

Menetelmä ilmaräjähteen vaikutuksen laskemiseksi pinta-ammunnassa

Yleisesikuntaeversti T E Kallio

1. ILMARÄJÄHTEEN TEHON LASKENTAMENETELMÄ SIRPALOITUMISKOKEIDEN PERUSTEELLA PINTA-AMMUNNASSA

1.1. Menetelmän tavoitteet

Lähtien paikallaan räjäytettyjen ammusten sirpaloitumiskokeista kehitetään seuraavassa menetelmä, joka ottamalla huomioon ammuksen tulokulman ja tulonopeuden eri räjähdyskorkeuksilla määrittää sirpaleiden jaukautumisen tasolle, esim. maan- tai merenpinnalle. Antamalla edelleen maalille tietty haavoittumispinta-ala määritetään Poisson-jakautumaan nojautuen ne etäisyydet, joilla tasolle eri suunnissa saatutetaan tietty osumistodennäköisyys, jolloin eri osumistodennäköisyyksiä vastaavat käyrät voidaan piirtää tasolle. Käyrien sisältämät alat määritetään integroimalla. Lopuksi määritetään eri tapausten keskinäistä vertailua varten uusi käsite, punnittu kokonaispinta-ala, joka edelleen voidaan jakaa punnittuihin osa-alueisiin

määrittäen siten kolme osa-alueetta ohjesääntöjen määrittämien vaikutusasteiden mukaan, nimittäin

- häirintäalue, vaikutus $< 20\%$
- lamauttava-ala, vaikutus $20\% \rightarrow 50\%$
- tuhoava-ala, vaikutus $> 50\%$

Punnittu vaikutusala saadaan kertomalla eri todennäköisyyskäyrien rajoittamat pinta-alat vastaavilla keskimääräisillä osumistodennäköisyyksillä. Kustakin osa-alueesta otetaan yhteenlaskussa mukaan vain siihen kuuluvan todennäköisyyden edellyttämä murto-osa, jolloin kaikki osa-alueet yhteen laskien saadaan punnittu kokonaisvaikutusala. Tätä alaa voidaan pitää standardisoituna vaikutusalanana, ja se on siten kullekin ammukselle ja sen erilaisille ballistisille olosuhteille ominainen suure. Jako edellä määriteltyihin osa-alueisiin kussakin yksityistapauksessa sallii edelleen arvioitavan yksityiskohtaisemmin kokonaistuhoalan luonnetta, millä tietenkin on oma lisämerkityksensä, esim. määritettäessä edullisin räjähdykskorkeus eri tapauksissa.

1.2. Menetelmässä käytetyt yleistyksiset ja approksimaatiot

Matemaattisessa käsittelyssä on lähdetty seuraavista yleistyksistä

- Sirpaleiden radat ovat suoria. Sirpaleiden oletetaan lähtevän samasta räjähdyksipisteestä, sirpaletiheden vaihdellessa eri suunnissa sirpaloitumiskokeen edellyttämällä tavalla. Johtuen kranaatin symmetrisyydestä pituusakselin suhteen ei ammuksen pyörimisliikkeellä katsota olevan merkitystä.
- Sirpaletihettyä laskettaessa ballistisissa olosuhteissa pidetään sirpaleiden räjähdyksessä saamaa nopeuskomponenttia (V_x) vakiona.
- Sirpaletihettyä laskettaessa nojaututaan useamman räjähdyksen tuloksena eri tauluihin saatuihin keskiarvoihin, joiden perusteella laskelmissa päädytään odotusarvojen määrittämiseen.
- Tehokkaan sirpaleen määreenä on pidetty sen kykyä läpäistä koetäisyydellä $7/8$ -tuumainen mäntylauta, josta materiaalista räjähdytyspihan maalitaulut on valmistettu. Tällaisen sirpaleen katsotaan

edelleen säilyttävän haavoittamiskykynsä elävään, suojattomaan maaliin niillä etäisyyksillä, joihin tarkastelu rajoittuu.

Sirpaleiden ratojen suoraviivaisuusolettamus perustuu sirpaleiden suureen nopeuteen räjähdyksessä sen ollessa noin 1000 m/s luokkaa varteenotettavan vaikutusetäisyyden rajoituessa enintään muutamiin kymmeneen metriin. Suurempi virhe syntyy olettamuksesta samasta räjähdyspisteestä, josta sirpaleiden oletetaan lähtevän. Syntynyt virhe ilmenee virheellisinä avauskulma-arvoina eri tauluihin. Virhe on suurimmillaan huomattavan pituuden omaavilla ja samalla ”pitkäsylinterisillä” ammuksilla, ts. sellaisilla kranaateilla, joiden kuoren sisäkaava huomattavalta osalta on sylinterimäinen.

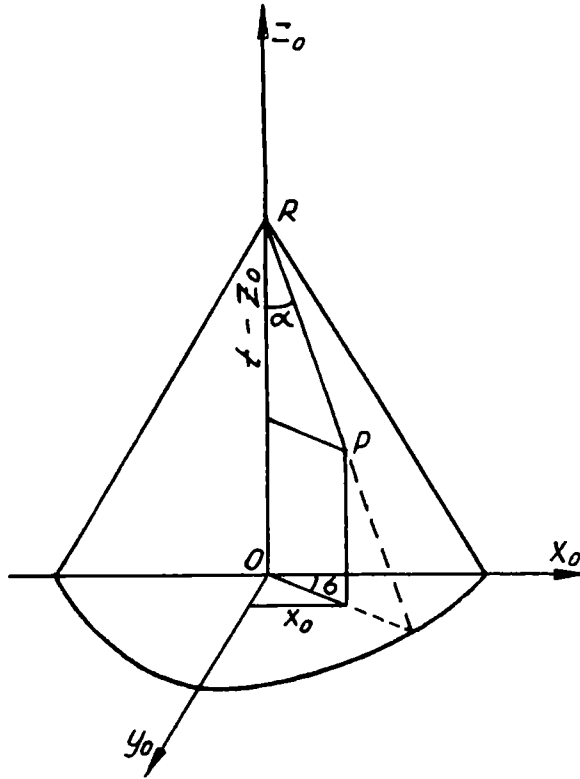
Virhe voidaan korjata eri taulujen ja erikoisesti keskimmäisten suoraan sivulla olevien taulujen avauskulmia määrittäessä, joko siirtämällä ”räjähdysalkupistettä” taulu taululta pitkin ammuksen pituus-akselia taikka suoraan korjaamalla tiheyskäyrää. Kranaatin lyhetessä ja annettaessa sisäkaavalle kaareva muoto voidaan olettamus yhteisestä räjähdyspisteestä säilyttää.

Keskimääräisen sirpaleiden räjähdysnopeuden (V_r) pitäminen vakiona sekä samana kaikille sirpaleille aiheuttaa edelleen virhettä ballistista avauskulmaa (α_b) laskettaessa. Tehty virhe on kuitenkin niin vähäinen, ettei sillä ole vaikutusta laskettaessa ratkaisevaa merkitystä.

2. MENETELMAN MATEMAATTINEN PERUSTA

2.1. Kartioleikkaus kartiokulman ja pyörähdyskulman funktiona

Kuvan 1 mukaisesti asetetaan suorakulmainen avaruuskoordinaatisto siten että koordinaatiston z_c -akseli yhtyy kartion akseliin origon 0 sijaitessa tällä akselillä. Etäisyys origosta kartion kärkeen merkitään t -kirjaimella. Akselit x_c ja y_c ovat origon kautta z_c -akselia vastaan kohtisuorassa. Mielivaltaisen kartion pinnalla olevan pisteen P koordinaatit tässä koordinaatistossa ovat

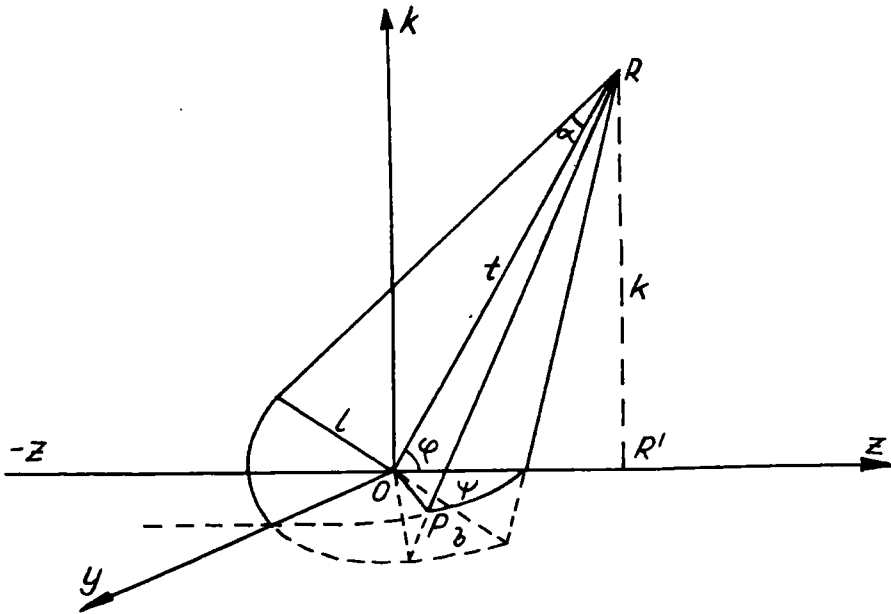


KUVA 1

$$(1) \quad \begin{cases} x_0 = (t - z_0) \operatorname{tg} \alpha \cos \sigma \\ y_0 = (t - z_0) \operatorname{tg} \alpha \sin \sigma \\ z_0 = z_0 \end{cases}$$

Kuvan 2 mukaisesti annetaan tason zy leikata kartio siten, että kartion akselin ja z -akselin välinen kulma on φ , jolloin kyseinen taso edustakoon esim. meren pintaa. φ -kulma esittää tällöin ammuksen tulokulmaa ja kartion akseli lentoradan tangenttia iskemäpisteessä 0.

Suorittamalla nyt koordinaatiston kääntö y_0 -akselin ympäri kulman



KUVA 2

φ , joten uuden koordinaatiston z_1 -akseli yhtyy leikkaavaan tasoon, saadaan

$$(2) \quad \begin{cases} z_1 = z_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi \\ x_1 = -z_0 \sin \varphi + x_0 \cos \varphi \\ y_1 = y_0 \end{cases}$$

Käännettyssä koordinaatistossa z_1 -akseli osoittaa ammunta-olosuhteisiin sovellettuna lentoradan projektiota meren pinnalla sen positiivisen haaran osoittaessa tykkiin päin. x_1 -akseli on kohtisuorassa merenpintaa vastaan sen positiivisen haaran osoittaessa alas päin. y_1 -akseli on siten meren pinnan tasossa kohtisuorassa ampumasuuntaa vastaan.

Merkitsemällä yhtälöryhmässä (2) x_1 -koordinaatti nolaksi ($x_1 = 0$), sekä sijoittamalla yhtälöryhmän (1) arvot yhtälöryhmään (2), saadaan kartion ja tason leikkausviivan yhtälöksi alaindeksit pois jättämällä

$$(3) \quad z = \frac{t \operatorname{tg} \alpha \cos \sigma}{\operatorname{tg} \alpha \cos \varphi \cos \sigma + \sin \varphi}$$

$$y = \frac{t \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi \sin \sigma}{\operatorname{tg} \alpha \cos \varphi \cos \sigma + \sin \varphi}$$

Ottamalla käyttöön vakioille ja vakioryhmille seuraavat merkinnät

$$t = \frac{k}{\sin \varphi} = \frac{k}{q}$$

$$l = t \operatorname{tg} \alpha$$

$$p = \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi$$

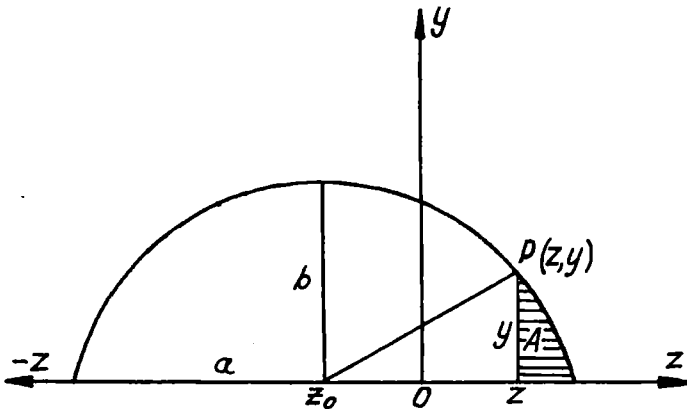
$$q = \sin \varphi$$

saadaan yhtälöryhmä lausutuksi parametrimuodossa σ :n suhteen yksinkertaisemmassa muodossa

$$(4) \quad z = \frac{l \cos \sigma}{p \cos \sigma + q}$$

$$y = \frac{ql \sin \sigma}{p \cos \sigma + q}$$

Edelleen saadaan jakamalla puolittain yhtälöryhmästä (4)



KUVA 3

$$(5) \quad \frac{y}{z} = \operatorname{tg} \psi = q \operatorname{tg} \sigma$$

kun merkitään ψ -kulmalla P-pisteen suuntakulmaa zy-tasossa. Yhtälöt (4) voidaan edelleen muuntaa normaalimuotoon, jolloin saadaan — ellipsi-tapauksessa ($\alpha < \varphi$)

$$z_0 = \frac{-lp}{q^2 - p^2} \quad (\text{ellipsin keskipiste})$$

$$(6) \quad a = \frac{lq}{q^2 - p^2} \quad (\text{z-akselin suuntainen säde})$$

$$b = \frac{lq}{\sqrt{q^2 - p^2}} \quad (\text{y-akselin suuntainen säde})$$

Ellipsin segmentin ala (kuva 3) voidaan laskea normaalimuodossa kaavan (6') mukaan

$$(6') \quad A = \frac{ab}{2} \operatorname{arc} \sin \frac{y}{b} - \frac{(z - z_0)y}{2}$$

— hyperbeli-tapauksessa ($\alpha > \varphi$)

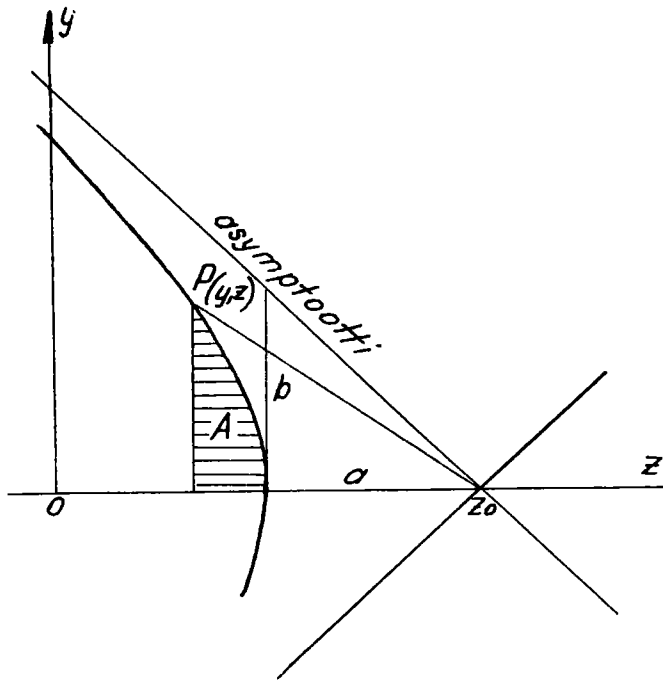
$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} z_0 = \frac{lp}{p^2 - q^2} \quad (\text{hyperbelin keskipiste}) \\ a = \frac{lq}{p^2 - q^2} \quad (\text{z-akselin suuntainen säde}) \\ b = \frac{lq}{\sqrt{p^2 - q^2}} \quad (\text{y-akselin suuntainen säde}) \end{array} \right.$$

Hyperbelin segmentin ala (kuva 4) saadaan normaalimuodossa kaavasta (7')

$$(7') \quad A = \frac{(z_0 - z)y}{2} - \frac{ab}{2} \ln \left(\frac{z_0 - z}{a} + \frac{y}{b} \right)$$

— paraabeli-tapauksessa ($\varphi = 0$)

Valitaan origoksi räjähdyspisteen projektio-piste tasolla (kuva 5). Käyrän yhtälöksi parametrimuodossa saadaan



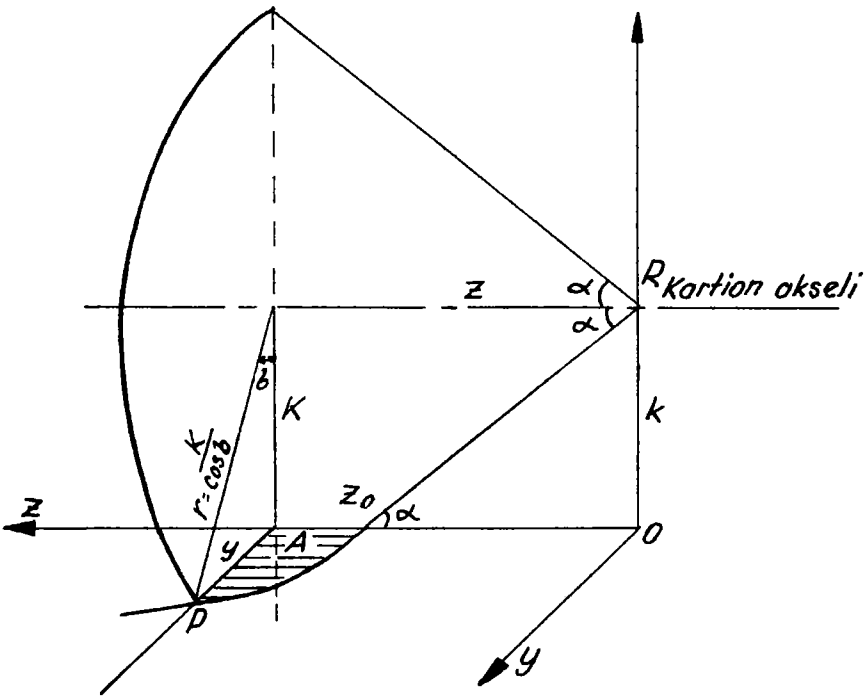
KUVA 4

$$(8) \quad \begin{cases} z = \frac{k}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{1}{\cos \sigma} \\ y = k \operatorname{tg} \sigma \end{cases}$$

Paraabelin segmentin ala (kuva 5) on

$$(8') \quad A = \frac{2}{3} (z - z_0) y \quad \text{jossa}$$

$$z_0 = \frac{k}{\operatorname{tg} \alpha}$$



KUVA 5

2.2 Räjätyskokeen analyysi

2.2.1 Koejärjestely räjäytyksessä

Sellaisena, kuin räjäytyskoe on tähän asti suoritettu, on siinä 5 m:n säteelle puoliympyrän kehälle sijoitettu 16 kpl noin 1 m:n levyisiä ja 2 m:n korkuisia 7/8-tuuman paksuisesta laudasta valmistettuja tasotauluja pystyasentoon. Siten taulut muodostavat säännöllisen 5 m:n säteistä ympyrää sivuavan murtoviivan, jolloin taulun teoreettiseksi leveydeksi saadaan 0,9849 m. Ympyrän keskipisteeseen 1 m:n korkuisen paalun päähän on asetettu räjäytettävä kranaatti vaakasuoraan asentoon, sen

pituusakselin yhtyessä puoliympyrän halkaisijaan. Taulut on numeroitu T.1, T.2, . . . , T.16 alkaen ammuksen kärjen suunnasta. Toinen taulusarja on vastaavasti asetettu 10 m:n kehälle vastakkaiselle puolelle. Kun käytännössä mitään ei ole tehty maasta kimpoavien sirpaleiden estämiseksi pääsemästä tauluihin, on 10 m:n koe tarkastelussa hylätty ja rajoitettu vain 5 m:n tauluihin, joihin kimpoamisen vaikutus on vähäisempää.

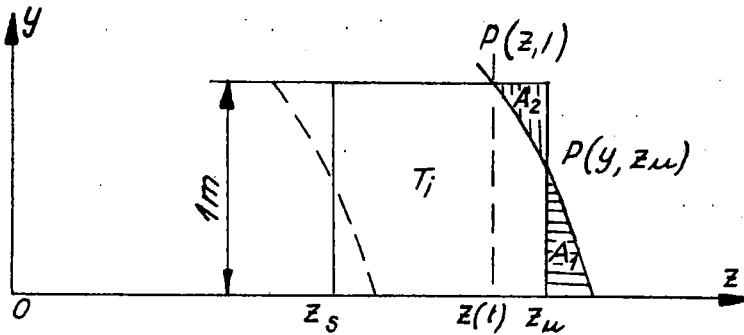
Kokeen jälkeen, joko jokaisen räjäytyksen jälkeen erikseen tai useamman peräkkäisen räjäytyksen jälkeen lasketaan kunkin taulun läpäisseiden sirpaleiden luku. Täten saadaan kullekin taululle sirpaleluvun keskiarvo. Taulujen edustaessa tässä staattisessa kokeessa tiettyä avauskulmaväliä voidaan tämän perusteella määrittää sirpaleitiheys avauskulman funktiona, mikäli ko. avauskulma tunnetaan.

Jos sirpaloitumistulokset rekisteröidään jokaiselle räjäytykselle erikseen, saadaan samalla kuva sirpaloitumishajonnasta. Edelleen suurempaan täsmällisyyteen päästään, mikäli tulokset lasketaan erikseen kummallekin taulun puolikkaalle jakamalla taulut pystyhalkaisijalla kahteen yhtä suureen osaan.

2.2.2 Avauskulman (α_0) laskeminen

Johdettaessa sirpaleitiheyden arvot vaihteleville etäisyyksille räjähdyskeskipisteestä sekä oletikin laskettaessa eri taulujen avauskulman arvoja ballistisissa olosuhteissa, ts. otettaessa ammuksen oman nopeuden (V_0) vaikutus huomioon on välttämätöntä siirtyä avaruuskoordinaatistoon ja redusoida tasotaulujen määrittämä nelikulmio pallonelikulmioksi, jolloin sitä rajoittavat avauskulma (α) ja pyörähdyskulma (σ).

Taulua rajoittavaa avauskulmaa (α_0) laskettaessa voidaan käyttää hyväksi edellä johdettuja kartioleikkauskaavoja (kaavat 4—8), kunkin taulun edustaessa tasoa, joka leikkaa avauskulman (α_0) määrittämän kartion. Menetelmässä lähdetään jostakin taulun pystyreunan pisteestä, jonka tasokoordinaatit (z, y) siten ovat tunnetut. Niistä ratkaistaan vastaavat α - ja σ -kulmien arvot, sekä lasketaan kuvan 6 mukaisten tasokuvioden A_1 ja A_2 alat, ts. lasketaan niiden alojen suuruus, jotka leikkautuvat pois tasotaulusta (A_1) ja jotka tulevat siihen mukaan (A_2). Iteroimalla haetaan se avauskulma (α_0) joka tekee alat A_1 ja A_2 yhtä suu-



KUVA 6

riksi. Suorittamalla sama taulun toisenkin pystyreunan suhteen saadaan taulu riittävällä tarkkuudella rajatuksi avaruuskulmien suhteen.

Kaavat (9) antavat käännteistettävänä ratkaisun α - ja σ -kulmien laskemiseksi tasokoordinaateista y ja z kulman φ edustaessa taulutason ja ammuksen akselin välistä kulmaa, joka puolestaan koejärjestelyn perusteella on tunnettu.

$$(9) \quad \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} \sigma = \frac{y}{z \sin \varphi} \\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{y \sin \varphi}{k \sin \sigma - y \cos \sigma \cos \varphi} \end{array} \right.$$

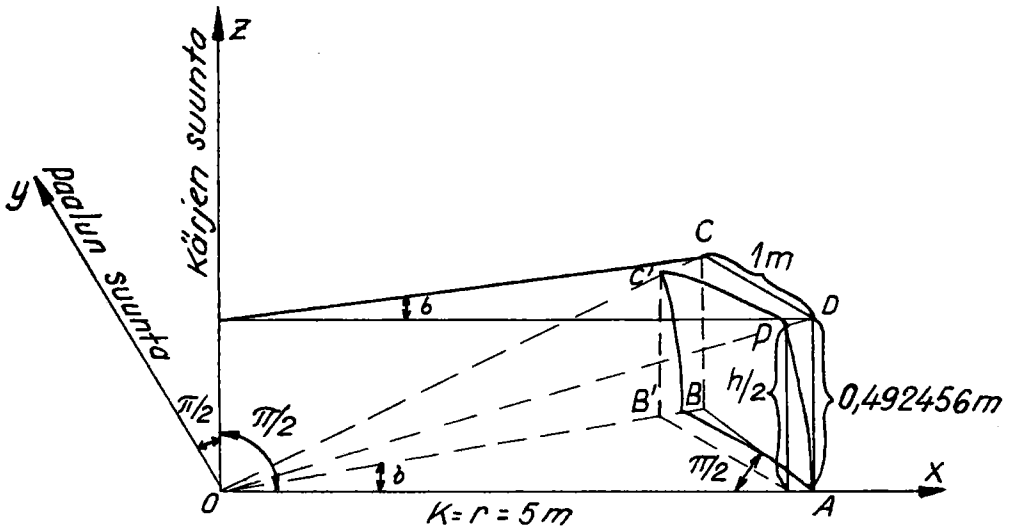
Segmentin A_1 ala saadaan välittömästi kaavoista (6) tai (7). Alan A_2 laskemiseksi on ensin laskettava sen pisteen z -koordinaatti, jossa edellä määritelty käyrä leikkaa taulun yläreunan ($y=1$). Tämä saadaan kaavasta (10), jolloin ensin on laskettava vastaavan pyörähdyskulman σ arvo

$$(10) \quad \left\{ \begin{array}{l} \cos \sigma_1 = \frac{q}{p^2 + q^2 l^2} \left(1 \sqrt{p^2 + q^2 l^2 - q^2 - p} \right) \\ z = \frac{l \cos \sigma_1}{p \cos \sigma_1 + q} \end{array} \right.$$

2.2.3 Tasotaulua vastaavan pallonelikulmion ala

Tasotaulut sivuavat palloa pitkin isoympyrää. Täten laskettaessa niitä vastaavan pallonelikulmion ala mistä kohtaa tahansa on tuloksen oltava sama. Yksinkertaisimmin se saadaan sijoittamalla taulu suoraan sivulle, jolloin taulun keskipisteen $\alpha = 90^\circ$ (ks. kuva 7). Tällöin pallonelikulmio on tasotaulun korkeuden ($y = 1\text{ m}$) määrittämän σ -kulman erottama osa pallosegmentistä, jonka säde ja korkeus ovat tunnetut.

Pallosegmentin pinta-alan kaava on yleisesti



KUVA 7

$$(11) \quad A = 2\pi rh, \text{ sekä kulmaa } \sigma \text{ vastaten}$$

$$A = \frac{\sigma}{2\pi} 2\pi rh = \sigma rh$$

Kun edelleen $h = r(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = r \Delta \cos \alpha$
saadaan

$$(12) \quad A = r^2 \sigma \Delta \cos \alpha$$

Kuvassa 7 esittää tasonelikulmio ABCD alkuperäisen tasotaulun neljännestä, jonka korkeus (paalun suunnassa) on 1 m ja leveys (puoliympyrän halkaisijan suunnassa) 0,492456 m. Siten saadaan

$$\sigma = \arctg \frac{1}{5} = 0,197396^{\text{rad}}$$

$$h/2 = 5 \sin \left(\arctg \frac{0,492456}{5} \right)$$

josta $h = 0,980160$

Sijoittamalla arvot kaavaan (11) saadaan tasotaulun puolikasta vastaavan pallonelikulmion alaksi 5 m:n kehällä

$$A_0 = 0,9674 \text{ m}^2$$

Jakamalla räjäytyskokeessa saatu kutakin tasotaulun puolikasta vastaava sirpaleluku arvolla A_0 saadaan sirpaletiheys (s_0) avauskulman (α_0) funktiona 5 m:n etäisyydelle räjähdyspisteestä.

2.2.4 Pyörähdyskulman keskimääräinen arvo (σ_k) eri tauluihin ja reduktiokerroin

Kun toisaalta yleisesti tasotaulua vastaavan pallonelikulmion ala koeolosuhteissa on

$$(12) \quad A = r^2 \sigma_k \Delta \cos \alpha_0$$

voidaan kutakin tasotaulua vastaava σ_k ratkaista, kaava (12')

$$(12') \quad \sigma_k^{\text{rad}} = \frac{A_0}{r^2 \Delta \cos \alpha_0} = \frac{0,0386959}{\Delta \cos \alpha_0}$$

Tuntemalla täten kutakin tasotaulua vastaavan pyörähdyskulman keskiarvo voidaan räjäytyskokeen eri tauluihin antamat sirpalemäärät redusoida vastaamaan samaa σ -kulman arvoa, esim. keskimmäisten taulujen (T.8 ja T.9) σ -kulman arvoa, joksi saadaan $0,19966^{\text{rad}}$. Redusointi tapahtuu kertomalla ko. sirpaleluku kertoimella

$$(13) \quad K = \frac{\sigma_k}{0,19966}$$

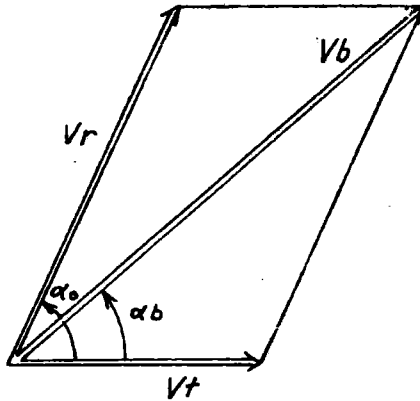
Redusoimalla täten eri taulujen sirpaleluvut keskenään vertailukelpoisiksi sekä laskemalla yhteen täten redusoidut sirpaleluvut saadaan kokonaisuutena samaa σ -arvoa vastaavan kuoripuikon antama sirpaleluku, josta edelleen kokonaissirpaleluku on arvioitavissa. Täten on sivutuotteena menetelmässä saatu esiin mahdollisuus arvioida vaaka-suorista räjäytyksistä kokonaissirpaleluku, joka myös osaltaan antaa

Taulukulmat ja reduktiokertoimet $\frac{1}{2}$ -tauluittain laskettuina

Taulu		α_0 °	σ_k rad	k
	0	0		
1	0,5	8,943	1,59154	0,1248
	1	13,113	1,38994	1430
2	1,5	18,111	0,82444	2410
	2	23,399	0,59179	3358
3	2,5	28,829	0,46398	4282
	3	34,308	0,38664	5139
4	3,5	39,834	0,33292	5968
	4	45,373	0,29578	6718
5	4,5	50,935	0,26766	7424
	5	56,500	0,24721	8037
6	5,5	62,076	0,23136	8588
	6	67,654	0,21958	9049
7	6,5	73,239	0,21072	9430
	7	78,825	0,20458	9712
8	7,5	84,412	0,20064	0,9903
	8	90	0,198698	1
9	8,5	95,588	0,198698	1
	9	101,175	0,20064	0,9903
10	9,5	106,760	0,20458	9712
	10	112,346	0,21072	9430
11	10,5	117,924	0,21958	9049
	11	123,500	0,23136	8588
12	11,5	129,065	0,24721	8037
	12	134,627	0,26766	7424
13	12,5	140,166	0,29578	6718
	13	145,692	0,33292	5968
14	13,5	151,171	0,38664	5139
	14	156,601	0,46398	4282
15	14,5	161,889	0,59179	3358
	15	166,887	0,82444	2410
16	15,5	171,057	1,38994	1430
	16	180	1,59164	0,1248

mahdollisuuden muihin tietoihin nojautuen arvioida laskentamenetelmän luotettavuutta. Niinpä, kun kokeessa 6 tuuman kranaatilla kolmen räjäytyksen perusteella on täten saatu kokonaissirpaleluvun keskiarvoksi 2310, ja kun toisaalta (Justrow ym.) tämän laatuselle kranaatille on tyyppiarvona mainittu noin 2400 sirpaletta, osoittaa se osaltaan menetelmän käyttökelpoisuuden tässäkin suhteessa.

Yhteenvedona räjäytyskokeen analysoinnista esitetään oheisena taulukkona 5 m:n kehällä puolitauluittain laskettuina niitä vastaavat avauskulmat ja pyörähdyskulman keskiarvot, sekä redusointikertoimet. Arvot ovat siten yleispätevät em. koeolosuhteissa ja siten kaliperista tai ammuksen mallista riippumattomia.



KUVA 8

2.3 Ammuksen nopeuden vaikutus sirpaletiheyteen

Ammuksen nopeus räjähdyshetkellä muuttaa sirpaleiden lähtösuuntaa. Ammuksen symmetrisyydestä johtuen ei sen nopeudella eikä pyörimisliikkeellä käytännössä ole vaikutusta pyörähdyskulman suhteen. Sen sijaan avauskulman muutos vaikuttaa pallonelikulmion alaan. Tuntemalla ammuksen nopeus räjähdyshetkellä voidaan kutakin taulua vastaavat α -kulman arvot (kuva 8) laskea kaavasta (14)

$$(14) \quad \operatorname{tg} \alpha_b = \frac{V_r \sin \alpha_o}{V_t + V_r \cos \alpha_o}$$

Kun alaindeksillä (o) merkitään staattisen kokeen avauskulman ja sirpaletihyden arvoja sekä alaindeksillä (b) vastaavia arvoja ballistisissa olosuhteissa, voidaan ballistinen sirpaletiheys (s_b) laskea kaavaa (12) käyttäen, jolloin sille saadaan kaava

$$(15) \quad s_b = \frac{\Delta \cos \alpha_o}{\Delta \cos \alpha_b} s_o$$

2.4 Tuhoamistodennäköisyys ja etäisyyden vaikutus

Poisson-jakautumaa soveltaen voidaan todennäköisyys sille tapaukselle, että saadaan osuma maaliin, jonka haavoittuva pinta-ala on a sirpaletihydellä s , kirjoittaa muodossa

$$(16') \quad P = 1 - e^{-as}$$

ja edelleen

$$(16) \quad P_1 = 1 - e^{-as_1}$$

jossa P_1 on haluttu osumistodennäköisyys

a on maalin haavoittuva pinta-ala

s_1 on P_1 :n saavuttamiseksi tarvittava sirpaletiheys

Ratkaisemalla yhtälö (16') s_1 :n suhteen, saadaan

$$(17) \quad s_1 = - \frac{\ln(1-P_1)}{a}$$

Antamalla a :lle arvo 0,4 (m²), jota voitaneen pitää miehen keskimääräisenä haavoittuvana pinta-alana katsottiinpa tätä mistä suunnasta tahansa ja missä asennossa tahansa voidaan s , laskea.

Ballistisen sirpaletihyden ollessa kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön ja kun toisaalta edellisen mukaan se on 5 m:n etäisyydellä tunnettu, saadaan todennäköisyysarvoja P_1 vastaavat etäisyydet kaavasta

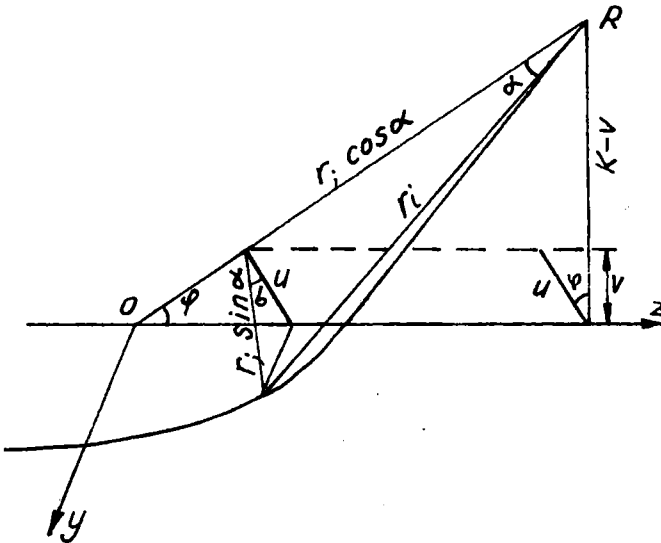
$$(18) \quad r_1^2 = \frac{25 s_b (5 \text{ m})}{s_1}$$

Kaavassa esiintyvät suureet ovat:

- r_1 todennäköisyyttä P_1 vastaava etäisyys (m),
 s_0 (5 m) on sirpaletiheys, joka on saatu räjäytyskokeen perusteella tietylle kranaattityypille 5 m:n etäisyydelle avauskulman α funktiona ammuksen nopeus huomioon ottaen.

2.5 Sirpaleiden osumistodennäköisyyskäyrät tasolla

Havainnollisen kuvan saamiseksi tietyllä kranaattityypillä vaihtelevien räjähdyskorkeuksien ja tulokulmien vaikutuksista voidaan nyt laskea eri tapauksia varten osumistodennäköisyyksiä vastaavat käyrät. Tämä tapahtuu yhdistämällä aikaisemmin johdetut kartioleikkauskaavat sekä kaava (18) antamalla avauskulman α kasvaa alkaen nolasta riittävän tihein hyppäyksin aina arvoon 180° asti. Tätä varten johdetaan pyörähdyskulmalle avauskulmaa vastaava arvo. Kuvasta 9 voidaan lukea



KUVA 9

$$\cos \sigma = \frac{u}{r_1 \sin \alpha} \quad \text{jossa } u = \frac{v}{\cos \varphi}$$

$$v = k - r_1 \cos \alpha \sin \varphi$$

eli

$$\cos \sigma = \frac{k - r_1 \cos \alpha \sin \varphi}{r_1 \sin \alpha \cos \varphi}$$

josta sijoittamalla $p = \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi$

ja laventamalla saadaan lopullisesti

$$(19) \quad \cos \sigma = \frac{1}{p} \left(\frac{k}{r_1 \cos \alpha} - q \right)$$

Avauskulman ylittäessä 90° , jolloin $\operatorname{tg} \alpha$ ja siten vakio p on negatiivinen, käytetään $\cos \sigma$ laskemiseksi kaavaa

$$(19') \quad \cos \sigma = \left[\frac{1}{p} \right] \left(-\frac{k}{r_1 \cos \alpha} - q \right)$$

jolloin kuvaajakäyrässä vältetään hyppäykset hyperbelin kuvaajalta toiselle. Kun kulma σ tuhoutumistodennäköisyyden funktiona täten tunnetaan, α :n ollessa argumenttina, voidaan haluttuja osumistodennäköisyyksiä vastaavat yhtenäiset käyrät koko kranaatin vaikutusalueella laskea sekä edelleen numeerista integrointia käyttäen määrittää niiden sisältämät pinta-alat.

3. VAIKUTUS KAIVAUTUNEeseen MAALIIN

Kaivautuneen tai yleensä pitkin maanpintaa pyyhkäiseviltä sirpaleilta suojaavan esteen taakse jäävän elävän maalin suojautumisaste voidaan ottaa huomioon antamalla maalin haavoittuvan pinta-alan pienetä jonkin lain mukaan maalin sijoituspaikan etääntyessä ilmaräjähdyksen kantapisteestä maan pinnalla. Tällöin on kysymys ylhäältä avonaisista kaivanteista tai vain sivulevyin varustetuista ajoneuvoista,

joihin myös ylhäältä avonaiset mairinnousualukset voidaan lukea. Täten edellä esitettyä tiettyä osumatodennäköisyyttä P_1 vastaavaa sir-paletiheyttä s_1 laskettaessa voidaan kaava (17) korvata kaavalla

$$(29) \quad s_1 = -\frac{\ln(1-P_1)}{a_0 f(k, r_1)}$$

jossa a_0 merkitsee suojattoman maalin haavoittuvaa pinta-alaa.

Merkitsemällä sirpaleen tulosuunnan ja maanpinnan välistä kulmaa symbolilla β voidaan merkitä

$$\sin \beta = \frac{k}{r_1}$$

joka pienenee kohti nollaa r_1 :n kasvaessa ja k :n pysyessä muuttumat-tomana.

Oheisessa taulukossa 1 on $f(k, r_1)$ saanut arvot $\sin^2 \beta$ ja $\sin^4 \beta$. Taulu-kossa on annettu niiden arvot eräille β -kulmille sekä arvolla $a_0 = 0,4 \text{ m}^2$ vastaava maalin haavoittumispinta-ala a . Näyttää siltä, että kyseisiä $f(k, r_1)$ arvoja voidaan varsin hyvin käyttää likiarvoina kuvattaessa erilaisten kaivautuneiden maalien suojausastetta. Edellinen, $\sin^2 \beta$, voisi tulla kysymykseen heikommin suojautuneen maalin (tapaus "matalat poterot") ja jälkimmäinen $\sin^4 \beta$, tehokkaamman suojausasteen valli- tessa (tapaus "normaalipoterot").

β°	$f(k, r_1)$		$a \text{ (m}^2\text{)}$	
	$\sin^2 \beta$	$\sin^4 \beta$	$a_0 \sin^2 \beta$	$a_0 \sin^4 \beta$
0	0	0	0	0
30	0,250	0,015	0,1	0,006
45	0,500	0,125	0,2	0,050
60	0,750	0,422	0,3	0,169
75	0,933	0,813	0,373	0,325
90	1	1	0,4	0,4

Taulukko 1: Funktion $f(k, r_1)$ ja haavoittumispinta-alan a arvot eräille β -kulmille

Sijoittamalla nämä $f(k, r_1)$ arvot kaavaan (29) saadaan edelleen r_1^2 arvot kaavan (18) sijasta edellistä tapausta varten

$$(30) \quad r_1^2 = k \sqrt{\frac{25}{s_1} s_b} \quad (5 \text{ m})$$

sekä jälkimmäistä tapausta varten

$$(31) \quad r_1^2 = \sqrt[4]{k^2 \frac{25}{s_1} s_b} \quad (5 \text{ m})$$

Muussa suhteessa laskenta on sama kuin edellä suojattoman maalin tapauksessa.

Kun suojattoman maalin tapauksessa edullisin räjähdyskorkeus lähestyi nollaa, esiintyy kaivautuneiden maalien yhteydessä optimikohta tehon aluksi kasvaessa korkeuden mukana, kunnes sirpaletiheysten aletessa se jälleen laskee.

4. SOVELLUTUSESIMERKKI

4.1 Yleistä

Edellisissä luvuissa esitetty menetelmä on ohjelmoitu tietokoneen laskettavaksi. Ohjelman lähtöedellytyksinä ovat räjähdyskokeen antama sirpaletiheysfunktio (liite 2) taulukon muodossa avauskulman (α_0) funktiona ja tiedot sirpaleiden räjäytysnopeudesta (V_r), ammuksen tulokulmasta (φ_t) ja tulo nopeudesta (V_t), jotka parametreinä kutaakin yksityistapausta ja kranaattityyppiä varten syötetään laskimeen.

Laskin tulostaa numeerisesti eri todennäköisyyskäyrien sisältämät pinta-alat alkaen P:n arvosta 5 % 1 %:n välein P:n arvoon 10 % asti ja siitä edelleen 2 %:n välein P:n arvoon 20 %, josta edelleen 5 %:n välein P:n arvoon 90 % asti. Kerrottuaan käyrien väliset osa-alueet osa-alojen keskimääräisellä todennäköisyydellä se laskee edelleen mahdollisia todennäköisyyksiä käyttäen punnitut osavaikutusalueet ja punnitun kokovaikutusalan. Havainnollisen kuvan saamiseksi on laskin edelleen ohjelmoitu piirturilla tuottamaan kyseiset todennäköisyys-

käyrät 10 %:n välein alkaen 10 %:sta aina 90 %:iin asti, mikäli teho yltää niin pitkälle.

4.2.1 Räjätyskokeen analysointi

Eräällä 6 tuuman sirpalekranaatilla on koeasemalla suoritettu kolme räjäytystä, jolloin pöytäkirjasta saatavat sirpaloitumistulokset eri tauluihin 5 m:n kehällä esitetään taulukossa 2.

Taulu	Sirpaleluku			
	LS. 1	LS. 2	LS. 3	N
1	4	8	13	4,167
2	2	4	5	1,833
3	0	1	3	0,667
4	4	1	3	1,333
5	5	4	6	2,500
6	9	8	7	4,000
7	12	17	12	6,833
8	21	23	23	11,167
9	59	43	47	24,833
10	11	7	11	4,833
11	8	10	12	5,000
12	8	5	6	3,167
13	10	6	7	3,833
14	14	6	12	5,333
15	29	29	22	11,667
16	41	51	51	23,833

Taulukko 2: Räjätyskokeen tulokset

Koeampuma-aseman ptk N:o 25/59

Taulukon suure N esittää tasotaulun puolikkaalle (noin $1 \times 1 \text{ m}^2$) tulevaa sirpaleluvun keskiarvoa, joten

$$N = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{6}$$

Taulukkona 3 esitetään edelleen (räjäytyskokeen analyysituloksena eri tauluihin liittyvät avaruuskulmat (α_0, σ_1), reduktiokerroin (K) sekä

eri taulujen redusoidut sirpaleluvut. Samoin esitetään kutakin taulua vastaava sirpaletiheys 5 m:n etäisyydellä jakamalla taulukon 2 antamat sirpalekeskiarvot tasotaulun puolikasta vastaavalla pallonelikulmion alalla ($A_p = 0,9674 \text{ m}^2$). Redusoidut sirpaleluvut on laskettu yhteen, jolloin on saatu keskimmäisiin tauluihin (T.8 ja T.9) liittyvää pyöräh-dyskulmaa $\sigma = 0,19966^{\text{rad}}$ vastaavan kuoripuikun tuottamat sirpaleluvut.

Kertomalla nämä luvulla $\frac{2\pi}{0,19966}$ eli luvulla, joka ilmaisee, montako

kertaa ko. σ -kulma sisältyy täyteen kulmaan, saadaan kokonaissirpale-luku N_{tot} .

Taulu	Taulukulmat		Red.kerr. K	Red.sirp. luku	Sirp. tiheys
	α°	σ_k^{rad}			
	0				
1	13,1125	1,48408	0,1345	0,5605	4,307
2	23,3992	0,68897	0,2898	0,5312	1,895
3	34,3079	0,42180	0,4734	0,3157	0,689
4	45,3732	0,31324	0,6374	0,8497	1,378
5	56,4997	0,25704	0,7768	1,9420	2,584
6	67,6543	0,22531	0,8862	3,5448	4,135
7	78,8249	0,20761	0,9617	6,5713	7,063
8	90	0,19966	1	11,1667	11,543
9	101,1751	0,19966	1	24,8333	25,670
10	112,3457	0,20761	0,9617	4,6479	4,996
11	123,4983	0,22531	0,8862	4,4310	5,168
12	134,6268	0,25704	0,7768	2,4601	3,274
13	145,6921	0,31324	0,6374	2,4432	3,962
14	156,6008	0,42180	0,4734	2,5246	5,513
15	166,8875	0,68897	0,2898	3,3811	12,060
16	180	1,48408	0,1345	3,2055	24,636
			Yht N_{tot}	73,4308 2311	

Taulukko 3. Räjähdykskokeen analyysi

Liitteessä 1 esitetään tauluittain pylvädiagrammina taulukko 2:n ilmaisemat redusoidut sirpaleluvut, joissa myös ko. taulun suhteelli-

nen osuus on ilmoitettu. Liitteen 1 katkoviiva osoittaa tehtyä korjausta keskimmaisissa tauluissa (T.8 ja T.9) kokonaissirpalelukua kuitenkin muuttamatta puolitauluittain keskustaan päin tihentäen. Taulussa T.8 on korjaus 15 % ja taulussa T.9 25 %, vastaavan korjauksen siten siirryessä myös tiheysfunktioon (liite 2). Korjauksen tarpeellisuus on selvitetty menetelmän selostuksessa. Tiheyskäyrä on graafisesti esitetty liitteenä 2. Katkoviivat edustavat korjaamattomia ja tasoittamattomia tiheysarvoja. Tasoitetut tiheysfunktion arvot on numeerisena taulukona syötetty tietokoneelle, joka niistä ammuksen tulonopeuden huomioon ottaen laskee ja taltioi muistiin uuden, tulonopeutta vastaavan ns. ballistisen tiheysfunktion (α_b, s_b) edelleen 5 m:n etäisyydelle. Tiheystaulukko on käytännössä syytä laatia tiheäksi, esim. neljännestauluittain, jolloin todennäköisyyskäyrien kuvaajissa näkyvää aaltoilua voidaan vähentää. (Aaltoisuus johtuu tietenkin staattisen kokeen tiheysfunktion murtoviivaluonteesta, jolloin trigonometristen funktioiden vaikutuksesta käännepestien väliset suorat osat käyristyvät muuntolaskuissa.)

4.3 Laskennan tulokset

Edellä esitettyä kranaattia varten on laskenta suoritettu kyseessä olevan kanuunan täyspanokselle tulokulmille (φ_c) 15, 30, 45 ja 60°, joita vastaavat ammuksen tulonopeudet (V_c) ovat 377, 318, 318 ja 336 m/s sekä niillä korkeuksille 5, 10, 15 ja 20 m. Laskenta on suoritettu suojafonta ja avonaisiin kaivantoihin (vast.) suojautunutta elävää maalia silmällä pitäen, jolloin jälkimmäisessä tapauksessa erotetaan heikohko kaivautumisaste eli tapaus "matalat poterot" sekä hyvä kaivautumisaste eli tapaus "normaalipoterot". Edelleen on sirpaleiden räjäytysnopeudeksi (V_r) kauttaaltaan otettu vakioarvo 950 m/s.

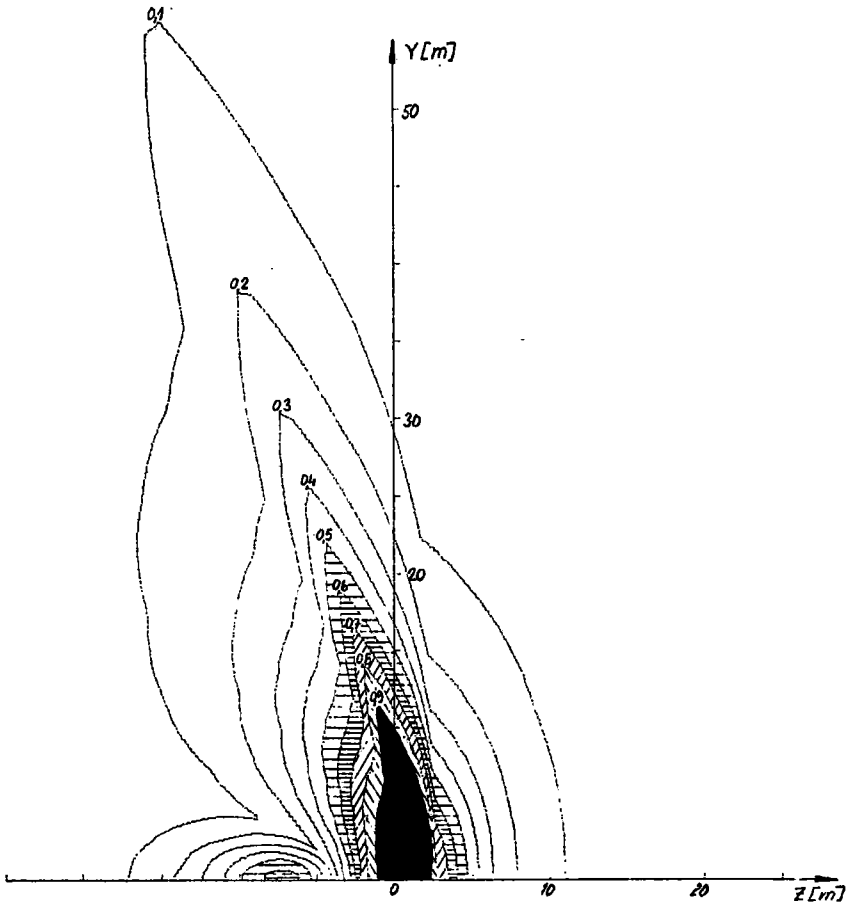
Laskennan tulokset on koottu taulukkoon 4, joka esittää punnitut osa- ja kokovaikutusalat ylläesitetyissä tapauksissa suojattomalle maalille.

		k				Keski- arvot
		5 m	10 m	15 m	20 m	
$\varphi_t = 15^\circ$	Koko ala	279,9	248,3	210,5	179,8	229,6
	häär.ala	118,3	117,7	111,7	109,5	114,3
	lam.ala	81,9	75,6	70,7	61,4	72,4
	tuh.ala	79,8	55,0	28,1	8,9	43,0
$\varphi_t = 30^\circ$	Koko ala	295,5	263,9	226,2	188,4	243,5
	häär.ala	121,9	127,7	123,6	117,9	122,8
	lam.ala	87,0	79,9	77,3	65,1	77,3
	tuh.ala	86,6	57,3	25,4	5,5	43,7
$\varphi_t = 45^\circ$	Koko ala	348,5	300,1	254,1	209,6	278,2
	häär.ala	150,6	143,1	142,3	140,4	144,1
	lam.ala	98,9	95,8	90,6	69,1	88,6
	tuh.ala	99,0	61,2	21,2	0,1	45,4
$\varphi_t = 60^\circ$	Koko ala	474,7	390,0	304,1	246,6	353,9
	häär.ala	209,5	199,9	184,9	191,1	196,4
	lam.ala	140,8	129,3	112,3	55,5	109,5
	tuh.ala	124,4	60,7	6,9	—	48,0
Keski- arvot	Koko ala	349,6	300,6	248,9	206,1	276,3
	häär.ala	150,1	147,1	140,6	139,7	144,4
	lam.ala	102,2	95,2	87,7	62,8	87,0
	tuh.ala	97,5	58,5	20,4	3,6	45,0

Taulukko 4: Kranaatin P.300 punnitut alat (m²)

Liitteet 3 ja 4 esittävät yhteenvetoina punnittuja kokovaikutusaloja kyseisille tulokulmille räjäytyskorkeuden funktiona sekä suojatonta maalia että sen eriasteisia kaivautumistapauksia varten. Liitteet 5—8 esittävät edelleen kokovaikutusalan jakautumista osavaikutusalueisiin. Niissä on katkoviivalla esitetty kyseisten tapausten keskiarvokäyrä, jossa eri suojautumisasteet on otettu huomioon sellaisinaan samanarvoisina.

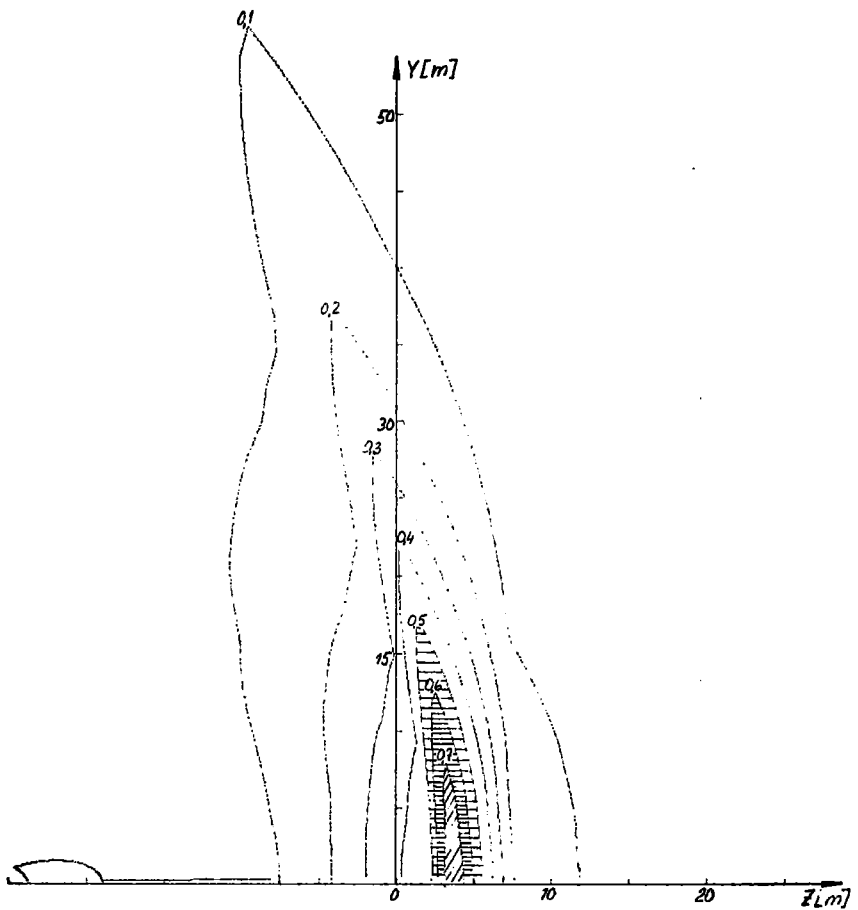
Lisäksi on kuvina 10—12 esitetty piirturin tulostamina todennäköisyyssäydykset seuraavia tapauksia varten:



KUVA 10: Suojaton maali, $k = 5$ m.

- | | |
|--|-------------|
| $\varphi_t = 30^\circ$; $k = 5$ m, suojaton maali | (kuva 10) |
| $k = 15$ m, „ „ | (kuva 11) |
| $k = 2$ m, ”normaalipoterot” | } (kuva 12) |
| $k = 5$ m, „ | |
| $k = 15$ m, „ | |

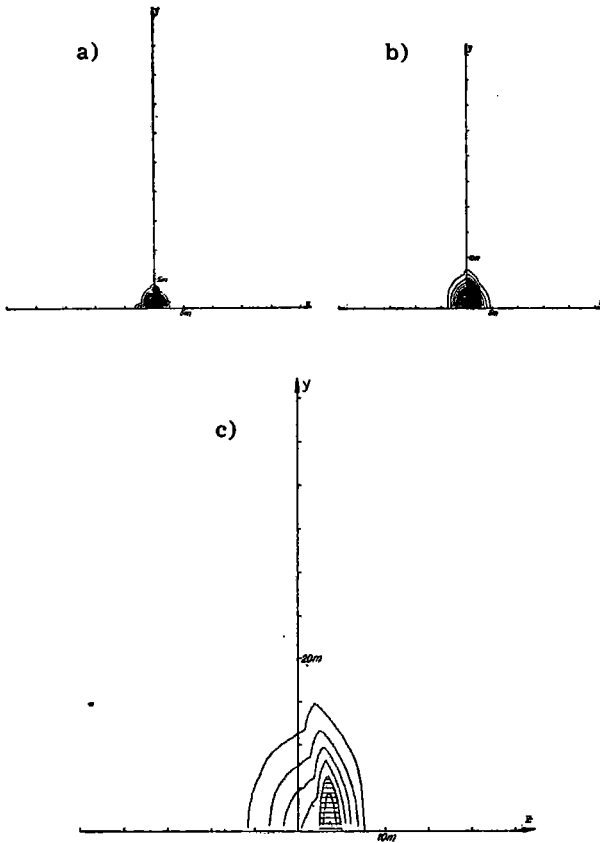
joitka edelleen havainnollistavat korkeuden ja suojautumisasteen vaikutusta. Kertomalla pinta-alat vastaavilla keskitodennäköisyyksillä saa-



KUVA 11: Suojaton maali, $k = 15$ m.

daan punnitut osavaikutusalat sekä punnittu kokovaikutusala, jotka ovat esitetyt taulukossa 4. Kuvan 12 punnitut kokovaikutusalat ovat molemmat vaikutusalan puoliskot huomioiden

- k:n arvolla 2 m 16,1 m²
- k:n arvolla 5 m 44,0 m²
- k:n arvolla 15 m 81,8 m²



KUVA 12: Hyvä kaivautumisaste a) $k = 2$ m, b) $k = 5$ m, c) $k = 15$ m.

Huomattakoon, että taulukon 4 vaikutusalueet koskevat vain ampumalinjan toiselle puoliskolle tulevaa vaikutusta, joten ne kokonaiskuvan saamiseksi on kerrottava kahdella. Liitteissä 3–8 tämä on jo suoritettu.

4.4. Edullisin räjähdyskorkeus

Täysin suojattoman maalin ollessa kysymyksessä on edullisin räjähdyskorkeus kaikilla tulokulmilla hyvin lähellä maan pintaa vaikutuk-

sen aletessa varsin nopeasti korkeuden kasvaessa. Kuten liitteistä 3 ja 4 ilmenee, on punnittu kokovaikutusala pudonnut noin puoleen räjähdyskorkeuden noustessa 5 m:stä 20 m:iin. Liitteistä 5—8 näkyy edelleen tuhoavan osavaikutusalan häviäminen käytännöllisesti katsoen yli 10 m:n räjähdyskorkeuksilla. Suuret tulokulmat ovat edullisempia viitaten edelleen matalien räjähdysten paremmuuteen juuri niillä.

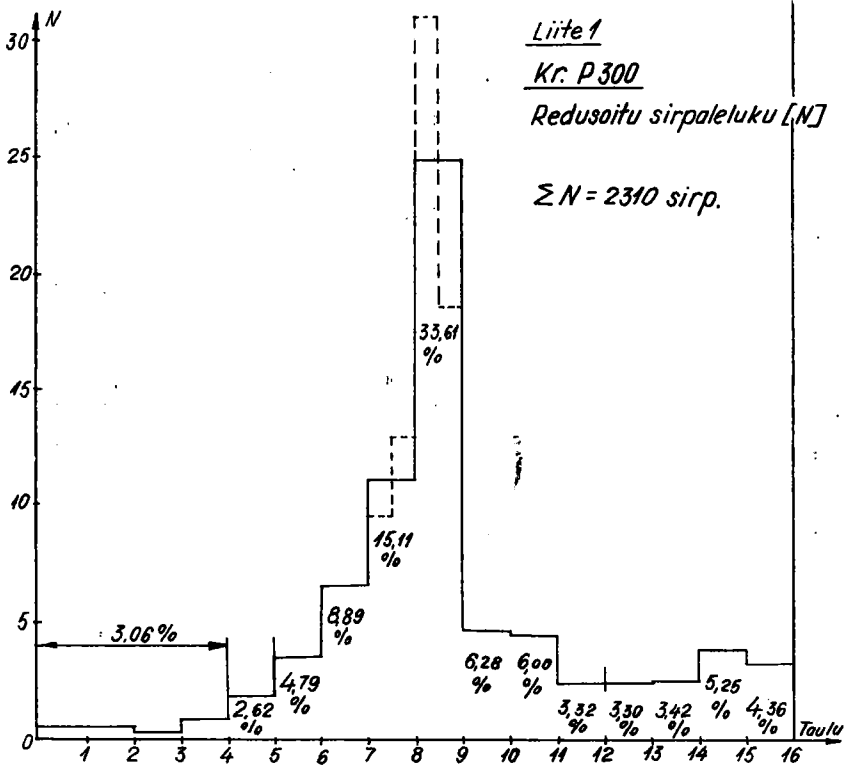
Erilaisia suojautumisasteita silmällä pitäen antavat liitteet 3—8 käsityksen vaikutuksesta. Kun kaivautuminen antaa suojaa loivasti maahan iskeytyviä sirpaleita vastaan, ilmenee punnitun kokonaisvaikutusalan käyristä optimipiste, joka

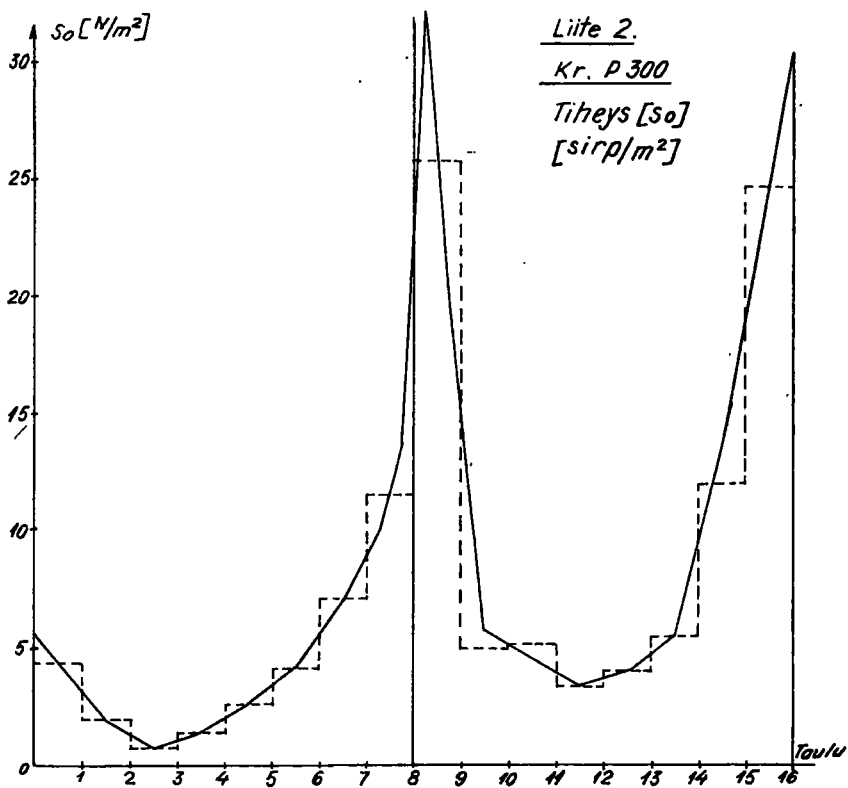
- ”matalien poterojen” tapauksessa kohoaa 10 m:stä noin 15 m:iin tulokulman pienetessä 60°:sta 15°:een
- ”normaalipoterojen” tapauksessa vastaavasti 10 m:stä noin 20 m:iin.

Kuitenkin em. käyrien laakuudesta johtuu, ettei räjähdyskorkeuden siirtymisellä yli 10 m:n ole käytännöllistä merkitystä kokonaisalojenkaan kannalta, puhumattakaan siitä, että tehokkain, tuhoava osa-alue, joka tapauksessa nopeasti vähenee yli 10 m:n korkeuksilla, kuten liitteistä 5—8 näkyy.

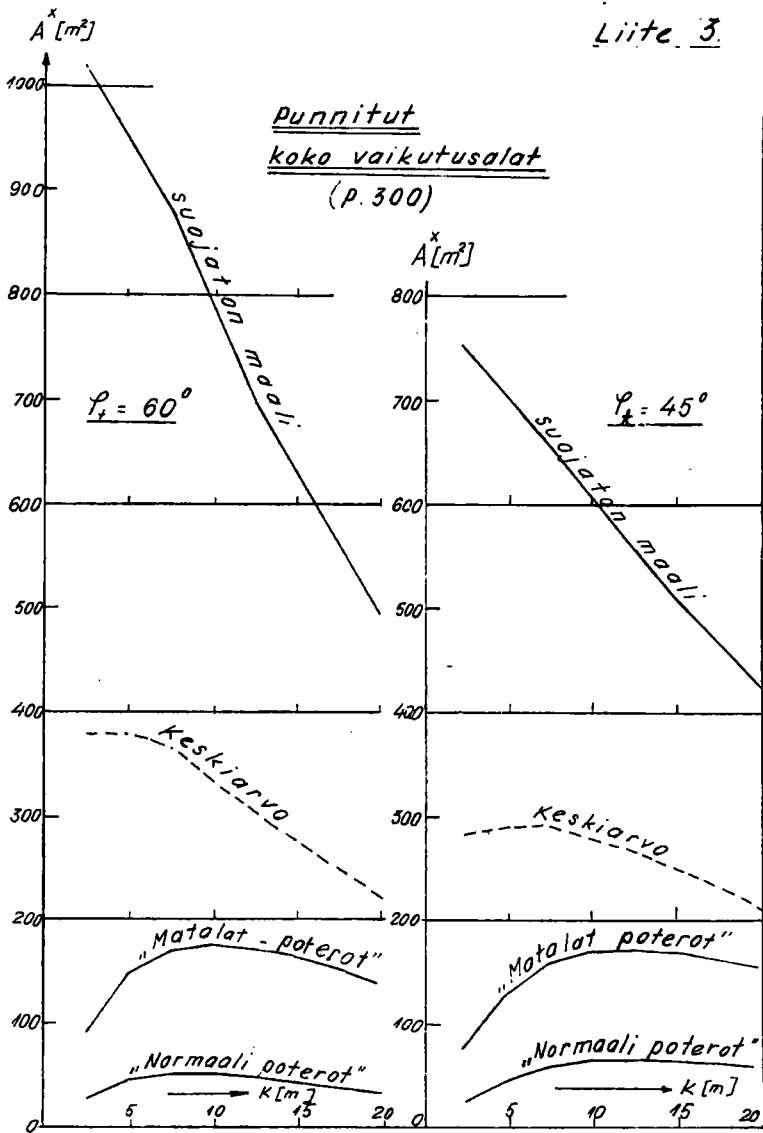
Punnittujen kokovaikutusalojen käyrästäihin (liitteet 3 ja 4) on katkoviivana piirretty näkyviin eri suojautumisasteiden keskiarvokäyrät, joiden optimipisteet asettuvat noin 7.5 m:n räjähdyskorkeuden kohdalle muilla tulokulmilla, paitsi 60°:lla, jolloin se jää noin 5 m:iin. Tällöin kaikki suojautumistapaukset on otettu keskiarvoa laskettaessa samanarvoisina huomioon, vaikka suojattoman maalin tapausta käytännössä olisi ilmeisesti aiheellista painottaa enemmän. Täten tutkimuksen tuloksena voidaan tutkitulle kranaatille asettaa räjähdyskorkeudelle noin 10 m:n yläraja, jonka kuitenkin on sallittava alentua noin 5 m:iin tai sen allekin 60°:n tulokulmalla.

Kokonaisarvostelun kannalta on aiheellista todeta käytetyn maalin haavoittuvana keskimääräisenä alana a, arvoa 0.4 m², jota voitaneen pitää liian suurena. Seurauksena siitä on siten voitu päätyä vaikutuksen kannalta liian edullisiin tuloksiin ja siten liian suuriin sallittuihin räjähdyskorkeuksiin.

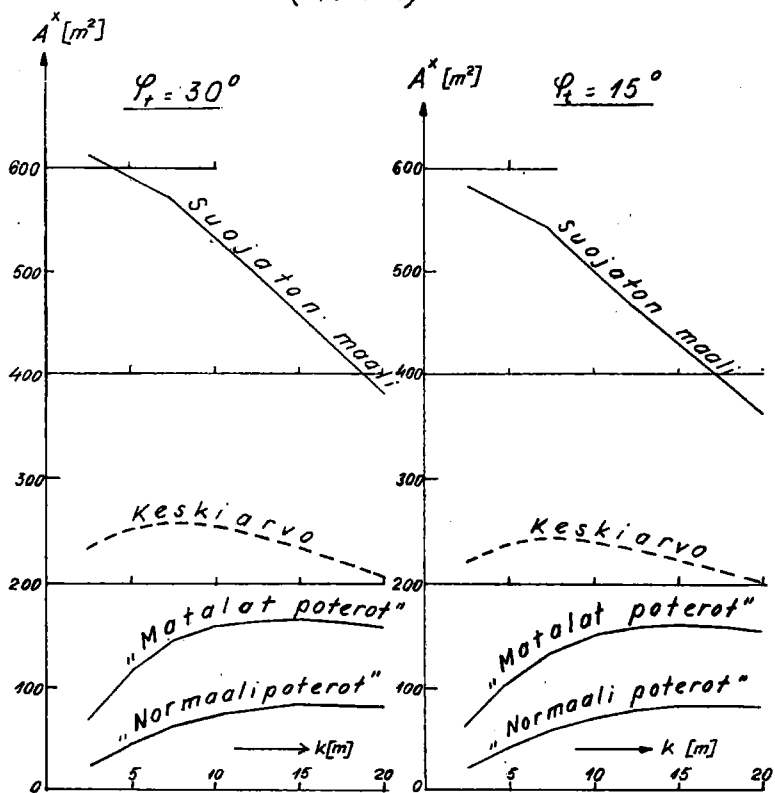




Liite 3



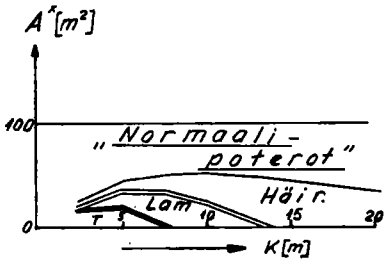
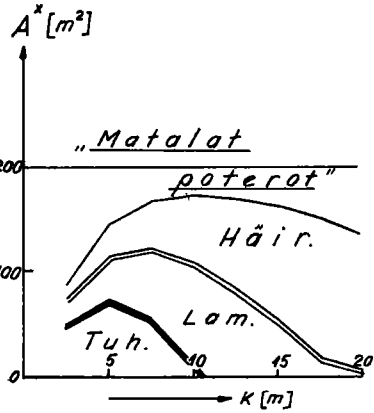
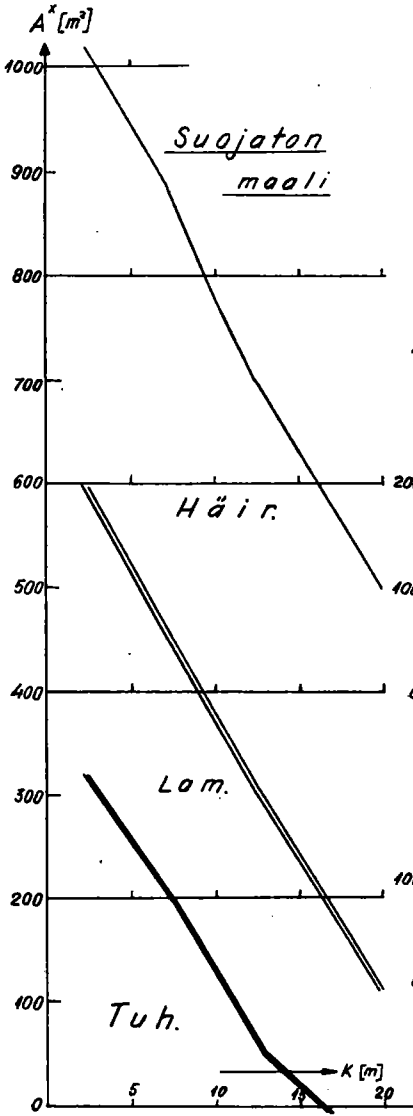
Punnitut
koko vaikutusalat
(P. 300)



Liite 5

Punnitut
osavaikutusalat
(p. 300)

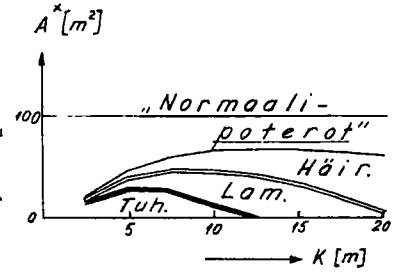
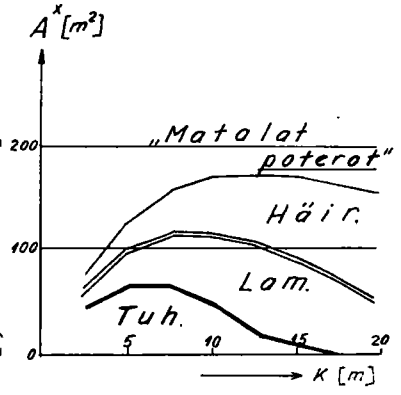
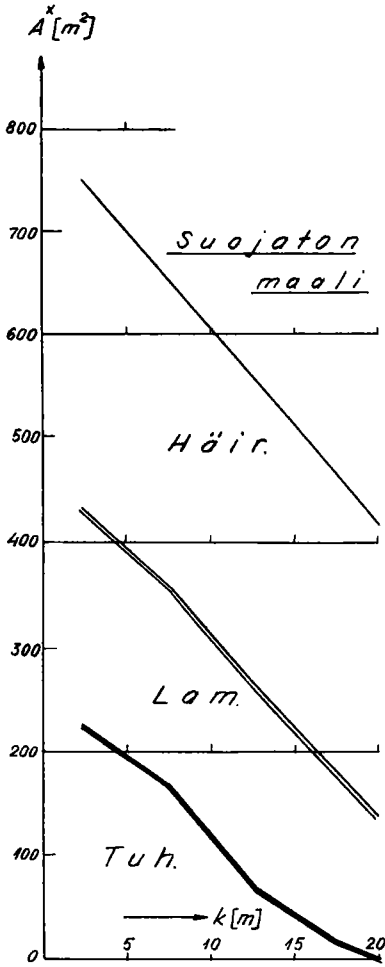
$\varphi_t = 60^\circ$



Liite 6

Punnitut
osavaikutusalat
(P. 300)

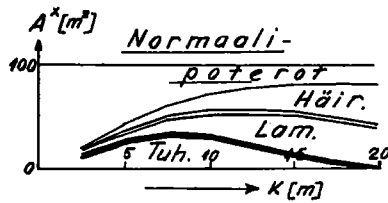
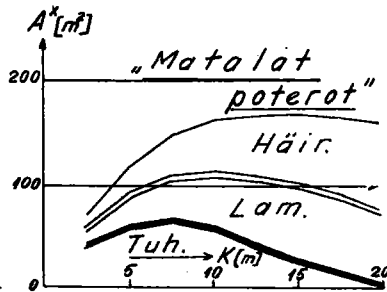
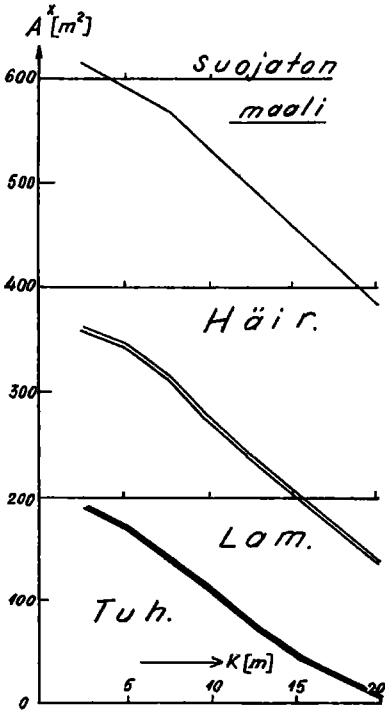
$\varphi_t = 45^\circ$



Liite 7

Punnitut
osavaiikutusalat
 (p. 300)

$$\varphi_t = 30^\circ$$

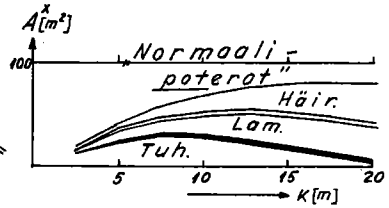
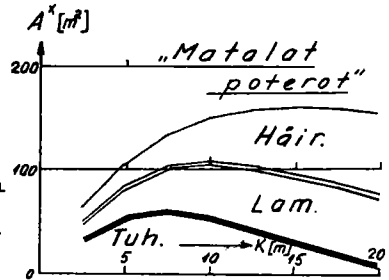
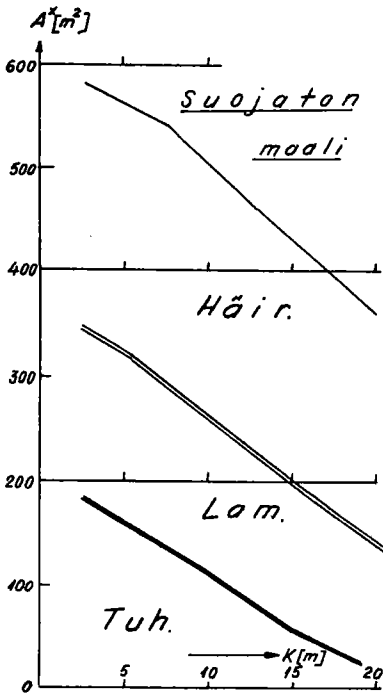


Liite 8

Punnitut
osavaikutusalat

(p. 300)

$\varphi_t = 15^\circ$



A METHOD TO COUNT THE EFFECT OF SHELLS BURSTING IN AIR AGAINST LIVING TARGETS ON SURFACE WITHOUT SHELTER

As a basis, using experiments conducted in a shells testing facility which allow the calculation of the splinter division of a laterally burst shell, formulas for the calculation of various degrees of effect will be developed. These formulas will be based on the conic sections and on the Poisson distribution with consideration taken for effect on living targets without shelter or in open ditches, etc. Thus consideration will be given, in addition to the explosion height, to the arrival speed and the angle of incidence of the shell as ballistic factors which have an effect of their own in splintering. Areas included in various curves of effect are calculated, if possible, by weighing, i.e., by multiplying them with the corresponding mean values of probability, to achieve an accurate standard, expressible in numbers, to be used in intercomparisons of various shells in differing circumstances. Furthermore, this standard or weighted area can be used as a basis for standardizing tactical bombardment forms for various types of ammunition. Also this weighted value has a use of its own in connection with the development of shells.

The calculations have been programmed for a computer (Programmed by the firm OY Nokia AB, Electronics) so the probability curves of various angles can, in addition to being given in numerical information, be graphed on a recording device so that the results can be read directly from the graph. An example of this application has been included in the article, with the corresponding conclusions, in order to make the matter more concrete.