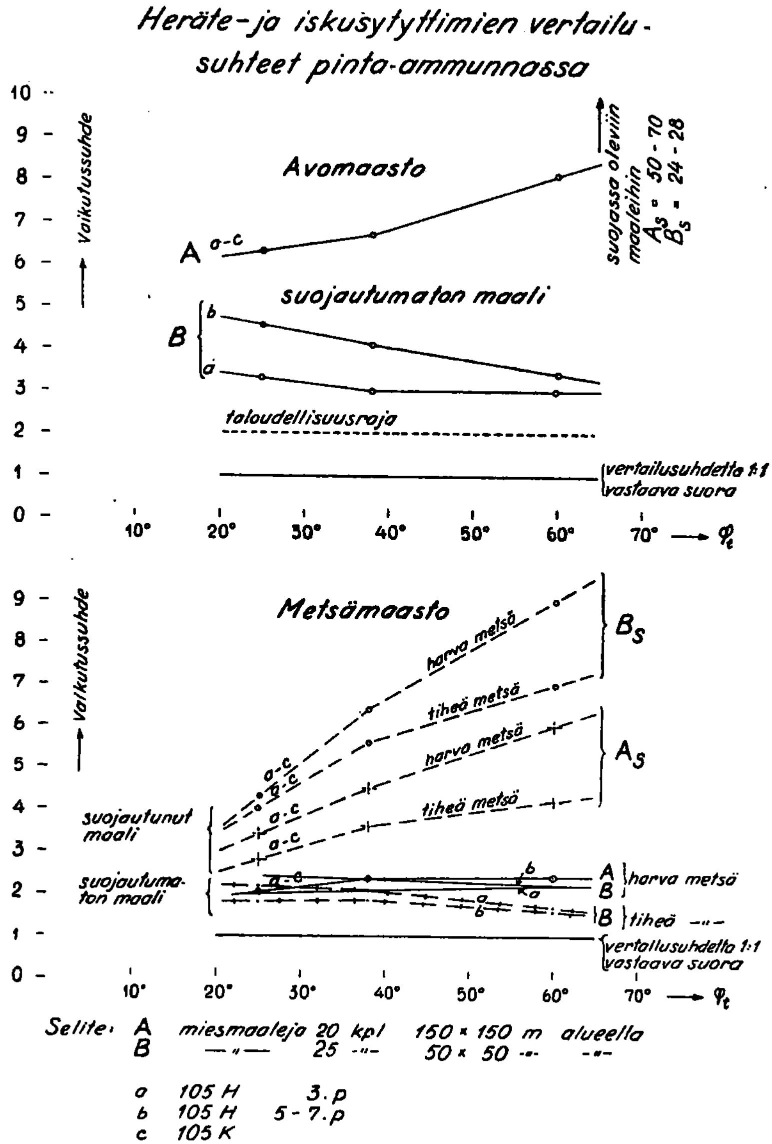
Kuva 2 osoittaa herätesytyttimen iskusytytintä edullisemmaksi kaikissa kyseeseen tulevissa tapauksissa. Vain tiheämetsäisessä maastossa, jossa herätesytyttimet toimivat puunlatvoista saamiensa heijastusten perusteella, iskusytyttimet ovat lähes samaa vaikutusluokkaa kuin herätesytyttimet. Tällöinkin herätesytytinten käytöllä saavutetaan n 2 kertaa paremmat tulokset. Jos pidetään suojautuneita miesmaaleja tavalllisimpina maaleina, mikä on perusteltua, on herätesytytin aina yli 3 kertaa tehokkaampi lukuun ottamatta pienimpiä korotuksia. Erityisesti aukeilla esiintyviin suojautuneisiin maaleihin saadaan herätesytyttimillä 24—70 kertaa paremmat tulokset kuin iskusytyttimillä. Tämä tulos puhuu jo selvää kieltä varsinkin, kun otetaan huomioon, ettei herätesytyttimen käyttö ole sen mutkikkaampaa kuin iskusytyttimenkään. Sen vaikutus ei lisäksi sanottavasti riipu maanpinnan epätasaisuuksista eikä maanlaadusta [1] kuten iskusytyttimen. Vain korkea ja tiheä puusto saattaa heikentää huomattavasti hyötysuhdetta.

d. Heräte- ja aikasytytin toisiinsa verrattuina

Verrattaessa heräte- ja aikasytyttimien vaikutussuhteita kuvan 3 perusteella toisiinsa nähdään varsin havainnollisesti, kuinka räjähteiden korkeushajonta vaikuttaa. Pienillä tulokulmilla herätesytytin on vain 1,2—2,2 kertaa aikasytytintä parempi. Tämä tulos selittyy yksinkertaisesti tutkimalla hajonnan osuutta. Kun tulokulma $\varphi_t \leq 25°$, on herätesytyttimien hajonta huomattavan paljon suurempi kuin samojen sytytinten hajonta suurilla tulokulmilla hajonnan tosin pysyessä varsin pienenä koko tarkastelualueella [2]. Aika-ammunnan korkeushajonta pysyy ruotsalaisten arvion mukaan 25°—30° tulokulmiin saakka

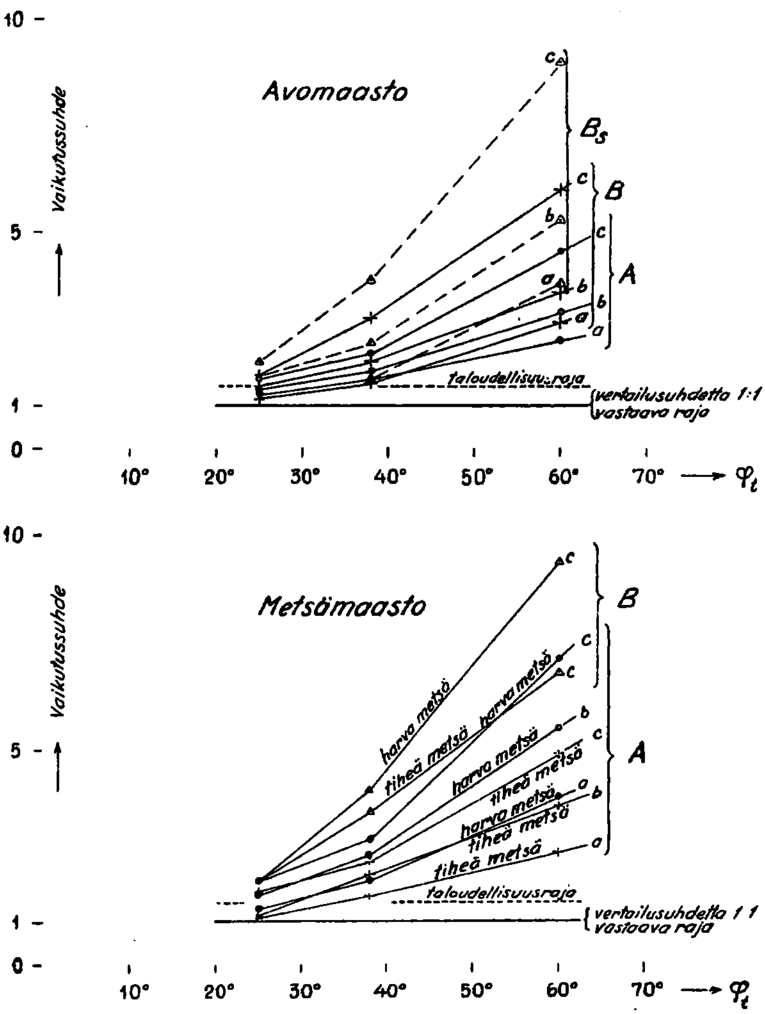
[1] Artilleri tidskrift 2/57, sivut 34—35

[2] Artilleri tidskrift 2/57, sivut 34—35, todennäköinen korkeuspoikkeama $r_s \leq 2{,}2$ m


Heräte-ja iskusytyttimien vertailu-
suhteet pinta-ammunnassa
Avomaasto
Vaikutussuhde
A a-c
suojautumaton maali
B b a
taloudellisuusraja
vertailusuhdetta 1:1
vastaava suora
suojassa oleviin maaleihin
As = 50 - 70
Bs = 24 - 28
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70°
Metsämaasto
harva metsä
tiheä metsä
Bs
As
suojautunut maali
suojautumaton maali
A harva metsä
B
B tiheä
Selite: A miesmaaleja 20 kpl 150 × 150 m alueella
B 25 50 × 50
a 105 H 3. p
b 105 H 5 - 7. p
c 105 K

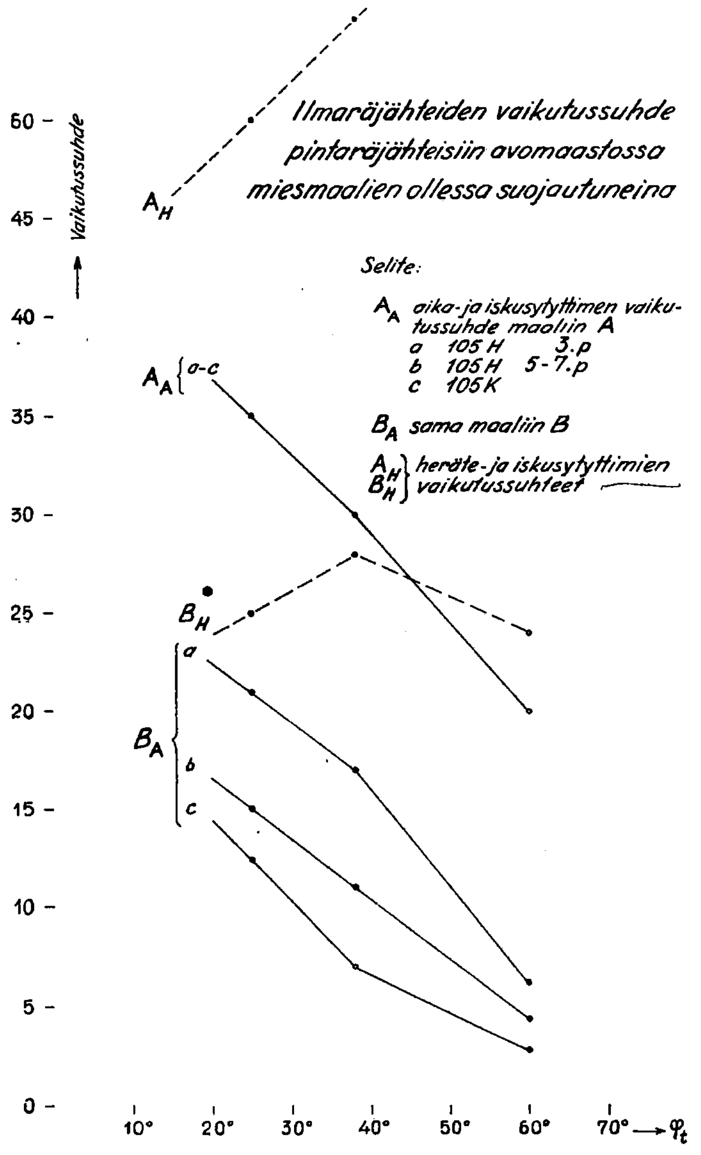
Kuva 2

Heräte- ja aikasytyttimien vertailusuhteet pinta-ammunnassa



Selite: merkinnät samat kuin kuvissa 1 ja 2

Kuva 3


Ilmaräjähteiden vaikutussuhde
pintaräjähteisiin avomaastossa
miesmaalien ollessa suojautuneina
Vaikutussuhde
Selite:
A_A aika- ja iskusytyttimen vaikutussuhde maaliin A
a 105 H 3.p
b 105 H 5-7.p
c 105 K
B_A sama maaliin B
A_H B_H heräte- ja iskusytyttimien vaikutussuhteet
A_H
A_A a-c
B_H
B_A a b c
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
φ_t

Kuva 4

kohtuullisissa rajoissa ollen tosin selvästi suurempi kuin herätesytytinten. Sen sijaan suurilla tulokulmilla aika-ammunnan hajonta kasvaa varsin jyrkästi huolimatta tarkoista sytyttimistä, sillä tällöin ns rata-aikahajonta tulee joka tapauksessa huomattavan suureksi [1].

Kuvaa 3 tarkastelemalla voidaan edelleen todeta, etteivät ulkonaiset olosuhteet, hajontaan vaikuttavia tekijöitä lukuun ottamatta, ole ratkaisevia.

Yhteenvetona todettakoon, että ratkaisevimmin vertailuarvoihin vaikuttava tekijä on hajonta. Merkittävä sivuvaikutus on lisäksi räjähteiden korkeudella (vrt Belousovin tutkielmaan). Jälkimmäinen tosin ei muodostu kovin kriitilliseksi komponentiksi lyhyillä ampumaetäisyyksillä.

C VAIKUTUSTUTKIMUSTEN TEORIAA

1. Yleistä

Edellisessä luvussa II B esitetyssä vaikutusanalyysissa on nojauduttu yksinomaan mainittuihin lähteisiin. Omakohtaisen menetelmän kehittäminen tässä mielessä ei ole ollut välttämätöntäkään. Koska kyseeseen kuitenkin vastaisuudessa saattaa tulla laajakin ilmaräjähteiden vaikutuksen tutkiminen meikäläisissä olosuhteissa, pyritään seuraavassa hahmottelemaan eräitä periaatteita, joiden avulla tätä koskeva kokeilutoiminta saataisiin pysymään taloudellisten mahdollisuuksien rajoissa. Tähän tavoitteeseen pääsemiseen tarjoaa mahdollisuuden teoreettinen analyysi. Vaikkakin empiiriselle tutkimukselle on annettava aina etusija tapauksissa, jolloin se on mahdollinen, pienennetään teoriaa soveltamalla kokeilujen kustannuksia.

Seuraavassa tullaan rajoittumaan yksinomaan ilmaräjähteiden käyttöä koskevan ammunnan vaikutuksen analysoimiseen, koska vain tämä aihepiiri on meillä vähemmän tutkittu osa pinta-ammuntaa [2].

---

[1] Hyvän mekaanisen aikasytyttimen aikautuskeskivirhe on n 0,05—0,08 sek, ammuksen lentoajan keskivirhe 30 sek lentoajalla arviolta suuruusluokkaa 0,10—0,15 sek. Nämä yhdessä antavat keskivirheen 0,11—0,17 sek. Pääesikunnassa suoritettu laskelma eräiden sytytintyyppien osalta osoittaa todellisen kenttähajonnan neliökeskivirheen nousevan 0,2—0,3 sek suuruusluokkaan. Tähän lukuun eivät vielä sisälly ampumataulukoiden laatimisperiaatteen aiheuttamat lentoajan poikkeamat, joista tietenkin on mahdollista päästä laatimalla eri ampumataulukot aika-ammuntaa varten.

[2] T E Kallio: Tykistön massatulen tehon tilastolliset laskemisperusteet tuli-iskuittain arvioituina (Tiede ja Ase n:o 15)

2. Sirpaloitumiskokeista

a. Sirpaleiden jakaantuminen

Ammuskaliipereja 76—122 mm koskevissa Koeampuma-asemalla suoritetuissa räjäytyskokeissa on saatu tulos, joka voidaan tiivistää seuraavaan lauseeseen: Tehokkaiden sirpaleiden tiheys pintayksikköä kohti on ensimmäisen 50 m:n etäisyydellä räjäytyskohdasta kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön. Jo 60 m:n kohdalla tapahtuu tehokkaiden sirpaleiden nopea väheneminen. Tämä on tulkittava niin, että sirpaleiden tehollisen vaikutusetäisyyden suuruusluokka $E_{max} = 50$ m. Siihen saakka sirpaleet säilyttävät riittävän hyvin nopeutensa.

Edelliseen viitaten sirpaletiheys S eri etäisyyksillä E (pallon pinnalla) on laskettavissa yhtälön

$$(1) \qquad S = S_{E_0} \left(\frac{E_0}{E}\right)^2$$

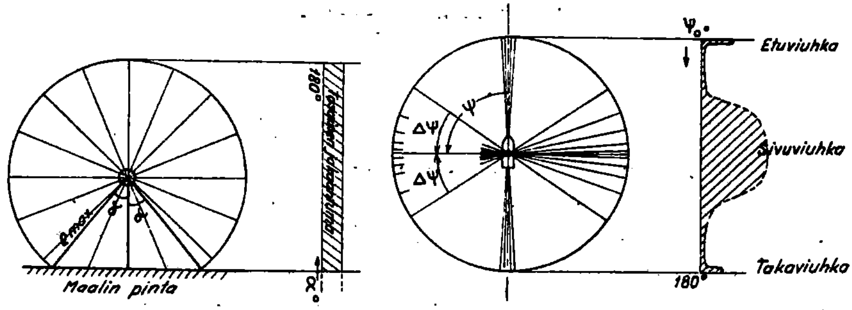
avulla. Tässä S_{E_0} = sirpaletiheys (sirp/m²) vertailuetäisyydellä E_0. Vertailuetäisyydeksi sopii esim 5 m. Olkoon tällä etäisyydellä sirpaletiheys 30 sirp/m². Silloin 50 m:n etäisyydellä sirpaletiheys on 0,3 sirp/m² (kuva 6). Jos sirpaleet iskevät maalialueen pintaan vinosti, on sirpaletiheys

$$(1') \qquad S = S_{E_0} \left(\frac{E_0}{E}\right)^2 \sin \gamma$$

Tässä γ on sirpaleiden tulosuunnan ja maalitason välinen kulma. Sirpaletiheyteen vaikuttaa siis ammuskuoresta syntyvä sirpalemäärä ja etäisyys.

Edellä mainituilla ammuskaliipereilla on tehollisten sirpaleiden kokonaismäärä N suuruusluokkaa 200—3000. Koska suure N on näinkin vaihteleva, se on pyrittävä määrittämään kullekin ammustyypille kokeellisesti. Tämä vaikuttaa mm optimiräjähdekorkeuteen. Mitä suurempi on sirpalemäärä (kaliiperi), sitä suurempi on optimiräjähdekorkeus.

Tavallisimpien ammusten sirpaleiden pääosa hajaantuu symmetrisesti ammuksen pituusakselista poispäin (kuva 5a), ts sirpaletiheyden arvo pituusakselia vastaan kohtisuoraan asetetulla E-säteisellä ympyrän kehällä on vakio. Ammuksen pituusakselin kautta käyvässä



a b

Kuva 5

leikkaustasossa (kuva 5b) sen sijaan sirpaleet hajaantuvat niin, että kulmaa $\pm\ \Delta\ \psi$ alueelle sirpaleita yleensä esiintyy n 80 %, kulma $\psi = 90°$ ja $2\ \Delta\ \psi = 50°$. Nämä numerot on käsitettävä vain eräänlaisiksi keskimääräisarvoiksi tykistön ammuksille.

b. Sirpaleiden nopeus ja suunta

Sirpaleiden nopeus on tärkeä kriteeri suoritettaessa teoreettista vaikutusanalyysia. Niiden lähtönopeus tulisi mitata räjäytyskokeissa. Elleivät näiden tulokset ole käytettävissä, voidaan sirpaleiden nopeuden suuruusluokkaa määrittää venäläisten perusteiden mukaan (Belousov) ns räjähdysainesuhteen ω avulla.

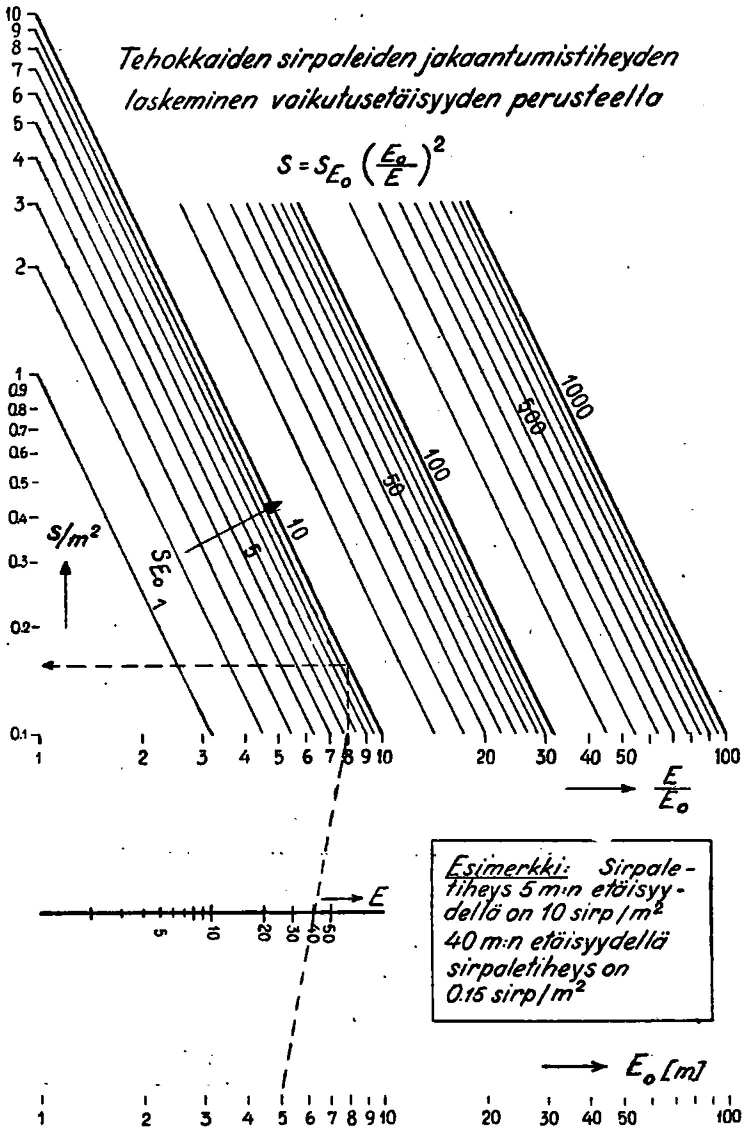
ω	Sirpaleen nopeus (m/s)	ω	Sirpaleen nopeus (m/s)	ω	Sirpaleen nopeus (m/s)
0,02	355	0,10	794	0,18	1066
0,04	502	0,12	870	0,20	1123
0,06	615	0,14	940	0,22	1178
0,08	711	0,16	1005	0,24	1230

(2) $$\omega = \frac{G_a}{G_\omega}$$

G_a = ammuksen paino

$G\ \omega$ = räjähdysainetäytteen paino

ω = pikku omega


Tehokkaiden sirpaleiden jakaantumistiheyden laskeminen vaikutusetäisyyden perusteella
$S = S_{E_o} \left(\frac{E_o}{E}\right)^2$
S/m²
S_{E_o} 1
5
10
50
100
500
1000
$\frac{E}{E_o}$
E
E_o [m]
Esimerkki: Sirpaletiheys 5 m:n etäisyydellä on 10 sirp/m² 40 m:n etäisyydellä sirpaletiheys on 0.15 sirp/m²

Kuva 6

Venäläisten kanuunojen sirpalekranaattien ω on 0,11—0,14 ja haupitsien sirpalemiinakranaattien OF—462 ω = 0,17 ja 0—462-A teräsvalurautaisien ω = 0,14. On huomattava, että räjähdysainetäytteen määrällä on tärkeä asema sirpalekranaatin tehoa arvioitaessa, koska siitä välillisesti riippuu sirpaleiden läpäisyenergia yhtälön

$$E_l = \frac{G_s}{g} \frac{v_s^2}{2} \tag{3}$$

mukaan. Tässä

E_l = läpäisyenergia
G_s = sirpaleen paino
g = kiihtyvyys (9,81 ms^{-2})
v_s = sirpaleen nopeus

Näin ollen ammusteollisuuden pyrkimys yhä ohutseinäisempiin ja siis entistä enemmän räjähdysainetta sisältäviin sirpalekranaatteihin on ilman muuta fysikaalisesti perusteltua.

Jos kuvitellaan sirpaleiden hajaantumiskulma $\Delta \psi$ (kuva 5) nollaksi, on kulma ψ yhtälön

$$\psi = \arctan \frac{v_s}{v_t} \tag{4}$$

mukainen. Sirpaleiden resultanttinopeus v_r saadaan yhtälöstä

$$v_r = \sqrt{v_s^2 + v_t^2} \tag{5}$$

Tässä v_s = sirpaleen nopeus ja v_t = ammuksen ratanopeus.

3. Maaliin osuvien sirpaleiden laskemisesta

a. Yleistä

Sirpaloitumiskokeiden täydellistä hyötykäyttöä ajatellen on tekijän toimeksiannosta johdettu Pääesikunnan ballistisessa toimistossa analyyttiset lausekkeet [1], joilla voidaan laskea sirpaleviuhkan muoto, tehokkaiden sirpaleiden leviämisalue ja maahan tulevien tehokkaiden sirpaleiden lukumäärä. Laskujen suorittamiseksi on tunnettava ammuksen synnyttämien tehokkaiden sirpaleiden kokonaismäärä, sirpaleiden nopeus, ammuksen tulokulma ja tulonopeus sekä räjähdyspisteen kor-

[1] Fil tri Ennolan tutkielma v 1959

keus (kuva 7). Käytännöllisten laskujen helpottamiseksi on lisäksi tunnettava sirpaleiden jakaantumisfunktio (kuva 5) ja rajaetäisyys, jossa pääosa sirpaleista säilyttää läpäisyenergiansa (76—120 mm:n ammuksilla n 50—60 m).

Asian laajuuden vuoksi ei tässä anneta tarkkaa selvitystä menetelmän käyttömahdollisuuksista. Lisäksi tämä puoli asiasta ei ole vielä edistynyt täsmällisten johtopäätösten asteelle. Voidaan vain todeta, että mahdollisuudet teoreettisten vaikutuslaskelmien suorittamiseen ovat todella olemassa. Tämä avaa tien myös suurten taloudellisten rajoitusten alaiselle tutkimus- ja kehittämistyölle.

b. Menetelmän teoriaa

Oletetaan ammuksen, jonka nopeus on v_t ja lentosuunnan maanpinnan kanssa muodostama kulma φ_t, räjähtävän pisteessä R korkeudella z_R = RT. Saakoon jokin sirpale nopeuden v_s lentosuuntaa RB vastaan kohtisuoraan tasossa RAB, joka ROB-tason kanssa muodostaa kulman α. Silloin sirpale lentää tasossa RAB nopeuksien v_s ja v_t resultantin määräämää suoraa RS_0 pitkin. Oletetaan nyt sirpaleiden hajoavan sillä tavoin, että ne kussakin tasossa RAB lentävät vain sektorissa S_1RS_2, jonka aukeamakulma $S_1RS_2 = \psi$ ja puolittajasäteen RS_0 määrää keskimääräisen sirpalenopeuden v_s ja ammuksen nopeuden v_t resultantti v_r. Oletamme lisäksi, että ψ ja v_s ovat kaikissa tasoissa samat. Määritetään aluksi sen alueen rajat, johon sirpaleet maanpinnalla osuvat (kuva 7).

Tarkastellaan mielivaltaista sirpaletta, joka tasossa RAB lentää pitkin suoraa RS. Merkitään $\delta = \wedge$ SRB, jolloin ylläolevan mukaan

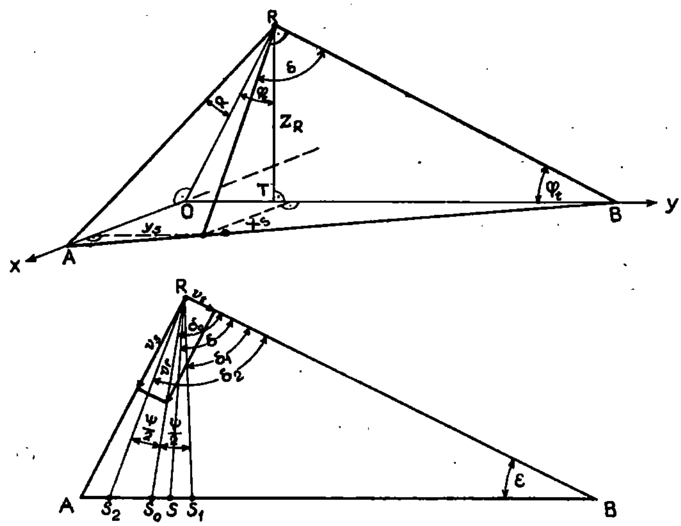
$$\delta_1 \leqq \delta \leqq \delta_2,$$

missä

$$\delta_1 = \arctan \frac{v_s}{v_t} - \frac{\psi}{2}$$

$$\delta_2 = \arctan \frac{v_s}{v_t} + \frac{\psi}{2}$$

Määritetään pisteen S koordinaatit kuvaan 7 piirretyssä xy-koordinaatistossa. Saadaan



Sirpaleviuhkan leviäminen

Kuva 7

$$x_s = \frac{SB}{AB}\ AO = \frac{SB}{RB}\ \frac{RB}{AB}\ AO$$

$$= \frac{\sin\delta}{\sin(\delta+\varepsilon)}\ \cos\varepsilon\ \frac{z_R}{\cos\varphi_t}\ \tan\alpha$$

$$= \frac{z_R}{\cos\varphi_t}\ \tan\alpha\ \frac{\tan\delta}{\tan\delta + \tan\varepsilon}$$

$$y_s = (1 - \frac{SB}{AB})\ OB$$

$$= \frac{z_R}{\sin\varphi_t\ \ \cos\varphi_t}\ \frac{\tan\varepsilon}{\tan\delta + \tan\varepsilon}$$

Kulmien α ja ε välille voidaan helposti johtaa yhteys

$$\tan\varepsilon = \frac{\tan\varphi_t}{\cos\alpha}$$

Sijoittamalla tämä lauseke ϵ:n paikalle ja eliminoimalla α ja jättämällä vielä x:n ja y:n alaindeksit pois saadaan

(6) $$x^2 + y^2 (\sin^2 \varphi_t - \tan^2 \delta - \tan^2 \delta \cos^2 \varphi_t) - 2 z_R \tan \varphi_t y + \frac{z_R^2}{\cos^2 \varphi_t} = 0$$

Käyttämällä lyhenteitä

$$\frac{z_R}{\cos \varphi_t} = a$$

$$1 - \frac{\cos^2 \varphi_t}{\cos^2 \delta} = \frac{1}{k}$$

$$\sin \varphi_t = s$$

voidaan kirjoittaa yhtälö muotoon

(6') $$x^2 + \frac{1}{k} (y\text{-}ksa)^2 = a^2 (ks^2 - 1)$$

Tämä yhtälö antaa siis niiden sirpaleiden maahantulopisteiden uran, joiden lentosuunta jokaisessa tasossa RAB muodostaa vakinaisen suuruisen kulman δ säteen RB kanssa. Ko ura on ellipsi, paraabeli tai hyperbeli sen mukaan, onko

$$\delta < \varphi_t, \ \delta = \varphi_t \text{ vai } \delta > \varphi_t$$

Yhtäsuuruustapauksessa $k = \infty$ ja uraparaabelin yhtälö on

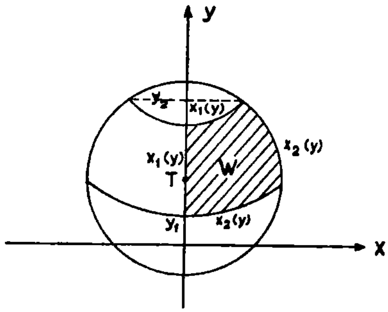
(7) $$x^2 = 2sa \left(y - \frac{a}{2s}\right)$$

Jos $\varphi_t = 90\,°$, jolloin $k = 1$, todetaan yksinkertaisella raja-arvotarkastelulla, että urana on ympyrä, jonka keskipisteenä on piste T ja säteenä $z_R \tan \delta$, kuten geometrisesti on ilman muuta selvää. Seuraavassa voidaan sulkea tämä erikoistapaus pois, koska tarkastelu tässä tapauksessa olisi hyvin yksinkertainen.

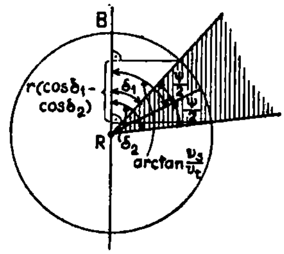
Valitsemalla $\delta = \delta_1$ ja $\delta = \delta_2$ saadaan nyt sirpaleiden maahantuloalueen rajakäyrät.

Maanpinnan pisteen (x, y) ja pisteen R etäisyyden neliö on

(8) $$E^2 = x^2 + (y\text{-}sa)^2 + a^2 (1\text{-}s^2)$$



Sirpaleviuhkan leviämisalue
Kuva 8



Sirpaleiden jakaantuminen
Kuva 9

Tästä saadaan sijoittamalla x^2:n arvo yhtälöstä (6') ja sieventämällä

$$E = \frac{\cos \varphi_t}{\cos \delta} y$$

koska y ja cos δ ilmeisesti ovat samanmerkkiset. Niiden pisteiden ura, joilla tämä etäisyys on vakio ($= E_0$), on tietenkin ympyrä

(9) $x^2 + (y\text{-}sa)^2 = E_0^2 - a^2 (1\text{-}s^2)$

eli

(9') $x^2 + (y\text{-}z_R \tan \varphi_t)^2 = E_0^2 - z_R^2$

Teholliset sirpaleet määrää rajoittava ehto $E \leqq E_{max}$, missä E_{max} on käytännössä n 50 m. Ne osuvat silloin kuvassa 8 viivoitettuun ja w:llä merkittyyn alueeseen ja sen kanssa y-akselin suhteen symmetriseen alueeseen. Olkoot W:n rajakäyrät (yleensä useammasta kartioleikkauksen kaaresta kokoonpannut) $x = x_1 (y)$ ja $x = x_2 (y)$ sekä äärimmäiset kyseeseen tulevat y:n arvot y_1 ja y_2.

Oletetaan nyt, että differentiaaliselle pinnalle dW, jonka etäisyys R:stä on E ja sirpaleen tulosäteen kanssa muodostama kulma on γ, osuu

(10) $\frac{c}{E^2} \sin \gamma \, dW$

sirpaletta. Tällöin voidaan aluksi laskea lähtevien sirpaleiden kokonaismäärä. Alussa tehdyn olettamuksen nojalla kaikki sirpaleet lentävät avaruuden osassa, joka syntyy kuvassa 9 viivoitetun sektorin pyörähtäessä kuvaan piirretyn akselin (= suora RB) ympäri. Tämä avaruuden osa leikkaa r-säteisestä pallosta vyöhykkeen, jonka pinta-ala on.

$$2\pi\, r^2 (\cos \delta_1 - \cos \delta_2)$$

Näin ollen (10):n nojalla sirpaleiden kokonaismäärä on

$$(11) \quad 2\pi (\cos \delta_1 - \cos \delta_2) c$$

Tehollisten sirpaleiden lukumäärä voidaan kirjoittaa pintaintegraalina

$$I = 2 \int_W \frac{c}{E^2} \sin \gamma \, dW$$

Koska $\sin \gamma = \frac{z_R}{E}$, saadaan (8):n nojalla

$$I = 2 z_R c \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} [x^2 + (y - z_R \tan \varphi_t)^2 + z_R^2]^{-\frac{3}{2}} \, dy \, dx$$

Tässä integrointi x:n suhteen voidaan helposti suorittaa esim sijoituksella

$$\frac{1}{u} = x^2 + (y - z_R \tan \varphi_t)^2 + z_R^2$$

jolloin saadaan

$$(12) \quad I = 2 z_R c \int_{y_1}^{y_2} \frac{1}{(y - z_R \tan \varphi_t)^2 + z_R^2} \left[\Big/_{x_1(y)}^{x_2(y)} \frac{x}{\sqrt{x^2 + (y - z_R \tan \varphi_t)^2 + z_R^2}} - \right] dy$$

Integraali (12) voidaan palauttaa muotoa

$$(13) \quad \bar{I} = \int_{y_3}^{y_4} \frac{1}{(y - z_R \tan \varphi_t)^2 + z_R^2} \frac{x(y)}{\sqrt{(x(y))^2 + (y - z_R \tan \varphi_t)^2 + z_R^2}} \, dy$$

oleviin integraaleihin, missä $x = x(y)$ on käyrän (6) tai (8) kaari (tai y-akseli, jolloin tietenkin $\bar{I} = 0$). Nämä integraalit voidaan laskea määrittämällä integraalifunktio. Jos on kyseessä ympyrä (8), saadaan käyttämällä integraalin laskemiseksi sijoitusta

$$y\text{-}z_R \tan \varphi_t = E_0^2 - z_R^2 \frac{1 - t^2}{1 + t^2}$$

$$(14) \quad \bar{I} = \int_{y_3}^{y_4} \frac{1}{E_0} \arctan \frac{\sqrt{E_0^2\text{-}z_R^2 - (y\text{-}z_R \tan \varphi_t)^2}}{y\text{-}z_R \tan \varphi_t}$$

$$- \frac{1}{z_R} \arctan \frac{z_R}{E_0} \frac{\sqrt{E_0^2\text{-}z_R^2 - (y\text{-}z_R \tan \varphi_t)^2}}{y\text{-}z_R \tan \varphi_t}$$

Jos taas on kysymyksessä käyrä (6) eli ellipsi, paraabeli tai hyperbeli, saadaan

$$(15) \quad \bar{I} = \int_{y_3}^{y_4} \frac{\cos \delta}{z_R} \arctan \frac{\sqrt{\left(\frac{\cos^2 \varphi_t}{\cos^2 \delta} - 1\right) y^2 + 2 z_R \tan \varphi_t \, y - \frac{z_R^2}{\cos^2 \varphi_t}}}{\sin \varphi_t \cos \varphi_t \, y - z_R}$$

$$- \frac{1}{z_R} \arctan \frac{\cos \varphi_t \cos \delta \sqrt{\left(\frac{\cos^2 \varphi_t}{\cos^2 \delta} - 1\right) y^2 + 2 z_R \tan \varphi_t \, y - \frac{z_R^2}{\cos^2 \varphi_t}}}{\sin \varphi_t \cos \varphi_t \, y - z_R}$$

Tähän tulokseen päästään ottamalla huomioon, että (13):n nimittäjässä oleva neliöjuuri on $E = \frac{\cos \varphi_t}{\cos \delta} y$, sen jälkeen esim hajoittamalla nimittäjä kompleksisiin osamurtolukuihin sekä käyttämällä integroinnissa kaavaa

$$\int \frac{\sqrt{ax^2 + bx + c}}{x} dx = \sqrt{} + \frac{b}{2} \int \frac{dx}{\sqrt{}} + c \int \frac{dx}{x\sqrt{}}$$

Huomattakoon vielä, että molemmissa $\bar{I}$:n lausekkeissa esiintyvä neliöjuuri on $x = x(y)$.

Tehdyt olettamukset olivat seuraavat:

1) Sirpaleet lentävät vain tietyssä kahden kartiopinnan rajoittamassa avaruuden osassa.

2) Tässä avaruuden osassa sijaitsevalle differentiaaliselle pinnalle osuvien sirpaleiden määrä saadaan lausekkeesta (10).
3) Teholliset sirpaleet määrää ehto $E \leq E_{max}$

Jos tunnetaan suureet z_B, φ_t, $\frac{v_s}{v_t}$, ja E_{max}, voidaan näillä olettamuksilla määrittää

1) alue, johon tehollisesti sirpaleet osuvat, ja sen pinta-ala;
2) kuinka suuri osa sirpaleiden kokonaismäärästä osuu tälle alueelle;
3) miten sirpaleet jakautuvat ko alueelle ja
4) montako sirpaletta ko alueelle osuu, mikäli lisäksi tunnetaan sirpaleiden kokonaismäärä (tai vakio c).

c. Tulen vaikutuksen laskeminen

Tulen vaikutus voidaan laskea, kun tunnetaan maalin koko ja sijainti, keskipisteen sijainti, sivu-, korkeus- ja pituushajonta sekä edellä kohdassa b esitetyllä tavalla laskettu sirpaleiden jakaantuma tulokulman, tulonopeuden ja räjähteen korkeuden eli nostokorkeuden funktiona. Sirpaleiden jakaantumasta on näillä perusteilla käytännöllistä laatia nomogrammit, joista voidaan lukea tehollisten sirpaleiden kokonaismäärä ja tiheys (kuva 6) maalialueella. Kun toisaalta hajonta tunnetaan, voidaan laskea mm tuli-iskun kokonaisvaikutus maaliin.[1]

---

[1] C Granz: Lehrbuch der Ballistik, ss 425—457. Todennäköisyys osua tiettyyn korkeudeltaan rajoitettuun kaistaan on

$$P_s = \frac{h_s}{\sqrt{\pi}} \int_{d_s - z_0}^{d_s + z_0} e^{-h_s^2 z^2} \, dz$$

Tässä

$\left.\begin{matrix} d_s - z_0 \\ d_s + z_0 \end{matrix}\right\}$ esim normaaleina pidettävä räjähteen korkeuden rajat ovat $-z_0$ ja $+z_0$ ja d_s keskiarvon poikkeama maalipisteen korkeudesta (esim 16 m)

$$h_s = \frac{0{,}954}{2\, r_s}$$

r_s = todennäköinen korkeuspoikkeama (m)

Esim. Jos tältä kaistalta tulee maaliin sirpalenomogrammin mukaan tehollisia sirpaleita esim 100 kpl laukausta kohti ja laskettu P_s-arvo on 0,2 ja koko ammuttu laukausmäärä on 100, tulee maalialueelle tältä kaistalta yhteensä 2000 sirpaletta. Jos vielä todetaan, että sirpalejakautuma maalialueelle on tasainen ja maalin haavoittuvan osan pinta-ala on 5 ‰ maalialueesta, on maaleihin osuvien sirpaleiden määrä yhteensä 10 sirpaletta. Jos miesmaaleja on 50, merkitsee ko sirpaleluku n 20 % keskimääräisiä tappioita, jotka saadaan korkeudella $(d_s - z_o) \rightarrow (d_s + z_o)$ räjähtävillä kranaateilla.

III SYTYTINTYYPIN VAIKUTUS ILMA-AMMUNNAN TULOKSIIN

A YLEISTÄ

Edellä on luotu katsaus sytytintyyppien osuuteen pinta-ammunnassa lukuisien pienten ja herkästi haavoittuvien maalien ollessa ryhmittyneenä laajaan kenttään. Ilma-ammunta tuo tarkastelun piiriin tavallisimmin yhden pienen maalin, jonka arimmat osat ovat suojatut heikon energian omaavilta luodeilta ja sirpaleilta. Lisäksi nopean maalin liikkeen ollessa mahdollinen kolmiulotteisessa koordinaatistossa tulee eteen uusia pulmia, jotka vaativat tietyllä tavalla erilaista käsittelysystematiikkaa kuin paikallaan pysyvä pintamaali.

Käytettävissä ollutta aineistoa, niin laaja kuin se tavallaan onkin, leimaa tietynlainen yksipuolisuus. Runsaan kokemusmateriaalin omaavat maat eivät ole julkaisseet riittävän yksityiskohtaisia numerotietoja. Aiheen tarkastelu liikkuu näin ollen useimmiten varsin hypoteettisilla perusteilla, mm tohtori H Brändlin kirjassaan "Theorie des Mehrfach-Schusses" esittämä teoria. Mikäli taas numerotietoja on saatu, ei niissä ole mainittu tarkkoja laskuperusteita, minkä vuoksi lähteiden autenttisuus jättää toivomisen varaa. Näin on myös asia varsin tärkeiksi lähteiksi muodostuneiden ruotsalaisten julkaisujen kohdalta.

On pidettävä verrattain suurina vaikeuksina laskea erilaisten ammusten yhdistetty paine-, sirpale- ja polttovaikutus tiettyihin tyypillisiin maaleihin näiden ollessa olosuhteiden, mm hajonnan ja maalin asennon muutoksista johtuvien vaihtelujen alaisina. Matemaattiset menetelmät eivät ole vaikeuksien syynä, koska useitakin käyttökelpoisia on olemassa. Pääasiallisimmat vaikeudet syntyvät pyrittäessä hakemaan numeroarvoja eräille teknillisille suureille.

Jos kyseessä on esim isku- ja aikasytyttimen keskinäinen vertailu, tulee eteen vyyhti komplisoituja parametreja, joiden keskuuteen ei saada järjestystä tuntematta maaliksi kuvitellun tyypin sirpaleenkestävyyden ja täysosuman vaikutuksen välistä suhdetta, vaikka mm hajonnan arvot näissä kahdessa tapauksessa tunnetaankin. Jotta tarjoutuisi mahdollisuus todennäköisyyslaskennan avulla määrittää näiden kahden eriluonteisen ilmiön osuus maalin vaurioittamisessa, olisi esim jokseenkin tarkoin tunnettava toisaalta maalin projektio lentorataa vastaan kohtisuorassa tasossa, toisaalta se maalissa ja maalin ympärillä oleva tila, jossa räjähtäneen aikakranaatin katsotaan keskimäärin tuottavan saman tuloksen kuin maaliin iskevän herkkäsytytteisen kranaatin. Varsin helposti kylläkin käy laskeminen, kuinka suuri osuus aikasekä toisaalta iskukranaatilla on toisiinsa vertailukelpoisten täysosumien saannissa. Sen sijaan aikakranaattien lisävaikutustekijän laskemiseksi olisi tunnettava sirpaleosumien ja täysosuman keskinäinen vaikutussuhde. Sirpaloituvan ammuksen maaliin suuntautuvien sirpaleiden määrä on tietysti mahdollista laskea, mutta tämä ei yksin riitä mainittua suhdetta määritettäessä, koska paine- ja sirpalevaikutusten yhdistettyjen tuhoamisenergiain suhde jää epäselväksi, joskin eräitä tietoja kyseisestä suhteesta on olemassa [1].

Verrattaessa herätesytytteisiä kranaatteja iskusytytteisiin ollaan edellä jo mainittujen pulmien edessä. Sen sijaan meräte- ja aikasytyttimen vertailu sisältää mahdollisuuden käyttää tuntemattomia parametreja, jotka molemmille voidaan suurella tarkkuudella otaksua samalla tavalla lopputuloksiin vaikuttaviksi.

Seuraavan tutkielman osan tarkoituksena on lähempi syventyminen jo mainittuihin pulmakysymyksiin.

---

1 Missile Enginneering Handbook IV, sivu 554: Painevaikutus verrannollinen ammuksen painon kuutiojuureen, sirpalevaikutus ammuksen painon neliöjuureen.

B TÄHÄNASTISTEN TUTKIMUSTÖIDEN TULOKSISTA

1. Historiikkia

Erityisesti Tyynen meren sotatoimissa II maailmansodan aikana oli pakko orientoitua uudelleen ilmatorjuntatulen vaikutuksen arvioinnissa. Aiheen antoivat tappioita kaihtamattomat japanilaiset samurailentäjät. Samanlaisia kokemuksia saatiin II maailmansodan muillakin tärkeimmillä ilmasodan rintamilla, erityisesti puolustettaessa Englantia V-aseiden hyökkäyksiltä. Moraalisen vaikutuksen varaan ei voitu rakentaa ennakolta arvioitua määrää, eivätkä pienet tappioprosentit pystyneet tukahduttamaan lentohyökkäyksiä. Nämä tosiasiat olivat havaittavissa jo II maailmansodan alussa, jolloin intensiivinen herätesytyttimen kehittämistyö lienee pantu vireille. Herätesytyttimet (Proximity-Fuze) olivatkin jo eräillä tahoilla käytössä II maailmansodassa, nimittäin USA:n laivastossa ja Englannissa. Kokemukset olivat tiettävästi erittäin positiiviset ja antoivat viriä pyrkimyksille soveltaa kyseiset sytyttimet käyttöön muillakin taistelutoiminnan aloilla.

2. Sveitsiläisten tutkimustulosten arviointia

Tohtori H Brändli on jo edellä mainitussa kirjassaan ss 26—60 tutkinut teoreettisesti eri sytytinten vaikutussuhteita. Puuttumatta lähemmin menetelmän periaatteellisiin yksityiskohtiin todettakoon, että tutkielma on laajennettu käsittämään maalin haavoittuvuuden, pinta-alan, hajonnan ja systemaattisen virheen (Zielfehler) vaikutukset lopputuloksiin. Puuttumatta myöskään tulosten laskennassa tehtyihin moniin yksinkertaistaviin olettamuksiin mainittakoon kuitenkin, että varsin tärkeänä pidettävä perussuure, maalin haavoittuva tilavuus (Verletzlichkeitkugel) tai pinta-ala, on täysin arvion varaan jäänyt suure. Ammuksen paine- ja sytytysvaikutus eivät myöskään ole saaneet sijaa laskelmissa. Tämä heikentää perustaa esim heräte- ja iskusytyttimen vaikutussuhteen kvantitatiiviselta määrittämiseltä. Sen sijaan heräte- ja aikasytyttimen vertailu vaikuttaa jokseenkin vakuuttavalta. Mainitun tutkielman voidaan katsoa päätyneen seuraaviin tuloksiin.

1) Herätesytytin on optimitapauksessa 1 0 k e r t a a tehokkaampi aikasytytintä sirpaleiden suotuisan jakautumisen ansiosta. Erään eurooppalaisen suurvallan koetulokset antoivat vaikutussuhteeksi 8: 1, mikä on jo lähellä teoreettisesti saatua arviota. Amerikkalaisten antamat tiedot vastaavat myös tätä arviota varsin laajalla sektorilla [1].

2) Herätesytytin on iskusytyttimeen verraten ainakin 2—3 kertaa tehokkaampi, mikä johtuu lähinnä sirpaleviuhkan maalin fiktiivistä osumapinta-alaa suurentavasta vaikutuksesta. Mainittu suhdeluku pätee lähinnä suuria, sirpaleita kestäviä maaleja ammuttaessa. Muissa tapauksissa se on huomattavasti edullisempi herätesytyttimelle.

3) Aikasytytin on tapauksessa, jolloin maalin sirpaleenkestävyys ja pinta-ala ovat huomattavan suuret, epäedullisempi kuin iskusytytin. Saksalaisten lentävien linnoitusten ammunnassa saamat tulokset ovat olleet iskusytyttimiä käytettäessä 3—4 kertaa paremmat kuin aikasytyttimiä käytettäessä [2]. Brändli laskee isku- ja aikasytyttimen olevan yhtä hyviä tapauksessa, jolloin maalin pinta-ala on n 16 m² ja sen haavoittuvan osan ala 1,6 dm² (Kuva 10). Jos näiden alojen suhde, joka tässä on 1000, suurenee, tulee aikasytytin olemaan iskusytytintä epäedullisempi.

Tästä tehdään johtopäätös, ettei sirpaleosumilla käytännössä ole varsinaista merkitystä ns lentäviä linnoituksia tuhottaessa, mikäli saksalaisten sotakokemukset ovat yleistettävissä. Tilanne on siis sekä aikaettä herätesytyttimelle tässä tapauksessa kriitillinen. Johtopäätös on tietenkin sikäli yksipuolinen, ettei laskelmissa ole otettu huomioon niitä kieltämättä varsin merkittäviä vaurioita, joita heräte- ja aikakranaattien sirpaleilla on mahdollista saada lentokalustolle ja lentokoneen henkilöstölle. Samaten tilanne muuttuu kokonaan, kun maalina on panssaroimaton tai muuten herkästi vaurioituva tai syttyvä pienehkö lentokone, kuten helikopteri, tiedustelukone, tykistön tulenjohtokone jne.

[1] Vannever Bush: Modern Arms und Free Men (Simon and Schuster, New York, 1949)

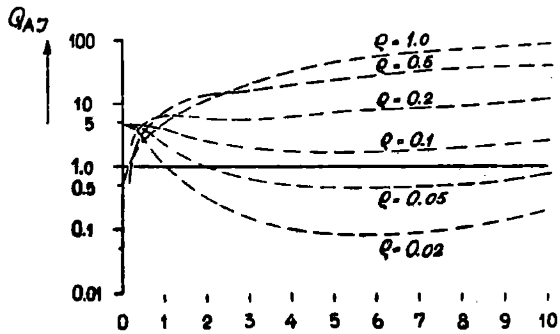
[2] Tarkoittanee täysosumien ja sirpaleosumien välistä vaikutussuhdetta.

Aika- ja iskusytyttimen vertailusuhde ilma-ammunnassa Brändlin mukaan

Maalin pinta-ala 16 m²
Sirpalekartion avauskulma 36°

$$Q_{AJ} = \frac{16}{\varrho_m^2 \pi}$$

ϱ_n = *maalin haavoittuvan osan säde*



Kuva 10

Yhteenvetona Brändlin tutkimuksista voidaan todeta, että herätesytytin on ilma-ammunnassa muita tehokkaampi, jopa siinä määrin, että voidaan päätellä sen käytön olevan myös taloudellisesti perusteltua. Sen sijaan isku- ja aikasytyttimen paremmuus kytkeytyy monimutkaisella tavalla maalin kokoon ja haavoittuvuuteen estäen täysin kestäville perusteille rakentuvan suotuisummuusarvion.

Teoria ja sodan antama kokemus yhdessä puhuvat varsin selvää kieltä eräistä aiheeseen kuuluvista asiakokonaisuuksista. Voidaan jopa Brändlin esittämistä hypoteeseista huolimatta pitää varmana, että herätesytyttimen ylivoima ilma-ammunnassa muihin sytyttimiin verrattuna on selviö. Koska kuitenkin periaatteellista mielenkiintoa on myös niiden komponenttien tutkimisella, jotka tekevät lopputulokset ja niihin vaikuttavat lait ymmärrettäviksi, lienee perusteltua jatkaa aiheen käsittelyä.

3. Ruotsalaisten tutkimustulosten arviointia

Arvokkainta aineistoa ruotsalaisen Jenzénin julkaisemassa tutkielmassa on ilmeisesti ainakin osittain kokemusperäinen arvio eräiden asekaliiperien vaikutusetäisyyksistä.

Valitettavasti lähteistä ei käy riittävän selvästi ilmi, tarkoittavatko tuhoavan vaikutuksen prosenttiluvut alasampumistodennäköisyyttä kyseisen säteisen pallon sisällä yleensä, vaiko räjähteiden edullisimmissa suunnissa. Otaksua voidaan, että kyseisillä säteillä on haluttu määrittää juuri tuo ns vaikutuspallon säde. Fil maist K J Malmborg on suorittanut laskelmat näillä perusteilla päätyen tuloksiin, että kaikkien tehollisten räjähteiden paine- ja sirpalevaikutus mukaan luettuna vaikutuspallon likimääräinen fiktiivinen säde on eri kaliipereilla seuraavan taulukon mukainen.

Kal (mm)	Säde (m)
76	11
88	13,5
105	17
122	20

Tällä perusteella voidaan mm laskea, että herätesytyttimiä käyttäen tulee vaikutusympyrän pinta-ala A_H esim 88 mm:n ammuksella olemaan 572 m². Kun toisaalta maaleja analysoimalla on saatu niiden lentorataa vastaan kohtisuoralla tasolla olevien projektioiden pinta-aloiksi luku, joka yleensä on pienempi kuin 100 m², on tämän perusteella arvioiden herätesytyttimen eduksi koituva ns pintasuhde yleensä suurempi kuin 5,72. Näin ollen vaikuttavien laukausten lukumäärä herätesytyttimiä käytettäessä on monin kerroin suurempi kuin iskusytyttimiä käytettäessä.

Heräte- ja aikasytyttimien vaikutussuhteen tarkasteltavan ammuksen osalta määrää lähinnä todennäköisyys, millä ammus kummassakin tapauksessa räjähtää vaikutusetäisyyden päässä maalista. Ottaen huomioon vertailtavien sytytinten varsin erilaisen ammuksen radansuuntaisen hajonnan, voidaan jo otaksua vertailusuhteen tietyin edellytyksin tulevan hyvinkin suureksi. Mainittakoon tässä vain Malmborgin tekemien laskelmien hyvin sopivan yhteen ulkomaisista lähteistä poimittujen kokemusperäisten tietojen kanssa[1]. Tämä merkitsee, ettei edellä esitetty erikaliiperisten ammusten vaikutuspallon säde ilmeisesti ainakaan suuruusluokaltaan ole virheellinen. Tämä toteamus avaa mahdollisuuden luvussa C suoritetuille vaikutuslaskelmille.

C VAIKUTUSTUTKIMUSTEN TEORIAA

1. Yleistä

Luvussa III B on esitetty eräitä arviointeja ja esimerkkejä suorittamalla vain viittaus lähteisiin tai periaatteisiin, joihin tehdyt johtopäätökset nojaavat. Oletettavasti on näiden perusteella kuitenkin varsin vaikeata muodostaa kokonaiskuvaa työn suoritustavasta.

Yhtä hankalaa on aukottoman käsityksen muodostaminen vaikutussuhteen olosuhteiden mukaisista vaihteluista. Siksi lienee paikallaan esittää lyhyt katsaus niihin todennäköisyysopin menetelmiin, jotka ovat antaneet perusteet omiin johtopäätöksiin.

2. Ilma-ammunnasta

a. Osumatodennäköisyys

Ilma-ammunnan kolmiulotteisen luonteen vuoksi on laskelmissa lähdetty todennäköisyysarvosta

(16)
$$P = \frac{h_x h_y h_z}{\pi\sqrt{\pi}} \int_{d_x - x_0}^{d_x + x_0} \int_{d_y - y_0}^{d_y + y_0} \int_{d_z - z_0}^{d_z + z_0} \exp\left(-h_x^2 x^2 - h_y^2 y^2 - h_z^2 z^2\right) dx\, dy\, dz$$

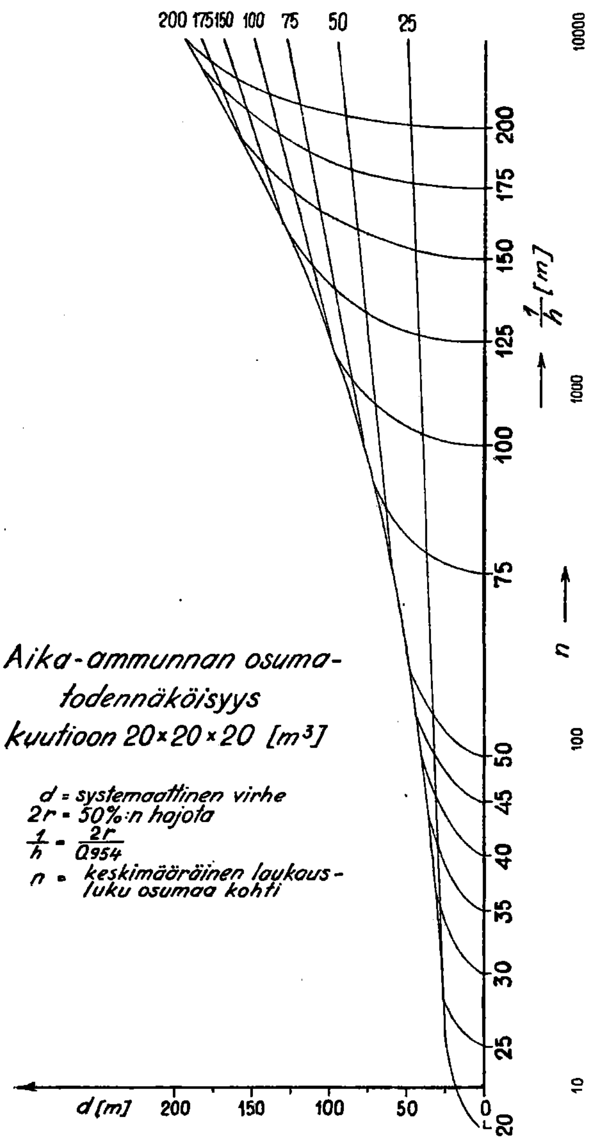
Tässä P = osumatodennäköisyys hajontafunktioiden h_x, h_y, h_z voimassa ollessa maaliin, jonka mitat ovat $2\ x_0$, $2\ y_0$, $2\ z_0$ ja joka poikkeaa ennakkopisteestä määrän

$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2}$

r = todennäköinen poikkeama (r_x, r_y, r_z) $\qquad h = \frac{0{,}954}{2\ r}$

Näin normeerattuna todennäköisyysfunktio sisältyy mm Cranzin kirjaan Lehrbuch der Ballistik, s 675—677.

[1] Haastattelun mukainen tieto


200 175 150 100 75 50 25
Aika-ammunnan osuma-todennäköisyys kuutioon 20×20×20 [m³]
d = systemaattinen virhe
2r = 50%:n hajota
1/h = 2r/0,954
n = keskimääräinen laukausluku osumaa kohti
d [m] 200 150 100 50 0
20 25 30 35 40 45 50 75 100 125 150 175 200
1/h [m]
n
10 100 1000 10000

Kuva 11

Aika-ammunnan osumatodennäköisyyden laskeminen tapahtuu periaatteellisesti yhtälön (16) nojalla, samoin myös käytettäessä herätesytyttimiä. Koska herätesytytinten lentoradan suuntainen osumatodennäköisyys pienen hajonnan ($r_{EH} \leq 2{,}2$ m) ansiosta [1] saa käytännössä suurella tarkkuudella useimmiten arvon 1, voidaan näet rajoittaa integrointi vain kahteen suuntaan. Tällöin sekä heräte- että iskusytyttimien kyseessä ollessa käytetään yhtälöä

$$(17) \quad P = \frac{h_y h_z}{\pi} \int_{d_y - y_0}^{d_y + y_0} \int_{d_z - z_0}^{d_z + z_0} \exp\left(-h_y^2 y^2 - h_z^2 z^2\right) dy\, dz$$

Ainoana erona viimeksi mainittujen kahden sytytintyypin vertailussa ovat integroimisrajoissa esiintyvät y_0- ja z_0-arvot, jotka herätesytyttimiä käytettäessä on arvioitava mm ammuksen kaliiperista riippuen suuremmiksi kuin iskusytyttimiä vastaavat maalin mitat.

Lähtien loogisesta otaksumasta, että eri sytyttimille lasketut todennäköisyydet riippuvat maalin koosta ja muodosta, osuman- ja sirpaleenkestävyydestä, hajonnan komponenttien suuruudesta ja systemaattisen virheen d arvoista, on katsottu tärkeäksi laskea näiden muuttuvien parametrien ajateltavissa olevia arvoryhmiä vastaavat todennäköisyydet ja koota ne kuvien 11 ja 12 mallisiksi nomogrammeiksi.

Laskujen suoritustapa on seuraava.

$$(18) \quad P = \frac{1}{2} \varphi \,[h(d-u)]$$

Jos d = 0, on

$$(18') \quad P = \varphi(h u)$$

Näissä u on jokin arvoista h_x, h_y, h_z ja d arvoista d_x, d_y, d_z. Tulo $h u = t$ (Cranz: Lehrbuch der Ballistik, s 675).

Aika-ammunnan lopullinen todennäköisyys tulee näin ollen yhtälön

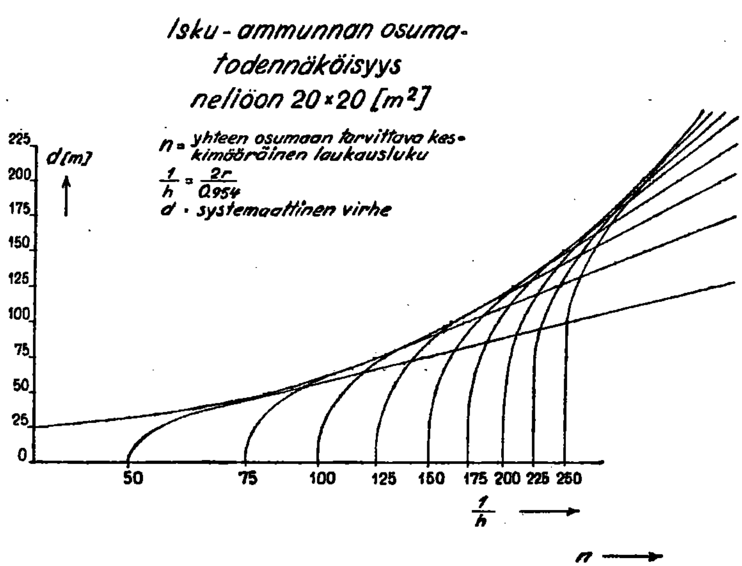
$$(19) \quad P_A = P_x \cdot P_y \cdot P_z$$

mukaiseksi. Muiden osalta

$$(20) \quad P = P_y \cdot P_z$$

---

[1] Artilleri tidskrift 2/1957, ss 34—35



Kuva 12

Erityisesti on mainittava, että todennäköisyys määrittyy maalin koon ja hajonnan suuruuden, täsmällisemmin sanottuna tulon h · u funktiona. Jos r >> u, ei lentoratojen tai räjähteiden tiheys normaalisti jakautuneen tulen osalta muutu nimeksikään maalin ympäristössä[1].

Osumatodennäköisyys ei tällöin riipu maalin muodosta. Vain sen pinta-ala tai tilavuus ovat ratkaisevia. Tämä toteamus mahdollistaa maalin muodon vapaan muuttamisen laskujen yksinkertaistamiseksi, kunhan tilavuutta ja pinta-alaa koskevaa ehtoa ei muuteta. Aika-ammunnassa siis

(21) $P = [\,\varphi\,(h\,u)]^3$

ja muissa

(22) $P = [\,\varphi\,(h\,u)]^2$

Niin ikään tulokset eivät muutu, jos P lasketaan hajontaellipsin tai hajontaellipsoidin avulla.

---

[1] Cranz: Lehrbuch der Ballistik, sivu 445

b. Tarvittavien laukausmäärien laskeminen

Osumatodennäköisyys P ei suoraan anna tietoa, kuinka paljon on ammuttava, jotta ammus vähintään kerran osuisi maaliin. Tämän vuoksi lasketaan todennäköisyyden perusteella sopivaksi harkittua varmuuskerrointa eli riskiprosenttia käyttäen, mikä kyseinen laukausluku on. Jos riskiprosentiksi valitaan 1, mikä käytännössä merkitsee erittäin suurta varmuutta siitä, että tällä laskettu laukausmäärä antaa vähintään yhden osuman, on kyseessä oleva laukausluku

$$(23) \quad n_{99} = \frac{-4{,}606}{\ln(1-P)} = \frac{-2}{\lg(1-P)}$$

(vrt Brändli: Theorie des Mehrfach-Schusses, s 28). Mikäli mainittu riskiprosentti on 10, tulee

$$(24) \quad n_{90} = \frac{-2{,}303}{\ln(1-P)} = \frac{-1}{\lg(1-P)}$$

Keskimäärin saadaan 1 osuma laukausmäärällä

$$(25) \quad n_{63{,}2} = \frac{-1}{\ln(1-P)}$$

On huomattava, että vertailulaskelmilla on todellisuuspohjaa vain tapauksessa, että niissä käytetyt laukausluvut on laskettu samaa riskiprosenttia käyttäen.

Mikäli $P << 1$, voidaan käyttää tyydyttävän tarkkaa approksimaatiota

$$(26) \quad n = \frac{1}{P}$$

Tämä perustuu sarjan $\ln(1-P) = -P + \frac{P^2}{2} - \frac{P^3}{3} + \ldots$ nopeaan suppenemiseen pienillä p-arvoilla.

Myös suoraan laskettujen osumatodennäköisyyksien suhde on tällöin pätevä vertailuarvo.

Vaikutusnomogrammien (esimerkkeinä kuvat 11—12) laatimisen yksinkertaistamiseksi on määritetty $\frac{1}{h}$ -käyrien ja näiden verhokäyrän yhteisten pisteiden arvot derivoimalla ns normeerattu jakaantumisfunktio

$$f(x, y) = \frac{h^2}{\pi} e^{-h^2 (x^2 + y^2)}$$

h:n suhteen, jolloin saadaan, kun $d = \sqrt{x^2 + y^2}$,

$$(27) \quad \frac{1}{h} \approx d$$

mikäli $d > x_0, y_0$ (Vrt Brändli: Thetorie des Mehrfach-Schusses s 29).

Kolmiulotteisessa tapauksessa funktio

$$f(x, y, z) = \frac{h^3}{\pi\sqrt{\pi}} e^{-h^2 (x^2 + y^2 + z^2)}$$

derivoidaan periaatteellisesti samoin. Kun $d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, on kyseinen derivaatta

$$\frac{\partial f}{\partial h} = \frac{3h^2}{\pi\sqrt{\pi}} e^{-h^2 d^2} + \frac{h^3}{\pi\sqrt{\pi}} e^{-h^2 d^2} (-2\, hd^2) = 0$$

Supistamalla saadaan $0 = 3 - 2\, h^2 d^2$ Tästä

$$(28) \quad \frac{1}{h} = d \frac{\sqrt{6}}{3} \approx 0.816\, d$$

Saadut $\frac{1}{h}$ — arvot ilmoittavat, mille d-arvolle lankeaa $\frac{1}{h}$— käyrän ja mainitun verhokäyrän sivuamispiste. Pisteiden sijoittamiseksi nomogrammille tarvitaan lisäksi laukausluvut n. Ne lasketaan kaavoilla (25) — (26) [1].

c. Vaikutussuhteen laskeminen

Heräte- ja aikasytytin toisiinsa verrattuina

Edellä on esitetty, ruotsalaisiin tietoihin perustuva, fil maist K J Malmborgin laskema 76—120 mm:n kranaattien fiktiivisen vaikutussäteen arvio tulee antamaan heräte- ja aikasytytteisten kranaattien vertailusuhteille uskottavan suuruusluokan, joka näkyy verrattaessa tällä perusteella saatuja tuloksia ulkomaisiin sotakokemuksiin. Seuraava vertailulaskelma perustuu tämän edellytyksen varaan.

[1] Vrt myös Theorie des Mehrfach-Schusses, s 29

Kolmiulotteisen ammunnan osumatodennäköisyyden laskemiseksi yhtälön (16) avulla on vaikutuspallo muunnettu yhtälön

$$(29) \quad \frac{4}{3}\pi R^3 = (2a)^3$$

avulla kuutioksi. Kuution särmä 2a on näin ollen yhtälön

$$(29') \quad 2a = R \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}$$

mukainen. Muunnos on oikeutettu, kun $a << r$ *. Käytäntö on osoittanut tämän edellytyksen sangen yleisesti voimassa olevaksi. Kun vaikutuspallokin tosiasiallisesti on vain fiktiivinen suure, ei muunnoksella (29) ole katsottava olevan vääristävää vaikutusta todennäköisyyden määrittämisessä.

Vertailuarvo saadaan osumaan tarvittavien, esim kaavan (25) mukaan laskettujen laukausmäärien suhdelukuna

$$(30) \quad Q_{HA} = \frac{n_A}{n_H}$$

Tämä osoittaa herätesytyttimen ja aikasytyttimen osuvuussuhteen paitsi tapauksissa, jolloin jompikumpi P on suuri. Jos P on paljon pienempi kuin 1, voidaan laskea

$$(31) \quad Q_{HA} = \frac{P_H}{P_A} = \frac{r_A}{r_H}$$ [1]

Kaavojen (30) ja (31) mukaan laskien saadaan eräissä tapauksissa toisistaan poikkeavat suhdeluvut. Eroavaisuuksilla on lähinnä vain teo-

* Cranz: Lehrbuch der Ballistik, s 445

[1] Integraalilaskun väliarvolauseen nojalla voidaan todistaa, että edellytyksillä $W << 1$, $d_A = d_H$ saadaan likiarvo

$$Q_{HA} \simeq \frac{r_A}{r_H} \frac{f\left(\frac{0.477\ d}{r_H}\right)}{f\left(\frac{0.477\ d}{r_A}\right)} = \frac{r_A}{r_H}\, e^{-0.0464\ d^2}$$

Kun d on pieni suure, on $e^{-0.0464\ d^2} \approx e^{\circ} = 1$

Tällöin

$$Q_{HA} = \frac{r_A}{r_H}$$

reettinen merkitys. Käytännössä raskaan ilmatorjuntatykin todennäköiset poikkeamat ovat, kun otetaan huomioon meteorologiset tekijät, mittaushajonta, ampuma-arvojen hajonta ja lentoradan ballistinen hajonta, 2-numeroisia lukuja [1], jolloin kaavat (30) ja (31) jo antavat käytännöllisesti katsoen identtiset tulokset. Tulen hajoamista maalin ympäristöön lisää vielä ampuminen yhdensuuntaisella tuliviuhkalla. Näin ollen vertailusuhde Q pyrkii nousemaan vähintään suuruusluokkaan 9—10. Kuvia 11—12 vertailemalla havaitaan, kuinka suhde Q muuttuu herätesytyttimelle edullisemmaksi, mikäli aikasytyttimen aikautuksessa on systemaattinen virhe. Suhde kasvaa jopa hämmästyttävän nopeasti [2].

Edellä on jätetty ottamatta huomioon niiden aikautettujen kranaattien osuus, jotka iskevät maaliin räjähtäen siinä. Mikäli maalin pinta-ala on $<< 100$ m², ei tämä mahdollisuus pääse sanottavasti muuttamaan Q-arvoa.

---

[1] Ampumaleirien kokemusten perusteella päätellen lentoradan suuntainen todennäköinen poikkeama on suuruusluokkaa $r_E = 100$ m. Sivu- ja korkeuspoikkeamat r_s ja r_k ovat olleet n 15—30 m (maalin nopeus n 60 m/s). Yksinomaan ballistisen hajonnan huomioon ottaen on 88 ItK/37 RMB:n aikakranaatin lentoradan suuntainen todennäköinen poikkeama 17—27 m ja 76 ItK/28 B:n (Tavaro) vastaava poikkeama 300 koelaukauksen perusteella laskien 28—42 m etäisyyksillä 0—10 km.
Tekijän suorittama tutkimus antoi meikäläisten raskaiden ilmatorjuntapatterien ennakkopistehajonnan suuruusluokka-arvioksi kaikkien hajonta-akselien suuntaan todennäköisen poikkeaman n 70 m. Tutkimusmateriaali käsitti n 500 tarkkailupistettä maalin nopeuksilla 100—150 m/s ja lentoajoilla 10—25 s.

[2] Myös väliarvolauseen perusteella saadaan pienillä P-arvoilla laskien

$$Q_{HA} = \frac{r_H}{r_A} \cdot \frac{f\left(\frac{0{,}477\ d}{r_H}\right)}{f\left(\frac{0{,}477\ d}{r_A}\right)} = \frac{r_H}{r_A} \cdot \frac{1}{f\left(\frac{0{,}477\ d}{r_A}\right)} = \frac{r_H}{r_A}\, e^{-0{,}00569\ d^2}$$

Esim Q_{HA}:n arvoista kun $\frac{r_H}{r_A} = 9{,}1$

d (m)	0	20	40	80
Q_{HA}	9,1	11	23	350

Esimerkki

Jos maalin pinta-ala on 40 m², saadaan laukausluvuksi täysosumaa kohti approksimatiivinen arvo, joka on n 10 kertaa suurempi kuin kuvan 12 esittämät luvut. Kun tällöin systemaattinen virhe on 0 ja 1/h-arvo 50, saadaan laukausluvuksi täysosumaa kohti 200. Kun vielä aikasytytin räjäyttää ennenaikaisesti keskimäärin 50 % niistä kranaateista, joilla olisi mahdollisuus saada iskemä maaliin, putoaa täysosumien määrä esimerkin tapauksessa yhteen neljästä sadasta laukauksesta. Kuvan 11 aikakranaatille laskettu laukausluku on vastaavasti 90. Ilmaräjähteiden vaikuttavia laukauksia on siis n 4 kertaa enemmän kuin täysosumia. Näin ollen suhteessa Q_{HA} ei voi tapahtua suuria muutoksia, joskin täysosumien määrä on suuria maaleja ammuttaessa vaikutussuhteita selvästi muuttava tekijä.

Lentomuodostelma, jossa on useita maaleja toistensa kanssa tiiviissä tuntumassa, muuttaa vertailusuhdetta Q_{HA} tietenkin huomattavasti. Jos muodostelma on niin suuri, että koko hajontaellipsoidi mahtuu muodostelman sisään, laskettu vertailusuhde lähenee eräin edellytyksin raja-arvoa 1. Tällainen maali on kuitenkin enemmän hypoteettinen kuin todellinen.

Heräte- ja aikasytyttimen vertailusuhteen arvio n 10 on edellä ilmi käyneillä perusteilla oikeutettu, joskin esiintyy ajateltavissa olevia rajatapauksia, joissa vertailusuhde on pienempi kuin 10 (suuri maali, pieni hajonta). Jopa todennäköisempiä ovat vanhanaikaista ilmatorjuntakalustoa käytettäessä vertailusuhteet, jotka ovat paljon suuremmat kuin 10, koska systemaattisilla aikautusvirheillä ja suurella aikautushajonnalla on tätä suhdetta nopeasti kasvattava vaikutus.

Heräte- ja iskusytytin toisiinsa verrattuina

Yhtälöiden (30) ja (31) kanssa analogisesti määrittyy suhdeluku

$$(32) \qquad Q_{HI} = \frac{n_I}{n_H} = \frac{P_H}{P_I}$$

Jos molemmista tapauksista suhde $\frac{y_0}{r_y}$ ja $\frac{z_0}{r_z}$ on pieni luku, myös yhtälö

$$(33) \qquad Q_{HI} = \left(\frac{R_H}{R_I}\right)^2 = \frac{A_H}{A_I}$$

on käyttökelpoinen. Tässä

R_H = ympyrän muotoiseksi kuvitellun maalin fiktiivinen säde herätesytytintä käytettäessä

R_I = ammuksen lentorataa vastaan kohtisuoralla tasolla oleva maalin projektiopinta-ala

$\frac{A_H}{A_I}$ = pintasuhde

Esimerkkejä: 1) Olkoon maalin projektiopinta-ala 16 m². Olkoon ilmaräjähteen fiktiivinen tuhoamisvaikutussäde 13,5 m (88 ItK) ja todennäköinen poikkeama $r_y = r_x = 20$ m. Tällöin iskusytyttimelle pätee kaavan $A_I = \pi R_I^2$ mukaan vaikutusympyrän säde

$$R_I = \sqrt{\frac{16}{\pi}} \approx 2{,}26 \text{ m}$$

Kun $R_H = 13{,}5$ m, on vaikutussuhde kaavan (33) mukaan

$$Q_{HI} = \left(\frac{13{,}5}{2{,}26}\right)^2 \approx 36$$

2) Lasketaan esimerkin 1 arvot kuvan 12 nomogrammin laatimisessa käytetyllä periaatteella. Tällöin on fiktiivinen vaikutussäde 13,5 m muunnettava neliön sivuksi kaavalla

$$a = R\sqrt{\pi} = 13{,}5\sqrt{\pi} = 24 \text{ m}$$

Koska $x_o = \frac{a}{2}$ saadaan $X_{oH} = 12$ m.

Iskusytyttimen vaikutuspinta-alan 16 m² mukaan tulee $x_{oI} = 2$m. Vaikutussuhde

$$Q_{HI} = \frac{[\varphi(\frac{0{,}477 \cdot 12}{20})]}{[\varphi(\frac{0{,}477 \cdot 2}{20})]} = \frac{0{,}0988}{0{,}00288} \approx 34$$

Saatujen suhteiden pieni ero 36—34 = 2 johtuu jo aika- ja herätesytytintä vertailtaessa ilmi käyneistä seikoista.

Näin on osoitettu, että yleensä yhtälö (33) pätee. Poikkeuksen muodostavat tapaukset, joissa hajonta-arvot, todennäköiset poikkeamat, ovat maalin mittoja pienemmät.

Heräte- ja iskusytyttimen välinen vertailusuhde Q_{HI} on herätesytyttimelle sitä edullisempi, mitä pienempi on maali ja toiselta puolen mitä suurempi on ammuksen ilmaräjähteen sirpale- ja painevaikutus.

Derivoimalla yhtälö (33) R_H:n suhteen saadaan

$$(34) \quad \frac{\partial Q}{\partial R_H} = \frac{2\,R_H}{R_I^2} = 2\,(\frac{R_H}{R_I})^2\,\frac{1}{R_H}$$

Tästä saadaan arvioimisvirheen vaikutus suhdelukuun Q_{HI}

$$(35) \quad \frac{\Delta\,Q}{Q} = 2\,\frac{\Delta\,R_H}{R_H}$$

Jos R_H:n arvioinnissa on tehty 10 % virhe, on edellisen esimerkin tapauksessa Δ Q:n virhe 20 %. Ammuksen fiktiivinen vaikutussäde tulisi siis pystyä määrittämään jokseenkin tarkasti, ennenkuin tarkalle vertailusuhdelaskelmalle on luotu pitävät perusteet. Tästä syystä edellä esitetyt iskusytyttimen vertailusuhteet muihin sytyttimiin tuskin ovat numerollisesti kovinkaan tarkat. Sama syy selittää myös lähdeaineistossa esiintyvät ristiriitaiset tiedot. Teoreettisesti mielenkiintoinen on ilmatorjuntatykistön hajonta-alueeseen ja maaleihin hyvin soveltuva yhtälö (33), joka oikeuttaa esitetyistä seikoista huolimatta tekemään seuraavat johtopäätökset:

1) Mikäli onnistutaan saamaan täysin luotettava arvio ilmaräjähteiden tuhoamisvaikutuksesta, on mahdollista laskea heräte- ja aikasytyttimen vertailusuhde Q_{HI} tarkasti.

2) Pinta-alaltaan pienet maalit ovat iskusytytteiselle ammunnalle varsin epäkiitollisia. Mutta suurten maalien ollessa kyseessä lähenee vaikutussuhde Q_{HI} teoreettista raja-arvoa 1 (edellyttäen, että herätesytyttimet suoraan maalia kohti tullessaan räjäyttävät ammuksen vasta maalissa). Sama ilmiö havaitaan myös ammuksen fiktiivisen vaikutussäteen (kaliiperin) pienentyessä.

Aika- ja iskusytytin toisiinsa verrattuina

Yksinkertaisimmin saadaan kyseessä oleva vertailusuhde jakamalla Q_{HI} suhteella Q_{HA}, siis

$$(36) \quad Q_{AI} = \frac{Q_{HI}}{Q_{HA}}$$

Jos esim $Q_{HI} = 36$ ja $Q_{HA} = 9$, on $Q_{AI} = \frac{36}{9} = 4$. Tämä merkitsee, että aikasytytin on iskusytyttimeen verraten tässä tapauksessa 4 kertaa tehokkaampi. Aika- ja iskusytyttimen vertailusuhde riippuu kuitenkin eräistä labiileista parametreista, joiden epätarkkuudet vähentävät johtopäätösten luotettavuutta. Syyt on esitetty heräte- ja iskusytyttimiä vertailtaessa.

Mikäli maalin dimensiot hajonta-arvoihin verraten muodostuvat hyvin suuriksi (maali käsittää tiiviin lentokonemuodostelman), lähenee vertailusuhde arvoa 1, joka ei ole kuitenkaan raja-arvo. Vertailulaskelma (kuvat 11 ja 12) sallii myös mahdollisuuden, että iskusytytin on jopa huomattavasti edullisempi. Tämä tulos selittyy, jos aikautuksen systemaattinen virhe d on suuri ja — merkkinen. Sama olotila jää tällöin vallitsevaksi myös silloin, kun käytetään yhdistettyä aika-iskusytytintä. Kenttäolosuhteissa ilmenneet seikat osoittavat, että isotkin systemaattiset virheet ovat mahdollisia. Tällöin voi todella olla seurauksena, että jopa pelkkää iskusytytintä käyttäen saadaan paremmat tulokset kuin yhdistetyllä aika-iskusytyttimellä. Yksityiskohtien laskemiseen ei tässä ole kuitenkaan aihetta, koska niistä koituva käytännöllinen hyöty jää hyvinkin suhteelliseksi. Herätteitä antavana kuriositeettina asia kuitenkin kannattaa ottaa huomioon.

IV TIIVISTELMÄ

Edellä esitellyssä tutkimustyössä on tietoisesti haluttu rajoittua hakemaan vastausta kysymykseen: Onko eri sytytintyyppien käytössä kenttäolosuhteissa selviä vaikutuseroja ja jos on, kannattaako näiden erojen perusteella orientoitua uudelleen mm harkittaessa sytytintyyppien käyttöä eri taisteluolosuhteissa. Vaikkakin tulosten kypsyttelyvaiheessa on ollut pakko nojautua kriteereihin, joiden paikkansa pitävyys ei ole täysin taattu, on työn tekijälle kuitenkin muodostunut varma käsitys siitä, että eräitä johtopäätöksiä silti on oikeus tehdä. Nämä ovat seuraavat.

1) Herätesytytin on useimmissa taistelutilanteissa niin pinta- kuin ilmamaalien ammunnassakin selvästi vaikutusta nostava tekijä, jopa siinä määrin, että se myös laskelmien mukaan on ammunnan tulokset huomioon ottaen taloudellisin.

2) Ilmaräjähteiden käyttö lisää pinta-ammunnassa tulen vaikutusta elävään maaliin erityisesti tapauksissa, jolloin maali on painautunut maastoon, mutta ei ole saanut suojaa ilmaräjähteiltä.

3) Tarkimpienkin mekaanisten aikasytytinten tehokasta käyttöä rajoittavat tekijät ovat usein niin merkittävät, että tulos saattaa muodostua jopa heikommaksi kuin iskusytyttimiä käytettäessä.

Sytyttimiä koskevat hintatiedot osoittavat herätesytytinten olevan selvästi kalleimpia. Kun kuitenkin otetaan huomioon muut kustannustekijät, kuten ammuskuori ja -täyte, ruutipanos, hylsyt, tykkikaluston kuluminen ja mm taistelevan joukon organisaation ylläpidosta johtuvat yleiskulut, muodostuu kokonaiskustannuksien välinen suhde jo sangen kohtuulliseksi, kuten mm ruotsalaisten laskelmat osoittavat. Odotettavissa oleviin tuloksiin nähden herätesytytin on jopa selvästi taloudellisin.

Yleisesti voidaan todeta, ettei työn suorittamisvaiheessa sinänsä ole tullut eteen varsinaisia yllätyksiä. Sen sijaan kenties on tutkielman lomassa tullut esiin yksityiskohtia, jotka avartavat käsityksiä siitä, mikä käytännöllinen merkitys olosuhteilla on lopputuloksen muodostumiseen. Näillä tiedoilla voidaan katsoa olevan merkitystä vastaisessa kokeilu- ja suunnittelutyössä.

Käytetyt lähteet

C E Grill, W Rosell:	Zonrör för feltartilleri Artilleri tidskrift n:o 2/1957
C Cranz:	Lehrbuch der Ballistik, 1925
H Brändli:	Waffe und Wirkung bei der Fliegerabwehr Birkhäuser Verlag,Basel und Stuttgart v 1956
H Brändli:	Theorie des Mehrfach-Schusses Verlag Birkhäuser, Basel, v 1950
Vannever Bush:	Modern Arms and Free Men Simon und Schuster, New York, v 1949
H Jenzen:	Utveckling av arméns vapen och ammunition under de sista två decennium Kungliga Krigsvetenskapsakademiens Handlingar och Tidskrift n:o 6/1951
USA	Missile enginneering Handbook IV
V Belousov:	122 mm sirpalekranaatin vaikutus (suomennos)
	Kenttätykistön ampumaohjesääntö
	Ilmatorjuntatykistön ampumaohjesääntö
	Pääesikunnan ballistisen toimiston arkisto
	Pääesikunnan ilmapuolustusosaston arkisto