J. MÄE
KOLONELLEITNANT

SUURTÜKIASJANDUS

III OSA

SUURTÜKIVÄE LASKETEOORIA ALUSEID

HAJUMUS
MÜRSKUDE TEGEVUS
LASKMINE

TALLINN, 1940

59934

J. MÄE
KOLONELLEITNANT

SUURTÜKIASJANDUS

III OSA

SUURTÜKIVÄE LASKETEOORIA ALUSEID

HAJUMUS
MÜRSKUDE TEGEVUS
LASKMINE

2841

TALLINN, 1940

RIIGI TRÜKIKOJA TRÜKK

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
59934

EESSÕNA.

Käesoleva raamatu eesmärgiks on selgitada lasketeoreetilisi küsimusi peamiselt hajumuse ja mürskude tegevuse alal.

Esimeses jaos on püütud käsitleda võrdlemisi põhjalikult tõenäosuse ja vigade teooriate neid küsimusi, mis on aluseks hajumuse ja pihtavuse seaduste uurimisel ja rakendamisel.

Teine jagu käsitleb mürskude tegevust lõhkemisel.

Kolmandas jaos on püütud selgitada ja põhjendada suurtükiväe laskmise tähtsamaid küsimusi peamiselt hajumuse seisukohalt.

Raamatu eesmärgiks ei ole mitte olla seletuskirjaks meie suurtükiväe laske-eeskirjale, vaid anda lugejale lasketeooria ja laskepraktika alal kujunenud tõekspidamisi, millede varal võib selgitada üht või teist küsimust laskeala küsimuste kompleksis üldse.

Mõningates puhtsuurtükiväelistes laskeala praktikalistes küsimustes on ruumi kokkuhoiu mõttes tehtud viipeid Sv. E V osale.

Küsimuste käsitlusviis võimaldab raamatu kasutamist ka neile, kel puuduvad matemaatikateadmised keskkooli õppekava ulatuses.

SISUKORD.

ESIMENE JAGU.

Hajumus.

I peatükk.

Tõenäosuse teooria aluseid.

Lk.

1. Üldmõisteid 1
   a) Juhuslikud nähtused 1
   b) Tõenäosuse mõisteid 2
   c) Sündmuse sagedus 5
2. Tõenäosuse teooria lauseid 6
   a) Tõenäosuste liitmine 6
   b) Tõenäosuste korrutamine 8
   c) Vastassündmuste tõenäosus katse kordamisel 12
   d) Suurte arvude seadus 20
   e) Hüpoteeside tõenäosus 25
3. Vahestised (juhusest sõltuvad) suurused 29
   a) Tõenäosuse kõver 30
   b) Vahestiste suuruste keskmisi väärtusi 32

II peatükk.

Vigade teooria aluseid.

1. Üldmõisteid 35
2. Vigade seadusi 37
   a) Üldist 37
   b) Gauss'i vigade-seadus 38
3. Mõõtmistäpsuse iseloomustus. Vigade ühikud 44
   a) Keskmine mõõtmistulemus 44
   b) Keskmine viga (Keskmine aritmeetiline viga) 44
   c) Keskmine ruutviga 46
   d) Tõenäone viga 47
   e) Keskmise mõõtmistulemuse viga 52

Lk.
4. Vead tasapinnal ja ruumis. Liitvead 56
a) Vektorvead 56
b) Elliptilised vead 58
c) Tasapinnaliste vigade analüütiline määramine . . . 62

III peatükk.

Hajumus ja pihtavus.

1. Hajumus 68
a) Hajumuse põhjusi 68
b) Hajumusseadused 70
c) Hajumuse keskmisi suurusi. Kallangute ühikuid . . 74
d) Hajumuse määramine tõenäostes kallangutes 75
e) Hajumus tasapinnal 77
g) Hajumus ruumis 82
h) Hajumus laskmisel mitmest suurtükist 86
2. Pihtavus 88
a) Pihtavuse tõenäosus 88
b) Pihtavuse tõenäosuse olenevusi lasketingimustest . . 88
c) Pihtavuse tõenäosuse määramine 92

TEINE JAGU.

Mürskude tegevus.

IV peatükk.

Üldmõisted.

1. Mürsk — suurtükiväe relv 104
2. Mürsu konstruktsiooni põhielemente 106
3. Mürsu võimsuse elemente 107
4. Mürskude liigitelu 109
a) Lahingumürsud 109
b) Erimürsud 109

V peatükk.

Granaadi tegevus.

1. Üldmõisteid 110
2. Granaadi löögitegevus 110
a) Granaadi löögitegevuse iseloomustus 110
b) Kõvade keskkondade takistus 114
c) Mürskude (kuulide) sissetungimise sügavuse ja aja määramine 115
d) Mürskude sissetung betoon- ja raudbetoonkihisse . . 120
e) Soomusgranaadi tegevus 122
3. Granaadi fugasstegevus 125
4. Granaadi brisanttegevus 129

Lk.

VI peatükk.

Šrapnelli tegevus.

1. Üldmõisteid 135
2. Šrapnelli tegevus lõhkemisel õhus 135
   a) Šrapnelli tegevuse üldine iseloomustus 135
   b) Šrapnelli kuulide paiskekiirus 136
   c) Šrapnelli kuulide paiskenurk 138
   d) Šrapnelli kuulide turmala 139
   e) Šrapnelli õhingukõrgus ja -joonvahe 143
3. Šrapnelli tegevus lööklaskmisel 147
4. Kartetši tegevus 148

VII peatükk.

Gaasimürskude tegevus.

1. Üldmõisteid 149
2. Gaasimürskude mõju 150
   a) Kiirelt haihtuvate gaaside mõju 150
   b) Aeglaselt haihtuvate gaaside mõju 150
   c) Gaasimürskude mõju olenevusi ilmastiku-, maastiku- ja lasketingimustest 151
   d) Andmeid Maailmasõjas tarvitatud gaasimürskude kohta 152

VIII peatükk.

Erimürskude tegevus.

1. Suitsumürsud 152
2. Süütemürsud 153
3. Valgustusmürsud 154
4. Joonestusmürsud 155
5. Propagandamürsud 155
6. Ballistilised mürsud 155
7. Praktikamürsud 156
8. Õppemürsud 156

KOLMAS JAGU.

Laskmine.

IX peatükk.

Üldaluseid.

Üldaluseid 157

X peatükk. Lk.

Laskeettevalmistus.

1. Laskeettevalmistuse iseloomustus ja liigitus 160
2. Laskeettevalmistuse täpsus 163

XI peatükk.

Vaatlus.

1. Üldaluseid 164
2. Laskmise jälgimine maapealsel vaatlusel 166
   a) Määrangud 166
   b) Lõhkemiste nähtavus ja iseloom 166
   c) Lõhkemiste vaatlus 167
   d) Vaatlusviisid 168
3. Telgvaatlus 169
4. Ühekülgne vaatlus 170
   a) Ühekülgne vaatlus väljaspool vaatlusriba 170
   b) Ühekülgne vaatlus vaatlusribas 170
5. Kokkukõlastatud vaatlus 175

XII peatükk.

Eellaskmine.

1. Eellaskmise üldine iseloomustus ja liigitus 180
2. Laskereeglite tõendamisviise 183
   a) Laskereeglite tõendus hüpoteeside tõenäosuse lausete põhjal 184
   b) Laskereeglite tõendus Bernoulli lause rakendusega piiratud arvude juures 187
   c) Hajumuskeskme määramine olenevalt vaatlusest . . 187
   d) Hajumuskeskme määramine olenevalt seeria üksikkallangute suurusest 188
3. Märgi võimaliku asendi määramine 188
   a) Märgi asendi määramine laskeettevalmistuse põhjal . 188
   b) Kallangu märgi tõenäosuse määramine 189
   c) Märgi asendi määramine laskmise põhjal 189
4. Märgi asendi tõenäosuse kõvera rakendusi haaretega kaugus-eellaskmise tähtsamate reeglite tõendamisel 193
5. Eellaskmine haaretega 203
   a) Haaretega eellaskmise eesmärk ja iseloomustus . . . 203
   b) Eellaskmine ainult ühel seadel 203
   c) Eellaskmine mitmel seadel 205
   d) Kahe eeltoodud viisi ühendlus 206
   e) Tõenäoseima tõsteseade määramine kaugusvaatluste põhjal 206
   g) Täpsa kauguseellaskmise reeglite tõendusi 209

Lk.

h) Parandustule seeria kallangumärkide ühendluste tõenäosus, kui hajumuskese ühtub märgiga 217
6. Eellaskmine lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega . . . 218
a) Eellaskmise iseloomustus 218
b) Eellaskmise reeglite tõendamine 218
7. Suuna eellaskmine 222
8. Eellaskmine õhingutega 224
a) Eellaskmine šrapnelliga 224
b) Eellaskmine granaadiga 241
9. Eellaskmine abimärgi suhtes. Tule üleviimine 242
10. Tulekontroll 243

XIII peatükk.

Turmlaskmine.

1. Turmtule eesmärgid 244
2. Tule turmavus 245
a) Laengu-, mürsu- ja süütajaliigi valik 246
b) Tulistatava pindala määramine ja tulejaotus . . . 246
c) Laske- ja tuleviis 251
d) Laskemoonakulu määramine 251
3. Tulistamine 255
a) Purustustuli 255
b) Neutraliseeriv tuli 261
c) Tõkketuli 262

LISAD.

Lisa I. Funktsiooni $\Theta(t)$ tabel 263
Lisa II. Funktsiooni $P(n)$ tabel 273
Lisa III. Gauss'i vigade-seaduse kõvera ordinaatide tabel . . 279
Lisa IV. Allikate nimekiri 280

ESIMENE JAGU.

Hajumus.

I peatükk.

TÕENÄOSUSE TEOORIA ALUSED.

1. Üldmõisteid.

a) Juhuslikud nähtused.

Kui lasta ühest ja samast tulirelvast ühesugustes laskетingimustes seeria kuule või mürske, siis nende lendjooned ja kohtamispunktid ei ühtu, vaid paiknevad teatud pindalale. Seda nähtust nimetatakse hajumuseks.

Hajumuse nähtuse põhjusi on palju ja mitmesuguseid. Neid põhjusi ei saa kõrvaldada; samuti ei saa nende mõju iseloomu või suurust ette määrata. Sihturi mitteühtlane töötamine iga üksiku lasu juures, laskemoona mitteühtlased mõõted ja kaalud, ilmastiku tingimuste muutumine ja veel hulk mitmesuguseid juhuslikke tegureid on hajumuse nähtuse põhjusiks.

Neid nähtusi, mis olenevad mitmesuguseist tuntud ja tundmata põhjusist, tekivad juhuslikult ja annavad juhuslikke tulemusi, nimetatakse juhuslikeks nähtusiks.

Lastes märgi pihta ühesugustes lasketingimustes võib esimene mürsk kukkuda märgi ette, teine aga märgi taha, või vastupidi; või üks mürsk pihtab märki, teine aga ei pihta. See on samuti kui täringi viskamisel võib ülespoole jääda ühel juhul ühesilmaline külg, teisel juhul aga kuuesilmaline külg jne. Mängukaartide kimbust võib huupi välja tõmmata

ühel juhul piltkaardi, kuna teisel juhul mitte pildiga kaardi. Loteriipileti võtmisel ühel juhul on võit, kuna teisel juhul mitte. Eellange, tagalange, pihtavus, visatud täringi ülemise külje silmade arv, piltkaardi väljavõtmine, võit loteriipiletiga — kõik need on juhuslikkude nähtuste juhuslikud tulemused.

Juhusliku nähtuse juhuslikku tulemust nimetatakse sündmuseks.

Praktika näitab, et üksikute juhuslikkude nähtuste juures teatava sündmuse (tulemuse) tekkimine on juhuslik. Lastes üks või kaks lasku õigetel seadetel, on märgi tabamine juhuslik. Visates täringit ainult mõni kord, on kuue silma saamine juhuslik. Võttes mängukaartide kimbust ainult mõne kaardi, on piltkaardi saamine juhuslik. Kui aga teostada juhusliku nähtuse katseid või vaatlusi suuremal arvul (õigetel seadetel lasta märgi pihta rohkem mürske või kuule; täringi viskamist, mängukaardi võtmist teostada palju kordi), siis võib tähele panna, et teatava sündmuse tekkimine ei ole enam juhuslik, vaid allub kindlatele seadustele. Sündmuse tekkimine on seda reeglipärasem, mida suurem on juhusliku nähtuse vaatluste või katsete arv.

Õppeaine, mis käsitleb juhuslikkude nähtuste ja nende tulemuste tekkimise seadusi, nimetatakse tõenäosuse teooriaks.

Tõenäosuse teooria aineks on juhuslikkude nähtuste tekkimise korrapärasuse uurimine kvantitatiivsest küljest.

Tõenäosuse teooriat kasutatakse mitmesuguste juhuslikkude nähtuste uurimiseks. Ka laskeasjanduse küsimusi (hajumus ja pihtavus) tuleb uurida tõenäosuse teooria varal.

b) Tõenäosuse mõisteid.

Mõningate juhuslikkude nähtuste katsel või vaatlusel on võimalik ette määrata antud nähtuse kõigi võimalikkude sündmuste (juhuste) arvu ja ühtlasi ka soodsete (mille tekkimist soovime näha) sündmuste (juhuste) arvu. Näiteks, kui visatud täring on valmistatud ühtlase tihedusega materjalist, selle küljed on täpsalt ühesuurused ja selle viskamise juures ei ole tarvitatud erilisi võtteid, siis on täiesti juhuse asi, missugune külg jääb ülespoole ühe või teise viskamise juures, sest igal täringiküljel on ühesugune võimalus (šanss) peale jääda. Kuna täringi külgi on kuus, siis käesoleva juhusliku nähtuse kohta võib öelda, et kõigi võimalikkude sündmuste

(juhuste) arv on 6 ja ainult soodsete sündmuste (juhul, kui soodseks sündmuseks on ainult ühe mingisuguse külje pealejäämine) arv on 1. Suhet 1 : 6 nimetatakse soodse sündmuse tõenäosuseks.

Seega soodse sündmuse tõenäosus on selle sündmuse tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arvu suhe antud juhusliku nähtuse kõigi sündmuste tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arvuga.

Eelmises näites on juhuslikuks nähtuseks täringi mingisuguse külje pealejäämine; soodseks sündmuseks on ühe (näiteks kuuesilmalise) külje pealejäämine.

Mängukaartide kimbus on 52 kaarti, soodseks sündmuseks on kuninga väljavõtmine. Kui suur on selle sündmuse tõenäosus?

Iga üksiku kaardi väljavõtmine on omaette võimalik sündmus või sündmuse juhus. Kõiki võimalikke sündmusi või sündmuste juhuseid on 52, neist soodseid on 4; seega kuninga väljavõtmise tõenäosus on

$$\frac{4}{52} = \frac{1}{13}.$$

Kui soodse sündmuse tõenäosuse üldtähistuseks on p, selle sündmuse tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arvu üldtähistuseks m ja kõigi sündmuste tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arvu üldtähistuseks n, siis soodse sündmuse tõenäosuse üldavaldiseks on

$$p = \frac{m}{n}.$$

Seega sündmuse tõenäosuse avaldiseks on murd, mille lugejaks on selle sündmuse kõigi võimalikkude juhuste arv ja nimetajaks antud juhusliku nähtuse kõigi sündmuste kõigi võimalikkude juhuste arv. Tõenäosuse piirväärtusteks on 0 ja 1, s. o. $0 \leqslant p \leqslant 1$. Kui sündmuse tõenäosus võrdub nulliga, siis selle sündmuse tekkimist ei saa üldse olla; kui sündmuse tõenäosus on võrdne ühega, siis see sündmus tekib igal juhul. Tihtipeale sündmuse tõenäosus avaldatakse protsentides. Kui sündmus peab tekkima igal juhul, siis on selle tõenäosus 100%.

Absoluutse (teoreetilise) tõenäosuse määramise juures on tingimuseks, et vaadeldatava juhusliku nähtuse kõik võimalikud ja kõik soodsed sündmused ja nende sündmuste kõik võimalikud juhused oleksid arvesse võetud ja et nad oleksid:

— samaväärsed (võrdselt võimalikud) ja

— rippumatud (mitteühtjad).

Nende tingimuste selgituseks olgu alljärgnevad näited.

Näide 1. Kui visata korraga kaks täringit, siis võib saada silmade summasid, millede arvud on 2 kuni 12 ehk kokku 11 arvu (2, 3, 4 ... 11 ja 12). Vähemalt 10 silma saamise tõenäosuse määramiseks on vaja teada soodsete (kahe visatud täringi silmade summa on kas 10, 11 või 12) juhuste ja kõigi võimalikkude (kahe visatud täringi silmade summa on kas 2, 3, 4 ... 10 11 või 12) juhuste arvusid. Pealiskaudsel määramisel näib, et soodsete juhuste arv on 3, kõigi võimalikkude juhuste arv on 11, ning määratav tõenäosus peaks olema $\frac{3}{11}$. Kuid see ei ole õige. Viga seisneb selles, et silmade summa (kas 10, 11 või 12) saamise juhused ei ole samaväärsed. 12 silma võib saada ainult ühel juhul (kui mõlemal täringil on 6 silma peal); 11 silma võib saada kahel juhul (kui ühel täringil on 6 silma ja teisel 5 silma või ühel täringil on 5 silma ja teisel 6 silma peal) ja 10 silma võib saada kolmel juhul (6 + 4; 5 + 5 ja 4 + 6 silma peal). Seega samaväärseid soodseid juhuseid, millede juures võib saada mitte vähem kui 10 silma, on kokku 6 aga mitte 3, nagu see esialgu näis olevat. Kahe täringi viskamisel ühe täringi iga külg võib peale jääda (kombineeruda) koos teise täringi iga küljega. Seega kõiki võimalikke juhuseid on 36 aga mitte 11, nagu see esialgu näis olevat. Järelikult määratav õige tõenäosus on $\frac{6}{36} = \frac{1}{6}$.

Näide 2. Mängukaarte on 52. Missugune on tõenäosus võtta välja kaardikimbust kas trumbikaart või ükspuha mis värvi piltkaart? Kõiki võimalikke juhuseid on 52. Kuid ei saa võtta soodsete juhuste arvuna 29 (13 trumbikaarti ja 16 piltkaarti), sest et mõned neist juhuseist on rippuvad (trumbivärvi piltkaardid). Rippumatuteks soodseteks juhusteks on 13 trumbikaarti ja 12 mittetrumbivärvi piltkaarti — kokku 25. Seega otsitav õige tõenäosus on $\frac{25}{52}$.

Kui juhusliku nähtuse tulemusena ühel katsel või vaatlusel tekib üks mingisugune rippumatu sündmus, siis selle sündmuse tekkimine teeb võimatuks ülejäänud rippumatute sündmuste tekkimise sama katse (vaatluse) juures.

Kui juhusliku nähtuse tulemusena võivad tekkida ainult kaks rippumatut sündmust, siis nime-

tatakse neid sündmusi vastassündmusteks. Vastassündmusteks on pihtavus ja möödalaskmine, eellange ja tagalange, võit ja kaotus jne.

Kui ühe vastassündmuse tõenäosus on $p = \frac{m}{n}$, siis teise vastassündmuse tõenäosus on $q = \frac{n-m}{n} = 1 - \frac{m}{n}$. Järelikult $q = 1 - p$, kust $p + q = 1$. Seega vastassündmuste tõenäosuste summa võrdub ühega.

Seni loodud tõenäosuse mõisted ja tõenäosuse määramise viisid on tuletatud puhtdeduktiivselt (loogiliste järelduste põhjal). Sel viisil määratud tõenäosust nimetatakse aprioorilised ehk teoreetilisteks (absoluutseks) tõenäosuseks.

c) Sündmuse sagedus.

Sündmuse tõenäosuse määramisel on vaja teada selle sündmuse tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste (šansside) ja antud juhusliku nähtuse kõigi sündmuste tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste (šansside) arvusid. Seesugune tõenäosuse määramise viis on kohane lihtsemate juhuslikkude nähtuste vaatluste või katsete juures. Paljude nähtuste vaatluste või katsete juures, samuti ka laskeasjanduse praktikas, ei ole ette teada soodse sündmuse tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arv. Kuid juhusliku nähtuse vaatlusel või katsel võib määrata soodse sündmuse sagedust ehk soodse sündmuse juhuste arvu ja katsete või vaatluste üldarvu suhet.

Tulirelvast lastes on võimatu ette määrata kõigi pihtavuste ja mittepihtavuste juhuste arvusid. Võib ette määrata ainult kõigi vaatluste või katsete (lastavate kuulide või mürskude) koguarvu. Pärast katset võib öelda, et antud tulirelvast antud lasketingimustel ja antud laskude arvu juures on saadud teatud arv pihtavusi. Näiteks, märgi pihta on lastud 50 mürsku ja seejuures on saadud 5 pihtavust. Seega pihtavuse sagedus on

$$\frac{5}{50} = \frac{1}{10}.$$

Sündmuse sageduseks on lihtmurd, mille piirväärtuseks on 0 ja 1. Vaatluste või katsete varal määratud sündmuse

sagedus loetakse mõnikord lähedaseks või võrdseks vastava sündmuse tõenäosusega ja seda eriti siis, kui on tehtud palju katseid või vaatlusi.

Sageduse mõisted ja sageduse määramise viis on tehtud juhuslikkude nähtuste vaatluste või katsete põhjal. Vaatluste või katsete põhjal määratud keskmist sagedust nimetatakse sündmuse aposteriooriliseks ehk empiiriliseks tõenäosuseks.

2. Tõenäosuse teooria lauseid.

a) Tõenäosuste liitmine („kas ja või" tõenäosus).

Mõnikord on vaja üldistada isesuguseid rippumatuid sündmusi üheks üldsündmuseks ja määrata selle tõenäosus, kui on teada üldistatavate sündmuste tõenäosused. Samuti ka vastupidi, üldistatud ja mõne üldistatava sündmuse tõenäosuste järgi tuleb määrata mõne teise üldistatava sündmuse tõenäosus.

Olgu mingisuguses nõus 15 mitmevärvilist kuuli. Neist on 6 valget, 5 musta ja 4 punast kuuli. Kui sellest nõust huupi välja võtta üks kuul, siis:

— valge kuuli väljavõtmise tõenäosus on $p_1 = \frac{6}{15}$;

— musta kuuli väljavõtmise tõenäosus on $p_2 = \frac{5}{15}$;

— punase kuuli väljavõtmise tõenäosus on $p_3 = \frac{4}{15}$.

On selge, et „kas valge või musta" kuuli väljavõtmise tõenäosus on võrdne valge kuuli väljavõtmise tõenäosuse ja musta kuuli väljavõtmise tõenäosus summaga, s.o.

$$\frac{6}{15} + \frac{5}{15} = \frac{11}{15}.$$

Seega mitmest rippumatust üksiksündmusest ükskõik missuguse sündmuse tõenäosus võrdub nende üksiksündmuste tõenäosuste summaga.

Seda lauset võib tõestada ka üldkujul. Sündmuse tõenäosuse üldavaldise $p = \frac{m}{n}$ põhjal $m = p\,n$, s. o. soodse sündmuse tekkimiseks võimalikkude juhuste arv m võrdub selle sündmuse tõenäosuse p ja kõigi sündmuste tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arvu n korrutisega.

Kui tähistada üksikute (üldistatavate) sündmuste tõenäosusi p_1, p_2, p_3, ... p_k ja kõigi samaväärsete ja rippumatute sündmuste või sündmuste juhuste arvu n-ga, siis võib eestoodu põhjal öelda, et 1., 2., 3., ... k sündmuste tekkimiseks võimalikkude juhuste arvud on: $m_1 = p_1 n$; $m_2 = p_2 n$; $m_3 = p_3 n$; ... $m_k = p_k n$. Järelikult mitmest rippumatust sündmusest ükskõik missuguse sündmuse tõenäosuse määramise üldavaldiseks võib olla avaldis:

$$P_k = \frac{p_1 n + p_2 n + p_3 n + \ldots + p_k n}{n} = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots p_k .$$

Järelduslause. Juhusliku nähtuse kõigist võimalikkudest sündmustest ükspuha missuguse sündmuse tekkimise tõenäosus võrdub kõigi rippumatute sündmuste tõenäosuste summaga, mis omakorda võrdub 1-ga.

Näide 1. Missugune on kaardikimbust piltkaardi väljavõtmise tõenäosus? Kuninga, emanda või soldati väljavõtmise tõenäosused igaüks on $\frac{4}{52}$. Piltkaardi väljavõtmise tõenäosus

$$P_k = \frac{4}{52} + \frac{4}{52} + \frac{4}{52} = \frac{12}{52} = \frac{3}{13} .$$

Näide 2. Olgu antud lasketingimuste juures õhingute hajumuse tõttu üksikute õhinguliikide tõenäosused:

— madalate õhingute jaoks $p_1 = \frac{2}{10}$;

— soodsete õhingute jaoks $p_2 = \frac{4}{10}$;

— kõrgete õhingute jaoks $p_3 = \frac{3}{10}$.

Missugune on näkke või madala õhingu tekkimise tõenäosus? Ükspuha missuguse õhingu tekkimise tõenäosus võrdub kõigi õhinguliikide tõenäosuste summaga, s. o.

$$P = p_1 + p_2 + p_3 = \frac{2}{10} + \frac{4}{10} + \frac{3}{10} = \frac{9}{10} .$$

Näkke (kui õhingutega vastassündmuse) tõenäosus on:

$$Q = 1 - P = 1 - \frac{9}{10} = \frac{1}{10} .$$

Järelikult kas näkke või madala õhingu tekkimise tõenäosus on

$$T = p_1 + Q = \frac{2}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10} \text{ ehk } 30\% .$$

b) Tõenäosuste korrutamine („korraga või järgemööda" tõenäosus).

Mõnikord on vaja määrata kahe või mitme üksiksündmuse (lihtsündmuse) korraga või järgemööda tekkimise tõenäosus. Näiteks, on vaja määrata, kui suur on tõenäosus tabada märki kahe või mitme lasuga järgemööda.

Korraga või järgemööda tekkivate sündmuste kogu nimetatakse liitsündmuseks.

Olgu pandud kahte nõusse mustad ja valged kuulid. Ühes nõus olgu 8 musta ja 3 valget kuuli, teises — 10 musta ja 6 valget kuuli. Kummastki nõust võetakse huupi välja üks kuul. Kui suur on tõenäosus selleks, et niihästi esimesest kui ka teisest nõust võetud kuul on valge?

Iga kuul ühest nõust võib väljavõtmisel kokku sattuda (ühtida) iga kuuliga teisest nõust. Seega kõiki võimalikke juhuseid on

$$11 \cdot 16 = 176 .$$

Samuti ka iga valge kuul ühest nõust võib väljavõtmisel kokku sattuda iga valge kuuliga teisest nõust. Seega kõiki soodseid juhuseid on

$$6 \cdot 3 = 18 .$$

Järelikult otsitav tõenäosus on

$$P = \frac{18}{176} = \frac{3}{11} \cdot \frac{6}{16} .$$

Seega mitmest rippumatust lihtsündmusest koosneva liitsündmuse tõenäosus võrdub nende lihtsündmuste tõenäosuste korrutisega.

Seda lauset võib tõestada ka üldkujul. Esialgu vaatleme ainult kahte korraga või järgemööda tekkivat lihtsündmust. Olgu korraga või järgemööda tekkivate lihtsündmuste tõe-

näosused p_1, p_2, p_3 .... Ainult esimese lihtsündmuse tõenäosus olgu p_1 ja ainult teise lihtsündmuse tõenäosus olgu p_2. Kuna vaatluse all on ainult korraga või järgemööda tekkivad sündmused, siis teise, kolmanda jne. sündmuse tekkimine on võimalik ainult ja vastavalt pärast esimese, teise, kolmanda jne. sündmuse tekkimist. Et aga esimese sündmuse tekkimiseks kõigi soodsete juhuste arv on $m_1 = p_1 n$, siis teise sündmuse tekkimiseks kõigi võimalikkude juhuste arv peab olema $p_1 n$. Avaldades teise sündmuse tekkimiseks kõigi soodsete juhuste arvu teise sündmuse tõenäosuse kaudu, saame $m_2 = p_2 \cdot p_1 n$. Seega kahest lihtsündmusest koosneva liitsündmuse üldavaldiseks on avaldis:

$$P_2 = \frac{p_2 \cdot p_1 n}{n} = p_1 \cdot p_2 .$$

Seda tõestust ja avaldist võib üldistada ükspuha kui mitmest korraga või järgemööda tekkivast lihtsündmusest koosneva liitsündmuse tõenäosuse määramise jaoks. Selleks on vaja kahest lihtsündmusest koosneva liitsündmuse tõenäosuse üldavaldist vaadelda kui esimese lihtsündmuse tõenäosust ja eelpooltoodud viisil määrata sellest ja kolmandast lihtsündmusest koosneva liitsündmuse tõenäosus jne. Seega n sündmusest koosneva liitsündmuse tõenäosuse määramise üldavaldiseks on avaldis:

$$P_n = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdots p_n .$$

Erijuhul, kui liitsündmus koosneb ühest ja samast n-kordselt korduvast ja jääva tõenäosusega lihtsündmusest, siis selle liitsündmuse tõenäosus võrdub lihtsündmuse tõenäosusega astmes n, s. o.

$$P_n = p_1 \cdot p_1 \cdot p_1 \ldots (n\text{-korda}) = p^n .$$

Liitsündmuse tõenäosuse määramisel eeltoodud avaldiste järgi on tingimuseks, et lihtsündmused oleksid üksteisest rippumatud. Vastasel korral tuleb iga lihtsündmuse tõenäosus määrata eeldusega, et kõik eelmised sündmused on juba tekkinud.

Näide 1. Missugune on piltkaardi kaks korda järgemööda väljavõtmise tõenäosus tingimusel, kui esimest korda võetud kaarti ei panda uuesti kaardikimpu?

Piltkaardi väljavõtmise tõenäosus esimest korda on $p_1 = \frac{12}{52}$.

Piltkaardi väljavõtmise tõenäosus teist korda on $p_2 = \frac{11}{51}$.

Piltkaardi väljavõtmise tõenäosus kaks korda järgemööda on

$$P = \frac{12}{52} \cdot \frac{11}{51} = \frac{132}{2652} \approx \frac{1}{20}.$$

Näide 2. Ühe lasuga pihtavuse tõenäosus $p = \frac{1}{2}$. Kui suur on tõenäosus lastes märgi pihta neli korda järgemööda?
Neli korda järgemööda pihtavuse tõenäosus on

$$P = p^4 = \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{16}.$$

Näide 3. Eellange saamise tõenäosus $p = \frac{1}{3}$. Missugune on kahe lasuga katangu saamise tõenäosus?
Tagalange saamise tõenäosus on

$$q = 1 - p = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}.$$

Katangu saamisel kahe lasuga võib olla kaks järgmist ühendlust: kas „+ ja —“ või „— ja +“. Esimese ühendlusega liitsündmuse tõenäosus on

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{2}{9};$$

teise ühendlusega liitsündmuse tõenäosus on

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{9};$$

ükskõik kumma liitsündmuse tõenäosus on

$$\frac{2}{9} + \frac{2}{9} = \frac{4}{9} = 0{,}44 \text{ ehk } 44\%.$$

Näide 4. Hajumusnelinurk, mille pikem külg on paralleelne lasketasapinnaga ja mille kese ühtib pihtavuskeskmega, on jaotatud pikuti ja laiuti kaheksaks võrdseks ristkülikuks (vt. Sv. E. V. § 11) ehk ribaks. Ribade pihtavuse tõenäosused nii pikuti kui ka laiuti on protsentides: 2, 7, 16, 25, 25, 16, 7, 2.

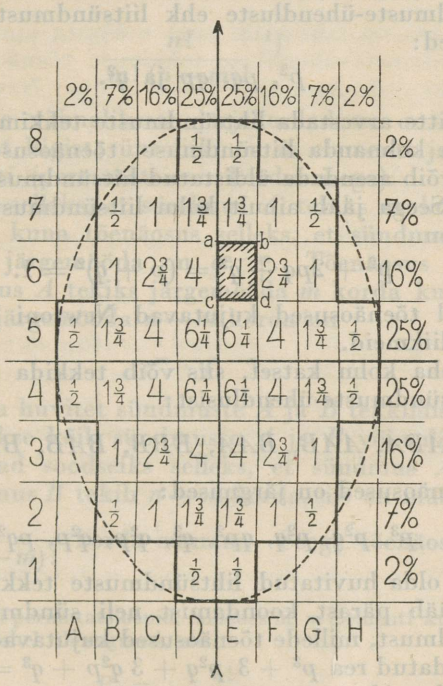
Määrata hajumusnelinurga ribade ristumistega moodustatud 64 väikese ristküliku pihtavuse tõenäosused (joon. 1).

Selleks, et kuul või mürsk pihtaks mingisugust väikest ristkülikut, ta peab üheaegselt pihtama üht pikuti- ja üht laiutiriba, mis moodustavad seda väikest ristkülikut. Seega iga väikese ristküliku pihtavus on omaette liitsündmus, mis koosneb ühe pikuti- ja ühe laiutiriba üheaegsest pihtavusest. Järelikult iga väikese ristküliku pihtavuse tõenäosuse määramiseks on vaja korrutada omavahel seda ristkülikut moodustavate ristribade pihtavuse tõenäosused. Näiteks, väikese ristküliku *a*, *b*, *c*, *d* pihtavuse tõenäosuse määramiseks tuleb korrutada omavahel riba 6 ja riba *E* pihtavuste tõenäosused, s. o.

$$p = 0{,}16 \cdot 0{,}25 = 0{,}04 = 4\% \ .$$

Samal viisil toimides määratakse pihtavuse tõenäosused kõigi 64 väikese ristküliku jaoks.

Kui kõrvale jätta äärmisi ristkülikuid, millede pihtavuse protsent on väga väike (näiteks, alla poole protsendi), siis pihtavuse pinna kuju muutub astmeliseks oma piirjoontel ning ligikaudu sarnaseks ellipsiga.



Joon. 1.

c) **Vastassündmuste tõenäosus katse kordamisel.**

Oletame, et mingisuguse juhusliku nähtuse korduvate katsete või vaatluste tulemusena tekivad ainult kaks rippumatut vastassündmust A ja B, millede absoluutsed tõenäosused on vastavalt p ja q. Seega: $p + q = 1$; $p = 1 - q$; $q = 1 - p$; p ja q on jäävad kõigi katsete juures.

Kui teha kaks katset, siis võib tekkida üks mingisugune järgmisist neljast sündmuste-ühendlusist (-kombinatsioonist):

1) kaks korda järgemööda tekib sündmus A;
2) üks kord tekib sündmus A, kuna teinekord B;
3) üks kord tekib sündmus B, kuna teinekord A;
4) kaks korda järgemööda tekib sündmus B.

Iga sündmuste-ühendlus kujutab kahest rippumatust lihtsündmusest koosnevat liitsündmust, mille tõenäosus võrdub vastavate lihtsündmuste tõenäosuste korrutisega. Seega antud sündmuste-ühendluste ehk liitsündmuste tõenäosused on järgmised:

$$p^2,\ pq,\ qp \text{ ja } q^2.$$

Kui mitte arvestada lihtsündmuste tekkimise järjekorda, siis teise ja kolmanda liitsündmuse tõenäosused on võrdsed ning neid võib asendada üldistatud liitsündmuste tõenäosuste summaga. Seega jääb ainult kolm liitsündmust, millede tõenäosused on

$$p^2 + 2pq + q^2 = (p + q)^2 = 1.$$

Saadud tõenäosused kujutavad Newtoni binoomi arendatud rea liikmeid.

Kui teha kolm katset, siis võib tekkida üks järgmisist kaheksast sündmuste-ühendlusist:

$$AAA,\ ABA,\ AAB,\ BAA,\ BBB,\ BAB,\ BBA,\ ABB,$$

millede tõenäosused on järgmised:

$$p^3,\ p^2q,\ p^2q,\ qp^2,\ q^3,\ q^2p,\ q^2p,\ pq^2\ .$$

Kui ei olda huvitatud lihtsündmuste tekkimise järjekorrast, siis jääb pärast koondamist neli sündmuste-ühendlust ehk liitsündmust, millede tõenäosused kujutavad Newtoni binoomi arendatud rea $p^3 + 3\ p^2q + 3\ q^2p + q^3 = (p + q)^3 = 1$ üksikuid liikmeid.

Kui teha neli, viis . . . . . n katset, siis võib tekkida üks järgmisist sündmuste-ühendlusist:

Sündmus A tekib	Sündmus B tekib	Sündmuste-ühendluste tõenäosuste tähistused	Märkus
0 korda	n korda	$T_{0,n}$	Igas sündmuste-ühendluses sündmused A ja B võivad veel tekkida mitmesugustes järjekordades.
1 „	$n-1$ „	$T_{1,n}$	
2 „	$n-2$ „	$T_{2,n}$	
3 „	$n-3$ „	$T_{3,n}$	
. . . . .	. . . . .	. . . . .	
m „	$n-m$ „	$T_{m,n}$	
. . . . .	. . . . .	. . . . .	
n „	0 „	$T_{n,n}$	

Nende sündmuste-ühendluste võimalikkude järjekordade üldine arv on

$$\frac{n!}{m!\,(n-m)!}\,,$$ [1])

sest et kõigisse võimalikesse järjekordadesse on asetatud n elementi kahest liigist; üht liiki on m elementi ja teist liiki $n-m$ elementi (permutatsioon kordumisega).

Tõenäosus selleks, et sündmus A tekiks m korda järgemööda on p^m; kuna tõenäosus selleks, et sündmus B tekiks $n-m$ korda järgemööda on q^{n-m}. Tõenäosus selleks, et niihästi sündmus A tekiks järgemööda m korda kui ka sündmus B tekiks järgemööda $n-m$ korda on

$$p^m \cdot q^{n-m}.$$

Kui ei olda huvitet sündmuste A ja B tekkimise järjekorrast, s.o. loetakse kõik sündmuste A ja B võimalikud tekkimise järjekorrad soodseiks selleks, et sündmus A tekib m korda ja sündmus B tekib $n-m$ korda, siis on määratav tõenäosus $\frac{n!}{m!\,(n-m)!}$ korda suurem. Seega tõenäosus selleks,

[1]) n elemendi permutatsioonid, milledes nii m elementi kui ka $n-m$ elementi on omavahel ühesugused, siis

$$P_n = \frac{n!}{m!\,(n-m)!}\,.$$

et sündmus A tekiks m korda ja sündmus B tekiks $n-m$ korda ükspuha missuguses järjekorras on

$$T_{m,\,n} = \binom{n}{m} p^m\, q^{n-m} = \frac{n!}{m!\,(n-m)!}\, p^m\, q^{n-m}.$$

Lause 1. Vastassündmuste kõigi võimalikkude sündmuste-ühendluste tekkimise tõenäosused kujutavad endast Newtoni binoomi arendatud rea liikmeid, mille astmeks on katsete arv.

Lause 2. Vastassündmuste mingisuguse sündmuste-ühendluse tekkimise tõenäosus (ükspuha missuguses järjekorras) võrdub Newtoni binoomi arendatud rea selle liikmega, mille tegureiks on vastassündmuste tõenäosused nende sündmuste kordumise arvudega võrdseis astmeis.

Praktikas on tihtipeale vaja määrata ainult ühe mingisuguse sündmuste-ühendluse tekkimise tõenäosus. Sel juhul määratavaks tõenäosuseks tuleb võtta Newtoni binoomi arendatud rea see liige, milles p ja q astmenäitajad on võrdsed vastavate sündmuste kordumise arvuga. Kui katsete arv on n, siis sündmuse A m-kordse tekkimise tõenäosus võrdub binoomi $(p+q)$ arendatud rea selle liikmega, mille tegur p on astmes m ehk

$$K_n^m\, p^m\, q^{n-m},$$

kus

$$K_n^m = \binom{n}{m} = \frac{n\,(n-1)\,\ldots\,(n-m+1)}{m!}.$$

Märkus. Vastassündmuste mingisuguse sündmuste-ühendluse suurim tõenäosus määratakse valemiga

$$T_{m,\,n}\ (\text{maks.}) = \frac{1}{\sqrt{2\,\pi\,n\,p\,q}}.$$

Näiteks, suurim tõenäosus selleks, et täringi viskamisel 600 korda saame 100 korral 6 silma on

$$T_{100,600}\ (\text{maks.}) = \frac{1}{\sqrt{2\,\pi\,600 \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{5}{6}}} \approx \frac{1}{23}.$$

Vastassündmuse vähemalt üks, kaks, kolm või rohkem korda tekkimise tõenäosus.

Tuleülesannete täitmiseks on tihtipeale küllalt, kui väljalastud kuulidest või mürskudest on saadud vähemalt üks, kaks jne. pihtavust. Samuti ka laskemoonakulu, tulistamisaja, tulirelva kuluvuse ja muude tegurite kokkuhoiu mõttes on tarvis ette teada, kui suur on antud tuleülesande täitmiseks vajalik minimaalne laskemoonakulu.

Soodse vastassündmuse vähemalt ühekordse tekkimise tõenäosuse määramise küsimust võib lahendada Newtoni binoomi arendatud rea abil. Selleks on vaja liita Newtoni binoomi arendatud rea need liikmed, milledes on teguriks soodse vastassündmuse tõenäosus astmeis mitte alla ühe.

$$P_1 = \binom{n}{0} p^n + \binom{n}{1} p^{n-1}(1-p) + \binom{n}{2} p^{n-2}(1-p)^2 + \ldots$$

$$\ldots + \binom{n}{n-1} p\,(1-p)^{n-1} = 1 - \binom{n}{n}(1-p)^n = 1-(1-p)^n.$$

Kuid seda küsimust võib lahendada lihtsamal viisil. Olgu ühe lasuga pihtavuse tõenäosus p ja mittepihtavuse tõenäosus $1-p$. Kui laskude üldine arv on n, siis selle laskude arvu juures mittepihtavuse tõenäosuseks on tõenäosuste korrutamislause põhjal $(1-p)^n$. Seega n lasuga vähemalt ühe pihtavuse saamise tõenäosuse määramise üldavaldiseks võib olla avaldis:

$$P_1 = 1 - (1-p)^n.$$

Soodse vastassündmuse vähemalt kahekordse tekkimise tõenäosuse määramiseks on vaja liita Newtoni binoomi arendatud rea need liikmed, milledes on tegureiks soodse vastassündmuse tõenäosus astmes mitte alla kahe. Olgu ühe lasuga pihtavuse tõenäosus p ja laskude üldine arv n, siis vähemalt kahe lasuga pihtavuse tõenäosus

$$P_2 = \binom{n}{0} p^n + \binom{n}{1} p^{n-1}(1-p) + \binom{n}{2} p^{n-2}(1-p)^2 + \ldots$$

$$\ldots + \binom{n}{n-2} p^2 (1-p)^{n-2} = 1 - \left[\binom{n}{n-1} p(1-p)^{n-1} + \right.$$

$$\left. + \binom{n}{n}(1-p)^n\right] = 1 - \left[n\,p\,(1-p)^{n-1} + (1-p)^n\right].$$

Soodse vastassündmuse vähemalt m korda tekkimise tõenäosuse määramiseks on vaja liita Newtoni binoomi arendatud rea need liikmed, milledes on tegureiks soodse vastassündmuse tõenäosus astmes mitte alla m. Eestoodud arutluste põhjal vähemalt m lasuga pihtavuse tõenäosus avaldub alljärgnevalt.

Kui vastassündmuste A ja B tõenäosused on p ja q ja katsete üldarv on n, siis soodse vastassündmuse A vähemalt m-korda tekkimise tõenäosus võrdub üks miinus binoomi $(p+q)^n$ arendatud rea m viimase liikme summa.

Järeldus. Tõenäosus selleks, et sündmus A esineb n katsel vähemalt r korda, kuid mitte üle k korra, võrdub binoomi $(p+q)$ arendatud rea nende liikmete summaga, milliste p astmenäitajad ei ole vähemad kui r ega suuremad kui k.

Näide 1. Missugune on tõenäosus selleks, et kolmest lasust saada kaks tabavust, kui pihtavuse tõenäosus on $p = \frac{2}{3}$?

Määratavaks tõenäosuseks on Newtoni binoomi rea see liige, milles p on teises astmes, s. o. $3\,p^2\,q$. Seega

$$T_{2,3} = 3\left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{3}\right) = \frac{4}{9}\,.$$

Näide 2. Eellangete ja tagalangete tõenäosused on vastavalt p ja q.

a) Missugune on 3 eellange ja 2 tagalange saamise tõenäosus 5 lasuga ükspuha missuguses järjekorras ?

$$T_{3,5} = \frac{5!}{3!\;2!}\,p^3\,q^2 = 10\;p^3\,q^2.$$

b) Missugune on vähemalt kolme (3, 4 või 5) tagalange saamise tõenäosus 5 lasuga ükspuha missuguses järjekorras ?

$$Q_3 = \frac{5!}{2!\;3!}\,p^2\,q^3 + \frac{5!}{1!\;4!}\,pq^4 + q^5 = 10\;p^2\,q^3 + 5\;pq^4 + q^5.$$

c) Missugune on mitte üle kahe tagalange (vähemalt 3 eellange) saamise tõenäosus 5 lasuga ükspuha missuguses järjekorras ?

$$P_3 = p^5 + 5\;p^4q + 10\;p^3q^2.$$

Näide 3. Eellangete ja tagalangete tõenäosused on võrdsed $\left(p = q = \frac{1}{2}\right)$.

Kui suur on tõenäosus saada kuuelasuslisest seeriast:

kas 3 eellanget ja 3 tagalanget;
või 2 eellanget ja 4 tagalanget;
või 4 eellanget ja 2 tagalanget.

3+ ja 3— saamise tõenäosus on $\binom{6}{3} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{20}{64}$;

2— ja 4+ saamise tõenäosus on $\binom{6}{2} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{15}{64}$;

2+ ja 4— saamise tõenäosus on $\binom{6}{4} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{15}{64}$.

Ükspuha missuguse ühendluse saamise tõenäosus on:

$$\frac{20 + 15 + 15}{64} = \frac{50}{64} = 78\%.$$

Näide 4. Eellangete ja tagalangete tõenäosused on võrdsed. Sel tingimusel kümnelasulise seeria eellangete ja tagalangete kõiki võimalikke ühendlusi on niipalju, kuipalju on variatsioone kümne kaupa kahest elemendiliigist, s.o.

$$KV\binom{2}{10} = 2^{10} = 1024.$$ [1]

Kui jätta tähelepanemata järjekorda, milles võivad tekkida eellanged ja tagalanged, siis on üldse niipalju tabavuspilte, kui palju on võimalik luua kombinatsioone korduvate elementidega kümnekaupa kahest elemendiliigist, s. o.

---

[1]) Variatsioonideks n elemendist m-kaupa nimetatakse kõiki võimalikke kombinatsioone n elemendist m-kaupa, kus on arvestatud elementide järjekorda ja kus kombinatsioonid on erinevad, kui neis elementide järjekord on erinev. Kordumistega variatsioonide üldavaldis on

$$KV\binom{n}{m} = n^m.$$

$$K\binom{2}{10} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10} = 11,$$ [1])

ja need kombinatsioonid on:

I	0	eellanget	10	tagalanget	võimalik	$\frac{10!}{10!}$	= 1	juhus	T_I	$= \frac{1}{1024} = 0{,}09\%$
II	1	„	9	„	„	$\frac{10!}{1!\,9!}$	= 10	„	T_{II}	$= \frac{10}{1024} = 0{,}97\%$
III	2	„	8	„	„	$\frac{10!}{2!\,8!}$	= 45	„	T_{III}	$= \frac{45}{1024} = 4{,}39\%$
IV	3	„	7	„	„	$\frac{10!}{3!\,7!}$	= 120	„	T_{IV}	$= \frac{120}{1024} = 11{,}72\%$
V	4	„	6	„	„	$\frac{10!}{4!\,6!}$	= 210	„	T_V	$= \frac{210}{1024} = 20{,}51\%$
VI	5	„	5	„	„	$\frac{10!}{5!\,5!}$	= 252	„	T_{VI}	$= \frac{252}{1024} = 24{,}61\%$
VII	6	„	4	„	„	$\frac{10!}{6!\,4!}$	= 210	„	T_{VII}	$= \frac{210}{1024} = 20{,}51\%$
VIII	7	„	3	„	„	$\frac{10!}{7!\,3!}$	= 120	„	T_{VIII}	$= \frac{120}{1024} = 11{,}72\%$
IX	8	„	2	„	„	$\frac{10!}{8!\,2!}$	= 45	„	T_{IX}	$= \frac{45}{1024} = 4{,}39\%$
X	9	„	1	„	„	$\frac{10!}{9!\,1!}$	= 10	„	T_X	$= \frac{10}{1024} = 0{,}97\%$
XI	10	„	0	„	„	$\frac{10!}{10!}$	= 1	„	T_{XI}	$= \frac{1}{1024} = 0{,}09\%$
					Kokku		= 1024	juhust.		

Toodud sündmusteühendluste tõenäosuste tabelist on näha, et juhuseid, mil eellangete ja tagalangete arv on võrdne, on ainult umbes 25%.

Kui võtta õige tõste määramiseks eellangete ja tagalangete IV—VIII ühendlusi, siis oleks tõenäosus selleks, et õige tõste juures tekiksid kas IV, V, VI, VII või VIII ühendlused, on järgmine:

$$T = T_{IV} + T_V + T_{VI} + T_{VII} + T_{VIII} =$$

$$= \frac{120 + 210 + 252 + 102 + 120}{1024} = \frac{912}{1024} \approx 89\%.$$

Märkus: Kombinatsioonide, permutatsioonide ja variatsioonide fakulteetide arvutamine lihtsa korrutamise abil on tülikas ja aegaviitev, sest et juba väikeste arvude fakulteedid on väga suured, nagu:

3! = 6,	6! = 720,	9! = 362880,
4! = 24,	7! = 5040,	10! = 3628800,
5! = 120,	8! = 40320,	20! = 2432902008176640000.

[1]) Kordumistega kombinatsioonide arvu üldavaldis on

$$K\binom{n}{m} = \frac{n\,(n+1)\,(n+2)\,\ldots\,(n+m-1)}{1 \cdot 2 \cdot 3\,\ldots\,m\,(n-1)!} = \frac{(n+m-1)!}{(n-1)!\;m!}$$

Fakulteetide käsitamist üldkujulistes avaldistes ja $n!$ ligikaudse logaritmi hõlpust määramist võimaldab Stirlingi valem, mille järgi

$$n! \approx \sqrt{2\pi n} \cdot n^n \cdot e^{-n}. \quad ^{1})$$

Näide 5. Ühe lasuga pihtavuse tõenäosus $p = 0{,}1 = 10\%$. Kui suur on vähemalt ühe lasuga pihtavuse tõenäosus, kui laskude üldarv on 2, 3, 5, 10, 50?

2 lasu juures $P_1^2 = 1 - (1 - 0{,}1)^2 = 1 - (0{,}9)^2 = 0{,}19$
ehk 19%.

3 „ „ $P_1^3 = 1 - (1 - 0{,}1)^3 = 1 - (0{,}9)^3 = 0{,}271$
ehk 27%.

5 „ „ $P_1^5 = 1 - (1 - 0{,}1)^5 = 1 - (0{,}9)^5 = 0{,}409$
ehk 41%.

10 „ „ $P_1^{10} = 1 - (1 - 0{,}1)^{10} = 1 - (0{,}9)^{10} = 0{,}651$
ehk 65%.

50 „ „ $P_1^{50} = 1 - (1 - 0{,}1)^{50} = 1 - (0{,}9)^{50} = 0{,}995$
ehk 99,5%.

Selle näite lasketingimuste juures ühe lasuga pihtavuse tõenäosus on $0{,}1 = 10\%$, kuid ei või kindel olla selles, et igast kümnelasulisest seeriast tingimata vähemalt üks lask tabab märki. Arvutus näitab, et ainult 65 juhul sajast võib saada iga kümnelasulise seeria juures vähemalt ühe pihtavuse. Et aga kindlasti saada igal juhul vähemalt ühe pihtavuse, tuleb laskude arvu seerias suurendada. Näiteks viiekümnelasulise seeria juures võib peaaegu kindel olla, et märki tabatakse vähemalt ühe lasuga, sest et sel juhul sündmuse tõenäosus on 99,5%, s. o. peaaegu 1.

Näide 6. Kuulipildujapesa hävitamiseks on vaja tabada seda vähemalt kahe mürsuga. Ühe mürsuga pihtamise tõenäosus $p = 0{,}2$. Missugune on kuulipildujapesa hävitamise tõenäosus 20 mürsuga?

$$P_2 = 1 - [np(1-p)^{n-1} + (1-p)^n] = 1 - [20 \cdot 0{,}2 \cdot (0{,}8)^{19} + (0{,}8)^{20}] = 1 - [0{,}0577 + 0{,}0115] = 1 - 0{,}0692 = 0{,}931$$
ehk 93%.

---

[1]) $\pi = 3{,}14159\ldots$; $\log \pi = 0{,}4971$; $\ln \pi = 1{,}1446$; $\sqrt{\pi} = 1{,}7724$; $\sqrt{2\pi} = 2{,}5066$; $e = \lim \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2{,}71828\ldots$; $\log e = 0{,}4343$; $\ln e = 1$.

Näide 7. Varjendi purustamiseks on vaja tabada seda vähemalt kolme mürsuga. Ühe mürsuga pihtamise tõenäosus $p = 0{,}1$. Missugune on varjendi purustamise tõenäosus 30 mürsuga?

$$P_3 = 1 - \left[\frac{n(n-1)}{2} p^2 (1-p)^{n-2} + np\,(1-p)^{n-1} + (1-p)^n\right] =$$

$$= 1 - \left[\frac{30 \cdot 29}{2} \cdot (0{,}1)^2 \cdot (0{,}9)^{28} + 30 \cdot 0{,}1 \cdot (0{,}9)^{29} + (0{,}9)^{30}\right] =$$

$$= 1 - [0{,}227 + 0{,}441 + 0{,}042] = 1 - 0{,}71 = 0{,}29 \text{ ehk } 29\%.$$

Näide 8. Tõenäosus selleks, et märk asub tulistataval pindalal on 0,5. Märgi pihtavuse tõenäosus ühe mürsuga on 0,05. Missugune on märgi pihtavuse tõenäosus vähemalt ühe mürsuga, kui märgi tulistamiseks on määratud 40 mürsku?

$$P_1 = 1 - (1-p)^n = 1 - (1 - 0{,}05)^{40} = 1 - (0{,}95)^{40} =$$

$$= 1 - 0{,}128 = 0{,}872;$$

$$0{,}872 \cdot 0{,}5 = 0{,}436 \text{ ehk } 43\%.$$

Näide 9. Märgi pihtavuse tõenäosus ühe mürsuga on 0,05. Mitu mürsku peab välja lastama, et vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosus oleks 0,9? 0,99? 0,999?

$$P_1 = 1 - (1-p)^n;\ (1-p)^n = 1 - P_1;$$

$$n \log (1-p) = \log (1 - P_1), \text{ kust}$$

$$n = \frac{\log (1 - P_1)}{\log (1-p)};\ n_1 = \frac{\log (1 - 0{,}9)}{\log (1 - 0{,}05)} = \frac{\log 0{,}1}{\log 0{,}95} = \frac{\bar{1},00000}{\bar{1},97772} =$$

$$= \frac{1}{0{,}02228} = \frac{10000}{2228} = 45 \text{ mürsku};$$

$$n_2 = \frac{\log (1 - 0{,}99)}{\log (1 - 0{,}05)} = 90 \text{ mürsku};$$

$$n_3 = \frac{\log (1 - 0{,}999)}{\log (1 - 0{,}05)} = 135 \text{ mürsku}.$$

d) Suurte arvude seadus.

Sündmuse tõenäosus iseloomustab usku ehk lootuse määra selle sündmuse tekkimiseks. Mida suurem on sündmuse tõenäosus, seda suurem on usk ehk lootus selle sündmuse tekkimiseks. Kui sündmuse tõenäosus võrdub ühega (nulliga), siis on kindel, et see sündmus tekib igal juhul (ei teki kunagi). Kui aga sündmuse tõenäosus võrdub mingisuguse lihtmurruga, olgugi et selle väärtus on lähedane ühele, siis ei või kindel olla, et see sündmus tekib kohe esimeste katsete või vaatluste juu-

res. Samuti ka vastupidi, olgugi et sündmuse tõenäosuse väärtus on lähedane nullile, siiski ei või kindel olla, et see sündmus ei teki kohe esimeste katsete või vaatluste juures. Teades sündmuse tõenäosuse väärtust, võib enne katseid või vaatlusi ainult loota, et antud katsete või vaatluste arvu juures see sündmus võib tekkida umbes nii mitu korda. Näiteks, kui sündmuse tõenäosus on $\frac{1}{2}$, siis 100 katse või vaatluse juures see sündmus võib tekkida umbes 50 korda; kui sündmuse tõenäosus on $\frac{3}{4}$, siis 100 katse või vaatluse juures see sündmus võib tekkida umbes 75 korda jne. Kui katsete või vaatluste piiratud arvu juures, vaatamata sündmuse tõenäosuse suurusele, sündmuse tekkimine omab juhuslikku iseloomu, siis katsete või vaatluste arvu suurenemisel sündmuse tekkimise iseloom on juba reeglipärasem. Seega ühes katsete või vaatluste arvu suurenemisega sündmuse kordumise arvu ja katsete või vaatluste arvu suhe (sündmuse sagedus) läheneb ikka rohkem ja rohkem sündmuse tõenäosusele. Ainult katsete või vaatluste suure arvu juures võib loota, et sündmuse sagedus on ligikaudu võrdne selle sündmuse tõenäosusega. See määrang omab seaduse tähtsust ainult katsete või vaatluste lõpmata suure arvu juures ja seepärast seda määrangut nimetatakse ka suurte arvude seaduseks. Suurte arvude seaduse tundmine ja rakendamine määrab suures ulatuses sündmuse tõenäosuse praktilise tähtsuse. Kui on teada sündmuse tõenäosus, siis võib antud katsete või vaatluste arvu jaoks määrata selle sündmuse kordumiste arvväärtuste piire. Ka vastupidi, kui on teada sündmuse kordumiste arv, siis võib antud katsete või vaatluste arvu jaoks määrata selle sündmuse teoreetilise tõenäosuse piire.

Kui katsete või vaatluste arv n on piiratud arv ja kui vaadeldava sündmuse teoreetiline tõenäosus p on jääv, siis selle sündmuste kordumise arv m on ligikaudu võrdne korrutisega np, s.o.

$$m = np \pm x.$$

Suurus x iseloomustab sündmuse sageduse ja tõenäosuse vahet n katse jaoks.

Sündmuste kordumiste arvu piiride määramisel antud jääva tõenäosuse ja katsete arvu jaoks tuleb määrata tõenäosus P selleks, et vahe x katsete arvu n juures ei ole suurem kui ettemääratud väärtus α, s. o.

$$m_1 - \alpha < m < m_2 + \alpha.$$

Selle tõenäosuse P määramiseks on järgmine avaldis:

$$P = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2} dt = \Theta(t), \text{ kus}$$

$$t = \frac{\alpha}{\sqrt{2npq}}.$$

Suuruste $\Theta(t)$ ja t jaoks on koostatud vastav tabel (vaata lisa nr. I). See tabel lühendatud kujul on toodud allpool:

t	$\Theta(t)$	$\triangle$	t	$\Theta(t)$	$\triangle$
0,0	0,000		1,5	0,966	
		112			10
0,1	0,112		1,6	0,976	
		111			8
0,2	0,223		1,7	0,984	
		106			5
0,3	0,329		1,8	0,989	
		99			4
0,4	0,428		1,9	0,993	
		92			2
0,5	0,520		2,0	0,995	
		84			2
0,6	0,604		2,1	0,997	
		74			1
0,7	0,678		2,2	0,998	
		64			1
0,8	0,742		2,3	0,999	
		55			0
0,9	0,797		2,4	0,999	
		46			0
1,0	0,843		...	...	
		37			...
1,1	0,880		...	...	
		30			...
1,2	0,910		...	...	
		24			...
1,3	0,934				
		18			
1,4	0,952				
		14	∞	1,000	

Näide 1. Ühe lasuga pihtavuse tõenäosus on 0,6. Missugune on tõenäosus selleks, et 1000 lasu juures pihtavuste arv on $m - 20$ ja $m + 20$ piirides?

$$p = 0{,}6 \text{ ja } q = 0{,}4$$

$$t = \frac{20}{\sqrt{2 \cdot 1000 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}4}} = 0{,}914.$$

$\Theta(t)$ tabeli järgi

$$P = \Theta(t) = 0{,}804$$

ehk tõenäosus selleks, et 1000 lasu juures pihtavuste arvu piiriväärtusteks on $1000 \cdot 0{,}6 - 20 = 580$ ja $1000 \cdot 0{,}6 + 20 = 620$, on $0{,}804 \approx \frac{4}{5}$.

Näide 2. Kui $P = \Theta(t) = 0{,}5$, siis $\Theta(t)$ tabeli järgi $t = 0{,}477$ ja α väärtuse avaldiseks on

$$\alpha = 0{,}477 \sqrt{2\,n\,p\,q}\,.$$

Eelmise näite tingimuste juures $\alpha = 0{,}477 \sqrt{2 \cdot 1000 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}4} = 10{,}4$ ehk tõenäosus selleks, et 1000 lasu juures pihtavuste arvu piiriväärtusteks on $1000 \cdot 0{,}6 - 10 = 590$ ja $1000 \cdot 0{,}6 + 10 = 610$, on 0,5.

Märkus: Kui $t = 0{,}477$, siis α väärtust nimetatakse tõenäoseks vaheks ja tähistatakse T.

Näide 3. Missugune on tõenäosus selleks, et esimese näite lasketingimustel pihtavuste arv on $m - 4\,T$ ja $m + 4\,T$ piirides?

$$t = \frac{4\,T}{\sqrt{2\,n\,p\,q}} = 4 \cdot 0{,}477 = 1{,}908\,.$$

$\Theta(t)$ tabeli järgi $P = \Theta(1{,}908) = 0{,}993$.

Pihtavuste arvu piirid on:

mitte vähem kui $1000 \cdot 0{,}6 - 4 \cdot 10{,}4 = 558$ ja
mitte rohkem kui $1000 \cdot 0{,}6 + 4 \cdot 10{,}4 = 642$.

Märkus: Tõenäosus selleks, et n katse juures sündmuse kordumise arv m ei erine tema piiriväärtusest np-st rohkem kui $4T$ võrra on ≈ 1, s.o.

$$m \approx n\,p \pm 4\,T.$$

Eespool oli öeldud, et kui katsete või vaatluste arv n on piiratud arv, ja kui vaadeldava sündmuse tõenäosus p on iga katse juures jääv, siis selle sündmuse kordumiste arv m on ligikaudu võrdne korrutisega $n\,p$, s.o.

$$m = n\,p \pm x$$

ehk

$$m : n = p \pm x : n\,.$$

Kui katsete või vaatluste arv n lõpmatult suureneb, siis on tõenäone, et suhe $x : n$ läheneb nullile. Ühes sellega ka suhe $m : n$ läheneb väärtusele p.

Seepärast mida suurem on antud sündmuse katsete või vaatluste arv, seda lähem on selle sünd-

muse sagedus (kordumise ja katsete või vaatluste arvu suhe) selle sündmuse tõenäosusele.

Samuti ka tõenäosus selleks, et sündmuse sagedus (kordumise arvu ja katsete või vaatluste arvu suhe) erineb selle sündmuse tõenäosusest vähem kui mingisuguse ettemääratud väärtuse võrra, läheneb ühele, kui katsete või vaatluste arv lõpmatult suureneb.

Seega tõenäosuse reaalne tähtsus väljendub mitte üksikute, vaid suure hulga katsete või vaatluste juures. Katsete või vaatluste suure arvu juures võib ette määrata enam-vähem õiget sündmuse kordumiste arvu.

Tõenäosuse katseline määramine. (Tõenäosus „à posteriori").

Eestoodu põhjal võib määrata sündmuse tõenäosus katsete või vaatluste põhjal ja tingimusel, et määratav tõenäosus oleks jääv kõigi katsete juures. Sündmuse tõenäosuse avaldiseks võetakse sündmuse sagedust tingimusel, et katsete või vaatluste arv oleks väga suur.

Näiteks, kui ühesugustel lasketingimustel lasti märgi pihta suur arv mürske (n) ja saadi seejuures m eellanget, siis võib öelda, et neis lasketingimustes eellangete tõenäosus on $m : n$.

Määratud tõenäosuse p viga y on vähem kui mingisugune ette määratud arv β ehk

$$m : n = p \pm y,$$

kus

$$m = pn \pm ny.$$

Tõenäosus selleks, et y on vähem kui β, võrdub tõenäosusega selleks, et sündmuse sageduse ja tõenäosuse vahe (n katse juures) x on vähem kui $n\beta$. See tõenäosus on $\Theta\,(t)$, kui

$$t = \frac{n\beta}{\sqrt{2\,n\,p\,q}} = \beta\sqrt{\frac{n}{2\,p\,q}}.$$

Saadud avaldises võib p ja q asendada neile lähedate suurustega $m : n$ ja $1 - m : n$.

Näide 1. Märgile lasti 100 mürsku ja saadi seejuures 62 eellanget. Seetõttu oli määratud eellangete tõenäosuseks 0,62. Missugune on tõenäosus selleks, et tõenäosuse määramise viga ei ületa 0,1 ?

$$t = 0{,}1 \sqrt{\frac{100}{2 \cdot 0{,}62 \cdot 0{,}38}} = 1{,}45;$$

$$P = \Theta\,(1{,}45) = 0{,}959.$$

Saadud arv, s. o. 0,959 on tõenäosus selleks, et määratud tõenäosuse $p = 0{,}62$ väärtuste piirideks on arvud 0,52 ja 0,72.

Näide 2. Missugune on eelmises näites määratud tõenäosuse tõenäone viga?

Sel juhul:

$$\Theta\,(t) = 0{,}5 \text{ ja } t = 0{,}477;$$

$$0{,}477 = V \sqrt{\frac{n}{2\,p\,q}};$$

$$V = 0{,}477 \sqrt{\frac{2\,p\,q}{n}} = 0{,}477 \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}62 \cdot 0{,}38}{100}} = 0{,}033.$$

Seega on üks juhus kahest, et määratud tõenäosuse piiriväärtusteks on:

$$0{,}62 - 0{,}033 = 0{,}587 \text{ ja } 0{,}62 + 0{,}033 = 0{,}653.$$

Peaaegu täiesti kindel on aga, et määratud tõenäosuse piirväärtusteks on:

$$0{,}62 - 4 \cdot 0{,}033 = 0{,}488 \text{ ja } 0{,}62 + 4 \cdot 0{,}033 = 0{,}752.$$

e) Hüpoteeside tõenäosus.

Tihtipeale mõne sündmuse põhjuste kohta tuleb teha oletusi ehk hüpoteese. Hüpoteese võib olla kas ainult üks või mitu. Kui mõne sündmuse põhjuste kohta on tehtud mitu hüpoteesi, siis nende hüpoteeside tõenäosused võivad olla kas võrdsed või mitte. Hüpoteeside alusel ennustatakse sündmusi.

Sündmuse A tekkimise tingimuste suhtes olgu tehtud n hüpoteesi:

$$H_1,\ H_2,\ H_3,\ \ldots\ldots\ldots\ H_n,$$

millede tõenäosused on:

$$P_1,\ P_2,\ P_3,\ \ldots\ldots\ldots\ P_n.$$

Olgu ette teada, et kui hüpotees H_1 on tõesti õige, siis sündmus A tõenäosus on p_1; kui hüpotees H_2 on õige, siis sündmuse A tõenäosus on p_2 jne. Kuid ei või olla ette teada,

missugune hüpotees on õige; iga tehtud hüpoteesil on ainult oma tõenäosus. Kuidas tuleks sel juhul määrata sündmuse A tõenäosus R?

Iga hüpotees põhjeneb sündmuse A tekkimiseks soodsete ning isesuguste tingimuste (põhjuste) kogul. Hüpotees on siis õige, kui tema põhjuste kogu on ka tegelikult olemas; kuid see põhjuste olemasolu on omakorda sündmus. Seega hüpoteeside rida $H_1, H_2, \ldots\ldots\ldots\ldots H_n$ võib vaadelda kui sündmuste rida, millest peab tekkima üks või teine sündmus enne seda, kui võib tekkida sündmus A.

Tõenäosus selleks, et esimene hüpotees on õige ja et tekib sündmus A, kujutab korraga või järgemööda tekkivate sündmuste H_1 ja A tõenäosust ehk liitsündmuse tõenäosust. See tõenäosus on võrdne tõenäosuste P_1 ja p_1 korrutisega. Seega:

$$R_1 = P_1\, p_1$$
$$R_2 = P_2\, p_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$R_n = P_n\, p_n .$$

On ju ükspuha missugune hüpotees osutub õigeks ning missuguse hüpoteesi järgi tekib sündmus A; tähtis on et sündmus A tekiks mingisuguse eespooltoodud hüpoteesi järgi ja on vaja määrata selle sündmuse tõenäosus. Seepärast tõenäosuste liitmise lause põhjal

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n = P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3 + \ldots. + P_n\, p_n .$$

Seega, kui sündmus A võib tekkida ainult ühe minigusuguse hüpoteesi tõelisuse juures, siis selle sündmuse tõenäosus võrdub kõigi tehtud hüpoteeside tõenäosuste ja nende hüpoteeside järgi sündmuse A tõenäosuste korrutiste summaga.

Näide 1. Kolmes nõus on mitmevärvilised kuulid. Esimeses nõus on 10 kuulist 3 valget, teises nõus on 10 kuulist 2 valget ja kolmandas nõus on 10 kuulist 5 valget kuuli. Missugune on tõenäosus selleks, et võetakse välja ükskõik missugusest nõust valge kuul, kui kuuli väljavõtja ei tea nõude sisu?

Võtja käsi võib sattuda ükskõik missugusesse nõusse. Seega on kolm üheväärset hüpoteesi, sest et valget kuuli võib välja võtta nii esimesest kui ka teisest või kolmandamist nõust. Seega:

$$P_1 = P_2 = P_3 = \frac{1}{3};\ p_1 = \frac{3}{10};\ p_2 = \frac{2}{10};\ p_3 = \frac{5}{10}.$$

$$R = P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3 = \frac{1}{3}\left(\frac{3}{10} + \frac{2}{10} + \frac{5}{10}\right) = \frac{1}{3}\cdot\frac{10}{10} = \frac{1}{3}.$$

Näide 2. Kastis on vaheseintega eraldatud kuus ühesugust ruumi (salve). Esimeses salves on 10 musta kuuli; kahes järgmises salves on kummaski 4 valget ja 8 musta kuuli; kolmes viimases salves on igaühes 5 valget ja 2 musta kuuli.
Tõenäosus selleks, et võtja käsi satub esimesse salve on

$$P_1 = \frac{1}{6};$$

tõenäosus selleks, et võtja käsi satub teise või kolmandasse salve on

$$P_2 = \frac{2}{6};$$

tõenäosus selleks, et võtja käsi satub 4., 5. või 6. salve on

$$P_3 = \frac{3}{6}.$$

Seega on kolm hüpoteesi, mis ei ole üheväärsed ja millede tõenäosused on:

$$P_1 = \frac{1}{6};\ P_2 = \frac{2}{6};\ P_3 = \frac{3}{6}.$$

Kui välja võeti valge kuul, siis tuleb üles seada küsimus, missuguses salves oli väljavõetud kuul. On selge, et see kuul ei ole pärit esimesest salvest, sest et selles salves ei olegi valgeid kuule. Järelikult pärast katse teostamist selgus, et valge kuuli väljavõtmise tõenäosus esimesest salvest on 0, aga mitte $\frac{1}{6}$, nagu see oli enne katse teostamist.

Seega hüpoteeside tõenäosused enne ja pärast katset võivad olla isesugused.

Et määrata hüpoteesi tõenäosust pärast katset, selleks tuleb määrata eespooltoodud viisil tekkinud sündmuse tõenäosus enne katset, mis on vasttoodud 2. näite jaoks:

$$R = \frac{1}{6}\cdot 0 + \frac{2}{6}\cdot\frac{1}{3} + \frac{3}{6}\cdot\frac{5}{7} = \frac{2}{18} + \frac{15}{42} = \frac{14}{126} + \frac{45}{126} = \frac{59}{126}.$$

Saadud avaldisest on näha, et:

$$P_1p_1 = 0;\quad P_2p_2 = \frac{14}{126};\quad P_3p_3 = \frac{45}{126}.$$

Järelikult valge kuuli väljavõtmiseks 59 soodsat juhust võib jaotada tehtud hüpoteeside vahel järgmiselt:

esimese hüpoteesi juures . . . 0 juhust,
teise „ „ . . . 14 „
kolmanda „ „ . . . 45 „

Pärast katset selgus, et esimene hüpotees ei ole lubatav; selle hüpoteesi tõenäosus on 0. Teise hüpoteesi juures on 14 soodset juhust; see hüpotees on siis õige, kui katsel tekkis üks neist 14 juhusest. Kuid kõiki samaväärseid juhuseid, mis on soodsed valge kuuli väljavõtmiseks, on 59. Seega tõenäosus selleks, et tegelikult leidis aset üks 14 juhusest ehk et teine hüpotees on õige, on

$$Q_2 = \frac{14}{59},$$

kus Q on hüpoteesi tõenäosus pärast katset.

Kuna $P_2p_2 = \frac{14}{126}$ ja $P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3 = \frac{59}{126}$,

siis

$$Q_2 = \frac{P_2p_2}{P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3}.$$

Kolmas hüpotees on siis õige, kui katsel tekkis üks eelnäidatud 45 juhusest. Tõenäosus selleks, et kolmas hüpotees on õige, on $Q_3 = \frac{45}{59}$.

Kuna

$$P_3p_3 = \frac{45}{126} \text{ ja } P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3 = \frac{59}{126},$$

siis

$$Q_3 = \frac{P_3p_3}{P_1p_1 + P_2p_2 + P_3p_3}.$$

Järelikult hüpoteesi tõenäosuse määramiseks pärast katset on üldavaldis:

$$Q_k = \frac{P_k p_k}{P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + \ldots + P_k p_k + \ldots + P_n p_n}.$$

Seega pärast katset hüpoteesi tõenäosus võrdub selle hüpoteesi tõenäosuse (enne katset) ja selle hüpoteesi järgi tekkinud sündmuse tõenäosuse korrutisega, mis on jagatud kõigi võimalikkude hüpoteeside jaoks võetud samasuguste korrutiste summaga.

Praktikas tuleb sagadamini ette juhuseid, kus enne katse teostamist kõigi hüpoteeside tõenäosused on samaväärsed. Selleks juhuks hüpoteesi tõenäosuse määramiseks pärast katset on üldavaldis:

$$Q_k = \frac{p_k}{p_1 + p_2 + \ldots + p_n}.$$

Seega, kui enne katset kõik sündmuse tõestamiseks tehtud hüpoteesid on samaväärsed, siis pärast sündmuse tekkimist nende hüpoteeside tõenäosused on võrdelised nende hüpoteeside järgi võetud sündmuse tõenäosustega.

Järelikult, kui enne katset kõik hüpoteesid olid samaväärsed, siis pärast katset on kõige tõenäosem see hüpotees, mille järgi tekkinud sündmus omab suurimat tõenäosust.

Hüpoteeside lauseid kasutatakse haarlaskmise reeglite tõestamisel.

3. Vahestised (juhusest sõltuvad) suurused.

Juhuslikkude nähtuste hulka kuuluvad ka igasuguste suuruste mõõtmistulemused, sest et ükski mõõtmistulemus ei võrdu suuruse tõelise väärtusega, olgu seejuures mõõtmisviis nii täppis kui tahes. Teostades korduvalt suuruse mõõtmist ideaalselt ühesugustes mõõtmistingimustes selgub alati, et üksikud mõõtmistulemused (sündmused) erinevad ükstei-

sest suuremal või vähemal määral. Mõõtmistulemuste erinevused on juhuslikud; ka nende järjekord on juhuslik.

Seepärast vahestiseks suuruseks nimetatakse suurust x, mis iga katse (vaatluse, mõõtmise) juures omab juhuslikke väärtusi:

$$x_1, x_2, x_3, \ldots x_n,$$

vastavate tõenäosustega:

$$p_1, p_2, p_3, \ldots p_n.$$

Kuna rida

$$x_1, x_2, x_3, \ldots x_n$$

väljendab suuruse x kõiki võimalikke väärtusi, siis

$$p_1 + p_2 + p_3 + \ldots + p_n = 1.$$

Kui $p_x\,dx$ on tõenäosus selleks, et suuruse x väärtus on x ja $x + dx$ piirides, siis

$$\int p_x\,dx = 1.$$

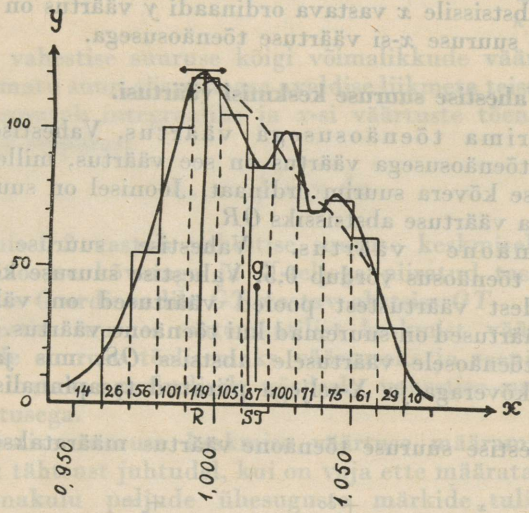
Järelikult vahestise suuruse määramine on juhuslik; vahestise suurust võib määrata siis, kui on teada selle suuruse kõik võimalikud väärtused ja neile vastavad tõenäosused.

a) Tõenäosuse kõver.

Vahestise suuruse määramiseks matemaatiliselt on vaja teada selle suuruse kõiki võimalikke väärtusi ja neile vastavaid tõenäosusi. Vahestise suuruse analüütiliseks avaldiseks on ülaltoodud avaldis. Suurust iseloomustab graafiliselt nn. tõenäosuse kõver, mida nimetatakse ka sageduse kõveraks. Tõenäosuse kõvera konstrueerimiseks on vaja koordinaadistiku X-teljel märkida vahestise suuruse võimalikud väärtused $x_1, x_2, x_3, \ldots x_n$ ja märgitud punktidest püstitada ordinaadid, mis oleksid võrdelised x-i väärtuste vastavate tõenäosustega. Kusjuures võrdelisuse tegur peab olema seesugune, et tõenäosuse kõveraga ja X-teljega piiratud pindala võrduks ühega ehk

$$\int y\,dx = 1.$$

Tõenäosuse kõvera katseline määramine. Kui vahestise suuruse mõõtmiste üldarv N on küllalt suur, siis tuleb selle suuruse tõenäosuse kõvera määramiseks koordinaadistiku X-telje lõik, mille piirides võib märkida vahestise



Joon. 2.

suuruse üksikväärtusi, jagada seesugusteks võrdseteks osadeks $\triangle x$, millede piirides mahub küllaldasel arvul n üksikmõõtmiste väärtusi, et suhe $\frac{n}{N}$ oleks lähedane tõenäosusega, mis vastab $\triangle x$ osas olevatele väärtustele. Osadel $\triangle x$ vabaltvõetud mõõdus püstitada ristkülikud, millede kõrgused on võrdelised vastavate mõõtmisväärtuste tõenäosustega. Sel viisil saadud ristkülikute ülemiste külgede keskkohti ühendav kõver kujutabki määratavat ligikaudset tõenäosuse kõverat (joon. 2). Ordinaatide võrdelisuse tegur x-si väärtustele vastavate tõenäosustega määratakse selliselt, et saadud kõveraga ja X-teljega piiratud pindala võrduks ühega.

Tõenäosuse kõvera üldomadusi:

1) Tõenäosuse kõveraga ja X-teljega piiratud pindala on võrdne ühega.

2) Abstsissidele x_1 ja x_2 vastavate ordinaatide vahel olev pindala võrdub vahestise suuruse x_1 ja x_2 piirides olevate väärtuste tõenäosuste summaga.

3) Abstsissile x vastava ordinaadi y väärtus on võrdeline vahestise suuruse x-si väärtuse tõenäosusega.

b) Vahestise suuruse keskmisi väärtusi.

Suurima tõenäosusega väärtus. Vahestise suuruse suurima tõenäosusega väärtus on see väärtus, millele vastab tõenäosuse kõvera suurim ordinaat. Joonisel on suurima tõenäosusega väärtuse abstsissiks OR.

Tõenäone väärtus. Vahestise suuruse tõenäose väärtuse tõenäosus võrdub 0,5. Vahestise suuruse kõigist võimalikkudest väärtustest pooled väärtused on vähemad ja pooled väärtused on suuremad kui tõenäone väärtus. Joonisel 2 vastab tõenäosele väärtusele abstsiss OS, mis jagab tõenäosuse kõveraga ja X-teljega piiratud tasapinnalise pindala pooleks.

Vahestise suuruse tõenäone väärtus määratakse üldavaldisega:

$$\int_{-\infty}^{x} y\,dx = \int_{x}^{+\infty} y\,dx = 0{,}5 \int_{-\infty}^{+\infty} y dx = 0{,}5\ .$$

Keskmine väärtus. Vahestise suuruse keskmiseks väärtuseks nimetatakse selle suuruse kõigi võimalikkude väärtuste keskmist aritmeetilist.

Olgu vahestise suuruse kõigi võimalikkude väärtuste arv n piiratud ja seega need väärtused oleksid:

$$x_1,\ x_2,\ x_3,\ \ldots\ x_n\ .$$

Kui katsete või vaatluste üldarv on N ja väärtus x_1 kordus a_1 korda, väärtus x_2 kordus a_2 korda, väärtus x_3 kordus a_3 korda jne., siis vahestise suurusese keskmine väärtus on

$$x = \frac{a_1 x_1}{N} + \frac{a_2 x_2}{N} + \frac{a_3 x_3}{N} + \ldots + \frac{a_n x_n}{N}\ .$$

Kui katsete või vaatluste üldarv N on lõpmatu suur, siis tegurite a ja N suhted lähenevad väärtuste $x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots x_n$ tõenäosustele $p_1, p_2, p_3, \ldots p_n$ ja vahestise suuruse matemaatiline keskmine väärtus

$$x_m = p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \ldots\ldots + p_n x_n = \sum_{k=1}^{k=n} p^k x_k.$$

Kui vahestise suuruse kõigi võimalikkude väärtuste arv N on lõpmatu suur, siis viimase avaldise liikmete teiste tegurite summa muutub integraaliks ja x-si väärtuste tõenäosused p on $y\,dx$ ja seepärast

$$x_m = \int x\, y\, dx.$$

Joonisel 2 vastab vahestise suuruse keskmisele väärtusele tõenäosuse kõveraga ja X-teljega piiratud tasapinnalise pinna kese G ordinaadile GT vastav abstsiss OT.

Vahestise suuruse matemaatilist keskmist väärtust peetakse selle suuruse tõelisemaks väärtuseks ja seepärast seda väärtust loetakse praktiliselt võrdseks vahestise suuruse tõelise väärtusega.

Vahestise suuruse keskmise väärtuse määramine omab praktilist tähtsust juhtudel, kui on vaja ette määrata keskmist laskemoonakulu paljude ühesuguste märkide tulistamiseks ühesugustest lasketingimustes ja ühesuguse tulistamise eesmärgi juures või ajakulu nende tuleülesannete täitmiseks jne.

Vahestise suuruse keskmine väärtus määratakse á posteriori, kuna matemaatiline keskmine väärtus määratakse ette à priori, varemalt tehtud paljude katsete tulemuste põhjal.

Näide 1. Kümme laskmist, mis teostati ühesugustes tingimustes (märk, laskeviis, laskemoonakulu jne. olid ühesugused) andsid järgmisi tulemusi:

ühe	laskmise	juures	oli	3	pihtavust,
kahe	„	„	„	2	„
viie	„	„	„	1	„
kahe	„	„	„	0	„

Määrata keskmine pihtavuste arv ühe laskmise jaoks.

Lahendus. Keskmine pihtavuste arv on

$$\frac{(3 \cdot 1) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 5) + (0 \cdot 2)}{10} = \frac{12}{10} = 1{,}2 \text{ pihtavust.}$$

Saadud avaldisele võib anda järgmise kuju:

$$\left(3 \cdot \frac{1}{10}\right) + \left(2 \cdot \frac{2}{10}\right) + \left(1 \cdot \frac{5}{10}\right) + \left(0 \cdot \frac{2}{10}\right) = 1{,}2 \text{ pihtavust.}$$

Viimases avaldises arvud 3, 2, 1 ja 0 on pihtavuste või üldse suuruse üksik- (eri-) väärtused, kuna suhted:

$$\frac{1}{10}, \frac{2}{10}, \frac{5}{10}, \frac{2}{10}$$

on suuruse üksikväärtuste sagedused.

Järeldus. Suuruse keskmine väärtus võrdub selle suuruse üksikväärtuste ja vastavate sageduste korrutiste summaga.

Kui suuruse keskmise väärtuse avaldises üksikväärtuste sagedusi asendada neile vastavate tõenäosustega, siis avaldis määrab suuruse matemaatilise keskmise väärtuse. Seega suuruse matemaatiline keskmine väärtus võrdub selle suuruse üksikväärtuste (kõigi võimalikkude) ja vastavate tõenäosuste korrutiste summaga (kui katsete arv on lõpmatu suur ja katsed on teostatud ühesugustes tingimustes).

Näide 2. Lasti šrapnelliga kilpide gruppide pihta lõpmatu suur arv mürske. Õhingute keskmine kõrgus oli seesugune, mille juures:
kõrgete tõenäosus $p_k = 0{,}3$ ja tabatud kilpide arv $x_k = 4$;
soodsete tõenäosus $p_s = 0{,}4$ ja tabatud kilpide arv $x_s = 9$;
madalate tõenäosus $p_m = 0{,}2$ ja tabatud kilpide arv $x_m = 6$;
näkete tõenäosus $p_n = 0{,}1$ ja tabatud kilpide arv $x_n = 0$;
s. o. kõrge õhing annab pihtavusi 4 kilpi, soodus — 9 kilpi, madal — 6 kilpi, kuna näke tabvusi kilpidesse ei anna.

Määrata tabatud kilpide arvu matemaatiline keskmine väärtus ühe lasu juures.

Lahendus. Kõigepealt tuleb märkida, et antud nähtuse kõik võimalikud juhused on olemas, sest et

$$p_k + p_s + p_m + p_n = 1.$$

Kui nii, siis

$$X_m = x_k p_k + x_s p_s + x_m p_m + x_n p_n = 4 \cdot 0{,}3 + 9 \cdot 0{,}4 +$$

$$+ 6 \cdot 0{,}2 + 0 \cdot 0{,}1 = 6 \text{ kilpi.}$$

Ülesande lahendusel saadud arv 6 kilpi on ühe lasuga tabatud kilpide matemaatiline keskmine arv sel juhul, kui näite tingimustel on lastud lõpmatu suur arv mürske.

II peatükk.

VIGADE TEOORIA ALUSEID.

1. Üldmõisteid.

Igapäevastest kogemustest on teada, et ükski mõõtmine pole vigadeta. Teostades korduvalt ühe ja sama suuruse mõõtmist ühe ja sama mõõtriistaga ja ühesugustes mõõtmistingimustes, selgub siiski alati, et iga mõõtmistulemus erineb suuremal või vähemal määral teistest mõõtmistulemustest. Kasutades mõõtmiseks täpsemaid mõõtriiste ja mõõtmisviise võib teataval määral vähendada mõõtmistulemuste vahesid, kuid neid vahesid täiesti vältida ei saa. Kuna igal suurusel on oma tõeline väärtus ja et mõõtmistulemused on alati isesuguse väärtusega, siis mõõdetava suuruse mõõtmistulemused on ligikaudsed.

Suuruste tõeliste väärtuste ja mõõtmisväärtuste vahesid nimetatakse *vigadeks*.

Kui suuruse mõõtmisväärtus on selle tõelisest väärtusest suurem, siis viga on *positiivne*; kui suuruse mõõtmisväärtus on selle tõelisest väärtusest väiksem, siis viga on *negatiivne*.

Vigade absoluutväärtused ehk *absoluutsed vead* olenevad mõõtriistade ja mõõtmisviiside täpsusest ning ka mõõtmistingimustest.

Kõiki mõõtmisvigu jaotatakse kahte liiki:

— *süstemaatilised vead*,

— *juhuslikud vead*.

Süstemaatilisteks vigadeks nimetatakse vigu, mis antud mõõtmistingimustel omavad kindlat väärtust ja millede tekkimise põhjused on teada. Neid vigu võib seetõttu kas kõrvaldada või mõõtmise juures arvesse võtta. Süstemaatilised vead mõjuvad mõõtmistulemustele alati ühes suunas. Näiteks, kui mõõtlindi pikkus on õigest pikkusest suurem, siis kauguse mõõtmistulemus on tõelisest kaugusest väiksem. Sel juhul võib kauguse mõõtmisvigu ära hoida kas mõõtlindi pikkuse reguleerimisega või mõõtmistulemuste parandusega mõõtmisest tekkinud vea võrra. Kui

üksiku mõõtmise süstemaatiline viga on v_s, mõõtmise koguviga — V_s ja mõõtmiste arv — n, siis võib kirjutada, et

$$V_s = v_s\, n.$$

Seega mõõtmise koguviga võrdub üksikute süstemaatiliste vigade summaga ehk süstemaatilise vea ja üksikmõõtmiste arvu korrutisega.

Juhuslikkudeks vigadeks nimetatakse vigu, mis olenevad mitmesuguseist tuntud ja tundmata põhjusist ja omavad igal üksikul juhul isesuguseid juhuslikke väärtusi. Seepärast neid vigu ei saa vältida või arvesse võtta. Suuruse üksikute mõõtmiste juures juhuslikud vead erinevad üksteisest nii absoluutses väärtuses kui ka suunas ja nende tekkimise järjekord on juhuslik. Üksikute mõõtmiste juures juhuslik viga muudab mõõtmistulemust ükskord suuremal ja teinekord väiksemal määral; ükskord on juhuslik viga positiivne, teinekord negatiivne; vigade iseloom ja tekkimise järjekord on seejuures juhuslik. Kui aga teostada suurem arv mõõtmisi (katseid), siis võib tähele panna, et juhusliku vea absoluutsest väärtusest oleneb selle vea tekkimise sagedus. Mida suurem on juhusliku vea absoluutväärtus, seda väiksem on selle vea sagedus. Samuti ka võrdsete positiivsete ja negatiivsete vigade sagedused on võrdsed. Järelikult juhuslikkude vigade tekkimine allub kindlatele seadustele ja on seda reeglipärasem, mida suurem on mõõtmiste (katsete) arv.

Õppeaine, mis käsitleb juhuslikkude vigade ja nende tulemuste tekkimise seadusi, nimetatakse vigade teooriaks.

Lubatud veaks nimetatakse maksimaalset viga, mille juures antud suuruse mõõtmistulemus võib olla rahuldav ja vastaks ülesseatud eesmärgile. Et mõõtmistulemus oleks rahuldav ja vastaks ülesseatud nõuetele, peab mõõtmistel kasutama seesugust viisi ja mõõtmisabinõu, mis annab mitte vähema täpsusega mõõtmistulemusi, kui seda võimaldab lubatud viga.

Võimalikuks veaks nimetatakse maksimaalset viga, mis võib tekkida vilunud mõõtja töö juures korraliku mõõtriistaga. Valides mingisuguse suuruse mõõtmisviisi, tuleb silmas pidada, et võimalik viga ei ületaks lubatud viga.

Absoluutseks veaks nimetatakse üksikmõõtmise tulemuse väärtuse ja mõõdetava suuruse tõelise väärtuse vahet.

Relatiivseks veaks nimetatakse absoluutse vea suhet suuruse tõelise väärtusega. Relatiivne viga iseloomustab töö (mõõtmise) täpsust.

Süstemaatilised ja juhuslikud vead ei ole oma absoluutse väärtuse poolest suured ning ei tõuse üle teatud piiride. Kui aga viga on suur, siis on kahtlemata ette tulnud eksitus. Eksitus võib tekkida mõõtja oskamatuse või hooletuse tõttu. Näiteks, töötades mõõtlindiga, mõõtja eksib lindipikkuste kokkuarvamisel või töötades nurgamõõtjaga loetakse seadeid valesti jne. Ka vilunud töötaja ei või kunagi kindel olla eksituse eest; seepärast peab igat mõõtmist kontrollitama.

2. Vigade seadusi.

a) Üldist.

Juhuslikkude vigade käigus on palju ühist kõigi juhuslikkude nähtuste käiguga. Tõenäosuse teooriast on teada, et kui juhuslikkude nähtuste katsete või vaatluste arv läheb suuremaks, siis sündmuste tekkimine allub kindlatele seadustele. See on maksev ka juhuslikkude vigade kohta.

Üksikud juhuslikud vead erinevad üksteisest nii absoluutses väärtuses kui ka suunas ja nende tekkimise järjekord on juhuslik. Kui aga teha kahe sarnase suuruse mõõtmisi ühesugustes mõõtmistingimustes, kuid isesuguste mõõtmisviiside järgi, siis võib tähele panna, et mõlema suuruse mõõtmisel tekkinud vead on väärtustelt isesugused, kuid olles liigitatud ja grupeeritud, omavad sarnast jaotust. Mõlema vigade-grupi jaotused on seda sarnasemad, mida suurem oli mõõtmiste (vigade) arv. Järelikult vigade tekkimine, samuti ka kõigi teiste juhuslikkude nähtuste tulemuste tekkimine, allub kindlatele seadustele. Mõõtmiste suure arvu juures, juhuslikud vead tekivad seaduste järgi, mis määravad vea väärtuse ja tema tõenäosuse olenevusi.

Vead tekivad mitmesuguste seaduste järgi. Laskeasjanduse praktikas omab suurimat tähtsust Gauss'i vigade-seadus.

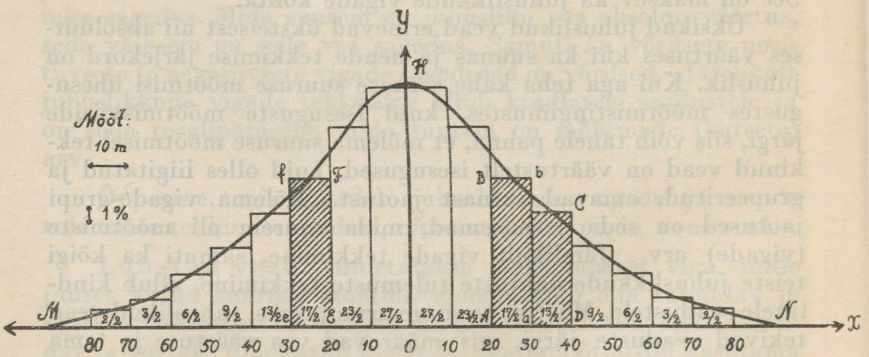
Gauss'i vigade-seadusele alluvad hajumus ja pihtavus, kauguste mõõtmine silmaga, kaugusemõõtjaga või mõõtmisvahenditega kaardilt, märgi asimuuti mõõtmine, õhu temperatuuri ja õhurõhu mõõtmine j.t.

b) Gauss'i vigade-seadus.

Olgu et kauguse mõõtmist teostati 100 korda ja mõõtmisvead liigitati absoluutsete väärtuste järgi gruppidesse iga 10 meetri tagant, nagu näidatud alljärgnevas tabelis.

Vigade absoluut-väärtus	0 kuni ± 10	± 10 ± 20	± 20 ± 30	± 30 ± 40	± 40 ± 50	± 50 ± 60	± 60 ± 70	± 70 ± 80	Kokku
Vigade sagedus (%%)	27	23	17	13	9	6	3	2	100

Vigade absoluutväärtuste ja sageduste olenevust võib iseloomustada graafiliselt. Selleks tuleb koordinaadistiku *X*-teljel mõlemale poole alguspunkt 0 märkida vigade absoluutväärtused iga 10 meetri tagant ja Y-teljel ülespoole alguspunkt 0 märkida vigade suurim sagedus, kuna teised sagedused märkida ülespoole *X*-telge vastavate vigade absoluutväärtuste kohale (joon. 3). Joonisel saadud ristkülikute



Joon. 3.

pinnad iseloomustvad vigade sageduse väärtust olenevalt vea absoluutväärtusest. Näiteks, mitte suurema kui 40 m ja mitte vähema kui +20 m vea tekkimise sagedust määrab pinna *ABbCD* suurus.

Kui liigitada ja grupeerida neid vigu iga 5 meetri tagant, siis oleksid vigade grupid ja neile vastavad sagedused järgmised:

Vigade absoluutväärtus	0 kuni ± 5	± 5 ± 10	± 10 ± 15	± 15 ± 20	± 20 ± 25	± 25 ± 30	± 30 ± 35	± 35 ± 40	± 40 ± 45
Vigade sagedus (%%)	14	13	12	11	9	8	7	6	5

(Järg)

± 45 ± 50	± 50 ± 55	± 55 ± 60	± 60 ± 65	± 65 ± 70	± 70 ± 75	± 75 ± 80	Kokku
4	4	2	2	1	1	1	100

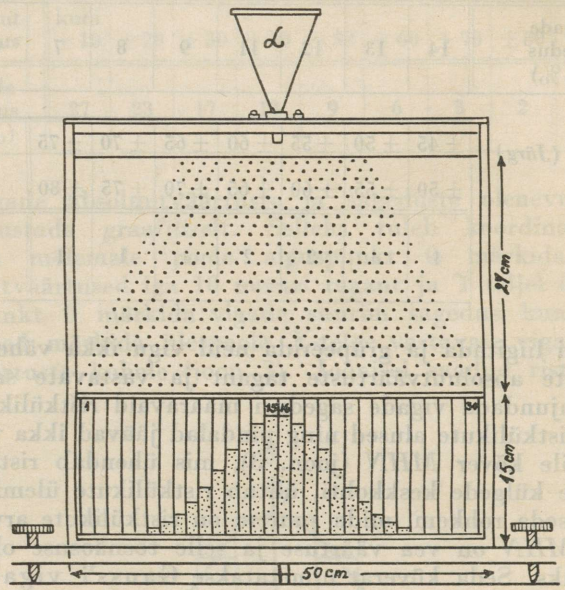
Kui liigitada ja grupeerida neid vigu ikka vähemate ja vähemate absoluutväärtuste tagant ja vastavate sageduste järgi kujundada vigade sagedusi määravaid ristkülikuid, siis nende ristkülikute alused ning pindalad jäävad ikka vähemateks. Sile kõver *MHN* (joon. 3), mis ühendab ristkülikute ülemiste külgede keskkohti, ühtub ristkülikute ülemiste külgedega seda rohkem, mida suurem on ristkülikute arv. Seega kõver *MHN* on vea väärtuse ja selle tõenäosuse olenevuse määrajaks. Seda kõverat nimetatakse Gauss'i vigade-seaduse kõveraks.

Olenevalt mõõtmisviisidest, mõõtriistadest ja nende täpsusest, vigade absoluutväärtused on isesugused. Gauss'i vigade-seaduse kõver iseloomustab graafiliselt vigade absoluutväärtuste ja nende sageduste (tõenäosuste) olenevusi. Seepärast Gauss'i vigade-seaduse kõver on selle seaduse graafiliseks iseloomustajaks või avaldiseks.

Gauss'i vigade-seaduse järgi:

1) Iga mõõõtmisviisi, mõõtriista ja selle täpsuse jaoks on olemas vea absoluutväärtuse praktiline maksimaalne piir, millest suuremat ei või olla. Eelpooltoodud näite jaoks on vea absoluutväärtuse maksimaalseks piiriks 80 m.

2) Igale positiivsele veale vastab sama absoluutväärtusega negatiivne viga; nende vigade tõenäosused on võrdsed. Ristkülikute *ABba* ja *EFfe* pindalad, mis määravad võrdsete absoluutväärtustega vigade sagedusi, on võrdsed. (Joon. 3.) Järelikult Gaussi vigade-seaduse kõver on sümmeetriline.



Joon. 4.

3) Mida suurem on vea absoluutväärtus, seda väiksem on selle vea sagedus (tõenäosus).

Mürskude kohtamispunktide hajumus allub Gauss'i vigade-seadusele. On teada, et:

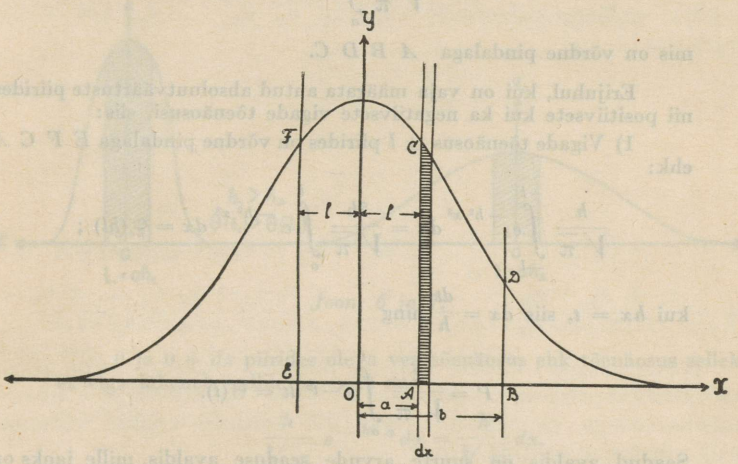
1) mürskude (kuulide) kallangud hajumuskeskmest ei ületa 4 T;
2) mürskude (kuulide) kallangute absoluutväärtused ja neile vastavad tõenäosused on vastassuunas võrdsed;
3) mida suurem on mürsu (kuuli) kallangu suurus, seda väiksem on selle kallangu tõenäosus.

Gauss'i vigade-seadust võib selgitada katsete abil n.n. vigade-jaotuse aparaadiga (joon. 4). Selleks lastakse teatav arv haavleid või muid ühesuguseid teri läbi lehtri L langeda

alla ühesuurustesse jaotusruumidesse. Langevad terad, enne kui jõuavad jaotusruumidesse, põrkavad korrapäraselt malekorras asetatud metallpulkade vastu ning võivad juhuslikult sattuda ükspuha missugusesse jaotusruumi. Kui läbi vigade jaotuse aparaadi lastud terade arv on küllalt suur, siis terad jagunevad jaotusruumidesse Gauss'i vigade-seaduse järele.

Gauss'i vigade-seaduse kõvera (joon. 5) üldine võrrand on

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2}.$$



Joon. 5.

Selle analüütilise avaldise uurimise põhjal võib öelda, et kõver on sümmeetriline Y-telje suhtes. Läbistades oma maksimumpunkti, kõvera harud langevad lähenedes X-teljele esialgu aeglaselt, pärast aga järsumalt ja lõpuks on asümptootilised X-teljega; järelikult teoreetiliselt vigade absoluutväärtused võivad olla määramatud. Kuid praktiliselt kõvera sel omadusel ei ole tähtsust, sest kui x suureneks lõpmata, siis

$$e^{-h^2 x^2}$$

kahaneks nulliks. Kui x omab võrdlemisi suurt väärtust, siis praktiliselt võib oletada, et kõver ühtub X-teljega.

Kõvera ja X-teljega piiratud pindala, olles võrdne kõigi vigade tõenäosuste summaga, võrdub ühega.

Kui vigade arv on lõpmatu kasvav ning vigade absoluutväärtuste vahed on lõpmatu kahanevad, siis kõvera ja X-teljega piiratud pindala üldine avaldis on:

$$\int e^{-h^2 x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{h}\ ;\ \text{sest et}\ \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int e^{-h^2 x^2} dx = 1\ ;$$

x ja $x + dx$ piirides oleva absoluutväärtusega vea tõenäosus on

$$dP = y\, dx = \frac{h}{\sqrt{\pi}}\, e^{-h^2 x^2} dx;$$

a ja b piirides oleva absoluutväärtusega vea tõenäosus on

$$P = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_a^b e^{-h^2 x^2} dx,$$

mis on võrdne pindalaga $A\ B\ D\ C$.

Erijuhul, kui on vaja määrata antud absoluutväärtuste piirides nii positiivsete kui ka negatiivsete vigade tõenäosusi, siis:

1) Vigade tõenäosus $\pm\, l$ piirides on võrdne pindalaga $E\ F\ C\ A$ ehk:

$$\frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-l}^{+l} e^{-h^2 x^2} dx = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^l e^{-h^2 x^2} dx = \varphi\,(hl)\ ;$$

kui $hx = t$, siis $dx = \frac{dt}{h}$ ning

$$P = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2} dt = \Theta\,(t).$$

Saadud avaldis on suurte arvude seaduse avaldis, mille jaoks on eelpool (vt. lk. 22) toodud $\Theta\,(t)$ tabel.

2) Vigade tõenäosus $+a$ ja $+b$ piirides on võrdne pindalaga $A\ B\ D\ C$ ehk

$$P = \frac{1}{2}\,[\Theta\,(t_2) - \Theta\,(t_1)],$$

kus

$$t_1 = ha \text{ ja } t_2 = hb.$$

3) Vigade tõenäosus 0 ja $+\ a$ või 0 ja $-a$ piirides on

$$P = \frac{1}{2}\,\Theta\,(t).$$

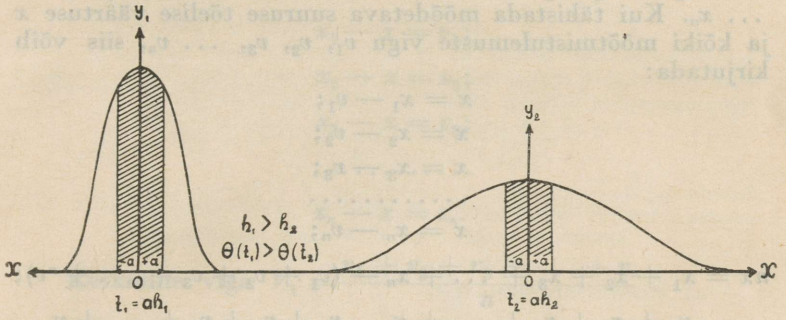
4) $+a$ ja $+b$ või $-a$ ja $-b$ piirides vigade tõenäosus on

$$P = \frac{1}{2}\,[\Theta\,(t_2) - \Theta\,(t_1)].$$

5) $-a$ ja $+b$ piirides vigade tõenäosus on

$$P = \frac{1}{2}\,[\Theta\,(t_1) + \Theta\,(t_2)].$$

Jääv suurus h iseloomustab mõõtmistäpsust antud mõõtmisviisi jaoks; h on seda suurem, mida suurem on tõenäosus selleks, et vead tekivad $-a$ ja $+a$ piirides ning ei ületa väärtust a. See tõenäosus olles võrdne $\Theta(t) = \Theta\,(ah)$, suureneb ühes h suurenemisega. Järelikult suurus h on võrdeline mõõtmise täpsusega ja seepärast suurust h nimetatakse täpsuse mooduliks.



Joon. 6 ja 7.

0 ja $0 + dx$ piirides oleva vea tõenäosus ehk tõenäosus selleks, et viga läheneb nullile ($x \to 0$) on

$$\frac{h}{\sqrt{\pi}}\, e^{-h^2 \cdot 0}\, dx = \frac{h}{\sqrt{\pi}}\, dx.$$

Kui ühe mõõtmisviisi jaoks see tõenäosus on $\frac{h_1}{\sqrt{\pi}}\, dx$ ja teise mõõtmisviisi jaoks $\frac{h_2}{\sqrt{\pi}}\, dx$, siis mõlema mõõtmisviisi täpsuste suhe on $h_1 : h_2$.

Täpsuse moodul h iseloomustab ka Gauss'i vigade-seaduse kõvera kuju. Selle kõveraga ja X-teljega piiratud pindala on alati võrdne ühega, kuid olenevalt täpsuse mooduli h suurusest ükskord on see kõver kõrgem, kuna teinekord on ta madalam; ükskord on kõveraga piiratud pindala pikem Y-telje suunas ja kitsam, (kui täpsuse moodul h on suurem), teinekord aga — lühem ja laiem (kui täpsuse moodul h on väiksem); (vt. joonis 6 ja 7).

Tavaliselt täpsuse mooduli h asemel kasutatakse mõõtmistäpsuse iseloomustamiseks lihtsemaid täpsusühikuid, mis kujutavad endast mitmesuguseid keskmisi vigade väärtusi.

3. Mõõtmistäpsuse iseloomustus. Vigade ühikud.

a) Keskmine mõõtmistulemus.

Iga suuruse iga üksiku mõõtmise tulemuseks on viga ning kõik mõõtmistulemused on ligikaudsed. Kuidas leida suuruse tõeline väärtus?

Gauss'i vigade-seaduse põhjal võib määrata mõõdetava suuruse tõeliseks väärtuseks keskmine mõõtmistulemus.

Olgu mingisuguse suuruse mõõtmistulemused x_1, x_2, x_3 ... ... x_n. Kui tähistada mõõdetava suuruse tõelise väärtuse x ja kõiki mõõtmistulemuste vigu v_1, v_2, v_3, ... v_n, siis võib kirjutada:

$$x = x_1 - v_1;$$
$$x = x_2 - v_2;$$
$$x = x_3 - v_3;$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$x = x_n - v_n;$$

$$nx = x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n - (v_1 + v_2 + v_3 + \ldots + {}^n v);$$

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n} - \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \ldots + v_n}{n}.$$

Kuna Gauss'i vigade-seaduse põhjal lõpmatu suure arvu mõõtmiste juures igale positiivsele veale vastab võrdse absoluutväärtusega negatiivne viga, siis kõikide vigade summa peab võrduma nulliga ning:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n}.$$

Järelikult mõõdetava suuruse tõeliseks väärtuseks tuleb määrata kõigi mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine, mida nimetatakse keskmiseks mõõtmistulemuseks.

Mida suurem on suuruse üksikmõõtmiste arv, seda lähedam on keskmine mõõtmistulemus mõõdetava suuruse tõelise väärtusega.

b) Keskmine viga (keskmine aritmeetiline viga).

Keskmise vea määramiseks liidetakse kõigi vigade absoluutväärtused ja saadud summa jagatakse vigade üldarvuga. Liita tuleb seejuures ainult vigade absoluutväärtusi, sest et

vastasel korral Gauss'i vigade-seaduse põhjal oleks vigade summa võrdunud nulliga.

Kui suuruse keskmine mõõtmistulemus, mida tuleb võtta suuruse tõeliseks väärtuseks, on

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n},$$

siis suuruse üksikmõõtmiste vead on:

$$x_1 - x = v_1;$$

$$x_2 - x = v_2;$$

$$x_3 - x = v_3;$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$x_n - x = v_n.$$

Keskmine viga $V_1 = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \ldots + v_n}{n}$.

Keskmiseks veaks nimetatakse absoluutvigade summa ja vigade üldarvu jagatist.

Gauss'i vigade-seaduse kõvera üldise võrrandi põhjal võib kirjutada (kui x on nullist suurem), et

$$V_1 = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{+\infty} x\, e^{-h^2 x^2}\, dx = \frac{1}{h\sqrt{\pi}},$$

kust

$$V_1 = \frac{1}{h\sqrt{\pi}} = \frac{0{,}564}{h};\quad h = \frac{1}{V_1\sqrt{\pi}} = \frac{0{,}564}{V_1};\quad V_1\, h = 0{,}564.$$

Näide. Patarei TP ja VP vahel mõõdeti kaugus mõõtlindiga ja sammudega, kusjuures mõõtmistulemused olid järgmised: mõõtlindiga — 584,1; 585,4; 585,9; 584,7; 584,3; 583,2; 584,6; 584,4; 583,9; 586,3; 584,8; 583,6; 584,1; 584,7; 585,0 ja sammudega — 828, 803, 814, 811, 797, 800, 810, 828, 778, 819, 802, 794, 822, 808, 841.

Määrata mõlema mõõtmisviisi jaoks keskmine viga V_1.

1. mõõtmisviisi jaoks on keskmine mõõtmistulemus:

$$X = \frac{584{,}1 + 585{,}4 + 585{,}9 + 584{,}7 + 584{,}3 + 583{,}2 +}{15}$$

$$\frac{+ 584{,}6 + 584{,}4 + 583{,}9 + 586{,}3 + 584{,}8 + 583{,}6 + 584{,}1 +}{15}$$

$$\frac{+ 584{,}7 + 585{,}0}{15} = \frac{8769{,}0}{15} = 584{,}6 \text{ m.}$$

Kõigi mõõtmistulemuste ja keskmise mõõtmistulemuse vahed ehk üksikmõõtmiste vead on: —0,5; +0,8; +1,3; +0,1; —0,3; —1,4; 0; —0,2; —0,7; +1,7; +0,2; —1,0; —0,5; +0,1; +0,4.

Keskmine viga

$$V_1 = \frac{0{,}5 + 0{,}8 + 1{,}3 + 0{,}1 + 0{,}3 + 1{,}4 + 0 + 0{,}2 + 0{,}7 +}{15}$$

$$\frac{+ 1{,}7 + 0{,}2 + 1{,}0 + 0{,}5 + 0{,}1 + 0{,}4}{15} = 0{,}6 \text{ m.}$$

2. mõõtmisviisi jaoks on keskmine mõõtmistulemus $X = 810{,}3$ sammu ja keskm. viga $V_1 = 12$ s. $\approx 8{,}5$ m.

c) Keskmine ruutviga.

Keskmine viga ei iseloomusta alati mõõtmisviiside ja mõõtmistulemuste täpsust vajalise selgusega. Näiteks, neil juhtudel, kui mõõtmiste mõned üksikvead on suurel määral erinevad nii suuruses kui ka suunas vigade enamuses, siis nende vigade suurus jääb enamuse, kuigi väikeste vigade, varju ja seepärast ei ole võimalust saada tõetruud pilti töö või mõõtmise täpsusest. Et aga jämedamad, kuigi harvemini tekkivad, vead ei jääks teiste väiksemate, kuigi sagedamini tekkivate vigade varju, selleks võetakse keskmine aritmeetiline mitte vigade absoluutväärtustest, vaid neist teises või isegi kolmandas astmes. Sel juhul üksikud jämedamad vead mõjuvad selgemalt keskmise vea suurusele ning mõõtmistäpsusest võib saada tõetruu pildi.

Keskmise ruutvea määramiseks liidetakse kõigi vigade ruudud, saadud summa jagatakse vigade üldarvuga miinus üks ja saadud jagatisest võetakse teise astme juur. Keskmise ruutvea määramise üldavaldiseks on:

$$V_2 = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \ldots + v_n^2}{n - 1}}.$$

Gauss'i vigade-seaduse kõvera üldise võrrandi põhjal võib kirjutada, et

$$V_2 = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{+\infty} x^2 \, e^{-h^2x^2} \, dx = \frac{1}{h\sqrt{2}} ;$$

kust:

$$V_2 = \frac{1}{h\sqrt{2}} = \frac{0{,}707}{h}; \; h = \frac{1}{V_2\sqrt{2}} = \frac{0{,}707}{V_2}; \; V_2 h = 0{,}707.$$

Keskmiste ruutvigade lauseid:

1) Kui kaks suurust X ja Y on seotud olenevusavaldisega $Y = K\,X$ (K on jääv tegur), siis suuruse Y igale väärtusele vastav keskmine ruutviga võrdub suuruse X vastava väärtuse ruutveaga, mis korrutatud teguriga K, s. o.

$$V_{2,y} = K \cdot V_{2,x} .$$

2) Kui $Z = X + Y$, siis suuruse Z keskmine ruutviga võrdub suuruste X ja Y keskmiste ruutvigade ruutude summa ruutjuurega, s. o.

$$V_{2,z} = \sqrt{V_{2,x}^2 + V_{2,y}^2} .$$

d) Tõenäone viga.

Laskeasjanduse praktikas kasutatakse tavaliselt vigade ühikuna nn. tõenäost viga. Seda vigadeühikut nimetatakse mõnikord ka keskveaks või 50% veaks.

Tõenäose vea määramiseks asetatakse kõik üksikvead ritta nende absoluutväärtuste kasvavas või kahanevas järjekorras. Kui vigade üldarvuks on paaritu arv, siis võetakse tõenäoseks veaks see üksikviga, mille asukoht on vigade kasvava või kahaneva rea keskel. Kui vigade üldarvuks on paaris arv, siis võetakse tõenäoseks veaks kahe kasvava või kahaneva rea keskel asuva vea keskaritmeetiline.

Näide 1. Patarei TP ja VP vahel mõõdeti kaugus mõõtlindiga ja sammudega, kusjuures mõõtmistingimused ja -tulemused olid samad, mis toodud kahes eelmises näites.

Mõlema mõõtmisviisi juures tekkinud vigade absoluutväärtuste kasvavad read on:

1) Mõõtlindiga mõõtmisviisi juures: 0; 0,1; 0,1; 0,2; 0,2; 0,3; 0,4; **0,5**; 0,5; 0,7; 0,8; 1,0; 1,3; 1,4; 1,7. Keskkohas asub viga, mille absoluutväärtus on 0,5; seega tõenäoseks veaks on

$$V = 0{,}5 \text{ m}.$$

2) Sammudega mõõtmisviisi juures: 0,1, 2, 4, 7, 8, 9, **10**, 12, 13, 16, 18, 18, 31, 32. Keskkohas asub viga, mille absoluutväärtus on 10; seega tõenäoseks veaks on

$$V = 10 \text{ sammu.}$$

Seega tõenäoseks veaks nimetatakse viga, mille absoluutväärtus on suurem (väiksem) vigade kasvava (kahaneva) rea esimese poole iga vea absoluutväärtusest ja vähem (suurem) sama rea teise poole iga vea absoluutväärtusest.

Teiste sõnadega — tõenäone viga on selline viga, millest suuremaid ja väiksemaid vigu on võrdsel arvul.

Gauss'i vigade-seaduse kõvera üldise võrrandi põhjal võib kirjutada, et

$$P = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^V e^{-h^2 x^2} dx = \frac{1}{2};$$

kui $Vh = t$, siis $dx = \frac{dt}{h}$ ning

$$P = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t=Vh} e^{-t^2} dt = \Theta(t) = \Theta(Vh) = \frac{1}{2};$$

$\Theta(t)$ tabeli põhjal $t = Vh = 0{,}477$ ehk $V = \frac{0{,}477}{h}$; $h = \frac{0{,}477}{V}$.

Keskmiste vigade olenevusi. Gauss'i vigade-seaduse üldise võrrandi põhjal täpsuse mooduli (h) ja keskmiste vigade-ühikute (V_1, V_2 ja V) olenevusavaldiste põhjal võib kirjutada, et

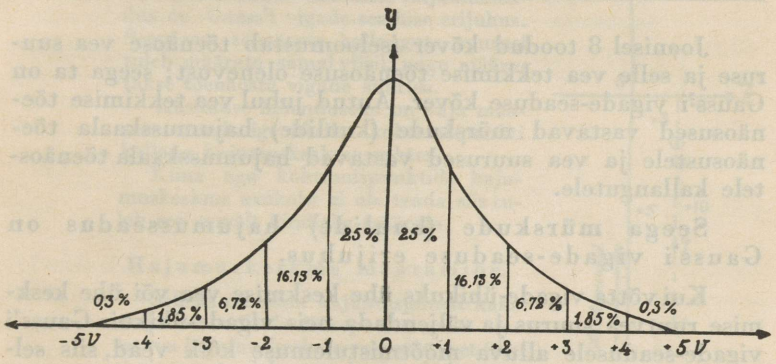
$$h = \frac{0{,}564}{V_1} = \frac{0{,}707}{V_2} = \frac{0{,}477}{V}.$$

Tõenäolise-, keskmise- ja keskmise ruutvea vahel on järgmised olenevused:

$$V = 0{,}845\ V_1 = 0{,}674\ V_2;$$
$$V_1 = 1{,}183\ V = 0{,}798\ V_2;$$
$$V_2 = 1{,}483\ V = 1{,}253\ V_1;$$

Nende vigade-ühikute olenevuste järgi võib määrata ükspuha missuguse vigade-ühiku väärtus, kui on teada mõne teise vigade-ühiku väärtus. Seega tõenäose vea suurus võib määrata kas otseselt mõõtmistulemuste põhjal või vastava keskmise- ehk keskmise ruutvea väärtuse abil. Vigade-ühikute ligikaudsed suhted on:

$$V = \frac{5}{6} V_1 = \frac{2}{3} V_2 .$$



Joon. 8.

Kui mõõtmiste või üksikvigade arv on piiratud, siis annab täpsemaid tulemusi tõenäose vea määramine keskmise ruutvea järgi.

Kui võtta vigade-ühikuks ühe tõenäose vea suurus ja väljendada selles vigade-ühikus Gauss'i vigade-seadusele alluva mõõtmistulemuse kõik vead, siis selgub, et vea tekkimise tõenäosus ühe tõenäose vea suuruse piires on 25%, ühe kuni kahe ehk teise tõenäose vea piires 16,13%, kahe kuni kolme ehk kolmanda tõenäose vea piires 6,72%, kolme kuni nelja ehk neljanda tõenäose vea piires 1,85 % ja viienda tõenäose vea piires 0,3%. Seepärast praktiliselt võib võtta tõenäose vea suurimaks absoluutväärtuseks 4 V (joon. 8).

Mõõtmistulemuse suurima vea absoluutväärtus võrdub nelja tõenäose vea väärtusega.

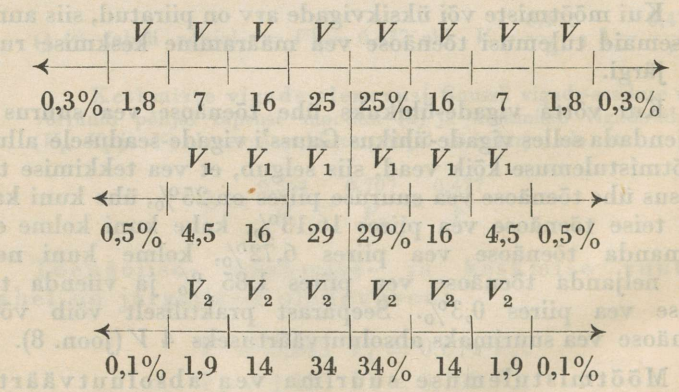
Alljärgnevas tabelis on toodud tõenäoste vigade tõenäosusi.

Vea piiriväärtus	$-4V$	$-3V$	$-2V$	$-1V$	0	$+1V$	$+2V$	$+3V$	$+4V$
Vea tekkimise tõenäosus	0,02		0,07		0,16	0,25	0,25	0,16	0,07	0,02
	0,005	0,015	0,025	0,045	0,07	0,09	0,12	0,13	0,13	0,12	0,09	0,07	0,045	0,025	0,015	0,005

Joonisel 8 toodud kõver iseloomustab tõenäose vea suuruse ja selle vea tekkimise tõenäosuse olenevust; seega ta on Gauss'i vigade-seaduse kõver. Antud juhul vea tekkimise tõenäosused vastavad mürskude (kuulide) hajumusskaala tõenäosustele ja vea suurused vastavad hajumusskaala tõenäostele kallangutele.

Seega mürskude (kuulide) hajumusseadus on Gauss'i vigade-seaduse erijuhus.

Kui võtta vigade-ühikuks ühe keskmise vea või ühe keskmise ruutvea suurus ja väljendada neis vigade-ühikuis Gauss'i vigade-seadusele alluva mõõtmistulemuse kõik vead, siis selgub, et vigade tekkimise tõenäosused ühe, kahe, kolme jne. vea suuruse piires on, nagu näitab alljärgnev vigade-skaala:



Joon. 9.

Skaala järgi võib võtta praktiliseks suurimaks vea absoluutväärtuseks kas 4 V või 3 V_1 või 3 V_2.

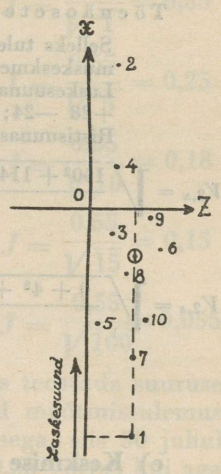
Vea absoluutväärtuse praktiliseks suurimaks väärtuseks on neli tõenäost viga või kolm keskmist viga või kolm keskmist ruutviga.

Näide. Kümnelasulise seeria mürskude kohtamispunktide asend on näidatud joonisel 10. Määrata Tp ja Tl suurused.

Mürskude tõenäosi kallanguid võib vaadelda kui tõenäoste vigade erijuhust, sest et mürskude (kuulide) hajumusseadus on Gauss'i vigade-seaduse erijuhus. Seepärast tõenäoste kallangute suurusi tuleb määrata samal viisil, nagu määratakse tõenäoste vigade suurusi.

Küsimuse lahenduseks on vaja määrata esmalt iga üksiku kohtamispunkti kallang hajumuskeskme suhtes.

Kuna aga kohtamispunktide hajumuskeskme asukoht ei ole teada, siis tuleb see esmalt kindlaks määrata.



Joon. 10.

Hajumuskeskme määramine.

Selleks märkida hajumuspinnal kaks ristjoont, millede lõikepunkt asuks oletatava hajumuskeskme rajoonis ja et üks ristjoontest oleks paralleelne lasketasapinnaga, siis on teine ristjoon perpendikulaarne lasketasapinnaga.

Hajumuspinnal märgitud ristjoontelt $O\ X$ ja $O\ Z$ toimetada kohtamispunktide kallangute X ja Z mõõtmist.

Olgu kohtamispunktide kallangute suurused järgmised:

	X	Z		X	Z
1.	—132	+24	6.	—22	+40
2.	+82	+20	7.	—86	+24
3.	—12	+14	8.	—38	+22
4.	+26	+18	9.	—4	+34
5.	—68	+8	10.	—66	+36

Hajumuskeskme koordinaatideks ristjoonte $O\ X$ ja $O\ Z$ suhtes on kohtamispunktide kallangute aritmeetilised keskmised ehk keskmised mõõtmistulemused, mis on seda lähemad koordinaatide tõelistele väärtustele mida täpsem oli kallangute mõõtmisviis. Kaguskallangute keskmine mõõtmistulemus

$$X = \frac{-132+82-12+26-68-22-86-38-4-66}{10} = -32 \text{ m.}$$

Suunakallangute keskmine mõõtmistulemus

$$Z = \frac{+24+20+14+18+8+40+24+22+34+36}{10} = +24 \text{ m.}$$

Saadud kallangute keskmised mõõtmistulemused näitavad, et hajumuskese asub ristjoonte lõikepunktist 32 m lähemal ja 24 m paremal.

Tõenäosete kallangute määramine.

Selleks tuleb määrata kohtamispunktide kallangud leitud hajumuskeskme suhtes. Need on:
Laskesuunas: —100 +114 +20 +58 —36 +10 —54 —6 + +28 —24;
Ristisuunas: 0 —4 —10 —6 —16 +16 0 —2 +10 —12.

$$V_{2,x} = \sqrt{\frac{100^2+114^2+20^2+58^2+36^2+10^2+54^2+6^2+28^2+34^2}{9}} =$$

$$= \sqrt{3672} \approx 60{,}6 \text{ m.}$$

$$V_{2,z} = \sqrt{\frac{0+4^2+10^2+6^2+16^2+16^2+0+2^2+10^2+12^2}{9}} =$$

$$= \sqrt{101{,}3} \approx 10{,}0 \text{ m.}$$

$$Tp = 0{,}674 \cdot 60{,}6 = 40{,}8 \text{ m.}$$
$$Tl = 0{,}674 \cdot 10{,}0 = 6{,}7 \text{ m.}$$

e) Keskmise mõõtmistulemuse viga.

Gauss'i vigade-seaduse põhjal loetakse suuruse keskmine mõõtmistulemus võrdseks selle suuruse tõelise väärtusega siis, kui üksikmõõtmiste arv on lõpmatu suur. Seega piiratud mõõtmiste arvu juures keskmine mõõtmistulemus oma suuruselt erineb suuruse tõelisest väärtusest seda vähemal määral, mida suurem on mõõtmiste arv. Järelikult suuruse keskmine mõõtmistulemus omab viga, mille väärtus on seda väiksem, mida suurem on mõõtmisarv. Seda viga nimetatakse keskmise mõõtmistulemuse veaks ja määratakse üldavaldisega:

$$J = \frac{V}{\sqrt{n}},$$

kus:

J — keskmise mõõtmistulemuse viga,
V — üksikmõõtmiste veaühik (keskmine, keskmine ruutviga või tõenäone viga),
n — üksikmõõtmiste ehk mõõtmistulemuste arv.

Seega keskmise mõõtmistulemuse viga võrdub üksikmõõtmiste veaga, mis jagatud üksikmõõtmiste arvu ruutjuurega.

Kui üksikmõõtmiste tõenäone viga $V = 0{,}55$, siis keskmise mõõtmistulemuse viga on:

ühe mõõtmise juures . . . . . $J = \frac{0{,}55}{\sqrt{1}} = 0{,}55$

viie „ „ . . . . . $J = \frac{0{,}55}{\sqrt{5}} = 0{,}25$

kümne „ „ . . . . . $J = \frac{0{,}55}{\sqrt{10}} = 0{,}18$

viieteist-kümne „ „ . . . . . $J = \frac{0{,}55}{\sqrt{15}} = 0{,}15$

saja „ „ . . . . . $J = \frac{0{,}55}{\sqrt{100}} = 0{,}055$

Järelikult, kui antud mõõtmistäpsuse juures teostada suuruse mõõtmist ainult üks kord ja võtta saadud mõõtmistulemus võrdseks mõõdetava suuruse tõelise väärtusega, siis 50 juhul sajast nad ei erine teineteisest rohkem kui 0,55 võrra; kui aga mõõta 100 korda, siis keskmine mõõtmistulemus 50 juhul sajast ei erine mõõdetava suuruse tõelisest väärtusest rohkem kui 0,055 võrra.

Keskmise mõõtmistulemuse vea üldavaldise tõestuseks olgu suuruse kas üksikud või keskmised mõõtmistulemused $X_1, X_2, X_3, \ldots$ $\ldots X_n$; nendele mõõtmistulemustele vastavad keskmised ruutvead $V_{2,1}, V_{2,2}, V_{2,3} \ldots V_{2,n}$. Kui mõõtmistäpsus on kõigi mõõtmiste juures jääv, siis $X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_n$ keskmine ruutviga on:

$$\sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2 + \ldots + V_{2,n}^2} = \sqrt{n\ V_2^2} = V_2\sqrt{n}.$$

Kui mõõtmistulemuste keskmine aritmeetiline ehk keskmine mõõtmistulemus

$$X = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_n),$$

siis keskmise mõõtmistulemuse X keskmine ruutviga

$$J_2 = \frac{1}{n} \cdot V_2\sqrt{n} = \frac{V_2}{\sqrt{n}}.$$

See avaldis on maksev mitte üksnes keskmise ruutvea, vaid ka keskmise ja tõenäose vea suhtes, kui nad alluvad ühele ja samale vigade-seadusele.

Kui $V = 0{,}674\ V_2$, siis $J = \frac{0{,}674\ V_2}{\sqrt{n}} = \frac{V}{\sqrt{n}}$.

Näide 1. Olgu kauguse mõõtmistulemused, keskmine mõõtmistulemus ja keskmised üksikvead samad, mis eelmises näites. Määrata keskmine kaugus, mõõtmistulemuste keskmised vead ja keskmise kauguse viga.

Üksik-mõõtmiste tulemused X	Keskmine mõõtmis-tulemus X	Mõõtmiste üksikvead v	Üksikvigade ruudud v^2	Keskmised vead
584,1		—0,5	0,25	
585,4		+0,8	0,64	$V = 0{,}5$
585,9		+1,3	1,69	
584,7		+0,1	0,01	$V_1 = 0{,}6$
584,3		—0,3	0,09	
583,2		—1,4	1,96	$V_2 = 0{,}8$
584,6		0	0	
585,4	**584,6**	—0,2	0,04	
583,9		—0,7	0,49	
586,3		+1,7	2,89	
584,8		+0,2	0,04	
583,6		—1,0	1,00	
584,1		—0,5	0,25	
584,7		+0,1	0,01	
585,0		+0,4	0,16	
8769,0		9,2	9,52	

Kui üksikvead asetada ritta nende absoluutväärtuste kasvavas või kahanevas järjekorras, siis saame:
0; 0,1; 0,1; 0,2; 0,2; 0,3; 0,4; **0,5**; 0,5; 0,7; 0,8; 1,0; 1,3; 1,4; 1,7; kust

$$V = 0{,}5.$$

keskmine viga $V_1 = 9{,}2 : 15 = 0{,}613$;

keskmine ruutviga $V_2 = \sqrt{9{,}52 : 14} = 0{,}824$;

tõenäone viga keskmise vea järgi $V = 0{,}845 \cdot 0{,}613 = 0{,}518$;
tõenäone viga keskmise ruutvea järgi $V = 0{,}674 \cdot 0{,}824 = 0{,}555$;

keskmise kauguse viga $J = V : \sqrt{15} = 0{,}143$.

Näide 2. Varemalt oli juba tähendatud, et hajumus allub Gauss'i vigade-seadusele. Järelikult kõik juhuslikkude vigade kohta käivad reeglid jäävad maksma ka tõenäoste kallangute kohta täiel määral.

19.06.30 lasti 76-v. kahuriga ühesugustel lasketingimustel ja sihikul 115 (D = 4900 m) kokku 16 mürsku, kusjuures mürskude lõhkemisi sälgiti käärpikksilmaga kahest punktist ja määrati lõhkemiste kauguskallangud märgi suhtes, mis olid järgmised: —14, +7, +25, +7, —26, —18, +10, —12, —30, —27, —16. +19, —12, —12, —17, +22 sülda.

Määrata: 1) lõhkemiste hajumuskeskme kaugus märgi suhtes;
2) lõhkemiste tõenäosed pikkuskallangud;
3) lõhkemiste keskme asendi tõenäone viga kauguses.

1) Kasutades keskmise mõõtmistulemuse avaldist, määratakse lõhkemispunktide keskmine pikkuskallang märgi suhtes.

$$X = -6 \text{ sülda.}$$

2) Märgi suhtes määratud lõhkemiste pikkuskallangute järgi määratakse lõhkemiste pikkuskallangud hajumuskeskme suhtes. Selleks iga lõhkemise pikkuskallangust märgi suhtes lahutatakse X (= —6 sülda).

Lõhkemiste tõenäosed pikkuskallangud määratakse keskmise ruutkallangu järgi.

Teise ja kolmanda küsimuse lahenduse käigud ja tulemused on toodud alljärgnevas tabelis.

Lõhkemiste nr.nr.	Kallangud hajumuskeskme suhtes (süldades)	Kallangute ruudud	Lõhkemiste tõenäoline pikkuskallang	Lõhkemiste keskme asendi tõenäoline viga kauguses
1	—8	64	$Tp = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \ldots + v_{16}^2}{15}} = 12\,s. = 25{,}6\,m$	$J = \frac{Tp}{\sqrt{n}} = \frac{25{,}6}{\sqrt{16}} = 6{,}4\,m$
2	13	169		
3	31	961		
4	13	169		
5	—20	400		
6	—12	144		
7	16	256		
8	—6	36		
9	—24	576		
10	—21	441		
11	—10	100		
12	25	625		
13	—6	36		
14	—6	36		
15	—11	121		
16	28	784		
Kokku	—	4.918	—	—

Märkus. Lasketabeli järgi on Tp = 24,6 m.

4. Vead tasapinnal ja ruumis. Liitvead.

a) Vektorvead.

Seni oli käsitletud positiivseid ja negatiivseid juhuslikke vigu ainult nende absoluutväärtuste poolest, ilma et oleks küsimuse alla võetud vigade erinevaid suundi nii tasapinnal kui ka ruumis. Seesuguste suuruste mõõtmistulemuste vaatlemisel nagu kaugus, pikkus, kaal, temperatuur, õhurõhk jne. võib piirduda ainult vigade absoluutväärtuste ja positiivsuse või negatiivsuse hinnanguga. Kuid on suurusi, millede mõõtmistulemuste vaatlemisel tuleb arvesse võtta mitte üksnes vigade absoluutväärtusi, vaid ka vigade erinevaid suundi tasapinnal või ruumis. Seesuguseid vigu tuleb ette topograafiliste tööde juures, eellaskmisel lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega, turmtule juures jne. Näiteks, kui mõõdeti kaugust punktide A ja B vahel, kusjuures punkti B asukoha määramisel oli tehtud viga suunas, mis ei ühtu sirge AB suunaga; säärastel juhtudel tuleb ka arvestada vigade suundadega, iseloomustades neid vektoritega ehk sirgetega, millede pikkused ja suunad vastaksid vigade absoluutväärtustele ja suundadele tasapinnal või ruumis.

Juhuslikke vigu, millede tekkimise põhjusi on palju, võib tavaliselt vaadelda kui vigade-süsteeme või liitvigu, mis koosnevad üksikute põhjuste või mitme põhjuse mõjul tekkinud komponent- või lihtvigadest. Tavaliselt ei ole võimalik määrata vigade-süsteemi (liitvea) komponente (lihtvigu). Kuid varemtehtud katsete ja arvutuste põhjal on antud suuruse ja mõõtmisviisi jaoks määratud vigade-seadused, millede põhjal võib määrata vigade-süsteemi suurust, suunda, vigade-ühikuid, sagedust jne. Näiteks, laskmisel ei ole teada ja ei saa ette määrata üksikute mürskude kallanguid, mis olenevad ilmastikutingimuste muutusest, algkiiruse muutusest, sihtimisvigadest jne. Kuid varemtehtud katsete põhjal on võimalik määrata kallangute (vigade) suunad ja vigade-seadus, mille järgi tekivad kallangud, s.o. tõenäoste kallangute suurused ja nende sagedused või tõenäosused jne.

Vigu või vigade-süsteeme, mis käivad määratud vigade-seaduse järele ja omavad jäävalt määratud sirge suunda nimetatakse vektorvigadeks või vektorvigade süsteemiks.

Vektorvea (vektorvigade süsteemi) tavaliseks graafiliseks avaldiseks on vektor, mille suund ühtub komponentvigade suunaga ja mille suurus võrdub selle vigade-seaduse vigade-ühikuga, mille järgi toimuvad komponentvead.

Kui mitme põhjuse isesuguste mõjude tulemusteks on ühe ja sama suunaga vead või vigade-süsteemid, siis vektor-vigade süsteemi kui kõigi komponentvigade põhjuste üheaegse mõju tulemuse suund, ühtub nende vigade või vigade-süsteemide suunaga.

Vektorvigade või vektorvigade süsteemide komponent-vigu, mille suunad on ühtjad ühe ja sama suunaga, liidetakse algebraliselt.

Kuna vektorvigu või vektorvigade süsteeme avaldatakse vigade ühikuis (tavaliselt tõenäose veana või keskmise ruut-veana), siis neid liidetakse üldavaldise

$$R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + R_3^3 + \ldots + R_n^2}$$

järgi kus on:

R — kõigi põhjuste üheaegse mõju tulemuse keskmine viga;

R_1, R_2, R_3 ... R_n — üksikute põhjuste mõju tulemuste keskmised vead.

Näide 1. Märgi suhtes lõhkemiste kallangute mõõtmiste tõenäone viga $R_1 = 30$ m, $R_2 = Tp = 20$ m.

Missugune on tõenone viga, kui märgi suhtes mõõdetud lõhkemiste kallangud loeme pihtavuskese kallanguiks.

$$R = \sqrt{(30)^2 + (20)^2} = \sqrt{1300} \approx 36 \text{ m}.$$

Järelikult, antud lasketingimustel oletades, et üksikute lõhkemiste kallangud märgi suhtes võrduvad keskmise lendjoone kallanguga selle suhtes, võib viga olla 50 juhul sajast mitte suurem kui 36 m.

Näide 2. Ilmastiku ja ballistiliste lasketingimuste määramise tulemuste tõenäoste vigade põhjusil tekkivad mürskude lennukauguste tõenäosed vead, mille suurused on:

õhu	temperatuuri	viga	annab	laskekauguse vea	— 0,3%;
laengu	„	„	„	„	— 0,2%
pikituule		„	„	„	— 0,6%
algkiiruse		„	„	„	— 0,3%.

Määrata kauguse paranduse tõenäone viga.

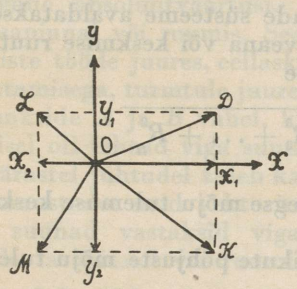
Kauguse paranduse tõenäone viga on:

$$R = \sqrt{0{,}3^2 + 0{,}2^2 + 0{,}6^2 + 0{,}3^2} = \sqrt{0{,}58} \approx 0{,}77\%.$$

Saadud tulemus näitab, et ilmastiku ja ballistiliste lasketingimuste määramise tõenäoste vigade tõttu 50 juhul sajast kaugusparanduse tõenäone viga ei ületa 0,77%.

b) Elliptilised vead.

Kui vektorvigade süsteemi üksikvead omavad isesuguseid suundi, siis neid liidetakse geomeetriliselt. Seega üheaegselt tekkivate isesuguste suundadega vektorvigade süsteemi üksikvigade tulemuseks on resultantviga (diagonaalviga).



Joon. 11.

Olgu, et üks grupp põhjusi annab vektorvigade (-kallangute) süsteemi $O\,X$ (joon. 11), kuna teine — OY suunas. Näiteks, üks grupp põhjusi annab mürskude (kuulide) hajumisel pikikallanguid (vigu), kuna teine — külgkallanguid. Esimese grupi mingisuguse veaga X_1 võib üheaegselt tekkida teise grupi mingisugune viga Y_1; nende üheaegselt tekkivate isesuguste suundadega üksikvigade tulemuseks on resultantviga $O\,D$. Kui esimese grupi sama veaga X_1 tekib üheaegselt teise grupi mingisugune teine viga Y_2, siis nende üksikvigade tulemuseks on resultantviga $O\,K$. Vead X_2 ja Y_1 annavad resultantvea $O\,L$, vead X_2 ja Y_2 annavad — $O\,M$ jne. Seega kaks isesuguste suundadega (OX ja OY) vektorvigade süsteemi liituvad tasapinnal $X\,O\,Y$ kõigi suundadega vektorvigade süsteemiks ehk tasapinnaliste vigade süsteemiks. See reegel on maksev ükspuha mis vigade-seaduse järgi käivate vigade kohta.

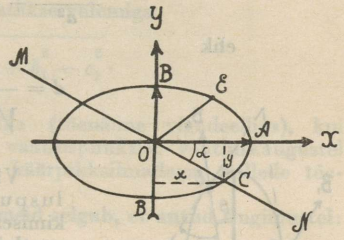
Gauss'i vigade-seadusele alluvad vead sel juhul liituvad elliptiliseks veaks tasapinnal.

Kui üks grupp põhjusi annab vigu $O\,X$ suunas, kusjuures tõenäone viga võrdub $O\,A$, kuna teine grupp põhjusi annab vigu $O\,Y$ suunas, kusjuures tõenäone viga võrdub $O\,B$, siis mõlema grupi põhjuste üheaegsel mõjul tekib elliptiline viga $O\,E$ (joon. 12).

Vigade-ellips, mille poolteljed on võrdsed vastavate suundade tõenäoste vigadega, nimetatakse tõenäoseks vigade-ellipsiks. Tõenäone vigade-ellips määrab tõenäoste vigade suurusi kõigis suundades. Näiteks, $M\,N$ suunas tõenäone viga on võrdne $O\,C$, s.o. selles suunas 50 juhul sajast, viga ei ületa $O\,C$ suurust.

Selleks, et määrata ükspuha mis suunas suurima vea, on vaja suurendada tõenäose vigadeellipsi pooltelgi 4—5 korda.

Näitena, mil kaks perpendikulaarse suunaga vektorviga-de süsteemi moodustavad elliptilisi vigu tasapinnal, võib tuua mürskude (kuulide) hajumuse. Mürskude hajumuspinda piirav kõver on ellips, mille poolteljed on võrdsed 4—5 tõenäose kallanguga (üks neist pikisuunas, teine — külgsuunas).



Joon. 12.

Juhul, kui elliptilisi vigu moodustavad vektorvead on võrdsed, siis vigade-ellips muutub ringiks ja resultantvigu nimetatakse sel juhul ringilisteks ehk radiaalseteks vigadeks. Vigade ring, mille raadius võrdub tõenäose veaga, nimetatakse tõenäoseks vigade-ringiks. Ringiliste ehk radiaalsete vigade näitena võib tuua vigu, mis tekivad punkti kandmisel kaardile või plansetile, maastikupunkti määramine lennukilt ja muud säärased vead.

Kui isesuguste suundadega elliptilised vead ei asu ühel tasapinnal, siis nende resultantvead moodustavad ellipsoidilisi vigu ruumis. Ellipsoidiliste vigade näitena võib tuua õhingute hajumust. Õhingute hajumisruumala piirav kõverpind on ellipsoid, mille poolteljed võrduvad 4—5 tõenäose õhingukallanguga (üks neist kesklendjoone suunas, teine — laiuses, s.o. lasketasapinnale ristisuunas ja kolmas — kõrguses, s.o. kahele eelmisele ristisuunas).

Märkus. Kui on teada vigade-ellipsi poolteljed a ja b ja tasapinnal määratava elliptilise vea suuna ja vigade-ellipsi ühe pooltelje vahel oleva nurga α suurus, siis võib määrata elliptiline viga $O\,C$ (joon. 12.) alljärgnevalt.

Ellipsi võrrandi $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ põhjal $a = O\,A$ ja $b = O\,B$.

Kui tähistada $O\ C = d$, siis:

$$x = d \cos \alpha \text{ ja } y = d \sin \alpha.$$

Kui asetada ellipsi võrrandisse x ja y väärtused, siis:

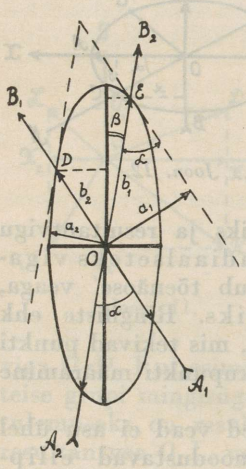
$$\frac{d^2 \cos^2 \alpha}{a^2} + \frac{d^2 \sin^2 \alpha}{b^2} = 1 \text{ ehk } d^2 \left(\frac{\cos^2 \alpha}{a^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{b^2} \right) = 1;$$

kust

$$d^2 = \frac{1}{\frac{\cos^2 \alpha}{a^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{b^2}} = \frac{a^2 b^2}{b^2 \cos^2 \alpha + a^2 \sin^2 \alpha}$$

ehk

$$d = \frac{ab}{\sqrt{b^2 \cos^2 \alpha + a^2 \sin^2 \alpha}}.$$



Joon. 13.

Vigu punkti sälkimisel kahest vaatluspunktist. Vigade põhjusteks punkti sälkimisel kahest vaatluspunktist on mõlema vaatleja töö ja nende mõõtriistade täpsus. Sälkimise täpsus oleneb veel nurga suurusest, mille moodustavad mõlema vaatleja vaatlusjooned. Tavaliselt see nurk on täisnurgast vähem.

Olgu parempoolse vaatleja vaatlusjooneks $A_1 B_1$ ja vasakpoolse vaatleja vaatlusjooneks $A_2 B_2$ (joon. 13). Mõlema vaatleja mõõtriistade täpsus on võrdne — tõenäone viga on δ tuh.

Kui esimene (parempoolne) vaatleja tegi nurga mõõtmise juures vea, kuid teise (vasakpoolse) vaatleja töö oli täppis, siis sälgitava punkti asukohaks määratakse mitte punkt 0, vaid mingisugune punkt E, mis asub vasakpoolse vaatleja vaatlusjoonel $A_2 B_2$. Järelikult vead, millede põhjustajaks on esimene vaatleja, suunduvad mööda teise vaatleja vaatlusjoont; samuti ka vead, millede põhjustajaks on teine vaatleja, suunduvad mööda esimese vaatleja vaatlusjoont. Kui tähistada neid kahte vektorviga b_1 ja b_2 ja nende vahel olevat nurka α, siis:

$$b_1 = \frac{a_1}{\sin \alpha} = \frac{\delta \cdot d_1}{1000 \sin \alpha}; \quad b_2 = \frac{a_2}{\sin \alpha} = \frac{\delta \cdot d_2}{1000 \sin \alpha};$$

kus

$$a_1 = \delta \frac{d_1}{1000}; \quad a_2 = \delta \frac{d_2}{1000}; \quad d_1 \text{ ja } d_2 \text{ on vaatluskaugused.}$$

Vigade ellipsi suurema pooltelje suund määratakse valemiga

$$\tan 2\beta = \frac{\sin 2\alpha}{\left(\frac{b_1}{b_2}\right)^2 + \cos 2\alpha}.$$

Suurema pooltelje suurus määratakse järgmiselt. Vektorvead b_1 ja b_2 projekteeritakse suurele pooltelje ning selle pooltelje suunas saadud vektorvead liidetakse selle reegli järgi, mille järgi liidetakse ühe ja sama suunaga vektorvigu või vektorvigade süsteeme, s.o.

$$c_1 = \sqrt{(b_1 \cos \beta) + [b_2 \cos (\alpha - \beta)]^2}.$$

Vähema pooltelje suurus määratakse valemiga

$$c_2 = \sqrt{b_2^2 + b_1^2 - c_1^2}.$$

Näide. Määrata punkti sälkimise viga (tõenäone vigadeellips), kui sälkimist teostatakse kahest vaatluspunktist vaatluskaugustel 4 km, sälkimisnurgaga 30° ja käärpikksilmadega, millede tõenäosed nurkvead on 0,5 tuh.

Kasutades eespooltoodud valemeid selgub, et antud tingimustel:

$$b_1 = \frac{\delta \cdot d_1}{1000 \cdot \sin \alpha} = \frac{\delta \cdot d_2}{1000 \cdot \sin \alpha} = b_2 = \frac{0{,}5 \cdot 4000}{1000 \cdot \sin 30°} = 4 \text{ m}.$$

$$\tan 2\beta = \frac{\sin 2\alpha}{1 + \cos 2\alpha} = \tan \alpha \text{ ehk } \frac{\alpha}{2} = \beta;$$

$$c_1 = \sqrt{\left(b_1 \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(b_2 \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2} = b_1 \cos \frac{\alpha}{2} \sqrt{2} = 5{,}46 \text{ m}.$$

$$c_2 = \sqrt{2b_1^2 - c_1^2} = 1{,}46 \text{ m}.$$

Kui teostada sälkimise vea arvutusi näites toodud tingimustel, kuid mitmesuguste sälkimisnurkade jaoks (mitmesuguse pikkusega baaside jaoks), siis selguvad tulemused, mis toodud alljärgnevas tabelis.

Sälkimisnurk kraadides ja vastav baas meetrites / Sälkimise tõenäosed vead meetrites	2° 136	5° 352	10° 696	15° 1048	50° 2072	45° 3064 m
Kauguses	81,04	32,36	16,20	10,82	5,46	3,68
Suunas	1,34	1,36	1,38	1,41	1,46	1,52

Toodud tabelis leiduvad andmed lubavad teha vigade kohta punkti sälkimisel kahest punktist järgmisi järeldusi:

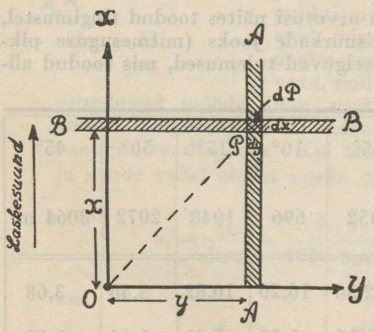
1) Sälkimise vigade-ellipsi vähem pooltelg (ellipsi laius) on praktiliselt jääva suurusega kõigi sälkimisnurkade jaoks. Vähema pooltelje suurus oleneb mõõtriista täpsusest (on võrdeline mõõtriista tõenäose nurkveaga) ja vaatluskaugusest (on võrdeline vaatluskaugusega).
2) Sälkimise vigade-ellipsi suurema pooltelje (ellipsi pikkus) pikkus oleneb veel sälkimisnurga suurusest (on pöördvõrdeline sälkimisnurgaga).
3) Sälkimisel lühikesel baasil ($\alpha = 2°$) tõenäone viga kauguses võrdub umbes 2% vaatluskaugusest.
Sälkimisel pikal baasil ($\alpha = 15 — 30°$) tõenäone viga kauguses võrdub umbes 0,25% vaatluskaugusest.
Neile vigadele tuleb veel juurde arvata vigu, mis tekivad vaatluspunktide asukohtade määramisest, mõõtriistade orienteerimisest ja teisi võimalikke vigu. Selle tulemusena võib öelda, et käärpikksilmadega sälkimisel lühikesel baasil tõenäone viga ulatub kuni 3—4% ja pikal baasil kuni 0,75% vaatluskaugusest. Kasutades analüütilist topograafilise ettevalmistuse viisi ja minutiliste jaotistega teodoliiti, võib vähendada sälkimise tõenäost viga kuni 0,2% vaatluskaugusest.

c) Tasapinnaliste vigade analüütiline määramine.

Gauss'i vigade-seaduse analüütilise avaldise

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2x^2}$$

põhjal ja kui vigade arv on lõpmatu kasvav ning vigade absoluutväärtuste vahed on lõpmatu kahanevad, siis võib määrata tasapinnaliste vigade tõenäosusi järgmiselt:



Joon. 14.

x ja $x + dx$ piirides oleva väärtusega OX suunas tekkiva vea tõenäosus (joon. 14) on

$$dp_1 = \frac{h_1}{\sqrt{\pi}} e^{-h_1^2 x^2} dx ;$$

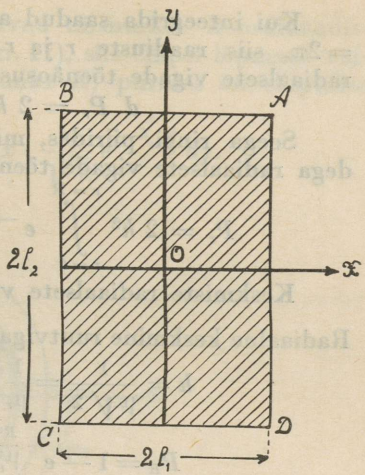
y ja $y + dy$ piirides oleva väärtusega Y suunas tekkiva vea tõenäosus on

$$dp_2 = \frac{h_2}{\sqrt{\pi}} e^{-h_2^2 y^2} dy .$$

Tõenäosus selleks, et mõlemad vead tekivad üheaegselt ehk liitvea tõenäosus võrdub mõlema vea tõenäosuste korrutisega s. o.

$$dP = \frac{h_1 h_2}{\pi} e^{-h_1^2 x^2 - h_2^2 y^2} dx \cdot dy .$$

Ristküliku $A\ B\ C\ D$ piirides (joon. 15), mille külgede pikkused on $2\,l_1$ ja $2\,l_2$ kõigi suundadega vektorvigade ehk tasapinnaliste vigade tõenäosus on:



Joon. 15.

$$\frac{h_1 h_2}{\pi} \int_{x=-l_1}^{x=+l_1} \int_{y=-l_2}^{y=+l_2} e^{-\left(h_1^2 x^2 + h_2^2 y^2\right)} dx \cdot dy =$$

$$= \frac{h_1}{\sqrt{\pi}} \int_{-l_1}^{+l_1} e^{-h_1^2 x^2} dx \cdot \frac{h_2}{\sqrt{\pi}} \int_{-l_2}^{+l_2} e^{-h_2^2 y^2} dy = \varphi(h_1 l_1) \cdot \varphi(h_2 l_2) =$$

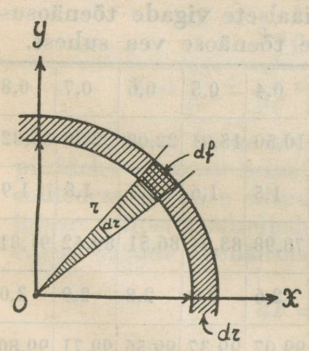
$$= \varphi\left(\frac{l_1}{w_1} \cdot 0{,}477\right) \cdot \varphi\left(\frac{l_2}{w_2} \cdot 0{,}477\right) = \psi\left(\frac{l_1}{w_1}\right) \cdot \psi\left(\frac{l_2}{w_2}\right),$$

sest et $h = \frac{0{,}477}{w}$ ja

w = tõenäose vea tähistus.

Radiaalsete vigade määramisel tuleb oletada, et nende komponendid on perpendikulaarsed ja võrdsed. Sel juhul $x = y$ ja $r^2 = x^2 + y^2$ (joon. 16).

Radiaalse vea tõenäosus lõpmata väikese sektori $d\varphi$ ja raadiuste r ja $r + dr$ piirides on $\frac{h^2}{\pi} e^{-h^2 r^2} df$, kus $df = r \cdot d\varphi \cdot dr$.



Joon. 16.

Kui inteegrida saadud avaldist piirides $\varphi = 0$ kuni $\varphi = 2\pi$, siis raadiuste r ja $r + dr$ piirides kõigi suundadega radiaalsete vigade tõenäosuse määrab avaldis:

$$d\,P_r = 2\,h^2\,e^{-h^2 r^2}\,r \cdot dr.$$

Seega ringi piirides, mille raadius on R, kõigi suundadega radiaalsete vigade tõenäosus on:

$$P_r = 2\,h^2 \int_{r=0}^{r=R} e^{-h^2 r^2}\,r \cdot dr = 1 - e^{-h^2 r^2}.$$

Keskmiste radiaalsete vigade olenevus ja väärtus on:

Radiaalne keskmine ruutviga $\mu_r = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2} = \sqrt{2\,\mu^2} = \mu\sqrt{2}$;

$$h = \frac{1}{\mu\sqrt{2}} = \frac{1}{\mu_r} \cdot \text{ Kui } R = \mu_r, \text{ siis}$$

$$P_R = 1 - e^{-\frac{R^2}{\mu_r^2}} = 1 - \frac{1}{e} = 0{,}631.$$

Tõenäone radiaalne viga $\omega_r = \mu_r \sqrt{ln2} = 0{,}833\,\mu_r$.

Kui $R = \omega_r$, siis $P_R = \frac{1}{2} = 1 - e^{-\frac{\omega_r^2}{\mu_r^2}} = 1 - e^{-\frac{R^2\,1\,n2}{\omega_r}} =$

$$= 1 - (e^{-ln\,2})^{\frac{R^2}{\omega_r^2}} = 1 - 0{,}5^{\frac{R^2}{\omega_r^2}}$$

Seega radiaalsete vigade tõenäosus ringi piirides, mille raadius on R, on

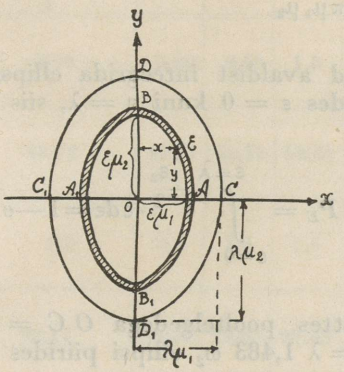
$$P_R = 1 - e^{-\frac{R^2}{\mu_r^2}} = 1 - 0{,}5^{\frac{R^2}{\omega_r^2}}.$$

Allpooltoodud tabel annab radiaalsete vigade tõenäosusi olenevalt ringi raadiuse ja radiaalse tõenäose vea suhest.

$R : \omega_r$			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$P_R \cdot 100$			0,69	2,73	6,04	10,50	15,91	22,08	28,8	35,82
0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
42,96	50,0	56,77	63,14	69,01	74,30	78,98	83,04	86,51	89,42	91,81
2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
93,75	95,29	96,51	97,44	98,15	98,69	99,07	99,37	99,56	99,71	99,80

Kui ellipsi poolteljed ühtuvad täisnurkse koordinaadistiku telgedega $O\,X$ ja $O\,Y$ (joon. 17), siis ellipsi lõpmata väikese pinnaelemendi $dx \cdot dy$ (punkt E) piirides on elliptilise vea tõenäosus

$$dE = \frac{h_1}{\sqrt{\pi}} e^{-h_1^2 x^2}\, dx \cdot \frac{h_2}{\sqrt{\pi}} e^{-h_2^2 y^2}\, dy.$$



Joon. 17.

Kui asendada h_1 ja h_2 avaldistega, milles on tegureiks keskmine ruutviga, s.o.

$$h_1 = \frac{1}{\mu_1\sqrt{2}} \text{ ja } h_2 = \frac{1}{\mu_2\sqrt{2}},$$

siis

$$dE = \frac{1}{2\pi\mu_1\mu_2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\mu_1^2} + \frac{y^2}{\mu_2^2}\right)} dx,\ dy\,.$$

Kui $\frac{x^2}{\mu_1^2} + \frac{y^2}{\mu_2^2} = \varepsilon^2$, siis $\frac{x^2}{(\varepsilon\mu_1)^2} + \frac{y^2}{(\varepsilon\mu_2)^2} = 1$.

Lõpmatu kitsa sõõrpinna piirides [sõõrpinna $A\,B\,A_1\,B_1$ piirideks on kaks teineteisele lõpmatu lähedal olevat ellipsit, milledest sisemise ellipsi poolteljed on $\varepsilon\,\mu_1$ ja $\varepsilon\,\mu_2$, kuna välimise ellipsi poolteljed on $(\varepsilon + d\varepsilon)\,\mu_1$ ja $(\varepsilon + d\varepsilon)\,\mu_2$] on elliptiliste vigade tõenäosus

$$dF = \frac{1}{2\pi\mu_1\mu_2} e^{-\frac{1}{2}\varepsilon^2}\, df\,,$$

kus df on sõõrpinna $A\,B\,A_1\,B_1$ pindala suurus.

Kuna pooltelgedega a ja b ellipsi pindala võrdub $a \cdot b \cdot \pi$, siis sisemise ellipsi $A\ B\ A_1\ B_1$ pindala $f = \varepsilon\,\mu_1 \cdot \varepsilon\,\mu_2 \cdot \pi = \mu_1\,\mu_2\,\pi\,\varepsilon^2$, seega $df = 2\,\mu_1\,\mu_2\,\pi\,\varepsilon\,d\varepsilon$ ning

$$dF = \frac{1}{2\,\pi\,\mu_1\,\mu_2} e^{-\frac{1}{2}\varepsilon^2} 2\,\mu_1\,\mu_2\,\pi\,\varepsilon\,d\varepsilon = e^{-\frac{1}{2}\varepsilon^2}\,\varepsilon \cdot d\varepsilon .$$

Kui saadud avaldist inteegrida ellipsi $C\ D\ C_1\ D_1$ ulatuses, s. o. piirides $\varepsilon = 0$ kuni $\varepsilon = \lambda$, siis

$$P_E = \int_{\varepsilon=0}^{\varepsilon=\lambda} e^{-\frac{\varepsilon_2}{2}} \cdot \varepsilon d\varepsilon = 1 - e^{-\frac{\lambda^2}{2}}.$$

Kokku võttes pooltelgedega $O\,C = \lambda\mu_1 = \lambda\ 1{,}483\ \omega_1$ ja $O\,D = \lambda\mu_2 = \lambda\ 1{,}483\ \omega_2$ ellipsi piirides elliptiliste vigade tõenäosus on

$$1 - e^{-\left(\frac{\lambda^2}{\sqrt{2}}\right)^2}.$$

Kui ellips $C\ D\ C_1\ D_1$ peab olema tõenäoseks vigade-ellipsiks, siis

$$P_E = 0{,}5 = 1 - e^{-\frac{\lambda^2}{2}} \text{ ehk } \lambda = \sqrt{2\,ln\,2} = 1{,}177, \text{ s. o.}$$

tõenäose vigade-ellipsi poolteljed on $1{,}177\ \mu_1$ ja $1{,}177\ \mu_2$.

Allpooltoodud lühikesed tabelid annavad suuruste

$$\frac{\lambda}{\sqrt{2}} \text{ ja } 100 \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\lambda}{\sqrt{2}}\right)^2}\right]$$

väärtusi, kui ühe suuruse väärtus on teada.

$\frac{\lambda}{\sqrt{2}} =$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
$100 \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\lambda}{\sqrt{2}}\right)^2}\right] = \%$	0,00	0,99	3,92	8,61	14,79	22,12

0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,2	1,4	1,6
30,23	38,74	47,27	55,51	63,21	76,31	85,91	92,27
1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	
96,08	98,17	99,21	99,68	99,88	99,96	99,99	

Ümberpöördult:

$100 \cdot \left[1 - e^{-\frac{\lambda^2}{2}}\right]$	10%	20%	30%	40%
$\frac{\lambda}{\sqrt{2}} =$	0,10537	0,22315	0,35668	0,51083

0,50%	0,60%	0,70%	0,80%	90%
0,69315	0,91630	1,20398	1,60944	2,30259

Kui ellipsoidi poolteljed ühtuvad täisnurkse koordinaadistiku pooltelgedega $O\,X$, $O\,Y$ ja $O\,Z$, siis ellipsoidi lõpmata väikese ruumielemendi $dx \cdot dy \cdot dz$ piirides on ruumilise vea tõenäosus

$$d\,R = \frac{h_1^2 \cdot h_2^2 \cdot h_3^2}{1{,}8\,\pi}\, e^{-h_1^2 x^2 - h_2^2 y^2 - h_3^2 z^2}\, dx \cdot dy \cdot dz.$$

III peatükk.

HAJUMUS JA PIHTAVUS.

1. Hajumus.

Hajumuseks nimetatakse ühesugustes tingimustes lastud mürskude (kuulide) lendjoonte ning kohtamis- või lõhkemispunktide hajuvilemineku nähtust.

Mürsu (kuuli) lend tulirelva rauaõõnes ja õhus oleneb paljudest ja mitmesugustest tingimustest. Mürsu (kuuli) lendu mõjutavad tulirelva seisukord, sihtija töö ühtlus ja täpsus, mürsk, viskelaeng, ilmastiku tingimused ja palju teisi tuntud ja tundmata juhuslikke ja alati muutuvaid tingimusi.

Kui lasta ühest ja samast tulirelvast ühesugustes lasketingimustes järgemööda seeria mürske või kuule, siis ikkagi nende lendjooned ja kohtamis- või lõhkemispunktid ei ühtu, vaid hajuvad tasapinnal või ruumis.

Kui vaadelda lähemalt hajumuse nähtuse põhjusi, siis selgub, et tegelikkuses ei või iialgi saavutada ideaalselt ühesuguseid lasketingimusi. Tegelikkuses hoolikalt loodud ühesugused lasketingimused jäävad ikkagi ainult näilikult ühesugusteks. Seega hajumust ei saa ära hoida; kuid mida hoolikamalt on läbi viidud lasketingimuste ühtlustamine, seda väiksem on hajumus.

a) Hajumuse põhjusi.

Hajumuse põhjusi võib liigitada kolme põhigruppi:

— algkiiruste erinevused,
— viskenurkade erinevused,
— mürsu (kuuli) lennutingimuste erinevused õhus.

Algkiiruste erinevused. Iga üksiku lasu juures tekivad mürskude (kuulide) isesugused algkiirused järgmisil põhjusil:

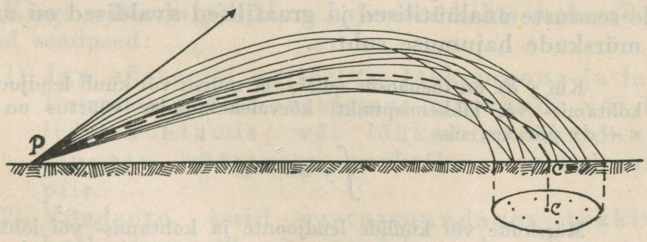
— viskelaengute omaduste (rohu koosseis, niiskuse ja teiste auravate ainete protsent jne.), kaalu ja temperatuuri erinevused; nende erinevuste mõju vähendamiseks peab viskelaenguid pakkima hermeetiliselt, kasutama ühe ja sama rohupartiiga ja kaaluga laenguid ja hoidma ära laengutemperatuuri kõikumisi;

— laadimistiheduste erinevused, mille mõju vähendamiseks peab laadimise juures panema mürsud (padrunid) alati õigesse ja ühte ning samasse asendisse;
— mürsu (kuuli) kuju ja kaalu erinevused, millede mõju vähendamiseks peab mürske liigitama nende kujude ja kaalude järgi ja kasutama ühe ja sama kuju ning kaaluga mürske või kuule.

Viskenurkade erinevused. Iga üksiku lasu juures tekivad isesugused viskenurgad järgmisil põhjusil:
— tõstenurkade erinevused, millede põhjusiks on surnudkäigud sihtimisvahendites ja tõstemehhanismides, hälli jalaste hõõrumispindade kuluvus, suurtükiraua mittetäielik paigalejooks ja pinnase vajumine saha all; nende põhjuste ning mõjude vähendamiseks peab kõrvaldama surnudkäigud või nende mõju, hoidma alati korras suurtüki materjalosa ja korralikult valmistama tulepositsioonil suurtüki laskealus;
— hüppenurkade erinevused;
— sihtimise erinevused, mille mõju vähendamiseks suurtükimeeskond peab olema hästi väljaõpetatud.

Mürsu (kuuli) lennutingimuste erinevused õhus, millede põhjusteks on:
— ilmastiku tingimuste alaline muutuvus, mille mõju vähendamiseks tuleb laskmine määratud tingimustes kiiresti läbi viia;
— mürsu kaalu ja kuju erinevusi, millede mõju vähendamiseks peab kasutama ühe ja sama kujuga ja kaaluga mürske või kuule.

Kõigi eelpooltoodud põhjuste ja tingimuste tõttu ühesugustes tingimustes lastud mürskude (kuulide) lendjooned omavad isesuguseid kujusid ja moodustavad lendjoontevihu (joon. 18).



Joon. 18.

Tasapinnalist pindala, milles paiknevad hajuvate mürskude või kuulide kohtamispunktid või lõhkemispunktide projektsioonid ja mis on piiratud ellipsiga (ristkülikuga) nimetatakse hajumusellipsiks (hajumusristkülikuks).

Hajumusellipsi keskpunkti nimetatakse hajumuskeskmeks.

Lendjoonte vihu fiktiivset lendjoont, mis läbistab hajumuskeskme, nimetatakse keskmiseks lendjooneks.

b) Hajumusseadused.

Hajumuse tõttu mürskude või kuulide lendjooned ja kohtamis- või lõhkemispunktid ei ühtu keskmise lendjoonega ja hajumuskeskmega, vaid kalduvad viimastest suuremal või vähemal määral kõrvale igas suunas tasapinnal ja ruumis. Iga üksiku mürsu või kuuli lendjoone ja kohtamis- või lõhkemispunkti kõrvalekaldumine on juhuslik ja erineb teistest samadel tingimustel lastud mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamis- või lõhkemispunktide kõrvalekaldumistest nii suuruses kui ka suunas. Kui aga lasta ühest ja samast tulirelvast ühesugustes lasketingimustes järgemööda lõpmatu suur seeria mürske või kuule, siis võib tähele panna, et mürskude või kuulide juhuslikkude kõrvalekaldumiste suurustest olenevad nende sagedused (tõenäosused). Ja nimelt, mida suuremad on mürskude või kuulide kõrvalekaldumised, seda väiksemad on nende kõrvalekaldumiste sagedused (tõenäosused). Samuti ka võrdsete, kuid vastassuundades tekkivate kõrvalekaldumiste sagedused (tõenäosused) on võrdsed.

Järelikult mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamis- või lõhkemispunktide kõrvalekaldumised keskmise lendjoone ja hajumuskeskme suhtes kuuluvad vahestiste suuruste hulka, mis lõpmatu suure katsete või vaatluste arvu juures alluvad määratud seadustele. Seega kõik vahestiste suuruste seadused ja nende seaduste analüütilised ja graafilised avaldised on maksvad mürskude hajumuse suhtes.

Kui $y\,dx$ on tõenäosus selleks, et mürsu või kuuli lendjoone ja kohtamis- või lõhkemispunkti kõrvalekaldumise väärtus on x ja $x + dx$ piirides, siis

$$\int y\,dx = 1.$$

Mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamis- või lõhkemispunktide kõrvalekaldumiste tõenäosuste kõvera üldomadused on:

— kõveraga ja koordinaadistiku X-teljega piiratud tasapind on võrdne ühega;
— abstsissidele x_1 ja x_2 vastavate ordinaatide vahel olev pindala võrdub mürskude või kuulide x_1 ja x_2 piirides olevate kõrvalekaldumiste tõenäosusega;
— abstsissile x vastava ordinaadi y väärtus on võrdeline mürsu või kuuli kõrvlekaldumise x tõenäosusega.

Mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamis- või lõhkemispunktide kõrvalekaldumiste tõenäoste väärtuste üldavaldis on:

$$0{,}5\int_{-\infty}^{+\infty} y\,dx = 0{,}5 = \int_{o}^{+\infty} y\,dx.$$

Mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamis- või lõhkemispunktide kõrvalekaldumiste matemaatilise keskmise väärtuse üldavaldis on:

$$x_m = \int x\,y\,dx,$$

kui

$n \to \infty$ ja x-i tõenäosus on $y\,dx$ (n-laskude arv).

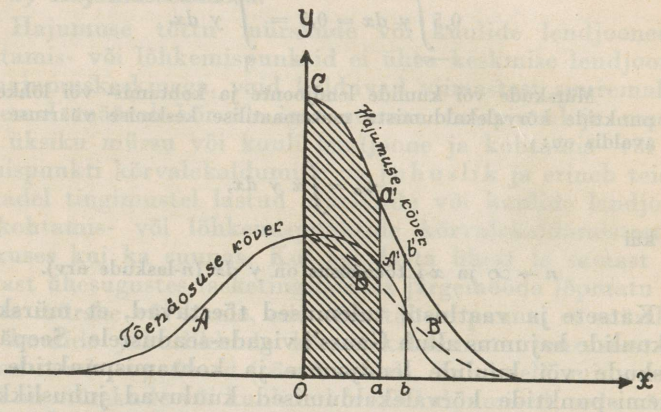
Katsete ja vaatluste tulemused tõestavad, et mürskude või kuulide hajumus allub Gauss'i vigade-seadustele. Seepärast mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamispunktide või lõhkemispunktide kõrvalekaldumised kuuluvad juhuslikkude vigade hulka ja nende suhtes on maksvad kõik seadused ja nende seaduste analüütilised ning graafilised avaldised, mis on maksvad Gauss'i vigade-seadustele alluvate juhuslikkude vigade suhtes. Vahe on ainult selles, et juhuslikke vigu määratakse nii positiivsetena kui ka negatiivsetena, kuna mürskude või kuulide lendjoonte ja kohtamis- või lõhkemispunktide kõrvalekaldumisi määratakse positiivsetena ja nimetatakse kallanguteks.

Kõige eeltoodu põhjal on hajumuse kohta maksvad järgmised seadused:

1) Iga süsteemi tulirelva, laskemoona ja laskekauguse jaoks on olemas mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktide kallangute väärtuste praktiline maksimaalne piir.
2) Võrdsete, kuid vastassuundades tekkivate kallangute tõenäosused (sagedused) on võrd-

sed. Seega mürskude või kuulide kohtamispunktide asetus hajumuskeskme ümber on sümmeetriline.

3) Mida suurem on mürsu või kuuli kallangu väärtus, seda väiksem on selle kallangu tõenäosus (sagedus).
Seega mürskude või kuulide lõhkemis- või kohtamispunktide tihedus hajumuspinnal ei ole ühtlane ja väheneb ühes kaugusega hajumuskeskmest.



Joon. 19.

Hajumuse kõver ja selle üldomadusi. Hajumuse seadusi iseloomustavat kõverat nimetatakse kallangute tõenäosuse- ehk hajumuse kõveraks.

Eeltoodu põhjal võib hajumusseaduste graafiliseks iseloomustamiseks kasutada tõenäosuse ja Gauss'i vigade-seaduse kõveraid.

Hajumuse kõvera võib konstrueerida tõenäosuse kõverast (joon. 19). Tõenäosuse kõver $A\,A'$ jagada ordinaatjoonega selliselt, et kõveraga piiratud pindala oleks poolitatud; joonestada kõver $B\,B'$, mis oleks sümmeetriline tõenäosuse kõvera vasakpoolse osaga A; saadud kõver $A\;B\;B'$ on Gauss'i vigade-seaduse kõver, millega piiratud pindala on võrdne tõenäosuse kõveraga piiratud pindalaga. Kõveratega $A\;A'$ ja $A\,B\,B'$ piiratud pindaladele vastav kõver $C\,X$ ongi hajumuse kõver.

Gauss'i vigade-seaduse kõvera üldvõrrand on

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2}$$

Seepärast hajumuse kõvera üldvõrrand peab olema

$$y = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2}, \text{ kus } x > 0.$$

Väärtustega x ja $x + dx$ piirides kallangute tõenäosus on

$$d\,P = y\,dx = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2}\,dx.$$

Väärtustega 0 kuni x kallangute tõenäosuse üldine avaldis on:

$$P = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-h^2 x^2}\,dx,$$

mis on võrdne pindalaga $O\ C\ X$ (joon. 19).

Kui $hx = t$, siis $dx = \frac{dt}{h}$ ning

$$P = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2}\,dt = \Theta\,(t), \text{ kus } t = \frac{\alpha}{\sqrt{2\,npq}}.$$

See on suurte arvude seaduse avaldis, mille jaoks on eespool toodud $\Theta\,(t)$ tabel.

Väärtustega 0 kuni a kallangute tõenäosus on $\Theta\,(t_1)$, kus $t_1 = ha$. See tõenäosus on võrdne pindalaga $O\ C\ a'\ a$.

Väärtustega a ja b piirides kallangute tõenäosus on $\Theta\,(t_2) - \Theta\,(t_1)$, kus $t_1 = ha$ ja $t_2 = hb$. See tõenäosus on võrdne pindalaga $a\ a'\ b'\ b$.

Eeltoodu põhjal hajumuse kõvera üldomadused on järgmised:

— hajumuse kõveraga ja X-teljega piiratud tasapind on võrdne ühega;

— abstsissidele x_1 ja x_2 (joon. 19 a ja b) vastavate ordinaatide vahel olev osaline pindala võrdub tõenäosusega selleks, et antud lasketingimustel on kallangute väärtused x_1 ja x_2 piirides;

— abstsissile x vastava ordinaadi y väärtus on võrdeline kallangu x tõenäosusega.

c) Hajumuse keskmisi suurusi. Kallangute ühikuid.

Kuna mürskude või kuulide hajumuse nähtused kujutavad vahestiste suuruste ja juhuslikkude vigade erijuhust, siis hajumust iseloomustajateks kallangute keskmisteks suurusteks on needsamad suurused, mis iseloomustavad vahestisi suurusi ja juhuslikke vigu, s. o.:

— keskmine kallang,
— keskmine ruutkallang,
— tõenäone kallang,
— matemaatiline keskmine kallang.

Hajumuse kõver iseloomustab kallangu suuruse ja selle tõenäosuse olenevust. Kallangute keskmiste suuruste määramiseks tuleb võtta vaatluse alla hajumuse kõvera üldvõrrand:

$$y = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \quad ; \quad (x > 0).$$

Selle võrrandi põhjal on hajumuse kallangute keskmised väärtused järgmised:

keskmine kallang

$$T_1 = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{+\infty} x e^{-h^2 x^2} dx = \frac{1}{h\sqrt{\pi}} = \frac{0{,}564}{h} \; ;$$

keskmine ruutkallang

$$T_2 = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{+\infty} x^2 e^{-h^2 x^2} dx = \frac{1}{h\sqrt{2}} = \frac{0{,}707}{h} \; ;$$

tõenäose kallangu tõenäosus

$$P = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x} e^{-h^2 x^2} dx = 0{,}5 \, .$$

Kui $hx = t = hT$, siis $P = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t=hT} e^{-t^2} dt = 0{,}5$

ehk $\Theta\,(hT) = 0{,}5$.

$\Theta\,(t)$ tabeli põhjal

$$h\,T = 0{,}477,$$

seepärast tõenäone kallang

$$T = \frac{0{,}477}{h} \, .$$

Vahestise suuruse matemaatilise keskmise väärtuse üldavaldise:

$$x_m = \int x\,y\,dx$$

põhjal on matemaatiline keskmine kallang

$$T_m = \int_o^{+\infty} x\ y\ dx\ .$$

Tõenäose-, keskmise aritmeetilise- ja keskmise ruutkallangu vahel on järgmised olenevused:

$$T = 0{,}845\ T_1 = 0{,}674\ T_2\ ;$$

$$T_1 = 1{,}183\ T = 0{,}798\ T_2\ ;$$

$$T_2 = 1{,}483\ T = 1{,}253\ T_1\ .$$

Nende olenevuste järgi võib määrata soovitud liiki kallangute-ühiku väärtus, kui on teada teist liiki kallangute-ühiku väärtus.

Kallangute-ühikute ligikaudsed olenevused on

$$T = \frac{5}{6}\ T_1 = \frac{2}{3}\ T_2\ .$$

Laskeasjanduse praktikas hajumuse ja pihtavuse iseloomustamiseks kasutatakse tavaliselt tõenäose kallangu ühikut. Tõenäose kallangu väärtus võib olla määratud kas vahetult üksikkallangute mõõtmistulemuste järgi või varemmääratud keskmise või keskmise ruutkallangu järgi. Kui üksikkallangute arv on piiratud, siis tõenäose kallangu määramine keskmise ruutkallangu järgi annab täpsemaid tulemusi, sest et sel juhul sagedamini tekkivate väärtustega kallangud avaldavad suuremat mõju keskmise kallangu määramise tulemustele võrreldes harvemini tekkivate kallangutega.

d) Hajumuse määramine tõenäostes kallangutes.

Hajumuse iseloomustamisel ja määramisel tuleb kallangute väärtusi tähistada ning määrata mitte tavalistes joonmõõtühikutes, vaid keskmistes kallangutes. Laskeasjanduse praktikas kasutatakse selleks tavaliselt tõenäost kallangut.

Kui tähistada mingisuguse kallangu tõenäosust $n \cdot T$ piirides $P\ (n)$, siis eeltoodu ja $\Theta\ (t)$ tabeli põhjal

$$P\ (n) = \Theta\ (\mathrm{h} \cdot n \cdot T) = \Theta\ (n \cdot 0{,}477).$$

$\Theta\ (t)$ tabeli põhjal on koostatud funktsiooni $P\ (n)$ tabel (vt. lisa II). Lühendatud kujul on see tabel järgmine:

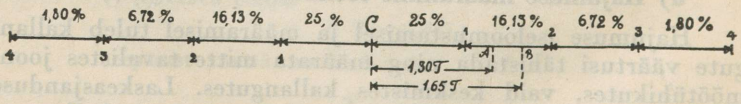
n	$P(n)$	n	$P(n)$	n	$P(n)$	n	$P(n)$
0,00	0,0000	1,00	0,5000	2,00	0,8227	3,00	0,9570
0,05	0,0269	1,05	0,5212	2,05	0,8332	3,05	0,9603
0,10	0,0538	1,10	0,5419	2,10	0,8434	3,10	0,9635
0,15	0,0806	1,15	0,5621	2,15	0,8530	3,15	0,9664
0,20	0,1073	1,20	0,5817	2,20	0,8622	3,20	0,9691
0,25	0,1339	1,25	0,6008	2,25	0,8709	3,25	0,9716
0,30	0,1604	1,30	0,6194	2,30	0,8792	3,30	0,9740
0,35	0,1866	1,35	0,6375	2,35	0,8871	3.35	0,9762
0,40	0,2127	1,40	0,6550	2,40	0,8945	3,40	0,9782
0,45	0,2385	1,45	0,6719	2,45	0,9016	3,50	0,9818
0,50	0,2641	1,50	0,6883	2,50	0,9083	3,60	0,9848
0,55	0,2893	1,55	0,7042	2,55	0,9146	3,70	0,9874
0,60	0,3143	1,60	0,7195	2,60	0,9205	3,80	0,9896
0,65	0,3389	1,65	0,7343	2,65	0,9261	3,90	0,9915
0,70	0,3632	1,70	0,7485	2,70	0,9314	4,00	0,9930
0,75	0,3871	1,75	0,7621	2,75	0,9364	4,20	0,9954
0,80	0,4105	1,80	0,7753	2,80	0,9411	4,40	0,9970
0,85	0,4336	1,85	0,7879	2,85	0,9454	4,60	0,9981
0,90	0,4562	1,90	0,8000	2,90	0,9495	4,80	0,9988
0,95	0,4783	1,95	0,8116	2,95	0,9534	5,00	0,9993

Näide. Tõenäosus tabada riba, mille piiride kaugus hajumuskeskmest on 1,30 T ja 1,65 T (joon. 20) on:

$$P\ (n) = 0{,}5[P\ (n_2) - P\ (n_1)];$$

$$P = 0{,}5\ [0{,}7343 - 0{,}6194] = 0{,}0575.$$

Kasutades $P\ (n)$ tabelit võib määrata kallangute tõenäosusi ükspuha mitme tõenäose kallangu kaugusel hajumus-



Joon. 20.

keskmest. Näiteks kallangute tõenäosusi ühe, kahe, kolme ja nelja tõenäose kallangu kaugusel hajumuskeskmest vastassuundades on (joon. 20):

$$0{,}5 \cdot 0{,}50 \cdot 100 = 25\%;$$

$$0{,}5 \cdot (0{,}8227 - 0{,}50) \cdot 100 = 16{,}13\%;$$

$$0{,}5 \cdot (0{,}9570 - 0{,}8227) \cdot 100 = 6{,}72\%;$$

$$0{,}5 \cdot (0{,}9930 - 0{,}9570) \cdot 100 = 1{,}80\%.$$

Kallangute tõenäosus, üle nelja tõenäose kallangu kauguse hajumuskeskmest, ei ületa kummaski vastassuunas 0,35%, sest et $0{,}5\,(1{\cdot}0 - 0{,}9930)\,100 = 0{,}35\%$.

Laskeasjanduse praktikas suurema osa hajumuse, pihtavuse ja laskmise küsimuste lahendamise juures võib oletada, et:

— ühesugustes tingimustes kõik lastud mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktid hajuvad ribas, mille laius võrdub 8 tõenäose kallanguga ja mille keskkoht ühtub hajumuskeskmega;

— kallangute tõenäosusi ühe, kahe, kolme ja nelja tõenäose kallangu kaugusel hajumuskeskmest kummaski vastassuunas on vastavalt 25%, 16%, 7% ja 2%;

— igas tõenäose kallangu laiuses ribas on mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktide tihedus ühtlane.

Joonisel 20 toodud kallangute jaotust nimetatakse hajumuse skaalaks.

e) Hajumus tasapinnal.

Ühe ja sama suunaga kallangute-süsteemid. Mürskude või kuulide hajumuse ehk kallangute põhjusi on palju. Iga põhjuse mõju tulemuseks on üksikkallang mingisuguses suunas. Selle üksikkallangu suund ja suurus oleneb ainult ühe mingisuguse hajumuse põhjuse mõjust. Kui aga vaadelda kahe või mitme üksiku ning rippumatu põhjuse üheaegset mõju hajumusele ühes ja samas suunas, siis on nende põhjuste mõju tulemuseks ühe ja sama suunaga kallangute-süsteem.

Ühe ja sama suunaga kallangute-süsteemide kohta on maksvad needsamad seadused ja reeglid, mis on maksvad vektorvigade või vektorvigade süsteemide kohta.

Kallangute-süsteeme liidetakse üldavaldise:

$$T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + \ldots + T_n^2};$$

järgi kus:

T — kõigi rippumatute põhjuste üheaegse mõju tulemuse keskmine (tõenäone) kallang,

T_1, T_2, T_3 ... T_n — üksikute rippumatute põhjuste mõju tulemuste keskmised (tõenäosed) kallangud.

Kui ühesugustes lasketingimustes n lasuga saadud mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktide kaugustele X_1, X_2, X_3, ... X_n vastavad tõenäosed kallangud on T_1, T_2, T_3, ... T_n, siis saadud kauguste summa tõenäone kallang on

$$\sqrt{\sum^{n} T^2} = \sqrt{n \cdot T^2} = T\sqrt{n}\ .$$

Keskmise kauguse

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_n}{n}$$

tõenäone kallang on

$$T = \frac{T}{\sqrt{n}}\ ,$$

sest et

$$\frac{1}{n}\ T\sqrt{n} = T\,\frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{T}{\sqrt{n}}\ .$$

Isesuguste suundadega kallangute-süsteemid tasapinnal. Kui vaadelda kahe või mitme üksiku ning rippumatu põhjuse üheaegset mõju hajumusele isesugustes suundades, siis on nende põhjuste mõju tulemuseks isesuguste suundadega kallangute-süsteem. Isesuguste suundadega kallangute-süsteemide kohta on maksvad needsamad seadused ja reeglid, mis on maksvad vigade kohta tasapinnal või ruumis. Kui kallangute-süsteemi üksikkallangud omavad isesuguseid suundi, siis neid liidetakse geomeetriliselt; seega üheaegselt tekkivate isesuguste suundadega kallangute-süsteemi tulemuseks on resultantkallang.

Kui kallangute-süsteemi üksikkallangud on ühel ja samal tasapinnal, siis on ka samal tasapinnal nende kallangute resultant. Sel juhul nimetame kallangute-süsteemi ja selle üksikkal-

languid tasapinnalisteks kallanguteks. Näiteks, tasapinnalisteks kallanguteks horisontaaltasapinnal on mürskude kohtamis- või lõhkemispunktide kallangud laskesuunas ehk pikkuskallangud ja kallangud külgsuunas ehk laiuskallangud. Samuti tasapinnalisteks kallanguteks vertikaaltasapinnal, mis on risti laskesuunaga, on laiuskallangud ja kõrguskallangud või jällegi — tasapinnalisteks kallanguteks vertikaaltasapinnal, mis ühtub laskesuunaga, on pikkuskallangud ja kõrguskallangud.

Tasapinnalisi kallanguid nimetatakse ka elliptilisteks kallanguteks, sest et mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispinda piirav kõver on ellips.

Erijuhul, kui tasapinnalised kallangud kõigis suundades on võrdsed, siis nimetatakse neid ringilisteks ehk radiaalseteks kallanguteks, sest et hajumispinda piirav kõver sel juhul muutub ringiks.

Gauss'i vigade-seaduse ja hajumusseaduste põhjal võib öelda, et üheaegselt ja isesugustes suundades (näiteks laskesuunas ja sellele risti- ehk külgsuunas) väärtustega x kuni $x + dx$ ja y kuni $y + dy$ piirides tekkivate tasapinnaliste kallangute resultantkallangu tõenäosus on

$$dP = \frac{h_1 h_2}{\pi} e^{-h_1^2 x - h_2^2 y} dx \cdot dy .$$

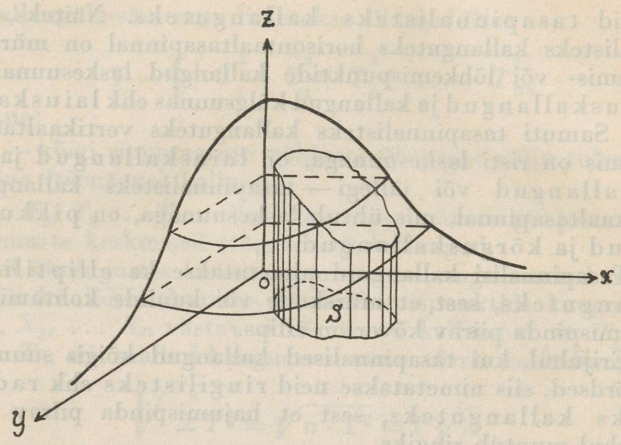
Teiste sõnadega võib öelda, et toodud üldavaldis määrab tõenäosuse selleks, et lastud mürsk või kuul kohtab (pihtab) elementaarset ristkülikut $dx \cdot dy$ (joon. 14).

Kui mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktide hajumustasapinna (näiteks horisontaaltasapinna) igast punktist (x/y) püstitada perpendikulaarid, millede pikkused (kõrgused) on võrdlelised punktide (x/y) vastavate pihtavuste tõenäosustega dP, siis lõpmata suure arvu laskude juures püstitatud prependikulaaride otspunktid moodustavad kõverpinna (joon. 21.), mida nimetatakse tõenäosuse pinnaks ja mille üldvõrrand on:

$$Z = \frac{h_1 h_2}{\pi} e^{-h_1^2 x^2 - h_2^2 y^2} .$$

Hajumuspinna keskmele vastava perpendikulaari OZ otspunkt on tõenäosuse pinna tipuks. $O\,Z$ ja tõenäosuse pinda läbistavate vertikaaltasapindade lõikejooned on $O\,Z$ suhtes sümmeetrilised kõverad (need on Gauss'i vigade-seaduse kõverad).

Mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktide kallangute tõenäosus tasapinna $X\,O\,Y$ piirkonnas S on võrdne püstsilindri mahuga, mis näidatud joonisel.



Joon. 21.

Tõenäosuse pinna lõikejooned horisontaaltasapindadega on ellipsid, millede projektsioonid hajumustasapinnal on samatõenäosusega kallangute ellipsid. Ehk teiste sõnadega — iga seesuguse ellipsi kõigi punktide pihtavuse tõenäosused on võrdsed omavahel.

Hajumuspinna keskmele vastava perpendikulaari OZ ehk tõenäosuse pinna kõrguse saame, kui hajumuspinna võrrandis määrame $x = y = 0$, siis

$$Z_0 = \frac{h_1 h_2}{\pi}.$$

Kui tähistada samatõenäosusega kallangute ellipsi (mis on tõenäosuse pinna lõikejoon mingisugusel kõrgusel oleva horisontaaltasapinnaga) kõrguse Z_k, siis võib tõenäosuse pinna võrrandit kirjutada järgmiselt:

$$Z_k = Z_0\, e^{-\left(h_1^2 x^2 + h_2^2 y^2\right)} \quad \text{ehk} \quad \frac{Z_0}{Z_k} = e^{h_1^2 x^2 + h_2^2 y^2}.$$

Kui logaritmida saadud võrrandi mõlemaid osi, võttes logaritmide aluseks e, siis

$$h_1^2 x^2 + h_2^2 y^2 = ln \frac{Z_0}{Z_k} = K \quad \text{ehk} \quad \frac{x^2}{\frac{K}{h_1^2}} + \frac{y^2}{\frac{K}{h_2^2}} = 1.$$

Kuna $h = 0{,}477 : T$, siis

$$\frac{x^2}{\frac{KT_1^2}{0{,}227}} + \frac{y^2}{\frac{KT_2^2}{0{,}227}} = 1 .$$

Saadud võrrand näitab, et mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunktide samatõenäoste kallangute piiriks tasapinnal on ellips.

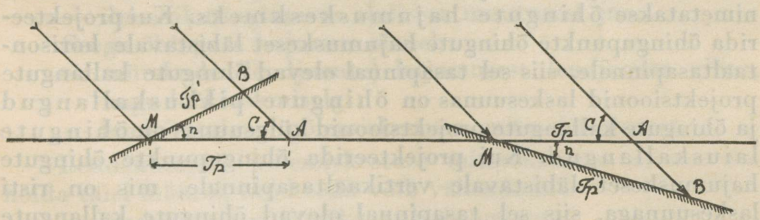
Kui $K = (0{,}477)^2 = 0{,}227$, siis ellipsi poolteljed on võrdsed hajumuse tõenäoste kallangutega ristisuundades. Seda ellipsit nimetatakse 50% kallangute- ehk tõenäoste kallangute ellipsiks. Ta sisaldab endas 50% kogu hajumispinna mürskude või kuulide kohtamis- või lõhkemispunkte.

Kui $K = (0{,}707)^2$, siis ellipsi poolteljed on võrdsed hajumuse keskmiste ruutkallangutega ristisuundades. Seda ellipsit nimetatakse keskmiseks ruutkallangute ellipsiks ($h = 0{,}707 : T_2$).

Tasapinnaliste kallangute olenevusi kohtamispinna kallakust.

Lasketabelites toodud tõenäoste kallangute väärtused on määratud katsete ja arvutuste põhjal normaal- (tabeliste) tingimuste jaoks. Kuna aga ilmastiku, maastiku ja teised lasketingimused on tavaliselt erinevad tabeli lasketingimustest, siis hajumusküsimuste lahendamisel tuleb arvesse võtta tegelikkude lasketingimuste mõju hajumusele. Praktika näitab, et tegelikkude lasketingimuste tõenäoste kallangute väärtused võivad erineda tabeli väärtustest umbes 1,5 korda ja rohkem.

Lasketabelites antud tõenäoste pikkuskallangute väärtused on maksvad horisontaalmaastikul. *Tp* on väiksem (suurem), kui mürsud langevad tõusvale (langevale) maapinnale (joon. 22 *A* ja *B*). Kui *n* on maapinna kallak, *C* — langenurk, *Tp* — tabeliline tõenäone pikkuskallang, *Tp'* — tegelik tõenäone pikkuskallang, siis:



A — tõusev maapind. B — langev maapind.

Joon. 22.

— tõusval maapinnal

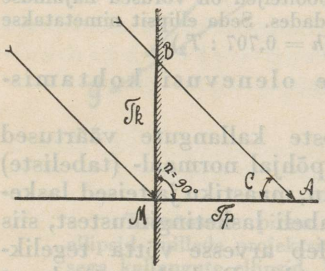
$$\frac{Tp'}{Tp} = \frac{\sin C}{\sin 180° - (C + n)} = \frac{\sin C}{\sin (C + n)} = \lambda, \text{ siit}$$

$$Tp' = Tp \cdot \lambda;$$

— langeval maapinnal

$$\frac{Tp'}{Tp} = \frac{\sin (180° - C)}{\sin (C - n)} = \frac{\sin C}{\sin (C - n)} = \lambda, \text{ siit}$$

$$Tp' = Tp \cdot \lambda.$$



Joon. 23.

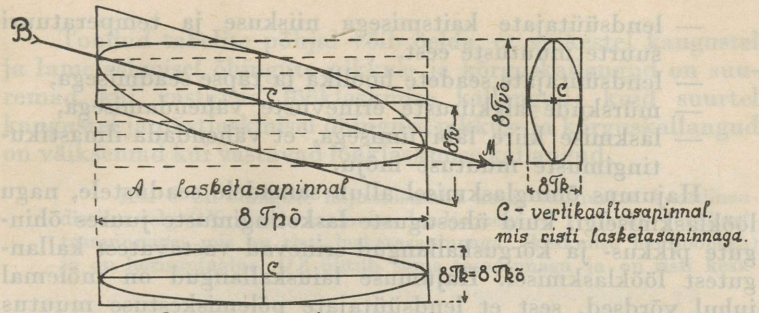
Suurus λ on maapinna kallaku tegur, millega tuleb korrutada Tp (meetrites), et saada Tp'. Teguri λ väärtused on antud lasketabelites.

Kui on teada Tp väärtus ja langenurga C väärtus, siis oletades lendjoonte lõpposi paralleelsetena, võib määrata Tk (tõenäone kõrguskallang) väärtus järgmiselt (joon. 23):

$$Tk = Tp \cdot \tan C.$$

g) Hajumus ruumis.

Kui kallangute-süsteemi üksikkallangud ei asu ühel tasapinnal, siis nimetatakse seda kallangute-süsteemi ja selle süsteemi üksikkallanguid ruumilisteks kallanguteks. Näiteks, ruumilisteks kallanguteks on mürskude õhingute kallangud. Seda ruumi, millesse mahuvad mürskude õhingud, nimetatakse õhingute hajumusmahuks. Selle mahu keskkohta nimetatakse õhingute hajumuskeskmeks. Kui projekteerida õhingupunkte õhingute hajumuskeset läbistavale horisontaaltasapinnale, siis sel tasapinnal olevad õhingute kallangute projektsioonid laskesuunas on õhingute pikkuskallangud ja õhingute kallangute projektsioonid külgsuunas on õhingute laiuskallangud. Kui projekteerida õhingupunkte õhingute hajumuskeset läbistavale vertikaaltasapinnale, mis on risti laskesuunaga, siis sel tasapinnal olevad õhingute kallangute projektsioonid vertikaalsuunas on õhingute kõrguskallangud (joon. 24).



Õhingute hajumusmahu projektsioonid.

Joon. 24.

Ruumilisi kallanguid nimetatakse ka ellipsoidilisteks kallanguteks, sest et õhingute hajumusmahtu piirav kõverpind on ellipsoid.

Vaadeldes hajumust õhinglaskmisel selgub, et õhingute hajumuse põhjused suuremas osas on needsamad, mis lööklaskmiselgi, s. o. mürskude lendjoonte hajumuse põhjused. Kuid peale eelnimetatud põhjuste õhingute hajumus ühel ja samal lendjoonel oleneb veel lendsüütajate põlemiskestuse juhuslikust muutusest.

Lendsüütajate põlemiskestuse juhuslik muutus oleneb:

— lendsüütajate ehituse väikestest erinevustest, nende põlemissegu kvalitatiivsest ja kvantitatiivsest erinevustest; põlemissegu temperatuuri erinevustest;
— lendsüütajate seadete erinevustest;
— mürskude algkiiruste erinevustest;
— ilmastikutingimuste alalisest muutusest jne.

Seega õhingute hajumus oleneb:

— mürskude (lendjoonte) hajumusest lendjoonte vihus, nagu lööklaskmiselgi;
— lendsüütajate põlemiskestuse mitmekesidusest.

Lendsüütajate põlemiskestuse mitmekesisust ei saa ära hoida täiel määral, kuid seda võib vähendada:

— lendsüütajate hoolika valmistamisega,
— ühtlase kiirusega põleva ja ühtlastes kvantumites põlemissegu kasutamisega,

— lendsüütajate kaitsmisega niiskuse ja temperatuuri suurte muutuste eest,
— lendsüütajate seadete hoolika ja täpse seadmisega,
— mürskude algkiiruste erinevuste vähendamisega,
— laskmise kiire läbiviimisega, et vähendada ilmastikutingimuste muutuse mõju.

Hajumus õhinglaskmisel allub samadele seadustele, nagu lööklaskmiselgi, kuid ühesuguste lasketingimuste juures õhingute pikkus- ja kõrguskallangud erinevad vastavatest kallangutest lööklaskmisel. Hajumuse laiuskallangud on mõlemal juhul võrdsed, sest et lendsüütajate põlemiskestuse muutus mõjub ainult lendjoonte suunas, s. o. pikkuses ja kõrguses.

Tõenäoste kallangute väärtuste erinevusi löök- ja õhinglaskmisel iseloomustab alljärgnev tabel, kus on toodud 76 v. täislaenguga šrapnellide lõhkemiste tõenäoseid kallanguid löök- ja õhinglaskmisel:

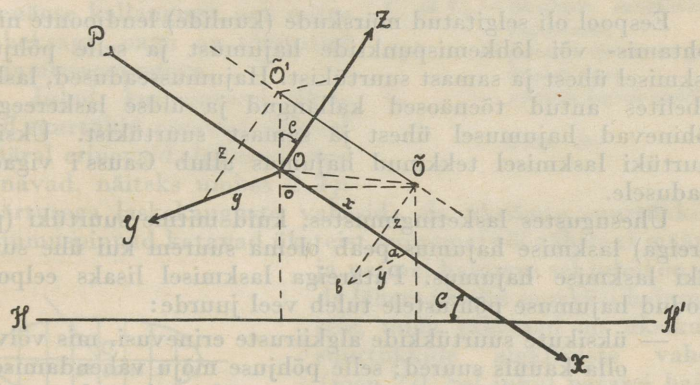
Laskekaugus *m*	Tõenäosed kallangud lööklaskmisel			Tõenäosed kallangud õhinglaskmisel		
	Tp	*Tk*	*Tl*	*Tpõ*	*Tkõ*	*Tlõ*
500	11,0	0,1	0,1	22,7	0,2	0,1
1000	11,5	0,3	0,2	23,2	0,5	0,2
2000	12,9	0,7	0,5	24,2	1,6	0,5
3000	14,5	1,7	0,9	26,0	3,4	0,9
4000	16,4	3,1	1,3	28,0	6,1	1,3
5000	18,4	5,2	1,8	30,0	9,8	1,8
5500	19,5	6,5	2,1	31,0	12,2	2,1
6000	20,5	8,1	2,4	—	—	—

Alljärgnevas tabelis on toodud 152 sn. 100 nl. šrapnellide (laenguga nr. 2) lõhkemiste tõenäoseid kallanguid löök- ja õhinglaskmisel:

Laskekaugus *m*	Tõenäosed kallangud lööklaskmisel			Tõenäosed kallangud õhinglaskmisel		
	Tp	*Tk*	*Tl*	*Tpõ*	*Tkõ*	*Tlõ*
500	5,8	0,3	0,3	16,4	0,6	0,3
1000	8,8	0,8	0,5	16,4	1,4	0,5
2000	14,7	2,7	1,0	17,5	3,4	1,0
3000	20,7	6,4	1,6	19,6	6,0	1,6
4000	26,7	12,8	2,7	21,9	10,2	2,7
5000	32,7	26,1	4,3	25,7	17,9	4,3

Toodud tabelite põhjal võib öelda, et väikestel kaugustel ja lamelaskmisel õhingute pikkus- ja kõrguskallangud on suuremad kui vastavad lööklaskmise kallangud; kuid suurtel kaugustel ja püstlaskmisel õhingute pikkus- ja kõrguskallangud on väiksemad kui vastavad lööklaskmise kallangud.

Kui O on õhingute hajumusmahu kese, täisnurkse koordinaadistiku telg OX ühtub keskmise lendjoonega, $O\,Y$ ühtub vertikaaltasapinnaga, mis on risti lasketasapinnaga (keskmise lendjoonega) ja on horisontaalne, $O\,Z$ ühtub sama tasapinnaga ja on risti kesk-



Joon. 25.

lendjoonega (joon. 25), siis õhingu $\tilde{O}$ kallangut iseloomustavad kolm tõenäost kallangut Tx, Ty, Tz, milledele vastavad täpsuse moodulid h_1, h_2, h_3,

Gauss'i vigade-seaduse ja hajumusseaduste põhjal võib öelda, et üheaegselt ja isesugustes suundades (näiteks laskesuunas, laskesuunale risti- ja horisontaalsuunas ja laskesuunale ristsuunas) väärtustega x kuni $x + dx$, y kuni $y + dy$, z kuni $z + dz$ piirides tekkivate ruumiliste kallangute resultantkallangu tõenäosus

$$d\,P \approx \frac{h_1\,h_2\,h_3}{3/2\pi}\,e^{-h_1^2 x^2 - h_2^2 y^2 - h_3^2 z^2}.$$

Teiste sõnadega — toodud üldavaldis määrab tõenäosuse selleks, et lastud mürsk lõhkeb elementaarses risttahukas $dx \,.\, dy \,.\, dz$, mille keskmeks on punkt $\tilde{O}$.

Õhingu $\tilde{O}$ mingisuguse suunaga resultantkallangu $O\,\tilde{O}$ projektsioon võrdub X, Y, Z suundades olevate komponentkallangute projektsioonide summaga, s. o.

$O\tilde{O}$ proj. = Oa proj. + ab proj. + $b\tilde{O}$ proj.

Kui $Ty = Tl$ ja $Tz = Tp \cdot \sin C$, siis:

$$T\,p\,\tilde{o} = \sqrt{Tx^2 \cdot \cos^2 C + Tz^2 \cdot \sin^2 C} = \sqrt{Tx^2 \cdot \cos^2 C + Tp^2 \cdot \sin^4 C};$$

$$T\,k\,\tilde{o} = \sqrt{Tx^2 \cdot \sin^2 C + Tz^2 \cdot \cos^2 C} =$$

$$= \sqrt{Tx^2 \cdot \cos^2 C + Tp^2 \cdot \sin^2 C \cdot \cos^2 C}.$$

h) Hajumus laskmisel mitmest suurtükist.

Eespool oli selgitatud mürskude (kuulide) lendjoonte ning kohtamis- või lõhkemispunktide hajumust ja selle põhjusi laskmisel ühest ja samast suurtükist. Hajumusseadused, laskетabelites antud tõenäosed kallangud ja üldse laskereeglid põhinevad hajumusel ühest ja samast suurtükist. Üksiku suurtüki laskmisel tekkinud hajumus allub Gauss'i vigadeseadusele.

Ühesugustes lasketingimustes, kuid mitme suurtüki (patareiga) laskmise hajumus peab olema suurem kui ühe suurtüki laskmise hajumus. Patareiga laskmisel lisaks eelpooltoodud hajumuse põhjustele tuleb veel juurde:

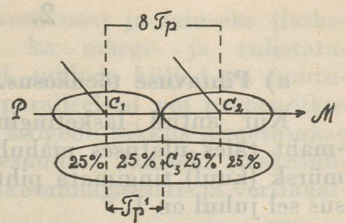
— üksikute suurtükkide algkiiruste erinevusi, mis võivad olla kaunis suured; selle põhjuse mõju vähendamiseks või kõrvaldamiseks peab patareidesse koondama ühesuguste algkiirustega suurtükke või laskmisel arvesse võtma suurtükkide algkiiruste vahesid, et isesuguste algkiirustega suurtükkidest lastud mürskude laskekaugused oleksid ühesugused;

— üksikute suurtükkide sihtimisabinõude erinevusi; selle põhjuse mõju vähendamiseks või kõrvaldamiseks peab täpselt kontrollima sihtimisabinõusid;

— üksikute suurtükkide sihtijate töö erinevusi; selle mõju vähendamiseks või kõrvaldamiseks tuleb suurtükimeeskond hästi ja ühtlaselt välja õpetada.

Juhul, kui patarei üksikud suurtükid omavad suurel määral erinevaid algkiirusi, mis annavad kuni 8 Tp ja suuremaid laskekauguste vahesid, siis üksikute suurtükkide hajumuspinnad ei kata üksteist ja patarei hajumusel ei ole midagi ühist üksiku suurtüki hajumusega ning hajumusseadustega (joon. 26.). Sel juhul mürskude kohtamispunktide tihedus hajumus-

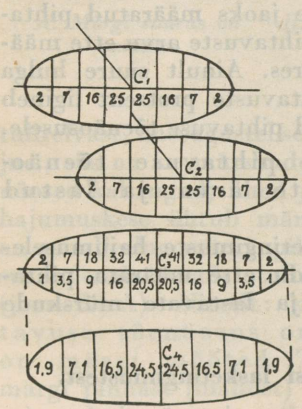
pinnal on peaaegu ühtlane ja hajumuskeskme juures see tihedus võib olla isegi vähem kui mujal; *Tp* väärtused olenevalt patarei suurtükkide arvust ja algkiiruste erinevustest on mitu korda suuremad kui ühe suurtüki hajumuse *Tp*; patarei hajumuspinna pikkus võrdub umbes nelja patarei hajumuse tõenäose kallanguga, aga mitte kaheksaga, nagu on tõestatud hajumusseadustega.



Väikeste algkiiruste erinevustega patarei (2 suurt.) hajumus.
C_1 *ja* C_2 — *üksikute suurtükkide hajumusel;*
Tp^1 — *patarei tõenäone pikkuskallang;*
C_3 — *patarei hajumusellips.*

Joon. 26.

Juhul, kui patarei üksikud suurtükid omavad vähesel määral erinevaid algkiirusi, mis annavad, näiteks umbes 2 *Tp* väärtusega laskekauguste vahesid, siis üksikute suurtükkide hajumuspinnad katavad üksteist suuremal või vähemal määral ja patarei hajumus sel juhul on seda lähem üksiku suurküti hajumusele, mida vähemad on üksikute suurtükkide algkiiruste vahed (joon. 27). Sel juhul patarei hajumusseadused on praktiliselt peaegu samad, mis on üksiku suurtüki jaoks. Seejuures *Tp* väärtuste suurenemine on võrdlemisi väike ja üksiku suurtüki hajumusseaduste ja üldse laskereeglite rakendamine patarei laskmise jaoks on praktiliselt võimalik.



Väikeste algkiiruste erinevustega patarei (2 suurt.) hajumus.
C_1 *ja* C_2 — *üksikute suurtükkide hajumusellipsid;*
C_3 *ja* C_4 — *patarei hajumusellipsid.*

Joon. 27.

Järeldus. Suurte algkiiruste erinevustega patarei laskmisel ei saa kasutada hajumusseadusi ja üldse laskereegleid. Patareidesse peab koondama võimalustmööda ühesuguste algkiirustega suurtükke ja laskmistel arvesse võtma patarei üksikute suurtükkide algkiiruste vahesid.

2. Pihtavus.

a) Pihtavuse tõenäosus.

Kui antud lasketingimuste juures hajumuspind või -maht täies ulatuses mahub märgi piiridesse, siis iga lastud mürsk (kuul) tingimata pihtab märki ning pihtavuse tõenäosus sel juhul on 1.

Kui aga hajumuspind või -maht katab märki ainult osaliselt, siis pihtab märki ainult mingisugune osa lastud mürskudest ning pihtavuse tõenäosus sel juhul on väiksem ühest.

Kui hajumuspind või -maht üldse ei kata märki, siis ei pihta märki ükski lastud mürskudest ning pihtavuse tõenäosus sel juhul on 0.

Seega pihtavuse tõenäosuse, nagu igasuguse teise juhusliku nähtuse juhusliku tulemuse tõenäosuse väärtuse piirideks on 0 ja 1. Pihtavuse tõenäosust väljendatakse tavaliselt protsentides. Näiteks, kui öeldakse, et pihtavuse tõenäosus võrdub 25%, siis tuleb selle all mõista, et antud lasketingimuste juures võib loota, et umbes $\frac{1}{4}$ lastud mürskudest (kuulidest) pihtab märki. Antud lasketingimuste jaoks määratud pihtavuse tõenäosust ei saa võtta aluseks pihtavuste arvu ette määramiseks piiratud laskude arvu juures. Ainult suure hulga laskude arvu juures tegelikkude pihtavuste protsent ligineb antud lasketingimuste jaoks määratud pihtavuse tõenäosusele.

Määratud lasketingimuste pihtavuse tõenäosuseks nimetatakse pihtavuste arvu ja lastud mürskude arvu suhet.

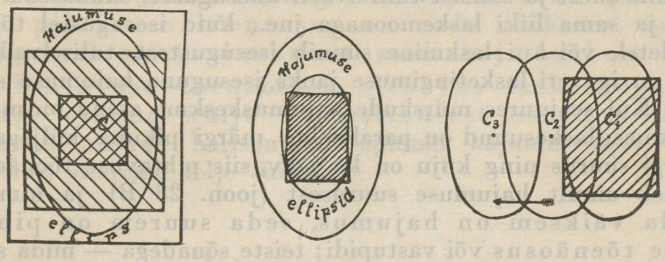
Hajumusseaduste ja antud lasketingimuste hajumuselementide tundmine võimaldab ligikaudu ette määrata pihtavuste arvu antud lasketingimuste ja lastavate mürskude (kuulide) arvu juures.

b) Pihtavuse tõenäosuse olenevusi lasketingimustest.

Pihtavuse tõenäosuse olenevusi märgi suurusest ja kujust. Tulistatavate märkide mõõted ja kujud nii tasapinnal kui ka ruumis võivad olla mitmesugused. Tavalisteks märgi- ja tulistatavateks pindaladeks on ristkülikud, millede küljed on puutujaiks märgi kontuurile ja kaks neist paralleelsed ning kaks perpendikulaarsed hajumusellipsi telgedega (laskesuunaga). Ristküliku külgede pikkusi nimetatakse

vastavalt märgi sügavuseks (laskesuunas) ja laiuseks (laskesuunaga risti suunas). Samuti ka märgi- ja tulistatavateks mahtudeks on risttahukad, millede küljed on puutujaiks märgi kontuurpindadele ja paralleelsed või perpendikulaarsed laskesuunaga. Risttahuka külgede pikkus nimetatakse vastavalt märgi sügavuseks (laskesuunas), laiuseks (laskesuunaga risti suunas) ja kõrguseks (laskesuunaga risti- ja vertikaalsuunas).

Kui antud lasketingimused, välja arvatud märgi suurus, on kõik jäävad, siis näiteks, kui laskmine sünnib ühest ja samast



A. Märgi suurus on muutuv. *B. Hajumus on muutuv.* *C. Hajumuskeskme asend märgi suhtes on muutuv.*

Joon. 28.

tulirelvast, ühesugustel seadetel, üht ja sama liiki laskemoonaga jne., siis on ka mürskude (kuulide) hajumuse elemendid (tõenäosed kallangud) ühed ja samad. Ja kui seejuures mürskude hajumuskese ühtub märgi keskmega, samuti ka laskesuund on paralleelne märgi pikima küljega, siis pihtavuse tõenäosus oleneb ainult tulistatava märgi suurusest ja kujust (joon. 28 A). Nimelt: korrapärase kujuga märgi pihtavuse tõenäosus on seda suurem, mida suuremad on märgi mõõted. Teiste sõnadega — mida suurem osa märgi pinnast (mahust) katab (täidab) hajumuspinda (-mahtu), seda suurem on pihtavuse tõenäosus. On ka kõigile ilmselt selge, et suuremat märki on kergem tabada kui väiksemat. Eeltoodud pihtavuse tõenäosuse olenevus on maksev ka neil juhtudel, kui hajumus- ja märgi keskmed ei ühtu teineteisega või kui märgi küljed ei ole paralleelsed või perpendikulaarsed laskesuunaga, kuid osa hajumuspinnast (-mahust) katab (täidab) märki.

Pihtavuse tõenäosuse olenevus hajumusest. Hajumusseaduste põhjal hajumuse suurus (tõenäoste kallangute väärtused) oleneb lasketingimustest ja on iga lasketingimuse jaoks kindlaks määratud; mürskude (kuulide) lõhkemispunktide asetustihedus hajumuskeskme ümber on sümmeetriline ja selle asetustihedus väheneb ühes kaugusega hajumuskeskmest kindla seaduse järele. Seega hajumuspinna (-mahu) piirides on pihtavuse tõenäosus alati teada.

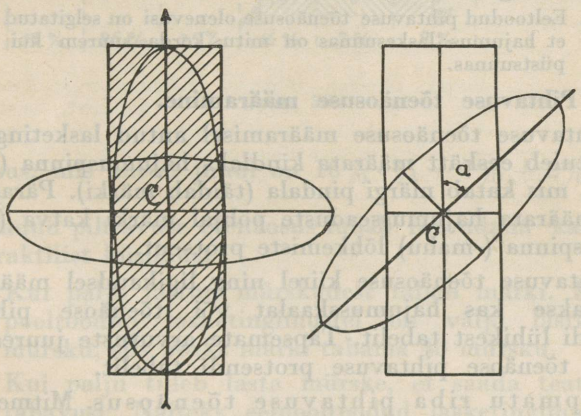
Kui antud lasketingimused, välja arvatud need, milledest oleneb hajumus, on kõik jäävad, siis näiteks, kui laskmine sünnib ühest ja samast tulirelvast, ühesugustel suunaseadetel, üht ja sama liiki laskemoonaga jne., kuid isesugustel tõsteseadetel, või kui laskmine sünnib isesugustest tulirelvadest, siis on iga eri lasketingimuse jaoks isesugune hajumuse suurus. Kui seejuures mürskude hajumuskeskme asend on märgi keskmes, laskesuund on paralleelne märgi pikima küljega ja märgi suurus ning kuju on ka jääv, siis pihtavuse tõenäosus oleneb ainult hajumuse suurusest (joon. 28 B) ja nimelt: mida väiksem on hajumus, seda suurem on pihtavuse tõenäosus või vastupidi; teiste sõnadega — mida suurem osa hajumuspinnast (-mahust) katab (täidab) märgi pinda (mahtu), seda suurem on pihtavuse tõenäsosus. On ka ilmselt kõigile selge, et väiksema hajumuse juures on rohkem tabavusi, kui kõik muud lasketingimused on ühesugused.

Eeltoodud pihtavuse tõenäosuse olenevus ei ole igal juhul maksev, kui hajumuskese ei ühtu märgi keskmega. Mõnel juhul, kui hajumuskese ei ühtu märgi keskmega, hajumuse vähenemisel väheneb ka pihtavuse tõenäosus, näiteks juhul, kui märgi- ja hajumuskeskme vahe on sedavõrd suur, et väikese hajumuse juures ainult väikene osa hajumuspinnast (-mahust) katab (täidab) märki, kuid suurema hajumuse juures, olgugi et lõhkemistetihedus on väiksem, kuid lõhkemised hajuvad suuremal pinnal (suuremas mahus) ning seega katavad (täidavad) märgi suurema pinna (mahu).

Pihtavuse tõenäosuse olenevus hajumuskeskme asendist märgi suhtes. Kui lasketingimused, märgi suurus ja kuju ja hajumuse elemendid on jäävad, kuid muutub ainult hajumuskeskme asend märgi suhtes, siis on pihtavuse tõenäosus suurim sel juhul, kui hajumuskese ühtub märgi keskmega ja laskesuund on paralleelne märgi pikima küljega. Kui aga hajumuskese hakkab kaugenema märgi keskmest, ühes

sellega hajumuspind (-maht) hakkab kõrvale nihkuma märgi pinnast (mahust), siis hajumuskeskme ümber olev suurema tihedusega osa kaugeneb märgi keskmest ja lõpuks libiseb välja märgi pinnast (mahust), kuna märki või selle keset katavad (täidavad) ikka väiksema ja väiksema tihedusega hajumuspinna (-mahu) osad ja lõpuks kogu hajumuspind (-maht) libiseb välja märgi pinnast (mahust). Järelikult hajumuskeskme kaugenemisel märgi keskmest (ükspuha mis suunas) pihtavuse tõenäosus väheneb järk-järgult kuni nullini (joon. 28 C). Seega, kui märgi suurus, kuju ja asend laskesuuna suhtes ning ka hajumus on jäävad, siis pihtavuse tõenäosus on seda väiksem, mida kaugemal märgi keskmest asub hajumuskese.

Pihtavuse tõenäosuse olenevus laskesuuna ja märgi pikima külje vastastikusest asendist. Laskesuund määrab horisontaaltasapinnal hajumusellipsi (-ellipsoidi) suurema telje suuna.



Laskesuuna asend märgi pikema külje suhtes on muutuv.

Joon. 29.

Kui lasketingimused, märgi suurus ja kuju, hajumuse elemendid on jäävad ja hajumuskese ühtub märgi keskmega, kuid muutub ainult laskesuuna asend märgi keset läbistava märgi

pikima külje pikkusjoone suhtes, siis on pihtavuse tõenäosus suurim sel juhul, kui laskesuund on paralleelne märgi pikima küljega ehk kui laskesuund ühtub märgi keset läbistava märgi pikima külje pikkusjoonega; pihtavuse tõenäosus on vähim sel juhul, kui laskesuund on risti märgi pikima küljega. Nimetatud suundade vahepealsete asendite juures pihtavuse tõenäosus väheneb ühes nende suundade vahel oleva nurga suurenemisega (joon. 29). Seega, kui märgi suurus ja kuju ning ka hajumus on jäävad ja hajumuskese ühtub märgi keskmega, siis pihtavuse tõenäosus on seda suurem, mida väiksem on nurk laskesuuna ja märgi pikima külje vahel.

See reegel on maksev ainult juhtudel, kui hajumuskese ühtub märgi keskmega või on viimasele väga lähedal. Kui aga hajumuskeskme ja märgi keskme vahe on suurem, siis ühes laskesuuna ja märgi pikima külje vahel oleva nurga suurenemisega suureneb ka pihtavuse tõenäosus. Näiteks, kui hajumuskese asub märgi pikimal küljel või viimasest väljaspool teatavas kauguses.

Märkus. Eeltoodud pihtavuse tõenäosuse olenevusi on selgitatud oletusil, et hajumus laskesuunas on mitu korda suurem kui külg- ja püstsuunas.

c) Pihtavuse tõenäosuse määramine.

Pihtavuse tõenäosuse määramisel antud lasketingimuste juures tuleb eeskätt määrata kindlaks hajumuspinna (-mahu) see osa, mis katab märgi pindala (täidab märki). Pärast seda tuleb määrata hajumusseaduste põhjal märki katva (täitva) hajumuspinna (-mahu) lõhkemiste protsent.

Pihtavuse tõenäosuse kiirel ning ligikaudsel määramisel kasutatakse kas hajumusskaalat või tõenäose pihtavuse protsendi lühikest tabelit. Täpsemate arvutuste juures kasutatakse tõenäose pihtavuse protsendi tabelit.

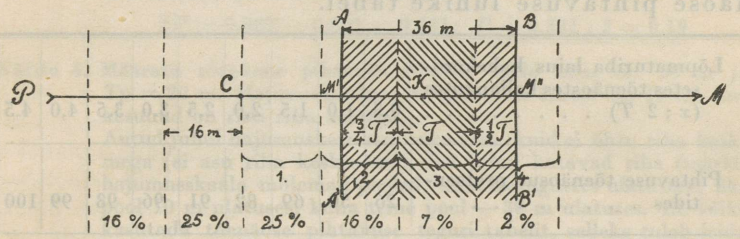
Lõpmatu riba pihtavuse tõenäosus. Mitmed märgid, nagu traattõkked, kaevikud, metsaservad jne., omavad kitsa riba kuju, kusjuures selle riba pikkus on alati suurem kui 8 *T* ükspuha missuguses hajumussuunas, kuid tema laius on tavaliselt väiksem kui 8 *T*.

Pihtavuse tõenäosuse määramiseks igal juhul peavad olema teada need lasketingimused, milledest oleneb pihtavuse tõenäosus, s. o.:

— märgi suurus ja kuju,
— tõenäoste kallangute väärtused,
— hajumuskeskme kaugus märgi keskmest ehk märgi piiridest,
— märgi asend laskesuuna suhtes.

Kui märgiks on traattõkete riba $A\,A'\,B\,B'$, mille Tp — 16 m, C — hajumuskese, mille kaugus riba äärest $A\,A$ on 20 m või riba keskmest—38 m ja riba pikkus on risti laskesuunaga, siis võib määrata pihtavuse tõenäosuse, kasutades hajumusskaalat.

Hajumusskaalal kujutada selle mõõdus • märk (joon. 30); märgiga kaetud skaala osas lugeda määratav pihtavuse



Joon. 30.

tõenäosus, mis antud juhul on $16\% \cdot \frac{3}{4} + 7\% + 2\% \cdot \frac{1}{2} = 20\%$.

Saadud pihtavuse tõenäosus lubab lahendada kaks järgmist praktilist küsimust:

1) Kui palju lastud mürskudest tabab märki. Kui eelpooltoodud lasketingimustel on välja lastud 200 mürsku, siis peaks märki tabama 40 mürsku.
2) Kui palju tuleb lasta mürske, et saada teatud arv tabavusi. Näiteks eelpooltoodud lasketingimustel 10 tabavuse saamiseks tuleb lasta märgile 50 mürsku.

Tõenäose pihtavuse protsendi tabeli kasutamine. Hajumuspinna (-mahu) suurus väljendatakse mitte harilikkudes mõõtühikutes, s. o. meetrites, sentimeetrites jne., vaid tõenäostes kallangutes; seepärast pihtavuse tõenäosuse määramisel väljendatakse märkide mõõte samuti

tõenäostes kallangutes. Näiteks, kui märgi mõõt laskesuunas on $x = 36$ m ja $Tp = 16$ m, siis see mõõt (ulatus) tõenäostes pikkuskallangutes on $x : Tp = 36 : 16 = 2{,}25\ Tp$.

Tõenäose pihtavuse protsendi tabelis (vt. lisa nr. II) on toodud kallangute väärtused tõenäostes kallangutes ehk nn. „pihtavuse tegurid" $n = x : 2\ T$ ja neile vastavad tõenäosused $P\ (n)$ juhul, kui hajumuskese ühtub lõpmaturiba keskmega ja selle riba äärte (pikkuse) suund on risti hajumuse suunaga. Järelikult riba laiuse mõlema poole pihtavuse tõenäosused peavad olema võrdsed. Seepärast tõenäose pihtavuse tabelis pihtavuse tegurid on antud kahekordsetes tõenäostes kallangutes vastavalt kahele poolribale.

Selgituseks olgu toodud alljärgnev lõpmaturiba tõenäose pihtavuse lühike tabel.

Lõpmaturiba laius kahekordsetes tõenäostes kallangutes ($x : 2\ T$)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Pihtavuse tõenäosus protsentides	26	50	69	82	91	96	98	99	100

Näide 1. Teha kindlaks tõenäone pihtavus laskmisel traattõkke ribasse, mille laius on 20 m. Lastakse 76 v. kahurist, täislaenguga, kaugusel 2500 m; hajumuskese ühtub märgi keskmega ja laskesuund on risti traattõkke riba äärtega (otsetuli).
Lasketabeli järgi $Tp = 17{,}9$ m.
Pihtavuse tegur $n = x : 2\ Tp = 20 : 36 = 0{,}555$ ...
Lühikese tabeli põhjal pärast vastavat interpoleerimist $P = 28{,}4\%$.
Täieliku tabeli järgi $P = 28{,}9\%$.

Näide 2. Määrata tõenäone pihtavus traattõkke ribasse, mille laius on 30 m. Lastakse 114 *i.* haubitsast, laenguga nr. 2, kaugusel 2000 m. Hajumuskese on riba eelserval ja laskesuund on risti traattõkke riba äärtega.
Lasketabeli järgi $Tp = 12$ m.
Antud juhul märki katab ainult hajumusskaala üks pool, kas osaliselt või täielikult. Et võiks kasutada tõenäose pihtavuse tabelit, selleks on vaja leida kahekordne pihtavuse tegur $2n$, mis vastab kahekordse laiusega ribale. Saadud tõenäosus jagada kahega.
Täieliku tabeli järgi on pihtavuse tõenäosuse määramise käik järgmine:

$2\ n = 2\ x : 2\ Tp = 2 \cdot 30$ m $: 24$ m $= 2{,}5$; $2\ P = 90{,}8\%$; $P = 45{,}5\%$.

Näide 3. Määrata tõenäone pihtavus eelmisel leheküljel (joon. 30) toodud lasketingimustel.

$Tp = 16$ m; lõpmaturiba laius $x = 36$ m; hajumuskeskme kaugus CM^1 riba lähemalt äärelt $AA^1 = 20$ m. Laskesuund on risti riba äärtega.

Antud juhul märki katab ainult hajumusskaala ühe poole mingisugune osa $M'\ M''$. Et võiks kasutada tõenäose pihtavuse tabelit, selleks tuleb leida kahekordsed pihtavuse tegurid $2n'$ ja $2n''$, mis vastavad kahekordse laiusega ribadele, millede laiused on CM' ja CM''.

$$2\ n' = 2 \cdot 20 : 2 \cdot 16 = 1{,}25;\ 2\ n'' = 2 \cdot (20 + 36) : 2 \cdot 16 = 3{,}5.$$

Saadud pihtavuse tegureile vastavad pihtavuse tõenäosused on:

$$2\ P'' = 0{,}982;\ 2\ P' = 0{,}601.$$

On selge, et saadud pihtavuste tõenäosuste vahe on riba $AA^1\ BB^1$ kahekordne pihtavuse tõenäosus:

$$2P = 0{,}982 - 0{,}601 = 0{,}381;\ P = 0{,}381 : 2 = 0{,}19.$$

Näide 4. Määrata tõenäone pihtavus ribasse, mille laius on 40 m ja $Tp = 20$ m. Hajumuskeskme kaugus riba äärest on 10 m; laskesuund on risti riba äärtega.

Antud juhul hajumuskese asub riba sees, kuid ei ühtu riba keskmega (ei asu riba keskjoonel). Sel juhul katavad riba (märki) hajumusskaala mõlemad pooled, kuid isesugustes ulatustes; üks pool 10 m ulatuses, kuna teine pool — 30 m ulatuses. Et võiks kasutada tõenäose pihtavuse teguri tabelit, selleks tuleb leida kahekordsed pihtavuse tegurid $2n'$ ja $2n''$, mis vastavad kahekordse laiusega ribadele ja millede laiused on 10 m ja 30 m, siis:

$$2\ n' = 2 \cdot 10 : 2 \cdot 20 = 0{,}5;\ 2\ n'' = 2 \cdot 30 : 2 \cdot 20 = 1{,}5.$$

Saadud kahekordseile pihtavuse tegureile vastavad kahekordsed pihtavuse tõenäosused on:

$$2\ P' = 0{,}264;\ 2\ P'' = 0{,}688.$$

On selge, et saadud kahekordsete pihtavuse tõenäosuste summa on antud lõpmaturiba kahekordne pihtavuse tõenäosus:

$$2\ P = 2P' + 2P'' = 0{,}264 + 0{,}688 = 0{,}952;\ P = 0{,}952 : 2 = 0{,}476 = 48\%.$$

Näide 5. Määrata tõenäone pihtavus laia metsa servale. Olgu seejuures $Tp = 10$ m; hajumuskeskme kaugus metsa servalt on 20 m; laskesuund on risti metsa servaga.

Juhul, kui hajumuskese on metsast väljaspool, metsa katab ainult hajumusskaala ühe poole mingisugune osa. Seepärast pihtavuse tõenäosus tuleb määrata samal viisil, kui see oli tehtud 3. näites. Seejuures tuleb meeles pidada, et käesoleval juhul metsa kattev hajumusskaala mingisugune osa katab märki kuni oma lõpuni. Juhul, kui hajumuskese on metsa sees, metsa katavad hajumusskaala mõlemad pooled, kuid isesuguses ulatuses; üks pool

20 m ulatuses, kuna teine pool täies ulatuses. Seepärast pihtavuse tõenäosus tuleb määrata samal viisil, kui see oli tehtud 4. näites.

Esimesel juhul:

$$2\ n' = 2 \cdot (20 + \infty) : 2 \cdot 10 = \infty;\ 2\ n'' = 2 \cdot 20 : 2 \cdot 10 = 2;$$

Saadud pihtavuse tegureile vastavad pihtavuse tõenäosused on:

$$2\ P' = 1{,}0;\ 2\ P'' = 0{,}823.$$

$$2\ P = 1 - 0{,}823;\ P = (1 - 0{,}823) : 2 = 0{,}089 = 9\%.$$

Teisel juhul:

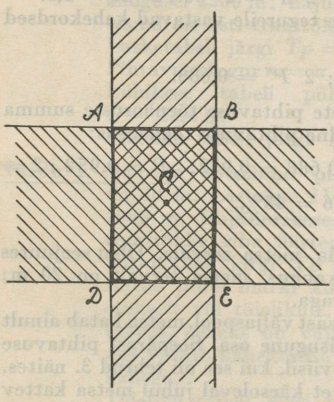
$$2\ n' = 2 \cdot 20 : 2 \cdot 10 = 2;\ 2\ n'' = 2 \cdot \infty : 2 \cdot 10 = \infty;$$

Saadud pihtavuse tegureile vastavad pihtavuse tõenäosused:

$$2\ P' = 0{,}823;\ 2\ P'' = 1;$$

$$2\ P = 1 + 0{,}823;\ P = (1 + 0{,}823) : 2 = 0{,}911 = 91\%.$$

Toodud näidete lahendamise kokkuvõttena võib öelda, et tõenäose pihtavuse tabel annab tõenäose pihtavuse väärtusi lõpmaturiba kujuga märkide jaoks juhul, kui hajumuskese asub riba keskel (keskjoonel, mis jaotab riba pikuti pooleks) ja kui vaadeldav hajumussuund on risti riba pikkusjoonega. Kui hajumuskeskme asend on teissugune, siis tõenäose pihtavuse määramiseks tõenäose pihtavuse tabeli abil tuleb mitmesuguste ühendluste abil küsimuse lahendus tuua märgile, mille kese ühtub hajumuskeskmega. Nende ühendluste aluseks on tingimus, et ühesuuruste ja hajumuskeskme suhtes sümmeetriliselt asetatud märkide pihtavused on võrdsed tõenäosustega.



Hajumiskese on märgi keskel.

Joon. 31.

Ristküliku pihtavuse tõenäosus. Ristkülikut moodustavad kaks lõpmatut riba, mis katavad teineteist risti. Ristkülikus *A B D E* olevad mürskude (kuulide) kohtamis- või lõhkemispunktid asuvad üheaegselt seda ristkülikut moodustavates ristribades (joon. 31). Seega ristküliku pihtavust võib vaadelda kui liitsündmust, mis koosneb üheaegselt tekkinud

kahest lihtsündmusest, s. o. pihtavustest nii ühte kui ka teise ristribasse. Seepärast tõenäosuste korrutamislause põhjal ristküliku pihtavuse tõenäosus võrdub seda ristkülikut moodustavate ristribade pihtavuse tõenäosuste korrutisega.

Näide 1. Määrata tõenäone pihtavus ristkülikusse $ABDE$ (joon. 31), mille pikkus on 30 m ja laius 20 m, kui hajumuskese ühtub ristküliku keskmega ja laskesuund on paralleelne ristküliku pikema küljega.

Kui $Tp = 20$ m ja $Tl = 2$ m, siis:

$$n' = 30 : 2 \cdot 20 = 0{,}75; \quad n'' = 20 : 2 \cdot 2 = 5.$$

Tõenäose pihtavuse tabeli põhjal:

$$P' = 0{,}387 \text{ ja } P'' = 0{,}999;$$

seega $P = P' \cdot P'' = 0{,}387 \cdot 0{,}999 = 0{,}387.$

Näide 2. Määrata tõenäone pihtavus ristkülikusse $ABCED$ (joon. 32 A), mille pikkus 40 m ja laius 20 m, kui hajumuskese asub ristküliku pikema külje BE keskel punktis C ja laskesuund on paralleelne ristküliku pikema küljega.

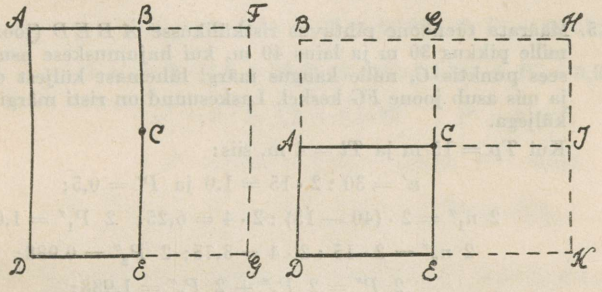
Kui $Tp = 16$ m ja $Tl = 3$ m, siis:

$$n' = 40 : 2 \cdot 16 = 1{,}25 \text{ ja } P' = 0{,}601;$$

$$2\,n'' = 2 \cdot 20 : 2 \cdot 3 = 6{,}666 \ldots; \quad 2\,P'' = 1{,}00 \text{ ja } P'' = 0{,}5;$$

seega $P = 0{,}601 \cdot 0{,}5 = 0{,}30 = 30\%$.

Näide 3. Määrata tõenäone pihtavus ristkülikusse $A\,C\,E\,D$ (joon. 32 B), mille pikkus 20 m ja laius 24 m, kui hajumuskese asub ristküliku tipus C ja laskesuund on risti ristküliku pikema küljega.



A. Hajumuskese on ristküliku ühe külje keskel. *B. Hajumuskese on ristküliku ühes nurgas.*

Joon. 32.

Kui $Tp = 12$ m ja $Tl = 3$ m, siis:

$2\ n' = 2 \cdot 20 : 2 \cdot 12 = 1{,}666\ \ldots$; $2\ P' = 0{,}740$ ja $P' = 0{,}370$;

$2\ n'' = 2 \cdot 24 : 2 \cdot 6 = 4$; $2\ P'' = 0{,}993$ ja $P'' = 0{,}496$;

seega $P = 0{,}370 \cdot 0{,}496 = 0{,}18 = 18\%$.

Näide 4. Määrata tõenäone pihtavus ristkülikusse $A\ B\ D\ E$ (joon. 33 A), mille pikkus 30 m ja laius 40 m, kui hajumuskese asub väljaspool märki punktis C, mille kaugus märgi lühemast küljest on 20 m ja mis asub joone FG keskel. Laskesuund on risti märgi pikema küljega.

Kui $Tp = 15$ m ja $Tl = 4$ m, siis:

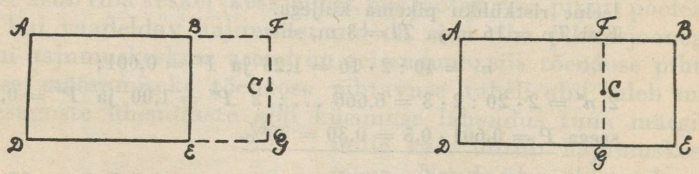
$$n' = 30 : 2 \cdot 15 = 1 \text{ ja } P' = 0{,}5;$$

$$2\ n_1'' = 2 \cdot (40 + 20) : 2 \cdot 4 = 15;\ 2\ P_1'' = 1{,}0;$$

$$2\ n_2'' = 2 \cdot 20 : 2 \cdot 4 = 5;\ 2\ P_2'' = 0{,}999;$$

$$2\ P'' = 2\ P_1'' - 2\ P_2'' = 1{,}0 - 0{,}999 = 0{,}001;\ P'' = 0{,}0005;$$

seega $P = P' \cdot P'' = 0{,}5 \cdot 0{,}0005 \approx 0$ (pihtavust ei ole).



A. Hajumuskese on väljaspool märki.

B. Hajumuskese on märgi sees, kuid mitte keskel.

Joon. 33.

Näide 5. Määrata tõenäone pihtavus ristkülikusse $A\ B\ E\ D$ (joon. 33 B) mille pikkus 30 m ja laius 40 m, kui hajumuskese asub märgi sees punktis C, mille kaugus märgi lühemast küljest on 15 m ja mis asub joone FG keskel. Laskesuund on risti märgi pikema küljega.

Kui $Tp = 15$ m ja $Tl = 4$ m, siis:

$$n' = 30 : 2 \cdot 15 = 1{,}0 \text{ ja } P' = 0{,}5;$$

$$2\ n_1'' = 2 \cdot (40 - 15) : 2 \cdot 4 = 6{,}25;\ 2\ P_1'' = 1{,}0;$$

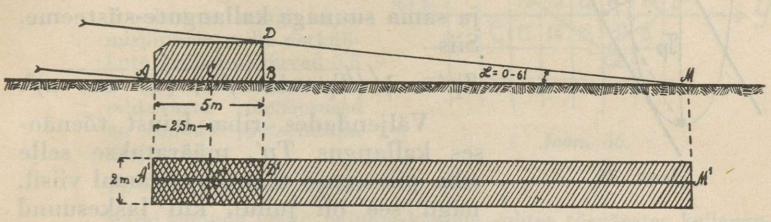
$$2\ n_2'' = 2 \cdot 15 : 2 \cdot 4 = 3{,}75;\ 2\ P_2'' = 0{,}988;$$

$$2\ P'' = 2\ P_1'' + 2\ P_2'' = 1{,}988;$$

$$P'' = P_1'' +'' P_2 = 0{,}994;$$

seega $P = P' \cdot P'' = 0{,}5 \cdot 0{,}994 = 0{,}497 = 50\%$.

Risttahuka pihtavuse tõenäosus. Tahk- või pöördkeha kujuga märkide pihtavuse tõenäosuse määramisel tuleb eeskätt kujutada märgile puutujaid lendjoonte lõpposi kuni nende lõikumiseni märgi alust läbistava horisontaaltasapinnaga. Sel horisontaaltasapinnal saadud tasapinnalise kuju pihtavuse tõenäosus ongi märgi pihtavuse tõenäosus.



Joon. 34.

Näide. Määrata tõenäone pihtavus otseliikuva tangi pihta, mille pikkus, laius ja kõrgus on vastavalt 5,0 · 2,0 · 1,7 m.
Lasketabelite põhjal $Tp = 13$ m, $Tl = 1{,}2$ m ja langenurga tangens on 0,061.
Märki puutuvate lendjoonte lõpposade projektsioonid horisontaaltasapinnal annavad ristküliku kuju (joon. 34). Ristküliku mõõtandmed on järgmised:
— ristküliku pikkus $A'M' = A'D' + D'M'$; $D'M' = BD : \tan L = 1{,}7 : 0{,}061 = 28$ m; $A'M' = 28 + 5 = 33$ m;
— ristküliku laius on 2 m.
Kui hajumuskese ühtub märgi aluse keskmega, siis määratakse tangi pihtavuse tõenäosus järgmiselt:

$$2\,n'_1 = 2 \cdot 2{,}5 : 2 \cdot 13 = 0{,}192;\quad 2\,P'_1 = 0{,}102;$$

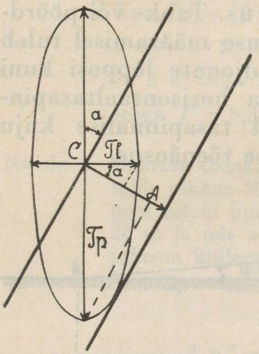
$$2\,n'_2 = 2 \cdot (2{,}5 + 28{,}0) : 2 \cdot 13 = 2{,}35;\quad 2\,P'_2 = 0{,}887;$$

$$n'' = 2 : 2 \cdot 1{,}2 = 0{,}8333 \ldots\quad P'' = 0{,}424;$$

$$2\,P' = 0{,}102 + 0{,}887 = 0{,}989;\quad P' = 0{,}495;$$

seega $P = P' \cdot P'' = 0{,}495 \cdot 0{,}424 = 0{,}210 = 21\%$.

Mitmesuguse kujuga ja asendiga märkide pihtavuse tõenäosuse määramise viise. Kui lõpmatu riba kujuga märgi pikkussuund ei ole risti ega rööbiti laskesuunaga ehk hajumuspinna (-mahu) telgedega, kuid ta moodustab



Joon. 35.

laskesuunaga mingisuguse nurga a (joon. 35), siis antud riba pikkussuunaga risti suunas tõenäoseks kallanguks on $Tp' = C\ A$.

Tp' määramiseks tuleb määrata Tp ja Tl projektsioonid suunal CA ja liita neid, nagu liidetakse ühe ja sama suunaga kallangute-süsteeme. Siis

$$Tp' = \sqrt{(Tp \cdot \sin a)^2 + (Tl \cdot \cos a)^2}.$$

Väljendades riba laiust tõenäoses kallangus Tp', määratakse selle riba pihtavuse tõenäosus samal viisil, nagu see oli juhul, kui laskesuund on risti riba pikkussuunaga.

Näide. Määrata tõenäone pihtavus ribas, mille laius on 12 m. $Tp = 20$ m, $Tl = 1$ m. Hajumuskese ühtub märgi keskmega. Nurk laskesuuna ja riba serva vahel on 30°.

$$Tp' = \sqrt{(20 \cdot \sin 30°)^2 + (1 \cdot \cos 30°)^2} = 10 \text{ m};$$

$$n = x : 2Tp' = 12 : 20 = 0{,}6;\ P = 0{,}314 = 31\%.$$

Kui märgi kuju ei ole korrapärane ning tema küljed ei ole risti ega rööbiti laskesuunaga, siis muutub raskeks ja keerukaks selle märgi pihtavuse tõenäosuse määramine. Sellastel juhtudel tuleb:

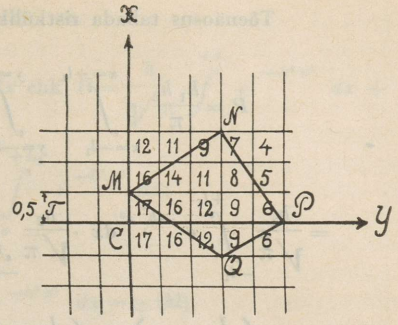
1) märgi pindalaks võtta korrapärane kuju, mille küljed on puutujateks märgi kontuuriga ja ühtlasi risti või rööbiti laskesuunaga või

2) toimetada pihtavuse tõenäosuse määramist graafiliselt, kasutades selleks hajumusskaalat või hajumusristkülikut (joon. 1), mille jaotiste (elementaarsete ristkülikute) küljed on 0,5 T.

Pihtavuse tõenäosuse määramisel hajumusristkülikuga tuleb esmalt kujutada tõenäostes kallangutes märgi iseloomustavate punktide asend hajumuskeskme suhtes; pärast seda kanda märgi kuju hajumusristkülikule või läbipaistval paberil konstrueeritud hajumusristkülik, asetada märgi konstruktsioonile ja lugeda märgi piirides oleva pihtavuse tõenäosuse protsentide arv.

Näide. Määrata tõenäone pihtavus nelinurka (joon. 36), mille tippude koordinaadid hajumuskeskme suhtes on:

$M\,(+\,12;\,0)$
$N\,(+\,36;\,+\,8{,}4)$
$P\,(0;\,+\,14)$
$Q\,(-12;\,+\,8{,}4)$.



Joon. 36.

Joonistame märgi hajumispinnale, mille ristkülikute küljed võrduvad 0,5 T ja mille ristkülikute pihtavuste tõenäosused on toodud protsentides. Seejuures

$Tp = 24$ m ja $Tl = 5{,}6$ m.

Märgi tippude asend hajumuskeskme suhtes tõenäostes kallangutes on:

$$M(x) = 12:\ 24 = 0{,}5\ Tp;\ N(x) = 36:\ 24 = 1{,}5\ Tp;$$
$$P(x) = 0;\qquad Q(x) = 12:\ 24 = 0{,}5\ Tp.$$

$$M(y) = 0;\qquad (Ny) = 8{,}4:\ 5{,}6 = 1{,}5\ Tl;$$
$$P(y) = 14:\ 5{,}6 = 2{,}5\ Tl;\ Q(y) = 8{,}4:\ 5{,}6 = 1{,}5\ Tl.$$

Märgi piirides olevate pihtavuste tõenäosuste summa on 11%.

Pihtavuse tõenäosuse analüütiline määramine. Olgu, et koordinaadistiku XOY alguspunkt ühtub hajumuspinna keskmega, X-telg ühtub laskesuunaga ja Y-telg ühtub laskesuunaga risti- ja horisontaalsuunaga. Lastud mürskude (kuulide) lõhkemis- või kohtamispunktide koordinaadid olgu tähistatud $(x_1\ y_1)$, $(x_2\ y_2)$, $(x_3\ y_3)\ldots$ (joon. 14).

Tõenäosus tabada punkti $P = (xy)$ või ristkülikut $dx \cdot dy$ on lõpmatu väike. See tõenäosus võrdub lõpmaturibade $A\,A$ ja $B\,B$ pihtavuste tõenäosuste korrutisega. Kui laskude arv on n, siis selle tõenäosuse üldavaldis on järgmine:

$$d\,P = \frac{h_1 h_2}{\pi}\, e^{-h_1^2 x^2 - h_2^2 y^2}\, dx \cdot dy;$$

kusjuures:

$$h_1 = \frac{0{,}477}{T_1};\ h_2 = \frac{0{,}477}{T_2}.$$

Nüüd olgu antud ristkülik $A\ B\ C\ D$ (joon. 15), mille külgede pikkused on $A\ B = 2\ l_1$ ja $B\ C = 2\ l_2$, mille kese ühtub hajumuskeskmega ja koordinaadistiku alguspunktiga ja mille külg $A\,B$ on paralleelne X-teljega ja külg $B\ C$ on paralleelne Y-teljega.

Tõenäosus tabada ristkülikut $A\ B\ C\ D$ on:

$$P = \frac{h_1 h_2}{\pi} \int_{x=-l_1}^{x=+l_1} \int_{y=-l_2}^{y=+l_2} e^{-(h_1^2 x^2 + h_2^2 y^2)}\, dx \cdot dy =$$

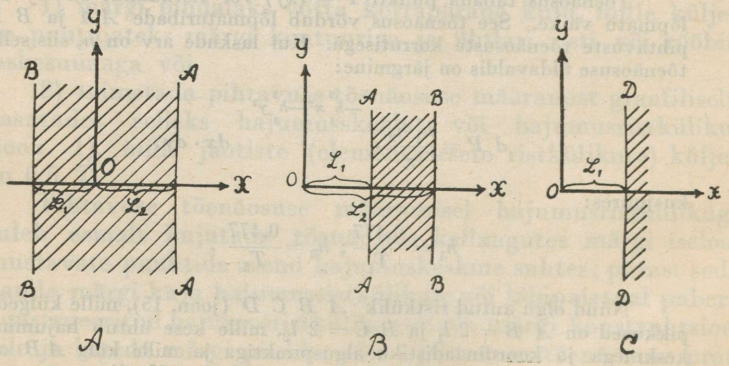
$$= \frac{h_1}{\sqrt{\pi}} \int_{-l_1}^{+l_1} e^{-h_1^2 x^2}\, dx \cdot \frac{h_2}{\sqrt{\pi}} \int_{-l_2}^{+l_2} e^{-h_2^2 y^2}\, dy = \varphi(h_1 l_1) \cdot \varphi(h_2 l_2) =$$

$$= \varphi\left(\frac{l_1}{T_{(1)}} 0{,}477\right) \cdot \varphi\left(\frac{l_2}{T_{(2)}} 0{,}477\right) = \psi\left(\frac{l_1}{T_{(1)}}\right) \cdot \psi\left(\frac{l_2}{T_{(2)}}\right) =$$

$$= \varphi\left(\frac{2l_1}{2T_{(1)}}\right) \cdot \varphi\left(\frac{2T_{(2)}}{2l_{(2)}}\right).$$

Funktsiooni $\varphi\left(\frac{2l}{2T}\right)$ jaoks on koostatud nn. tõenäose pihtavuse teguri tabel (vt. lisa nr. II).

Olgu nüüd antud lõpmatu pikk riba $A\ A\ B\ B$, mille küljed on paralleelsed Y-teljega, kusjuures koordinaadistiku alguspunkt ning hajumuskese asetsegu riba sees, kuid mitte riba laiuse keskel. Hajumuskeskme kaugused riba äärtest olgu L_1 ja L_2 ja tõenäone kallang laskesuunas (ühtlasi ka X-telje suunas) olgu $T_1 = T$ (joon. 37 A).



Joon. 37.

Tõenäosus tabada seda riba on:

$$P = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{x=-L_1}^{x=+L_2} e^{-h^2 x^2}\, dx \text{ ehk } P = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{o}^{+L_1} e^{-h^2 x^2}\, dx +$$

$$+ \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{o}^{+L_2} e^{-h^2 x^2}\, dx;$$

kuna

$$\frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-l}^{+l} e^{-h^2 x^2}\, dx = \varphi\,(hl),$$

siis:

$$P = \frac{1}{2}\left[\psi\left(\frac{L_1}{T}\right) + \psi\left(\frac{L_2}{T}\right)\right] \ldots\ldots\ (1)$$

Kui hajumuskese ei asetse riba sees, vaid sellest väljaspool (joon. 37 B), siis on selle riba pihtavuse tõenäosuse üldavaldis järgmine:

$$P = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{x=+L_1}^{x=+L_2} e^{-h^2 x^2}\, dx = -\frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{o}^{+L_1} e^{-h^2 x^2}\, dx +$$

$$+ \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{o}^{+L_2} e^{-h^2 x^2}\, dx;$$

ehk

$$P = \frac{1}{2}\left[\psi\left(\frac{L_2}{T}\right) - \psi\left(\frac{L_1}{T}\right)\right] \ldots\ldots\ (2)$$

Kui lõpmatu pika riba üks äär on lõpmatu kaugel (joon. 37 C), siis on selle riba pihtavuse tõenäosuse üldavaldised järgmised:

kui hajumuskese asub väljaspool riba, siis:

$$L_2 = \infty;\ \psi\left(\frac{L_2}{T}\right) = \psi\,(\infty) = 1;$$

$$P = \frac{1}{2}\left[1 - \psi\left(\frac{L_1}{T}\right)\right] \ldots\ldots\ 3)$$

kui hajumuskese on riba sees, siis:

$$P = \frac{1}{2}\left[1 + \psi\left(\frac{L_1}{T}\right)\right] \ldots\ldots\ 4)$$

TEINE JAGU.

Mürskude tegevus.

IV peatükk.

ÜLDMÕISTEID.

1. Mürsk — suurtükiväe relv.

Suurtükiväe peamiseks omaduseks on tugev tulejõud, mille võimsus ei ole määratav ainuüksi suurtükkide arvuga, kaliibriga ja tulekiirusega, vaid mis on suuremal määral olenev ka mürskudest (laskemoonast). Suurtükiväe otstarve lahingus seisneb vastase elavjõu ja materiaalsete võitlusvahendite hävitamises ja mahasurumises. Suurtükiväge hävitab ja surub maha neid vastase võitluselemente ainult oma mürskudega. Seega suurtükiväe peamiseks võitlusvahendiks on mürsk (tuli). Kahurist väljalastud mürsk on mehaaniline võitleja, mis oma kohtamis- või lõhkemispunktis teeb ära talle ette määratud hävitustöö.

Praegusaja lahingus suurtükiväge oma tulega täidab mitmekesise iseloomuga tuleülesandeid, nagu:

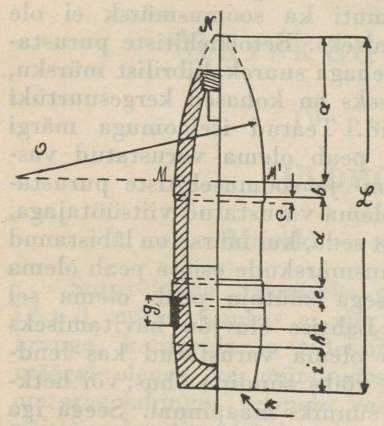
— vastase elavjõu hävitamine või tema mahasurumine moraalselt;
— vastase tulirelvade (suurtükid, kuulipildujad jne.) hävitamine;
— vastase soomusmasinate purustamine;
— vastase kaitseehitiste (muld-, puu-, betoon-, kivi- ja muust materjalist ehitiste) ja tõkete purustamine;
— vastase lennukite ja vaatluspallide hävitamine;
— igasugused abiülesanded, nagu vastase gaasitamine, pimestamine, valgustamine, süütamine, propaganda jne.

Suur hulk mitmekesise iseloomuga tuleülesandeid, mida suurtükivägi peab täitma, nõuavad mitmesugust liiki ja mitmesuguse löögi- ning lõhketoimega mürske. Samuti ka tulistatava märgi iseloom ja tulistamise eesmärk nõuavad vastavat liiki mürske. Näiteks, oleks täiesti mõtetu tulistada raudbetoonehitist šrapnelliga või väikekaliibrilise brisantgranaadiga, sest et nende mürskude kannud ja killud on liiga nõrgad selleks, et läbistada tugevat ehitist. Samuti ka soomusmürsk ei ole kohane lahtise elavjõu hävitamiseks. Betoonehitiste purustamiseks peab kasutama tugeva kehaga suurekaliibrilist mürsku, kuna lahtise elavjõu hävitamiseks on kohased kergesuurtüki šrapnellid või brisantgranaadid. Teatud iseloomuga märgi tulistamiseks määratud mürsk peab olema varustatud vastava süütajaga. Näiteks, betoon- ja soomusehitiste purustamiseks määratud mürsk peab olema varustatud viitsüütajaga, mis paneb mürsu lõhkema pärast seda, kui mürsk on läbistanud betoon- või soomuskatte. Soomusmürskude esiosa peab olema tugev ja seepärast nõrga ehitusega süütaja peab olema sel juhul asetatud mürsu põhja. Lahtise elavjõu hävitamiseks määratud brisantgranaat peab olema varustatud kas lendsüütajaga, et mürsu lõhkemine võiks sündida õhus, või hetksüütajaga, et mürsu lõhkemine sünniks maapinnal. Seega iga liiki märgi või märkide kogu tulistamiseks on vaja eriliiki mürske ning süütajaid. Et aga praegusaja lahinguväljal on palju mitmekesise iseloomuga märke, peab süürtükivägi, et suuta täita kõiki tema peale pandavaid tuleülesandeid, olema varustatud mitmesugust liiki mürskudega.

Tuleb silmas pidada, et mürskude ja süütajate liikide mitmekesisus võimaldab suurtükiväele mitmesuguste märkide tulistamist ning tuleülesannete täitmist, kuid raskendab mürskude tootmist ja kasutamist. Mida mitmekesisemad on kasutatavate mürskude ja süütajate liigid, seda keerukamaks ja raskemaks muutub laskemoonaga varustamise küsimus ja mürskude kasutamine üksustes, seda eriti aga veel siis, kui laskemoonakulu tõuseb väga suureks. Seepärast igalpool püütakse vähendada mürskude ja süütajate liikide arvu, et mitte raskendada laskemoonaga varustamise küsimust ja ka mitte raskendada mürskude kasutamist lahingus. Neid küsimusi tuleb lahendada olenevalt majanduslikest ja tehnilistest tingimustest ja taktikalistest nõuetest.

2. Mürsu konstruktsiooni põhielemente.

Iga mürsk koosneb kolmest järgmisest põhielemendist:
— metallkest ehk kann ühes juhtvööga;
— täidis (lõhkelaeng, kuulid, sõjagaas või mõni muu aine);
— süütaja (löök- või lendsüütaja).



Joon. 38.

Mürsu kann võib olla tehtud ühest tükist või evida sissekeeratava esiosa või põhja või on esiosa ja põhi mõlemad sisse keeratud. Mürsk võib olla varustatud kas hariliku süütajaga, mis keeratakse kannu esiosa sisse või on põhisüütajaga, mis on keeratud kannu tagaosa sisse. Sellest olenevalt mürsul on kas esiava hariliku süütaja jaoks või põhjaava põhisüütaja jaoks. Kui mürsu kannu esiosa on maha lõigatud (tömp), siis asetatakse esiosa peale ballistiline otsmik.

Väliskujult mürsu kann jaguneb järgmisteks osadeks (joon. 38):

a) teravkaarne esiosa,
b) tsentreeriv paksend,
c) tsentreeriva paksendi läng,
d) silindrikujuline keskosa,
e) alumine tsentreeriv paksend,
g) juhtvöö soon,
h) juhtvöötagune osa,
i) tagumine osa (tüvikoonus),
k) põhi.

Mürsu esiosa on moodustatud kõvera *MN* pööramisega mürsu geomeetrilise telje ümber. Harilikult kõver *MN* on ringi kaar, mille kese *O* asub joone *OMM'* kõrgusel ja mille raadius on 2 kuni 15 kaliibrit. Mürsu pikkus *L* on 3 kuni 6 kaliibrit, sellest on esiosa pikkus $a = 1{,}5$ kuni 3 kal., keskosa pikkus $d = 1{,}3$ kuni 2,5 kal., tsentreeriva paksendi laius

b = 0,1 kuni 0,2 kal. Pikematel mürskudel on kaks tsentreerivat paksendit. Juhtvöö laius g on umbes 0,1 kal. Juhtvöö-taguse osa pikkus h on 0,15 kuni 0,25 kal. Mürsu tagumise osa (tüvikoonuse) moodustaja kallak on 6 kuni 9 kraadi. Juhtvöö kaugus mürsu põhjast on vanadel silindrikujulistel mürskudel 0,2 kal., uuematel 75 mm silindrikujulistel—0,6 kal. ja D-mürskudel—0,8 kal.

Teised mürsu elemendid ja osad on erinevad vastavalt mürskude liikidele ja seepärast neid mainitakse vajaduse korral vastava liigi mürsu tegevuse käsitamisel.

3. Mürsu võimsuse elemente.

Märki tabanud mürsu purustustöö suurus ja tegevuse iseloom oleneb mitmest tegurist.

Tähtsamad tegurid, millest oleneb mürsu võimsus, on järgmised:

1) Mürsu purustusjõud, mis omakorda oleneb mürsu liigist, raskusest (kaliibrist), lõhkelaengu kaalust ja lõhkelaengu liigist. Olenevalt märkide iseloomust ja tuleülesannetest on mürsult nõutav tegevuse iseloom mitmesugune; seepärast mürsu võimsuse ning purustusjõu tegureid tuleb vaadelda antud liiki mürsu põhiotstarbe seisukohalt. Näiteks soomusmürsu põhiotstarve on läbi lüüa soomuskate; pärast katte läbistamist mürsk peab toimetama hävitustööd oma kildudega ja lõhkelaengu gaaside survega. Fugassmürsu põhiotstarve on sünnitada hävitustööd oma lõhkepunktis lõhkelaengu gaaside survega, kuid see mürsk võib soodsal juhul sünnitada ka hävitust oma kildudega. Vastupidi — brisantmürsu põhiotstarve on sünnitada hävitustööd oma kildudega jne. Soomusmürsu purustusjõu tõstmiseks on vaja eeskätt teha tugevam kann, eriti aga selle esiosa selleks, et mürsk ei puruneks enne kui ta läbistab soomuskatte; samuti ka peab suurendama soomusmürsu kaalu ja kasutama suuremat laengut, et sel teel suurendada mürsu löögijõudu (hoogu). Fugassmürsu purustusjõu tõstmiseks on vaja eeskätt täita mürsk suurema kvantumi ja suurema gaasimahuga lõhkeainega. Brisantmürsu purustusjõu tõstmiseks on vaja eeskätt kasutada kannu ehitamiseks seesugust materjali, mis purunemisel annab võrdlemisi palju turmavaid kilde, samuti tuleb lõhkelaenguna kasutada seesugust lõhkeainet, mille purustusjõud on suurim.

2) Mürsu lennukaugus, mis oleneb peamiselt viskelaengu liigist ja kaalust ja mürsu kaalust ja kujust. Mürsu lennukauguse tegur omab praegusaja lahingus väga suurt tähtsust. Praegusaja sügavad lahingukorrad nõuavad mürsu suuri lennukaugusi. Maailmasõjas sõdijad pooled pidid alatasa otsima võimalusi ja abinõusid, et suurendada oma mürskude lennukaugusi. Ka nüüd töötatakse intensiivselt selle küsimuse kallal. Võitleja, kelle mürsud lendavad kaugemale, võib tulistada oma vastast ilma et ta ise oleks tema suurtükitule all. Mürskude suurem lennukaugus nõuab vähem suurtükiväe ümberpaigutusi ning pidevamat tulistamist ja võimaldab tulede koondamisi laiemal rindel. Mürskude suurem lennukaugus võimaldab üksuste paigutuse järgustamist sügavusse ja vastase asetuse sügavuse tulistamist. Võiks veel ette tuua palju mürsu suurema lennukauguse positiivseid külgi, kuid ka toodud näited räägivad küllalt selget keelt mürsu lennukauguse tähtsusest. Suurem viskelaeng annab suurema algkiiruse, mis omakorda annab mürsule suurema lennukauguse. Mürsu kaalu suurendamine vähendab algkiirust, kuid suurendab mürsu hoogu ja suurematel kaugustel suurendab ka lennukaugust. Mürsu kuju muutmise teel on kõige hõlpsam lahendada mürsu lennukauguse suurendamise küsimust. Seepärast uuemate mürskude tagumine osa tehakse tüvikoonuse taolistena; samuti tehakse ka pikemaks ja teravamaks mürsu teravkaarne esiosa. Sel viisil on saadud mürsu lennukauguse suurenemist umbes 30% võrra.

Mürsu pihtavus oleneb suurel määral mürsu ja süütaja valmistustäpsusest ja kasutatavast viskelaengu rohust (eriti selle põlemise ühtlusest). Laskemoonakulu ja laskmise tulemused olenevad mürskude hajumusest ja pihtavusest. Mida väiksem on mürskude hajumus, seda tihedamalt mürsud langevad märgi rajooni ning järelikult seda väiksem on laskemoonakulu antud tuleülesande täitmise juures. Mürskude hajumuse põhjusi on selgitatud raamatu esimeses jaos. Siinkohal märgime ainult neid põhjusi, mis olenevad laskemoonast, nagu: mürsu kaalu-, kuju- ja massijaotuse mitteühtlus; viimased põhjused on tingitud mürskude valmistamise tingimustest. Mida halvemini on korraldatud mürskude tehniline valmistamine, seda suurem on hajumus ja seda väiksemad on lasketulemused. Mürsu pihtavuse iseloomustajateks on tõenäoste kallangute suurus. Harilikult loetakse

rahuldavateks need mürsud, mille $Tp = D : 200$ ehk 0,5% kaugusest. Modernmürskude rahuldavateks Tp suurusteks on $D : 200$ kuni $D : 300$, kuna poligonaalmürskude (vintsoontega mürsud) Tp on isegi alla $D : 300$.

4. Mürskude liigitelu.

Mürske võib liigitada nende põhiotstarbe, täidise ja tegevuse iseloomu järgi liikidesse alljärgnevalt.

a) Lahingumürsud (ehk hävitusmürsud).

Lahingu- ehk hävitusmürskude hulka tuleb lugeda neid mürske, milledega hävitatakse vahetult vastase elavjõudu, tulirelvi ja teisi materjalseid võitlusvahendeid ning kaitseehitisi.

Oma täidise ja hävitustegevuse iseloomu järgi lahingumürske võib omakorda liigitada järgmistesse alaliikidesse:

1) granaadid,
2) šrapnellid,
3) gaasimürsud.

Granaate tuleb veel omakorda liigitada järgmistesse liikidesse:

— löögigranaat (soomusgranaat),
— fugassgranaat,
— brisantgranaat.

b) Erimürsud.

Erimürskude hulka kuuluvad säärased mürsud, mida kasutatakse seesuguste ülesannete täitmiseks, mis ei ole seoses vastase elavjõu ja tema võitlusvahendite otsese hävitamisega, nagu suitsukatte loomine, süütamine, valgustamine jne. Erimürskude hulka kuuluvad:

1) suitsumürsk,
2) süütemürsk,
3) valgustusmürsk,
4) joonestusmürsk,
5) propagandamürsk,
6) ballistilised mürsud,
7) praktikamürsud,
8) õppemürsud.

V peatükk.

GRANAADI TEGEVUS.

1. Üldmõisteid.

Granaadiks nimetatakse mürsku, mis on täidetud pihustava või purustava lõhkeainega. Granaadi tegevus kohtamis- või lõhkemispunktis võib olla kolmesugune:

1) Löögitegevus. Granaadi löögitegevuse otstarve on läbistada tugev keskkond (muld-, puu, kivi-, betoon- ja soomuskatted) ning, lõhkedes selle keskkonna sees või selle taga, laengugaasidega või kildudega teostada hävitust. Sellest eesmärgist tingitult löökgranaadi kann (eriti aga selle esiosa) peab olema küllalt tugev, et mitte puruneda tugeva keskkonnaga kohtamisel. Löökgranaadi gaaside ja kildude hävitustöö võrreldes läbilöögivõimega on nõrgem ning teise järgu tähtsusega.

2) Fugasstegevus. Granaadi fugasstegevuse otstarve on lõhkemisel tekkinud gaaside survega teostada hävitust pinnase või ehitiste (kaevikud, varjendid ja igasugused kaetud ja kinnised ehitised) sees. Sellest eesmärgist tingitult fugassgranaat peab mahutama rohkem lõhkeainet, et gaaside surve ning hävitustöö oleks suurem. Fugassgranaadi löögi- ja kildude tegevus, võrreldes gaaside purustustööga, on nõrgem ning teise järgu tähtsusega.

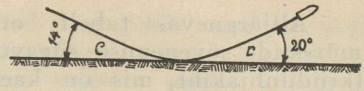
3) Brisanttegevus. Granaadi brisanttegevuse otstarve on lõhkemisel maapinnal või õhus saadud suure hulga turmavate kildudega hävitada lahtist elavjõudu, nõrgemaid relvi ja õhumärke. Sellest eesmärgist tingitult brisantgranaat peab olema täidetud pihustava lõhkeainega ja tema kannu materjal peab lõhkemisel andma rohkem turmavaid kilde. Brisantgranaadi löögi- ja fugasstegevus, võrreldes kildude tegevusega, on nõrgem ning teise järgu tähtsusega.

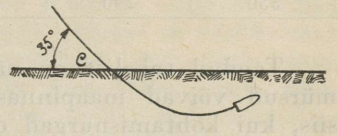
2. Granaadi löögitegevus.

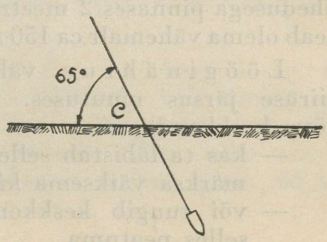
a) Granaadi löögitegevuse iseloomustus.

Kohtamismomendist alates mittelõhkeva granaadi edaspidise teekonna suund ja pikkus olenevad järgmistest teguritest:

— kohtamisnurgast,
— kohtamiskiirusest,
— mürsu kaalust,
— mürsu kujust,
— mürsu pöörlemiskiirusest,
— keskkonna tihedusest.







Joon. 39.

Maapinnaga kohtamisel mürsu edaspidine teekond olenevalt kohtamisnurgast on isesugune. Katsetega on määratud, et:

— kui kohtamisnurk *C* on alla 10°, siis kõik mürsud rikošeteeruvad jättes pinnasesse 10 kuni 15 cm sügavusega ja 1 kuni 1,5 m pikkusega vao;
— kui kohtamisnurga suurus on 10 kuni 20°, siis ca 75% mürskudest rikošeteerub, jättes pinnasesse 20 kuni 30 cm sügavusega vao või läbistades pinnase 50 kuni 70 cm ulatuses;
— kui kohtamisnurga suurus on 20 kuni 30°, siis rikošeteerub ainult ca 30% mürskudest, kuna ülejäänud mürsud jäävad pinnasesse;
— kui kohtamisnurga suurus on 30 kuni 40°, siis kõik mürsud tungivad maasse, püüdes tõusta maapinnale;
— kui kohtamisnurga suurus on üle 40°, siis mürsud tungivad otsesuunas maasse (joon. 39).

Otseliikuva mürsu süvenemise sügavus oleneb mürsu kohtamiskiirusest, kaalust, kujust, pöörlemiskiirusest ja pinnase tugevusest.

Alljärgnevas tabelis on toodud katsetega määratud mürskude süvenemise sügavusi keskmise tihedusega pinnases (kriidilubjakiht, mis on kaetud 0,6 m paksuse savikihiga).

Kaliiber (mm)	Kohtamis-kiirus (m/sek.)	Kohtamis-nurk (kraadid)	Mürsku keskmine süvenemine püstsuunas (m)	Mürsu keskmine süvenemine rõhtsuunas (m)
75	220	25	1,0	1,5
155	260	30	1,6	2,5
210	225	42	2,0	4,0
280	350	38	3,4	4,5
280	350	65	4,5	3,8
350	250	35	3,0	6,5
350	280	50	5,0	5,0
350	290	65	6,0	2,5

Toodud tabelist on näha, et ainult suurema kaliibriga mürsud võivad maapinnas süveneda suuremale sügavusele siis, kui kohtamisnurgad on suured. Et süveneda keskmise tihedusega pinnases 2 meetri sügavusse, selleks mürsu kaliiber peab olema vähemalt ca 150 mm ja kohtamisnurk vähemalt 45°.

L ö ö g i n ä h t u s väljendub kokkupõrkavate kehade kiiruse järsus muutuses. Kui mittelõhkev mürsk kohtab kõva keskkonda, siis:

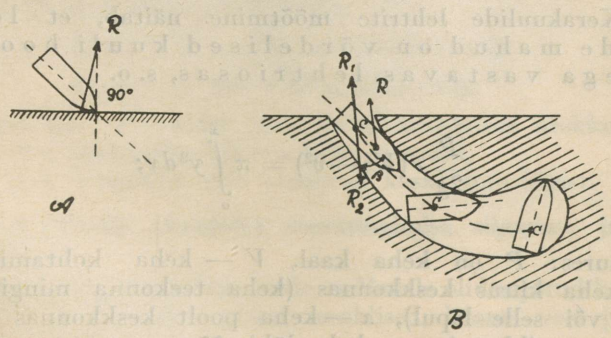
— kas ta läbistab selle keskkonna ning jätkab liikumist märksa väiksema kiirusega,
— või tungib keskkonda teatava sügavuseni ja jääb selles peatuma,
— või põrkab tagasi või kõrvale.

Kõigil kolmel juhul sünnib mürsu hoo kiire kaotus kas osaliselt või täielikult. Kuid mürsu hoo kineetiline energia ei kao, vaid muutub ehk kulub tööks — käesoleval juhul takistuse ja osalt ka mürsu osakeste liikumapanemiseks. Mürsu löögi mõjul tekkinud keskkonna osakeste liikumiskiirus on seda suurem, mida lähemal need asuvad löögipunktile. Keskkonna osakeste liikumiskiirus löögipunkti juures on sedavõrd suur, et tekib osakeste jääv lahutus ning p u r u n e m i n e teatavas piirkonnas löögipunkti ümber. Seda piirkonda nimetatakse p u r u s t u s p i i r k o n n a k s. Purustuspiirkonna välisest piirist kaugemal ei ole silmanähta-

vat keskkonna purunemist, kuid seal tekib osakeste jääv lahutus. Seda piirkonda nimetatakse murenduspiirkonnaks. Murenduspiirkonna välisest piirist kaugemal tekib põrutus (osakeste liikumine), kuid selle liikumise kiirus on sedavõrd väike, et ta ei katkesta keskkonna osakeste sidet. Seda piirkonda nimetatakse põrutuspiirkonnaks.

Mida tugevam on keskkonna osakeste (molekulide) omavaheline side, s. o. mida tugevam (kõvem) on keskkond ja mida suurem on selle venivus, seda rohkem peab kulutama energiat (hoogu) keskkonna osakeste lahutamiseks ehk purustamiseks. Kui mürsu kohtamiskiirus on väike, siis on ka väike selle mürsu löögist saadud keskkonna osakeste liikumiskiirus. Kui sellejuures ka mürsu kaliiber on väike, siis selle mürsu löögist saadud keskkonna osakeste hoog on sedavõrd väike, et mürsu löögist tekkinud keskkonna põrutus on keskkonnale täiesti kahjutu. Seega iga keskkonnaliigi jaoks peab olema mürsu kohtamiskiiruse minimaalne piir, mille juures võiks veel saada keskkonna purustust. See mürsu kohtamiskiiruse minimaalne piir võib olla seda väiksem, mida suurem on mürsu kaliiber.

Mittelõhkeva granaadi teekond pinnases. Muldehitiste (varjendite, pinnase) tulistamisel on mürskude kohtamisnurgad tavaliselt väiksemad kui 90°. Seepärast mürsud kohtavad takistust mitte oma esiosa tipuga, vaid selle küljega (teravkaarse osaga) (joon. 40 A).



Joon. 40.

Keskkonna takistuse resultanttungi R rakenduspunkt, samuti kui õhutakistuse juures (vt. Suurtükiasjandus II osa lk. 167), ei asetse mitte mürsu inertsikeskmes, vaid sellest eespool (joon. 40 B) ja kallutab mürsu esiosa selle kohtamisküljele vastassuunas, s. o. ülespoole. Seepärast alates kohtamismomendist mürsu telg ei ühtu mürsu lendjoone puutujaga, vaid kaldub sellest ikka rohkem ja rohkem ülespoole. Samuti ka keskkonna takistuse resultanttungi vektor moodustab mürsu teljega nurga β. Tungidepaar R ja R_2 ühes mürsu süvenemisega pinnasesse suurendab nurka β, kuna tung R_1 aeglustab mürsu translatoorset liikumist (joon. 40).

b) Kõvade keskkondade takistus.

Meil puuduvad täpsed andmed selle kohta, kui suurel määral kõvad keskkonnad avaldavad takistust neis keskkondades liikuvatele kehadele. Ka õhutakistuse seadusi ei ole veel täies ulatuses suudetud katseliselt igakülgselt tõestada; kuid on võimalus igal lennumomendil määrata kindlaks õhus lendava keha kiirus ning ühtlasi ka vastav õhutakistus. Kõvades keskkondades liikuvate mürskude (kuulide) liikumiskiirust ei saa mõõta. Samuti ei saa pildistada neid nähtusi, mis tekivad kõvas keskkonnas, kui selles liigub kõva keha.

Katseliselt on kindlaks tehtud, et keskkondades, mis hoiavad alal temas liikuva keha jälje (näiteks savi), kerakujulise keha liikumise jälg (lehter) omab üldiselt tüvikoonuse kuju, mille läbimõõt väheneb keha liikumissuunas. Sellest nähtusest võib oletada, et kehaga ühes liikuvate keskkonna osakeste kiirus väheneb ühes keha liikumiskiirusega.

Kerakuulide lehtrite mõõtmine näitab, et lehtri osade mahud on võrdelised kuuli hoo kaotusega vastavas lehtriosas, s. o.

$$\frac{P}{2g} \cdot (V^2 - v^2) = \pi \int_0^x y^2 dx;$$

misjuures: P on keha kaal, V — keha kohtamiskiirus, v — keha kiirus keskkonnas (keha teekonna mingisuguses osas või selle lõpul), x — keha poolt keskkonnas käidud teekonna pikkus ja y — keha läbimõõt.

Kõvade keskkondade takistuse seaduste määramise otstarbel teostati Prantsusmaal 1834. ja 1835. aastatel suurema ulatusega katseid. Neil katselaskmistel mõõdeti mitmesuguse kaliibriga keramürskude ja kerakuulide sissetungimise ulatust mitmesugustesse kõvadesse keskkondadesse. Iga liiki keskkonda lasti üht ja sama liiki mürske, kuid isesuguste kohtamiskiirustega. Nende katsete tulemuste põhjal mitmed teadlased on koostanud kõvade keskkondade takistusseaduste avaldisi, milliseid toome allpool.

Kõva keskkonna takistusseaduse uurimisel võib leida palju ühist õhutakistusega. Mürsu lennul õhus tekivad õhutihenemised, hõõrumine ja õhukeerised. Mürsu sissetungimisel vedelasse või kõvva keskkonda tekivad samuti keskkonna osakeste tihenduslained. Kõvade ja vedelate keskkondade tihenduslainete kiirused, võrreldes õhutihenduslainetega on väga suured. Kõla kiirus õhus on 341 m/sek. (kui õhutemperatuur on 15° C), kõlakiirus vees on umbes 1440 m/sek. ja terases — umbes 5000 m/sek. Seesuguste põrutuslainete mõju on vahest võimalik tähele panna, kui lastakse vastu kivi või metallplokki ja nende vastaskülgedelt pudenevad lahti tükikesed.

Kõvade keskkondade takistusseaduste avaldiste koostamisel oletati, et keskkonna takistuse tungi üks osa, mille põhjustab keskkonna osakeste kohesioontung ja hõõrumine, ei olene keha liikumiskiirusest. Kuna keskkonna takistuse tungi teine osa, mille põhjustab mürsk, pannes liikuma ühes enesega keskkonna osakesi, oleneb mürsu liikumiskiirusest teises astmes.

Kõva keskkonna takistuse seadusi on väljendatud järgmiste rohkem tuntud avaldistega:

$$R = r^2 \cdot (a + bv^2) \cdot \pi, \quad \text{(Poncelet)};$$

$$R = r^2 \cdot \pi \cdot (av + bv^2), \quad \text{(Resal)};$$

misjuures on: v — keha muutuv liikumiskiirus keskkonnas,
πr^2 — keskonnas liikuva keha ristpind,
a ja b — tegurid, mis olenevad keskkonna liigist.

c) Mürskude (kuulide) sissetungimise sügavuse ja aja määramine.

Kui eespooltoodud oletusele, milledele olid rajatud kõvade keskkondade takistusseaduste avaldised, lisame veel juurde järgmised tingimused, et:

— keha liigub kõvas keskkonnas sirgjooneliselt,
— raskustungi mõju ei ole,
— keskkonna takistus on võrdeline keha ristlõike pinnaga,
— pikerguste, teravkaarse esiosaga mürskude takistuse määramisel tuleb võtta juurde veel mürsu kuju koefitsient i;

siis oleks Poncelet'i avaldise järgi keskkonna takistuse üldavaldis järgmine:

$$R = r^2 \cdot \pi \cdot i \cdot (a + bv^2) \ldots\ldots (1)$$

t sekundi möödumisel kohtamismomendist alates on mürsk sisse tunginud kõvasse keskkonda x meetri sügavusse; mürsu kohtamiskiirus on V, kuid lehtri mingisuguses punktis x on mürsu liikumiskiirus v. Kui $P : g$ on mürsu mass, siis:

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{P}{g} \frac{dv}{dx} \cdot v = \pi r^2 \cdot i \cdot (a + bv^2).$$

Inteegrides (kui $t = 0$, siis $x = 0$ ja $v = V$) on:

$$x = \frac{P}{2bg\pi r^2 i} \cdot ln \frac{a + bV^2}{a + bv^2} \ldots\ldots (2)$$

$$t = \frac{P}{\pi r^2 i \sqrt{abg}} \left\{ \text{arc tan} \left(V \sqrt{\frac{a}{b}} \right) - \right.$$

$$\left. - \text{arc tan} \left(v \sqrt{\frac{b}{a}} \right) \right\} \ldots\ldots (3).$$

Kui on tegemist x meetri paksuse keha läbistamisega, siis mürsu kiirust kehast väljalennul võib määrata võrrandi (2) abil ja aega t, mille vältel mürsk liikus kehas, võib määrata võrrandi (3) abil.

Kui mürsk ei suuda läbistada keha (keskkonda), siis teatud ajavahemiku T jooksul mürsk jääb peatuma mingisuguses sissetungisügavuses X ja sel juhul $v = O$.

Mürsu sissetungimise sügavuse üldvalem on:

$$X = \frac{P}{2bg\pi r^2 i} \ln\left(1 + \frac{b}{a} V^2\right) \ldots\ldots (4).$$

Mürsu sissetungimise kestuse üldvalem on:

$$T = \frac{P}{g\pi r^2 i \sqrt{ab}} \cdot \operatorname{arc\,tan}\left(V\sqrt{\frac{b}{a}}\right) \ldots\ldots (5).$$

Märkus: Toodud avaldistes tuleb kiirusi võtta meeter-sekundites, mürsu kaal kilogrammides ja mürsu ristlõike pinda ruutmeetrites.

Tegurite a ja b väärtused keramürskude jaoks ($i = 1$) on eespoolmainitud katselaskmiste põhjal arvutatud teadlaste Didion'i, Morin'i ja Piobert'i poolt 1839. ja 1840. aastatel järgmiselt:

Keskkonna iseloom	a	$\frac{10^6 b}{a}$
Lubjakivi	12 000 000	15
Hää kivimüür	5 520 000	15
Telliskivimüür	3 160 000	15
Ränikiviga segatud liiv	435 000	200
Savi poolekssegatud liivaga ja ränikiviga	1 045 000	35
Poolliivane ja poolsavine muldkate	461 000	60
Taimestikuga kaetud ja seisnud muldtäidis	700 000	60
Niiske savi	266 000	80
Tamme- ja saarepuu	2 085 000	20
Kuuse- ja kasepuu	1 160 000	20
Paplipuu	1 090 000	20

Pétry andis 1910. a. mürsu sissetungimise sügavuse määramiseks järgmise valemi:

$$X = \frac{P\ (\text{kg})}{[2r\ (\text{cm})]^2} \cdot \gamma \cdot f(V) \ldots\ldots (6)$$

kusjuures tegur γ oleneb keskkonna iseloomust ja mille väärtused on järgmised:

— kõva koosseisuga betooni jaoks 0,20
— nõrga koosseisuga betooni jaoks 0,41

— betoonmüüri jaoks 0,64
— tugeva telliskivimüüri jaoks 1,63
— tugeva kivimüüri jaoks 0,94
— liivase pinnase jaoks 2,94
— rohtunud maapinna jaoks 3,86
— savise mulla jaoks 5,87
— tammepuu jaoks 1,64
— kuuse- ja kasepuu jaoks 2,90

$f(V)$ on kohtamiskiiruse funktsioon, mille väärtusi on toodud alljärgnevas tabelis.

$V=$	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$f(V)=$	0,33	0,72	1,21	1,76	2,36	2,97	3,58	4,18	4,77
$V=$	220	240	260	280	300	320	340	360	380
$f(V)=$	5,34	5,89	6,41	6,92	7,40	7,87	8,31	8,74	9,15
$V=$	400	420	440	460	480	500			
$f(V)=$	9,54	9,92	10,29	10,64	10,98	11,30			

Pétry valemi $f(V) = \log\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{V^2}{10^4}\right) \cdot 10.$

Journée andis valemi šrapnelli tinakuuli sissetungimise sügavuse määramiseks männipuusse, mis on järgmine:

$$X = 0{,}000\,093 \cdot d \cdot V^2;$$

kus:

— d (cm) on kuuli läbimõõt,
— V (m/sek.) — kuuli kohtamiskiirus,
— X (cm) — kuuli sissetungisügavus.

Eeltoodud kõvade keskkondade takistusseadused põhjenevad tervel real oletusil. Samuti on tehtud katsed peamiselt kerakuulidega ja väikeste kohtamiskiiruste juures, seepärast ei või loota, et valemite (4) ja (6) abil saaks määrata täpsaid kuulide sissetungimise sügavuse väärtusi. Täpsatel arvestustel, kui võimalik, tuleb eelistada Poncelet'i takistusseaduse valemit:

$$R = r^2 \cdot a\,i \cdot \left(1 + \frac{b}{a} \cdot V^2\right).$$

Koefitsiente $a.i$ ja $b:a$ tuleb määrata kindlaks katseliselt. Selleks on vaja antud mürsu- ja keskkonnaliigi jaoks mõõta kuulide sissetungisügavusi X' ja X'' kahe isesuguse kohtamiskiiruse V' ja V'' juures. Siis valemi (4) põhjal saadud kahe võrrandi süsteem kahe tundmatuga $b.i$ ja $b:a$ võimaldab määrata täpsemaid a ja b väärtusi.

Näide 1. Määrata 152, 4-mm hariliku mürsu sissetungisügavus häässe kivimüüri, kui:
— mürsu kohtamiskiirus $V = 380$ m/sek.,
— mürsu kaal $R = 40$ kg,
— mürsu esiosa kuju koefitsient $i = 0{,}7$.

Lahendus Poncelet'i valemi:

$$X = \frac{P}{2 \cdot b \cdot g \cdot \pi \cdot r^2 \cdot i} \, ln\left(1 + \frac{b}{a} V^2\right)$$ järgi.

Koefitsientide a ja b tabeli järgi:

$$a = 552 \cdot 10^4; \quad 10^6 \frac{b}{a} = 15; \quad \frac{b}{a} = \frac{15}{10^6}; \quad b = \frac{15 \cdot a}{10^6} = \frac{15 \cdot 552 \cdot 10^4}{10^6} = 82{,}8;$$

log	$2 = 0{,}3010$	log	$40 = 1{,}6021$	$\frac{2166 \cdot 10^3}{10^6} = 2{,}166;$	
log	$82{,}8 = 1{,}9180$	log	$20{,}75 = 1{,}3169$	$ln\,(1 + 2{,}166) = 1{,}148$	
log	$9{,}81 = 0{,}9917$				
log	$3{,}14 = 0{,}4971$	log	$1{,}93 = 0{,}2852$		
2 log	$0{,}0762 = \bar{3}{,}7640$	log	$15 = 1{,}1761$	log	$1{,}93 = 0{,}2852$
log	$0{,}7 = \bar{1}{,}8451$	2 log	$380 = 5{,}1596$	log	$1{,}148 = 0{,}0607$
log	$20{,}75 = 1{,}3169$	log	$2166 \cdot 10^3 = 6{,}3357$	log	$2{,}218 = 0{,}3459$

$$X = \frac{40}{2 \cdot 82{,}8 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}0762)^2 \cdot 0{,}7} \cdot ln\left[1 + \frac{15 \cdot (380)^2}{10^6}\right] = 2{,}22 \text{ m}.$$

Seega Poncelet'i valemi järgi on mürsu sissetungisügavus võrdne ca 2 m.

Näide 2. Määrata 114 *i.* granaadi sissetungisügavus poolliivase ja poolsavise pinnasesse, kui $P = 16$ kg ja $V = 210$ m/sek.

Lahendus Pétry valemi $X = \frac{P\,(\text{kg})}{[2r\,(\text{cm})]^2} \cdot \gamma \cdot f(V)$ järgi:

$$\gamma = \frac{2{,}94 + 5{,}87}{2} = 4.4; \quad f(V) = 5;$$

log	$16 = 1{,}2041$	log	$352 = 2{,}5466$
log	$4{,}4 = 0{,}6435$	-2 log	$11{,}4 = 2{,}1138$
log	$5{,}0 = 0{,}6990$		
log	$352 = 2{,}5466$	log	$2{,}71 = 0{,}4328$

$$X = \frac{16}{(11{,}4)^2} \cdot 4{,}4 \cdot 5 = 2{,}71 \text{ m};$$

Seega mürsu sissetungisügavus on 2,7 m.

Näide 3. Määrata 152,4-mm granaadi sissetungisügavus tugevasse kivimüüri, kui $P = 40$ kg ja $V = 209$ m/sek., $i = 0{,}7$.

1) Lahendus Pétry valemi järgi:

$$\gamma = 0{,}94;\ f(V) = 5;\ X = \frac{40}{(15{,}24)^2} \cdot 0{,}94 \cdot 5 = 0{,}81 \text{ m}.$$

$\log\ 40 = 1{,}6021$	$\log\ 18{,}8 = 2{,}2742$
$\log\ 0{,}94 = \bar{1}{,}9731$	$-2 \log 15{,}24 = 2{,}3660$
$\log\ 5{,}0 = 0{,}6990$	
$\log\ 188 = 2{,}2742$	$\log\ 0{,}81 = \bar{1}{,}9082$

$$X \approx 0{,}8 \text{ m}.$$

2) Lahendus Poncelet'i valemi järgi:

$$a = 552 \cdot 10;\ 10^6 \frac{b}{a} = 15;\ \frac{b}{a} = \frac{15}{10^6};\ b = \frac{15a}{10^6} = \frac{15 \cdot 552 \cdot 10^4}{10^6} = 82{,}8;$$

$$X = \frac{40}{2 \cdot 82{,}8 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}0762)^2 \cdot 0{,}7} \cdot ln\left[1 + \frac{15 \cdot (209)^2}{10^6}\right] = 0{,}87.$$

$\log\ 2 = 0{,}3010$		$\log\ 40 = 1{,}6021$	$\frac{655100}{10^6} = 0{,}6551;$	
$\log\ 82{,}8 = 1{,}9180$		$-\log\ 20{,}75 = 1{,}3169$		
$\log\ 9{,}81 = 0{,}9917$		$\log\ 1{,}93 = 0{,}2852$	$ln(1 + 0{,}65) = 0{,}45$	
$\log\ 3{,}14 = 0{,}4971$				
$2 \log\ 0{,}0762 = \bar{3}{,}7640$		$\log\ 15 = 1{,}1761$	$\log\ 1{,}93 = 0{,}2852$	
$\log\ 0{,}7 = \bar{1}{,}8451$		$2 \log\ 209 = 4{,}6402$	$\log\ 0{,}45 = \bar{1}{,}6532$	
$\log\ 20.75 = 1{,}3169$		$\log\ 655100 = 5{,}8163$	$\log\ 0{,}87 = \bar{1}{,}9384$	

$$X \approx 0{,}9 \text{ m}.$$

d) Mürskude sissetung betoon- ja raudbetoonkihisse.

Tugevamate välikindluste ehitamiseks kasutatakse betooni ja raudbetooni. Betoon- ja raudbetoonkihi purustamiseks ja läbistamiseks harilikkude granaatide kann on nõrk, sest et betoon avaldab suurt vastupanu survele ja purunemisele ja evib kõva pinna, mis peab hästi vastu mürsu löögile. Betoonkihti purustav või läbistav mürsk oma konstruktsioonilt peab evima umbset ja võrdlemisi tugevat esiosa ning kannu seinte suuremat paksust, seejuures süütaja tuleb asetada mürsu põhja. Kõige selle tõttu peab vähenema teataval määral mürsu sisemine maht ning lõhkelaeng. Mürsu esiosa tuleb valmistada tugevasti karastatud terasest ning rikošettide ärahoidmiseks mürsu esiosa peab olema tömbim. Õhutakistuse mõju vähendamiseks tuleb aga asetada mürsu esiosa otsa pehmest metallist ballistiline otsmik.

Betoonkihti läbistava mürsu purustustööd võib jaotada kahte ossa:

— purustus, mis sünnitatud mürsu löögiga — löögitegevus,

— purustus, mis sünnitatud mürsu lõhkelaengu gaasidega (mürsu lõhkemisel) — fugasstegevus.

Esmalt vaatleme ainult mürsu löögitegevust, kuna fugasstegevust vaatleme edaspidi.

Mürsu löögitegevuse tulemuseks on mürsu sissetungimine betoonkihisse või selle läbistamine.

Mürsu löök avaldab survet betoonmassile, andes tema osakestele kiirenduse. Osa mürsu energiast kulub veel mitmesuguste kõrvalnähtuste tekkimiseks, nagu betoonmassi põrutused, soojuse tekkimine, mürsu deformatsioon jne. Mürsu sissetungimise algperioodil betoonmass puruneb mürsu kohtamispunkti ümbruses ning tekib koonusetaoline e e s l e h t e r. Eeslehtri sügavus oleneb mürsu ja betooni tugevusest ja mürsu kohtamiskiirusest.

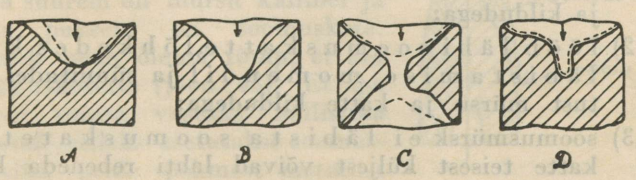
Kui mürsul jätkub energiat, siis pärast eeslehtri tekkimist mürsk hakkab süvenema betoonkihisse tehes selles s i l i n d r i k u j u l i s e a v a, mille läbimõõt on mürsu kaliibrist veidi suurem.

Kui mürsu sissetungimise sügavus on küllalt suur võrreldes betoonkihi paksusega, siis betoonkihi tagapoolsel pinnal tekivad praod või lapiti rebenevad pinnatükid.

Kui mürsk lööb läbi betoonkihi, siis selle kihi tagapoolses osas tekib koonusetaoline t a g a l e h t e r.

Ees- ja tagalehtri sügavused ja mürsu ava pikkus olenevad mürsu kohtamisenergiast, betoonkihi paksusest, betoonkihi omadustest ja selle kihi võretamise (võrega varustamise) viisist, mürsu liigist, kaliibrist ja kaalust.

Mürskude purustusjälje kujud betoonkihis on toodud joonisel 41.



Joon. 41.

Kolm vasakpoolset lehtrit (*A*, *B*, C) on tehtud ühe ja samakaliibrilise mürsuga, kuid järjest suurenevate kohtamiskiirustega, kuna viimane lehter (*D*) on tehtud vähemakaliibrilise mürsuga.

Mürsu sissetungi sügavuse määramiseks betoonkihisse on olemas mõningaid teoreetilisi ja katselisi valemeid, mis võimaldavad praktiliselt küllaldase täpsusega määrata sissetungi süvenemist.

Üks neist on meile juba tuntud Pétry valem.

e) Soomusgranaadi tegevus.

Kuni soomusjõudude ilmumiseni lahinguväljadele kasutati soomusmürske peamiselt laevade ja merekindluste suurtükiväes laevade soomuse purustamiseks. Praegusel ajal aga tuleb kasutada soomust läbistavaid mürske suures ulatuses ka välivägedes; tangitõrje- ja tangisuurtükivägi peab kasutama soomusmürske, mis suudaksid läbistada praegusaja lahingumasinate soomust, mille paksus ulatub 50—70 mm.

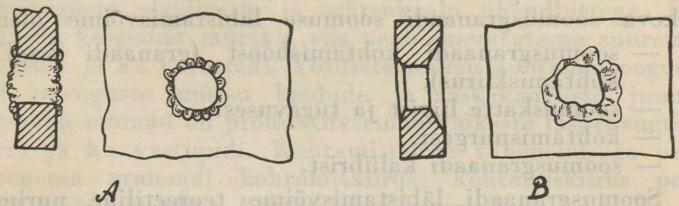
Soomusgranaadi otstarve on tervena läbistada soomust, mille taga lõhkedes sünnitada hävitust lõhkelaengu gaasidega ja kildudega. Selle tõttu soomusgranaat, eriti aga selle esiosa peab olema küllalt tugev selleks, et mitte puruneda löögi tõttu soomustatud pinna vastu. Soomusgranaadi tugevus saavutatakse:

— mürsu esiosa ja kannu seinte paksukstegemisega;
— hästi karastatud terase kasutamisega kannu materjalina;
— otsmiku asetamisega granaadi esiosa peale;
— süütaja asetusega mürsu põhja.

Soomusgranaadi tegevus, olenevalt ehitusest, hoost, soomuskatte tugevusest ja paksusest, võib olla järgmine:

1) l ö ö b l ä b i s o o m u s k a t t e ja l õ h k e b s e l l e t a g a, sünnitades hävitust lõhkelaengu gaasidega ja kildudega;
2) l ö ö b l ä b i s o o m u s k a t t e, l õ h k e d e s k a t t e l ä b i s t a m i s e m o m e n d i l ja sünnitades hävitust mürsu ja katte kildudega;
3) soomusmürsk e i l ä b i s t a s o o m u s k a t e t, kuid katte teisest küljest võivad lahti rebeneda killud, mis võivad sünnitada hävitust.

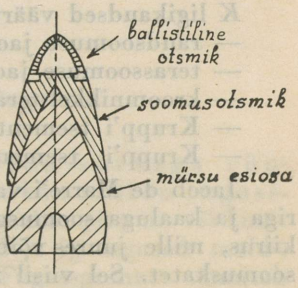
Tsementeerimata soomuskatte läbistamisel mürsu ava omab selle kaliibriga lähedase läbimõõduga ringi kuju. Seejuures mürsuga väljapressitud metall moodustab ava esi- ja tagaäärtel nn. „krooni" (joon. 42 A), sest soomuskilde tavalisest lahti ei rebene.



Joon. 42.

Tsementeeritud soomuskatte läbistamisel mürsk lööb ava materjali välja nagu korgi; ava äärte juures materjal puruneb ja rebeneb lahti suuremas ulatuses, kui seda on ava läbimõõt ja eeslehter on tavaliselt väiksem kui tagalehter. Seejuures avast rebenenud killud samuti ka mürsu kannu killud võivad sünnitada hävitust. Ava kuju ei ole alati korrapärane; mida suurema kõvadusega on soomuskatte materjal, seda suuremal määral esineb sarnane purustamisnähtus; mõnikord tekivad suured praod ja suurte tükkide lahtirebenemised ka väljaspool mürsu kohtamispunkti.

Soomusgranaadi otsmiku otstarve on kaitsta mürsu esiosa purunemise eest. Kui otsmik on purustanud soomuse välispinna, siis ta puruneb või jääb soomuskatte esipinnale. Otsmikud on vajalikud tsementeeritud soomuspindade läbistamiseks, kuna tsementeerimata soomuspindade läbistamiseks otsmikke ei ole vaja. Otsmik on seda kasulikum, mida suurem on mürsu kaliiber ja mida paksem on soomuskate. Otsmik peab olema tömp, et ära hoida rikošette (joon. 43). Et aga mürsu esiosa vastaks ballistika nõuetele, selleks asetatakse soomusotsmiku peale pehmest metallist ballistiline otsmik.



Joon. 43.

Soomusgranaadi täidisena tuleb kasutada äärmiselt tuima lõhkeainet, et see suudaks vastu panna suurtele põrutustele, mis sünnivad mürsu kohtamisel soomuspinnaga. Ka süütaja peab olema sellise konstruktsiooniga, mis ei karda suuri põrutusi.

Soomusgranaadi läbistamisvõime. Mittelõhkeva soomusgranaadi soomuse läbistamisvõime oleneb:

— soomusgranaadi kohtamishoost (granaadi kaal ja kohtamiskiirus),
— soomuskatte liigist ja tugevusest,
— kohtamisnurgast,
— soomusgranaadi kaliibrist.

Soomusgranaadi läbistamisvõime teoreetiline uurimine ei ole veel täielik, kuid on olemas rikkalik katseline materjal, mille põhjal on koostatud palju empiirilisi valemeid soomuse läbistamisvõime määramiseks.

Neist valemeist loetakse täpsemaks Jacob de Marre'i valem:

$$V = K \cdot \frac{d^{0,75} \cdot S^{0,7}}{P^{0,5} \cdot \sin a};$$

kus:

V — soomusgranaadi kohtamiskiirus (m/sek.),
d — soomusgranaadi kaliiber (detsimeetrites),
S — soomuse paksus (detsimeetrites),
P — mürsu kaal (kg),
a — kohtamisnurk,
K — arvtegur, mis oleneb soomuskatte liigist ja tugevusest.

K ligikaudsed väärtused on:
— raudsoomuse jaoks — 1500,
— terassoomuse jaoks — 1800,
— kroomnikkel-terassoomuse jaoks — 1900,
— Krupp'i tsementeerimata soomuse jaoks — 2150,
— Krupp'i tsementeeritud soomuse jaoks — 2550.

Jacob de Marre'i valemi abil võib määrata antud kaliibriga ja kaaluga soomusgranaadi jaoks minimaalne kohtamiskiirus, mille juures võib läbistada antud liiki ja paksusega soomuskatet. Sel viisil määratud minimaalne kohtamiskiirus võimaldab leida lasketabelist antud tulirelva ja granaadi

jaoks vastav maksimaalne laskekaugus, mille juures on veel läbistatav antud liiki ja paksusega soomuskate.

Jacob de Marre'i valem määrab olenevusi soomusgranaadi kohtamishoo, kaliibri ja läbistatava soomuskatte liigi ja paksuse vahel. Selle valemi abil on võimalus määrata antud tingimuste jaoks otstarbekohasemaid tulirelv ja mürsk mitmesuguste algkiiruste ja mürsukaalu ühendlustega. Kui kasutada kergemat mürsku, siis peab saavutatama suuremat algkiirust ja ka vastupidi. Võrdsete mürsu kohtamishoogude, kuid isesuguste mürsu kaalude ja laskekauguste juures, kergemad mürsud on produktiivsemad väikeste laskekauguste juures ja ka vastupidi. Kohtamisnurga vähenemisega peab suurenema granaadi kohtamiskiirus; kohtamiskiirus peab olema pöördvõrdeline kohtamisnurga sinus'ega.

Näide 1. Määrata maksimaalne laskekaugus, mille juures 37 mm soomusgranaat, mille kaal on 0,44 kg, võib läbistada 90° kohtamisnurga all tangi kroomnikkelteras-soomuse, mille paksus on 15 mm.
Koefitsient K väärtus kroomnikkelteras-soomuse jaoks on 1900.
Jacob de Marre'i valemi põhjal on näites toodud laketingimuste jaoks soomusgranaadi minimaalseks kohtamiskiiruseks:

$$V = 1900 \cdot \frac{0{,}37^{0{,}75} \cdot 0{,}15^{0{,}7}}{0{,}44^{0{,}5}} = 360 \text{ m/sek.}$$

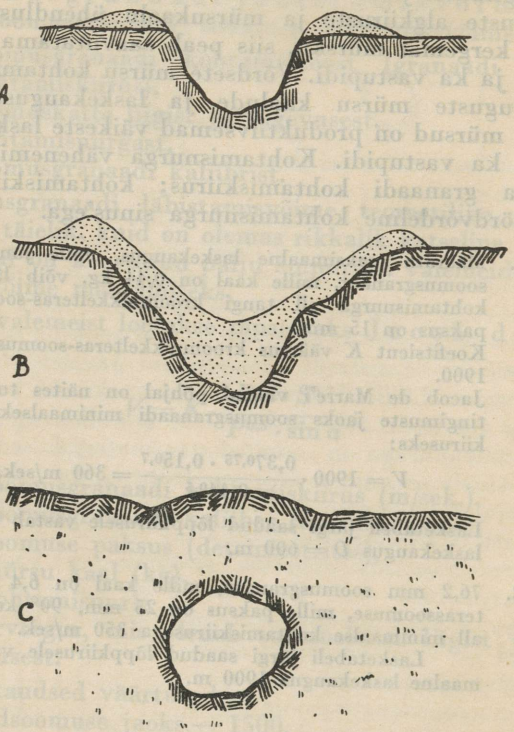
Lasketabeli järgi saadud lõppkiirusele vastab maksimaalne laskekaugus $D = 600$ m.

Näide 2. 76,2 mm soomusgranaat, mille kaal on 6,4 kg, läbistab terassoomuse, mille paksus on 25 mm, 90° kohtamisnurga all minimaalse kohtamiskiirusega 350 m/sek.
Lasketabeli järgi saadud lõppkiirusele vastab maksimaalne laskekaugus 1900 m.

3. Granaadi fugasstegevus.

Mürsu lõhkelaengu gaaside survega sünnitatud hävitustööd nimetatakse mürsu fugasstegevuseks. Fugassgranaate kasutatakse pinnase või kindlustatud ehitiste (kaevikud, varjendid ja igasugused muld-, kivi- ja puuehitised) purustamiseks. Fugassgranaat sünnitab hävitust ja purustust peamiselt lõhkelaengu plahvatusel tek-

kinud gaaside löögi jõuga. Fugassgranaadi kildude mõju on võrdlemisi väike ja teise järgu tähtsusega. Lõhkelaengu gaasid, omades detonatsioonimomendil suurt tungi, lahutavad keskkonna osakesi, sünnitades purustust ja hävitust oma lõhkemispunkti rajoonis.

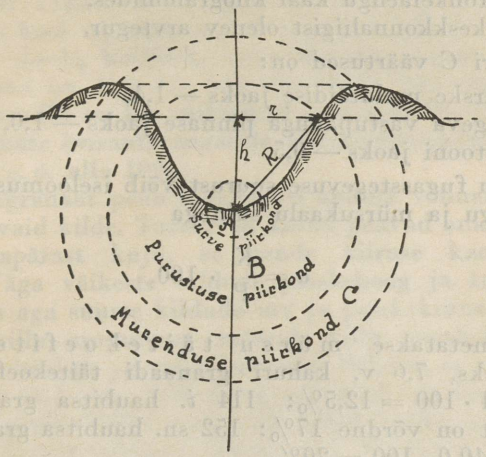


Joon. 44.

Kui fugassgranaat lõhkeb, olles tunginud maasse ühe või kahe mürsu pikkuse võrra, siis ta pillub üles mulda ja sünnitab lehtri (joon. 44 *A*). Ühes sellega ta pillub üles osa kilde, kuid suurem osa kilde jääb lehtrisse. Kui mürsk on tunginud maasse sügavamale (3—4 mürsu pikkuse võrra), tekib lõhkemisel suurem lehter ja osa väljapaisatud mullast kukub tagasi lehtrisse (joon. 44 *B*). Kui mürsk on tunginud

maasse tunduvamalt sügavamale, nii et lõhkelaengu gaasid ei suuda paisata üles mullakihti, mis asub lõhkemispunkti peal, siis tekib lõhkemispunktis tühi survepiirkond, mida nimetatakse t ü h e m i k s. Tühemi ümbruses pinnas on tugevasti kokku surutud umbes ühe meetri ulatuses, nii et hävitus võib tekkida ka allpool tühemi põhja (joon. 44 C).

Mürsu löögi- ja fugasstegevuse mõjul tekkinud lehtri ja purustuspiirkonna (joon. 45) kuju, maht ja sügavus ole-



Joon. 45.

nevad lõhkemispunkti sügavusest (mürsu sissetungi sügavusest), lõhkelaengu kaalust, lõhkeaine liigist ja keskkonna tugevusest.

Tugeva vastupanuga pinnases (lubjakivi, liiv) on lehtrite keskmised mõõted järgmised:

Mürsu kaliiber (m)	Lehtri		Märkusi
	(läbimõõt) (m)	sügavus (m)	
76	1,25 — 1,5	0,5 — 0,7	Savises pinnases on lehtri mõõted poolteist kuni kaks korda suuremad. Ülesküntud, kohedas pinnases on need mõõted kolm korda suuremad.
122	2,0 — 2,5	0,8 — 1,0	
152	3,0 — 3,5	1,2 — 1,5	
220	4,5	1,5	
370	6,0	2,2	

Lehtri mõõted on ligikaudu võrdelised lõhkelaengu kaalu kolmanda astme juurega. Lehtri mõõdete määramiseks võib kasutada valemit:

$$R \approx C \cdot \sqrt[3]{K};$$

kus:

R — purustuspiirkonna raadius meetrites,
K — lõhkelaengu kaal kilogrammides,
C — keskkonnaliigist olenev arvtegur.

Teguri C väärtused on:

— värske muldtäidise jaoks — 1,4,
— tugeva vastupanuga pinnase jaoks — 1,0,
— betooni jaoks — 0,5.

Mürsu fugasstegevuse suurust võib iseloomustada mürsu lõhkelaengu ja mürsukaalu suhtega

$$a = \frac{K}{P} \cdot 100,$$

mida nimetatakse mürsu täitekoefitsiendiks.

Näiteks, 7,6 v. kahuri granaadi täitekoefitsient $a = 0{,}8 : 6{,}4 \cdot 100 = 12{,}5\%$; 114 *i.* haubitsa granaadi täitekoefitsient on võrdne 17%; 152 sn. haubitsa granaadi jaoks $a = 8{,}0 : 40{,}0 \cdot 100 = 20\%$.

Haubitsate ja müüsrite mürskude kannude seinte paksus on 1 : 10 kuni 1 : 15 kaliibrit, mille tõttu nende täitekoefitsient võib olla 20 kuni 30%. Haubitsate ja müüsrite mürskude kannude seinad võivad olla õhemad, sest viskelaengu gaaside surve lasu ajal ei ületa 2000 atmosfääri.

Kahurite fugassgranaatide kannude seinte paksus peab olema suurem, s. o. alla 1 : 10 kaliibrit, sest et rohugaaside surve lasu ajal ületab 2000 atmosfääri. Seepärast kahurite mürskude täitekoefitsient on väiksem, s. o. 10—15%.

Näide 1. Määrata 76 v., 114 i. ja 152 sn. granaatide purustuspiirkonna raadiused tugeva pinnase jaoks.

$$R = (76\,v.) = 1{,}0 \cdot \sqrt[3]{0{,}8} = 0{,}9\ m;\quad R(114i.) = \sqrt[3]{2{,}66} =$$

$$= 1{,}4\ m;\quad R(152\ sn.) = \sqrt[3]{8{,}0} = 2\ m.$$

4. Granaadi brisanttegevus.

Brisantgranaadi otstarve on lõhkemisel saadud suure hulga turmavate kildudega hävitada lahtist elavjõudu, nõrgemaid relvi ja õhumärke. Järelikult, mida rohkem annab granaat turmavaid kilde ja mida suurem on kildude turmala, seda suurem peab olema granaadi brisanttegevus. Oma ehituselt brisantgranaat millegagi ei erine fugassgranaadist, kuid brisantgranaadi kannu seinad peavad olema paksemad ning lõhkelaengu kaal on väiksem. Brisantgranaadi kannu seinte paksus on $^1/_7$—$^1/_8$ kaliibrit, kuna fugassgranaatide kannude seinte paksus on $^1/_{10}$—$^1/_{15}$ kal. Seepärast brisantgranaatide täitekoefitsiendid on ka väiksemad ja nimelt 10—15%. Praegusaja uuemate brisantgranaatide täitekoefitsiendid on veelgi väiksemad, s. o. alla 10%.

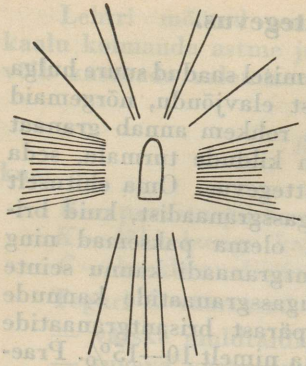
Brisantgranaat peab lõhkemisel andma võimalikult rohkem turmavaid kilde. Turmavad killud peavad omama kõigepealt korrapärast kuju, et nende kiiruse kaotus oleks väiksem. Väga väikeste kildude paiskehoog ja turmala on väike, kuna aga suurte kildude arv ja paiskekiirus on väike. Granaadi killu turmavust määrab killu paiskehoog, mis oleneb killu kaalust ja paiskekiirusest. Selleks, et rivist välja lüüa inimest või looma, killu hoog peab olema ca 10—20 kg-m. Praktikas loetakse killu turmavust küllaldaseks, kui ta võib läbistada 2,5 cm paksuse männilaua. Turmava killu kaal maapealsete märkide tulistamiseks peab olema mitte väiksem kui 5 g ja õhumärkide jaoks — 20 g.

Granaadi kildude arv, paiskekiirus ja kuju oleneb:

— lõhkelaengu liigist ja kaalust,
— mürsu kaliibrist,
— mürsu kannu materjalist,
— süütaja liigist.

T e r a s g r a n a a t annab lõhkemisel pikergusi, mitmesuguse suurusega, vahedate ja hambuliste äärtega kilde. Kuna kildude kuju on korrapäratu, siis nad kaotavad ruttu oma liikumishoo. Väiksemad killud lendavad mitte kaugemale kui mõnikümmend meetrit, kuna suuremad võivad lennata mõnesaja meetri kaugusele.

M a l m g r a n a a t annab lõhkemisel väikese arvu mitmesuguse suurusega kilde, kuna suurem osa metallist puruneb tolmuks. Kildude paiskumiskiirus ja turmala on väikesed.



Joon. 46.

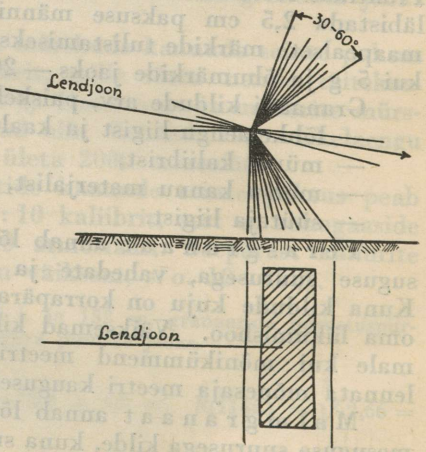
Terasmalmgranaat annab suurema hulga kilde, mis lõhkepunkti läheduses turmavad väga hästi ja tihedasti, kuid nende turmala ulatus on võrdlemisi väike.

76-mm granaat annab lõhkemisel ca 200 turmavat kildu, 114-mm gr.—400 ja 152-mm gr.—kuni 600 kildu.

Paigaloleva granaadi lõhkemisel õhus killud lendavad laiali mürsu kannu sisepinnaga perpendikulaarses suunas ja moodustavad:

— mürsu esiosa kildudevihu, mis koosneb mõnest võrdlemisi suurest ettepoole paiskuvast killust;
— mürsu külgseinte kildude-vihu, mis koosneb suurest arvust väikestest igale poole külgedele paiskuvatest kildudest;
— mürsu põhjaosa kildude-vihu, mis koosneb mõnest võrdlemisi suurest tahapoole paiskuvast killust (joon. 46.).

Õhus lendava granaadi lõhkemisel killud lendavad laiali samal viisil, kuid kildude algkiirusele, mis saadud lõhkelaengu gaaside survest, lisandub veel mürsu lõppkiirus (mis on alati mitu korda väiksem). Selle tõttu mürsu külgseinte kildude vihk kaldub veidi ettepoole (joon. 47). Õhus lõhkenud granaadi killud turmavad alla ja külgedele. Kildude turmavus oleneb õhingu joonvahest (õhingu horisontaalkaugusest märgini) ja õhingu kõrgusest. Madala õhingu



Joon. 47.

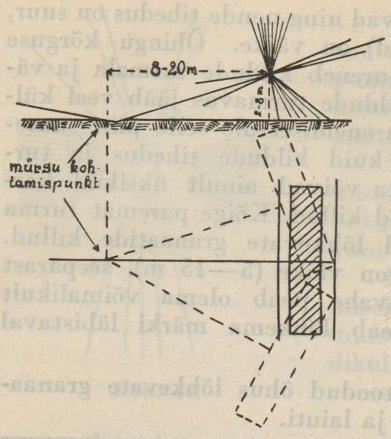
korral enamik kilde on turmavad ning nende tihedus on suur, kuid turmav pindala (piirkond) on väike. Õhingu kõrguse suurenemisel teatud piirini suureneb kildude turmala ja väheneb nende tihedus, kuid kildude turmavus jääb veel küllaldaseks. Õhingu kõrguse suurenemisel üle selle piiri suureneb veelgi kildude turmala, kuid kildude tihedus ja turmavus väheneb ning turmata võivad ainult üksikud korrapärase kujuga ning raskemad killud. Kõige paremat turma annavad 10—20 m kõrgusel lõhkevate granaatide killud. Kildude turmala sügavuses on väike (5—15 m), seepärast õhus lõhkeva granaadi joonvahe peab olema võimalikult lähedane nulliga (granaat peab lõhkema märki läbistaval vertikaaljoonel).

Alljärgnevas tabelis on toodud õhus lõhkevate granaatide turmala suurus sügavuti ja laiuti.

Mürsu kaliiber ja liik	Hästi turmatav piirkond		Suurte kildude turmpiirkond
	sügavuti	laiuti	
	m	m	
75 p. terasgranaat . . .	5	15	150
76 v. „ . . .	5	10	150
105 p. „ . . .	6	45	300
120 p. „ . . .	8	50	300
120 p. terasmalmgranaat	9	45	100
122 v. terasgranaat . . .	8	40	300
152 v. „ . . .	10	50	500
155 p. „ . . .	12	70	500
155 p. terasmalmgranaat	15	70	200

Rikošeteerunud granaadi lõhkemise kaugus kohtamispunktist on umbes 8—20 m ja õhingu kõrgus umbes 2—8 m (joon. 48). Granaadi turmala ja turmvõime on umbes samasugused kui õhinglaskmisel. Et rikošeteerunud granaadi lõhkemine sünnib lendjoone tõusval harul, mille suund tihtipeale kaldub kõrvale mürsu lendjoone suunast, selle tõttu granaadi põhjaosa killud on turmavad; kannu külgseinte kildude vihu suunad on mitmesugused ja seepärast turmala suureneb.

Et granaat lõhkeks maapinnal, tuleb kasutada hetksüütajat. Mida suurem on kohtamisnurk, seda suurem on granaadi kildude turmamisvõime; seepärast hetksüütajaga lask-



Joon. 48.

misel tuleb kasutada võimalikult väiksemat laengut. Suure kohtamisnurga juures granaadi külgseinte kildude vihk kogu ulatuses ümberringi on turmav (joon. 49).

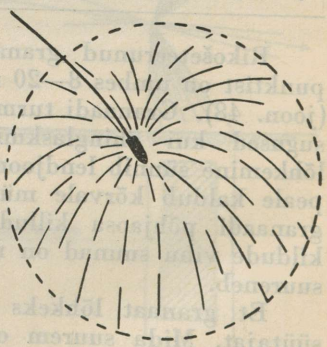
Hetksüütajaga (normaalsüütajaga) granaadi külgturmavus kummalegi poole lõhkepunktist on:

— kergekahuri granaadil à 10—20 m (40 m),
— kergehaubitsa ja raskekahuri granaadil à 30—40 m (60),
— raksehaubitsa granaadil à 60 — 70 m (100 m).

Sügavuti turmavus on:

— kerge- ja raskekahuri ja kergehaubitsa granaadil 10—30 m,
— raskehaubitsa granaadil 35 — 50 m.

Granaadi lõhkemisel tekkinud kildude arv oleneb peamiselt täitekoefitsiendist, lõhkelaengu omadusist ja kannu metalli omadusist. Et saada suurima arvu turmavaid kilde, selleks peab olema mürsu- ja lõhkelaengu kaalude vahel õige olenevus. Kui mürsu kannu seinte paksus on suur ja lõhkelaengu kaal on väike, siis tekib lõhkemisel väike arv suuri kilde ja vastupidi — kui mürsu kannu seinad on õhukesed ja lõhkelaengu kaal on suur, siis tekkib lõhkemsel suur arv väikesi kilde. Et saada kasuliku suurusega ja suurem arv kilde, tuleb katseliselt määrata mürsu kannu ja lõhkelaengu vastav suhe.



Joon. 49.

Kildude arvu määramiseks Justrov andis järgmise empiirilise valemi:

$$N = \frac{a \cdot K}{2r \frac{R \cdot l}{u} \cdot \frac{x^2 - 1}{x^2 + 0{,}5}};$$

kus:

N — kildude arv,
R — kannu metalli ajutine vastupanu lõhketungile (kg/mm^2),
u — metalli elastsuse piir (kg/mm^2),
l — metalli venivus lõhkemisel (%%),
a — lõhkeaine purustusjõu arvtegur,
K — lõhkelaengu kaal (g),
$2r$ — mürsu kaliiber (mm),
x — mürsu kannu seinte paksuse arvtegur.

Koefitsient a evib järgmisi väärtusi:

— trotüüli jaoks — 46,
— amatooli „ — 40,
— meliniidi „ — 50,
— mustrohu „ — 3.

Koefitsient x evib järgmisi väärtusi:

— soomusmürskude jaoks 2,60,
— 7% täitekoefitsiendiga mürskude jaoks 1,80,
— fugassgranaatide jaoks (täitekoef. = 20%) . . . 1,40,
— fugassmiinide jaoks (täitekoef. = 30%) . . . . 1,15.

Kui tähistada Justrovi valemi suurusi, mis olenevad mürsu kujust ja mõõtudest, avaldisega:

$$M = 2r \cdot \frac{x^2 - 1}{x^2 + 0{,}5},$$

siis oleks ühe ja sama mõõtudega, kuid isesugusest metallist tehtud, granaatide kildude arvu avaldiseks:

$$N \approx \frac{a \cdot K}{M \frac{Rl}{u}} = \frac{a \cdot K}{M} \cdot \frac{u}{R \cdot l};$$

Seega kildude arv on võrdeline suurusega u, lõhkeaine kaaluga ja lõhkeaine purustusjõuga ehk teiste sõnadega — vastkirjutatud olenevus iseloomustab kannu metalli mehaaniliste omaduste mõju kildude arvule.

Alljärgnev tabel annab ülaltoodud Justrovi valemi elementide väärtusi praktiliselt tähtsamate metallide jaoks.

Metalli nimetus	u	R	l	$\frac{u}{R \cdot l}$
Harilik teras	50	80	8	0,078
Sama teras pärast termilist ümbertöötamist	80	100	6	0,133
Terasmalm	22	19	2	0,6

Eeltoodud andmeist on näha, et terasgranaadi kildude arvu võib suurendada, kui kann ümber töötada termiliselt, eesmärgiga suurendada elemendi $u: Rl$ väärtust.

Terasmalmist kannud purunevad kergesti ja annavad palju kilde. Kuid selle juures peab olema väiksem lõhkelaeng, et killud ei jääks üsna väikseks. Justrovi valemist on näha, et kildude arv suureneb võrdeliselt lõhkelaengu kaaluga. Tuleb veel märkida, et iga brisantgranaat omab lõhkemisel ühtlasi ka fugassmõju, mis on mõnel juhul kasulik.

Näide 1. Määrata 76-mm terasgranaadi kildude arv, kui granaat on laetud trotüüliga.

Lahendus: Granaadi täitekoefitsient on 12%, seepärast $x = 1{,}6$;

$$M \approx 2r \cdot \frac{x^2 - 1}{x^2 + 0{,}5} = \frac{(1{,}6)^2 - 1}{(1{,}6)^2 + 0{,}5} \cdot 76 = 38{,}8\ ;$$

$$N \approx \frac{a \cdot K}{M} \cdot \frac{R \cdot l}{u} = \frac{46 \cdot 800}{38{,}8} \cdot 0{,}078 = 74 \text{ kildu.}$$

Näide 2. Määrata 76-mm terasmalmgranaadi kildude arv, kui granaat on laetud trotüüliga.

Selle küsimuse lahendusel jäävad kõik elemendid endisteks, *v. a.* element $u: R \cdot l$, mis võrdub 0,6;

$$N \approx \frac{46 \cdot 800}{38{,}8} \cdot 0{,}6 = 570 \text{ kildu.}$$

Tuleb muidugi silmas pidada seda, et Justrovi valem, nagu iga muu empiiriline valem annab ainult ligikaudseid arve mürsu kildude hulga suhtes.

VI peatükk.

ŠRAPNELLI TEGEVUS.

1. Üldmõisteid.

Šrapnelliks nimetatakse mürsku, mille kann on täidetud tavaliselt seatinast kerakuulidega ja mustrohust tõukelaenguga ja mis on varustatud lendsüütajaga. Šrapnelle täidetakse ka metallvarrastega kas üksikult või paari kaupa ühendatult. Vaatleme siin šrapnellide tegevust, mis on täidetud kerakuulidega ja nimetame neid mürske harilikkudeks šrapnellideks.

Šrapnelli kasutatakse tavaliselt lahtiste elavjõudude hävitamiseks ja õhumärkide tulistamiseks õhinglaskmisega. Mõnikord võib kasutada šrapnelle ka lööklaskmisega (rikošettide saamiseks või muul otstarbel). Šrapnelli lõhkemisel õhus tõukelaengu gaaside surve mõjul tinakuulid lendavad välja kannust ja sünnitavad hävitust oma löögihooga. Järelikult, mida suuremal arvul šrapnell kannab eneses kuule ja mida suurem on kuulide paiskehoog lõhkemisel, seda suurem on šrapnelli turmavus. Šrapnelle kasutatakse kergete ja keskmiste (meil raskete) välisuurtükkide juures.

2. Šrapnelli tegevus lõhkemisel õhus.

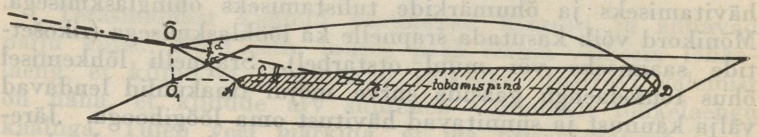
a) Šrapnelli tegevuse üldine iseloomustus.

Lendsüütaja tegevuse mõjul süütajas tekkinud leek kandub kesktoru kaudu tõukelaengu juurde ning süütab selle. Tõukelaengu plahvatusel tekkinud gaaside surve tõukab vaheseina ning kesktoru kannust välja ja ühes kesktoruga lükatakse välja lendsüütaja ühes kannu pussiga. Vahesein omakorda tõukab kannust välja kerakuulid, andes juurde veel lisakiirust kerakuulide translatoorsele ja pöörlemiskiirustele, mille nad omasid lõhkemismomendil. Šrapnelli kuulide translatoorne ja pöörlemiskiirus on võrdsed šrapnelli samade kiirustega lõhkemismomendil, kuna kuulide lisakiirus oleneb tõukelaengu ja kuulide kaalust. See kiirus on võrdeline tõukelaengu kaaluga ja pöördvõimeline kuulide kaaluga. Lõhke-

misel (keskmiselt 7 juhul kümnest) šrapnelli kann jääb terveks. Kui kann jääb lõhkemisel terveks, siis on kuulide lisakiirus 75 mm prantsuse šrapnellil — 100 m/sek. ja 76 v. šrapnellil — 77 m/sek. Juhul, kui šrapnelli kann puruneb, siis kuulide lisakiirus väheneb umbes 10% võrra.

Nõutakse, et turmava kuuli löögijõud oleks nii suur, et ta suudaks rivist välja lüüa talveriietuses inimese ja veoloома. Meil loetakse turmavateks kõik need kuulid, mis läbistavad 2,5 cm paksuse männilaua ja pooled neist kuulidest, mis jäävad peatuma selle laua sees.

Šrapnelli lõhkemisel selle kannust väljapaiskunud kuulid oma lendjoontega moodustavad koonusetaolise p a i s k e v i h u, mille läbimõõt ja pikkus (sügavus) olenevad šrapnelli



Joon. 50.

lendjoone lõpposa kallakust, kuulide p a i s k e n u r g a s t (nurgast 2α, mille moodustavad kuulide paiskevihu äärmiste vastasolevate kuulide lennusuunad) ja kuulide p a i s k e h o o s t. Šrapnelli kuulide tabamispind tasapinnal, mis on risti šrapnelli teljega lõhkemismomendil, kujutab endast ringi. Kuulide tabamispind horisontaaltasapinnal (maapinnal) evib ellipsisarnase kuju (joon. 50).

Kokkuvõttes šrapnelli tegevust ning turmavust iseloomustavad:

— kuulide paiskekiirus ning löögihoog,
— kuulide paiskenurk,
— kuulide turmala.

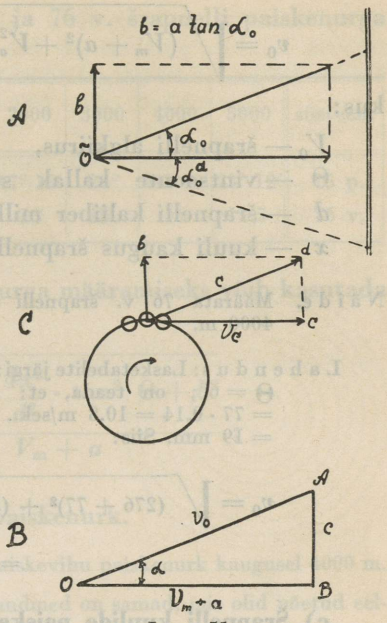
b) Šrapnelli kuulide paiskekiirus (joon. 51 ja 52).

Šrapnelli kuuli paiskekiiruseks nimetatakse kuuli kiirust šrapnelli lõhkemise momendil. Kuuli paiskekiirus v_0 koosneb šrapnelli lõppkiirusest lõhkemispunktis ja šrapnelli lõhkemisel

tõukelaengu gaaside mõjul saadud lisakiirusest. Kuuli lisakiirus koosneb kahest ristisuundadega kiirusest (joon. 51 A) s. o. teljeline kiirus (*a*) ja radiaalne kiirus (*b*). Suurema radiaalse kiiruse evivad paiskevihu äärmised kuulid. Radiaalse kiiruse suurust iseloomustab avaldis:

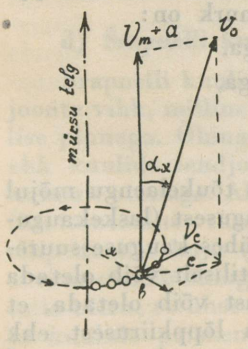
$$b = a \tan \alpha_0,$$

kus α_0 on kuuli paiskesuuna ja lõhkeva šrapnelli telje vaheline nurk, kui šrapnell lõhkeb paigal olles. Suurused a ja α_0 määratakse katseliselt.



Joon. 51.

Šrapnelli kuuli translatoorne kiirus enne lõhkemismomenti (šrapnelli lõppkiirus) V_m ja kuuli teljeline lisakiirus a liituvad üheks kuuli translatoorseks paiskekiiruseks $V_m + a$, mille suunaks on lõhkeva šrapnelli teljele paralleelne suund. Šrapnelli kuuli pöörlemiskiirus enne lõhkemismomenti (šrapnelli pöörlemiskiirus lõhkemismomendil) V_c ja kuuli radiaalne lisakiirus b, olles teineteisega ristisuunas, liituvad resultantkiiruseks



Joon. 52.

$$c = \sqrt{V_c^2 + b^2},$$

mille suund on risti šrapnelli teljega lõhkemismomendil.

Šrapnelli kuuli paiskekiiruse määramiseks võib kasutada valemit:

$$v_0 = \sqrt{(V_m + a)^2 + V_o^2 \cdot \frac{4x^2}{d^2} \cdot \tan^2 \Theta + b^2};$$

kus:

V_0 — šrapnelli algkiirus,
Θ — vintsoonte kallak suurtükiraua suudme juures,
d — šrapnelli kaliiber millimeetrites,
x — kuuli kaugus šrapnelli teljest millimeetrites.

Näide. Määrata 76 v. šrapnelli kuulide paiskekiirus laskekaugusel 4000 m.

Lahendus: Lasketabelite järgi: $V_0 = 588$ m/sek., $V_m = 276$ m/sek., $\Theta = 6°$; on teada, et: $a = 77$ m/sek., $b = 77 \cdot \tan 8° = 77 \cdot 0{,}14 = 10{,}8$ m/sek., $x = 25$ ja 12,5 mm, x (keskm.) = 19 mm. Siis:

$$v_0 = \sqrt{(276 + 77)^2 + (588)^2 \cdot \frac{4 \cdot (19)^2}{(76{,}2)^2} \cdot \tan 6^0 + (10{,}8)^2} =$$

$$= 366 \text{ m/sek.}$$

c) Šrapnelli kuulide paiskenurk (joon. 51 ja 52).

Šrapnelli kuulide paiskenurgaks nimetatakse nurka, mille moodustavad äärmiste kuulide lendjooned paiskevihu tipus (šrapnelli lõhkemispunktis). Paiskenurk määratakse kindlaks katselaskmisega. Eespooltoodud seletustest ja joonistest on näha, et paiskenurk oleneb mürsu pöörlemiskiirusest, lõppkiirusest ja lisakiirusest a ja b. Paiskenurk on:

— võrdeline mürsu pöörlemiskiirusega,
— pöördvõrdeline mürsu lõppkiirusega,
— pöördvõrdeline lisakiirusega a,
— võrdeline lisakiirusega b.

Ühe ja sama suurtüki ja mürsu jaoks tõukelaengu mõjul saadud kiirused a ja b ei olene õhingukaugusest (laskekaugusest). Samuti ka pöörlemiskiirus väheneb ühes kauguse suurenemisega võrdlemisi vähesel määral (praktiliselt võib oletada mürsu pöörlemiskiirust jäävana). Seepärast võib oletada, et kuulide paiskenurk oleneb ainult mürsu lõppkiirusest ehk laskekaugusest.

Allpool on toodud 75 p. ja 76 v. šrapnelli paiskenurga suurused.

Õhingukaugus (m) . . .	1000	2000	3000	4000	5000	süsteem
Kuulide paiskenurk	—	17° 15′	20°	21° 40′	23° 12′	75 p.
(kraadides)	11	13	15	16	17,5	76 v.

Šrapnelli kuulide paiskenurga määramiseks võib kasutada järgmist valemit:

$$\tan \alpha = \frac{\sqrt{V_0^2 \cdot \frac{4x^2}{d^2} \cdot \tan^2 \Theta + b^2}}{V_m + a};$$

kus:

2α on paiskenurk.

Näide. Määrata 76 *v.* šrapnelli paiskevihu paiskenurk kaugusel 4000 m.

Lahendus: Lasketabelite andmed on samad, mis olid võetud eelmises näites, $x = 25$ mm.

$$\log \tan \alpha = \frac{\sqrt{(588)^2 \cdot \frac{4 \cdot (25)^2}{(76{,}2)^2} \cdot \tan 6° + (10{,}8)^2}}{276 + 77} = \overline{1}{,}0650;$$

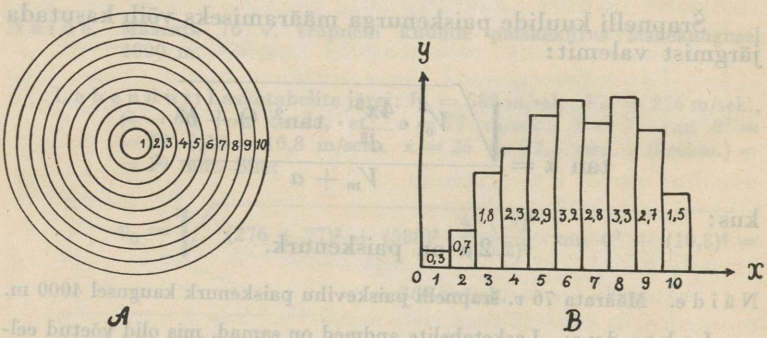
$$\alpha = 6° 38′; \quad 2\alpha = 13° 16′.$$

d) Šrapnelli kuulide turmala.

Šrapnelli kuulide tabamisruumi moodustab kuulide lendjoonte vihk, milline on piiratud õhingupunkti läheduses koonilise pinnaga. Õhingupunktist kaugemal kuulide tabamisruum ehk kuulide lendjoonte vihk on piiratud ülalt ja külgedelt kumera pinnaga. Alt piirab kuulide lendjoonte vihku maapind (horisontaalne tasapind), kus kuulide tabamispind omab ellipsitaolise kuju (joon. 50). Šrapnelli kuulide tabamispinna suurus oleneb õhingu kõrgusest ja õhingu kaugusest; viimasest selle tõttu, et ühes õhingu kaugusega muutuvad ka langenurk ja kuulide paiskenurk. Šrapnelli kuulide tabamisruum ning tabamispind on seda suurem, mida suurem on õhingu kõrgus,

mida väiksem on langenurk ehk õhingu kaugus ja mida suurem on kuulide paiskenurk. Keskmistel kaugustel ja soodsetel õhingukõrgustel on kergekahuri šrapnelli kuulide horisontaalse tabamispinna pikkus ca — 200 m ja laius ca — 40 m. Turmala mõõted on vähemad.

Šrapnelli kuulide tabamuste asetuse tihedus tabamispinnal ei ole ühtlane ja oleneb kuulide asetusest šrapnelli kesktoru ümber ja tabamuste kaugusest õhingupunktist. 76 v. šrapnelli kuulid on asetatud kesktoru ümber kahe kontsentri-

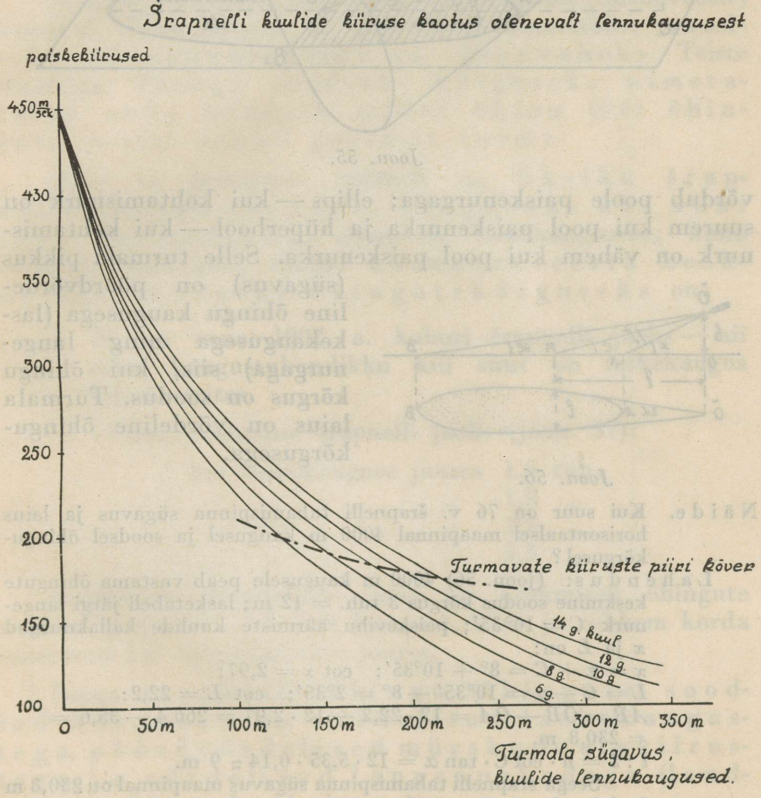


Joon. 53.

lise kihina. Sisemises (kesktorule lähemas) kihis on 75 kuuli, kuulide kaugus mürsu teljest on 12,5 mm; välises (kesktorult kaugemas) kihis on 185 kuuli, kuulide kaugus mürsu teljest on 25 mm. Kui jaotada mürsu teljega perpendikulaarsel tasapinnal oleva ringikujulise šrapnelli kuulide tabamispinna kontsentriliste ringjoontega kümneks võrdse laiusega rõngaskihiks ja lugeda ära iga kihi tabamused ning ka jagada iga kihi tabamused vastava kihi pinnaga, võttes pinnaühikuks sisemise ringi pinda, siis on tabamustihedused nii, nagu näidatud joonisel 53. *X*-telge mööda on märgitud kaugused tabamisringi keskkohast *O*, kusjuures iga jaotis võrdub kihtide laiusega. Y-telge mööda ja sellega paralleelsete ordinaatjoonte mööda on märgitud vastava ringi tabamistihedus. Tabamisringi keskkohal kuulide tabamistihedus on väikseim, s. o. kõigest 0,3; suurimad kuulide tabamistihedused on kuuendas ja kaheksandas ringis. Kuuenda ringi tabamistiheduse annavad šrapnelli sisemise kihi kuulid, kaheksanda ringi tabamistiheduse annavad välimise kihi kuulid.

Turmava šrapnellikuuli hoo keskmiseks väärtuseks loetakse 15 kg/m (10 kuni 20); see hoog vastab 12 g kaaluga kuuli kiirusele 180 m/sek. Prantslaste andmete põhjal sellise hooga kuul läbistab 4 cm paksuse paplipuust laua.

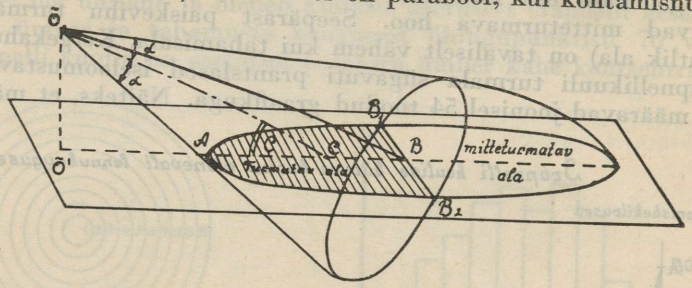
Šrapnellikuuli kiiruse või hoo kaotus paiskevihus lennates on võrdlemisi suur. Osa kuulidest jõuab maapinnani turmava hooga, kuid osa kuulidest jõudes maapinnani või märgini evivad mitteturmava hoo. Seepärast paiskevihu turmala (ohtlik ala) on tavaliselt vähem kui tabamisala. Kergekahuri šrapnellikuuli turmala sügavuti prantslased iseloomustavad ja määravad joonisel 54 toodud graafikuga. Näiteks, et mää-



Joon. 54.

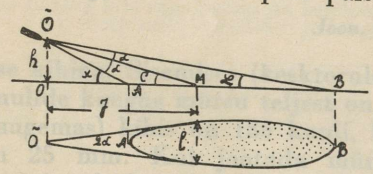
rata 12 g kaaluga ja 350 m/sek. paiskekiirusega šrapnellikuuli turmala sügavus, tuleb graafikul leida vastava kaaluga kuuli kõveral 180 ja 350 ordinaatidele vastavad abstsissid; need on 190 ja 50. Seega määratav turmala sügavus 190 — — 50 = 140 m.

Paiskevihu turmala maapinnal on piiratud kõveraga $B_1 A B_2$ (joon. 55). See kõver on parabool, kui kohtamisnurk



Joon. 55.

võrdub poole paiskenurgaga; ellips — kui kohtamisnurk on suurem kui pool paiskenurka ja hüperbool — kui kohtamisnurk on vähem kui pool paiskenurka. Selle turmala pikkus (sügavus) on pöördvõrdeline õhingu kaugusega (laskekaugusega ning langenurgaga) siis, kui õhingu kõrgus on soodus. Turmala laius on võrdeline õhingukõrgusega.



Joon. 56.

Näide. Kui suur on 76 v. šrapnelli tabamispinna sügavus ja laius horisontaalsel maapinnal 4000 m kaugusel ja soodsel õhingukõrgusel?

Lahendus: (joon. 56) 4000 m kaugusele peab vastama õhingute keskmine soodus kõrgus 3 tuh. = 12 m; lasketabeli järgi langenurk $C = 10°35'$; paiskevihu äärmiste kuulide kallaknurgad x ja L on:

$x = \alpha + C = 8° + 10°35'$; $\cot x = 2{,}97$;

$L = C - \alpha = 10°35' - 8° = 2°35'$; $\cot L = 22{,}2$;

$AB = \tilde{O}B - \tilde{O}A = 12 \cdot 22{,}2 - 12 \cdot 2{,}97 = 266{,}4 - 35{,}6 = 230{,}8$ m.

$l : 2 = h \cdot \cot C \cdot \tan \alpha = 12 \cdot 5{,}35 \cdot 0{,}14 \approx 9$ m.

Seega šrapnelli tabamispinna sügavus maapinnal on 230,8 m ja laius $l = 2 \cdot 9 = 18$ m.

e) Šrapnelli õhingukõrgus ja -joonvahe.

Kui õhingukõrgus alates nullkõrgusest suureneb pidevalt, siis ühes sellega muutub ka pidevalt šrapnelli paiskevihu turmavus ja turmala. Kui šrapnellikuulide tabamisruum ja tabamispinnad pidevalt suurenevad, siis peab ka suurenema kuulide turmala; kuid kui samal ajal kuulide tihedus ja hoog pidevalt vähenevad, siis peab ka vähenema kuulide turmavus. Seega kuulide paiskevihu turmala (turmavust) tuleb vaadelda kui pidevalt muutuvat suurust ehk funktsiooni, mille argumendiks on õhingukõrgus.

Kuulide paiskevihu maksimaalsele turmalale (turmavusele) vastavat õhingukõrgust ja -joonvahet nimetatakse soodseks õhingukõrguseks ja -joonvaheks. Teiste sõnadega, õhingu soodseks kõrguseks nimetatakse seda kõrgust, millel õhing (või õhinguteseeria) annab parimat turma.

Vene ja prantsuse andmeil on üksiku šrapnelli õhingu soodseks kõrguseks üks kuni kaks tuhandikku, olenevalt laskekaugusest; kuna samadel tingimustel tehtud õhinguteseeria keskmiseks soodseks õhingutekõrguseks on:

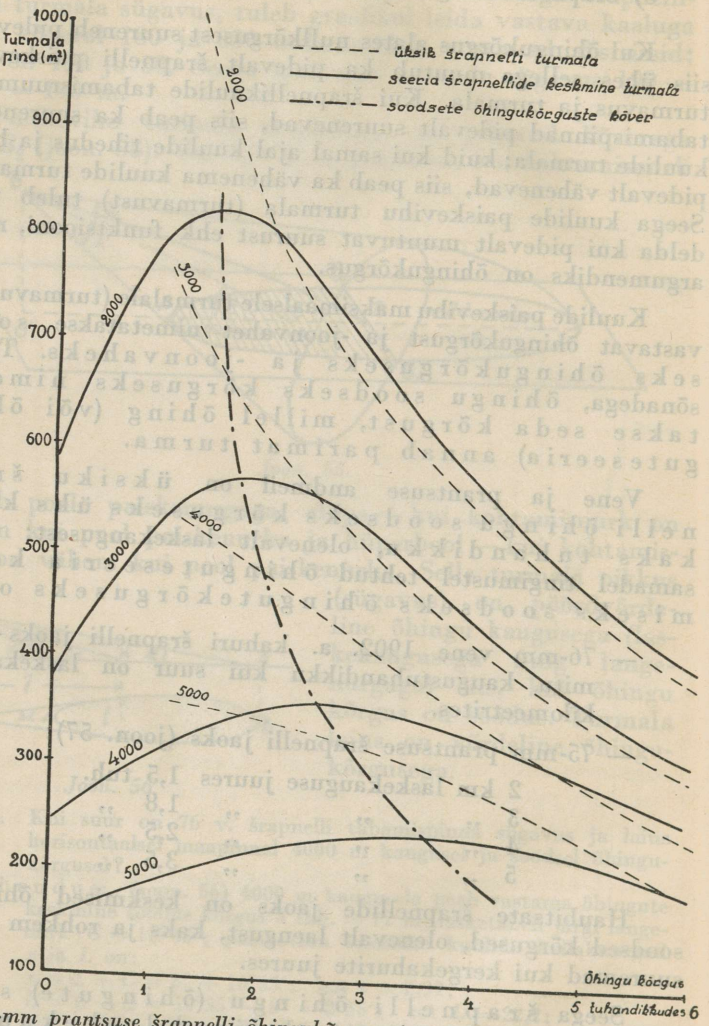
— 76-mm vene 1902. a. kahuri šrapnelli jaoks — nii mitu kaugustuhandikku kui suur on laskekaugus kilomeetrites.

— 75-mm prantsuse šrapnelli jaoks (joon. 57):

2	km	laskekauguse	juures	1,5 tuh.
3	„	„	„	1,8 „
4	„	„	„	2,5 „
5	„	„	„	3,5 „

Haubitsate šrapnellide jaoks on keskmised õhingute soodsed kõrgused, olenevalt laengust, kaks ja rohkem korda suuremad kui kergekahurite juures.

Seega šrapnelli õhingu (õhingute) soodsed kõrgused on võrdelised laskekaugustega, pöördvõrdelised mürskude algkiirustega ja võrdelised langenurkadega (lendjoonte lõpu kallakuga).



75-mm prantsuse šrapnelli õhingukõrguse ja turmala olenevuse graafika.

Joon. 57.

Näide 1. Kui suur on 76 v. šrapnelli õhingu joonvahe, kui õhingukaugus on 2000 m ja õhingukõrgus on 5 m ja lendjoon kohtab maapinda 50 m märgi taga?

Lahendus: Lasketabeli järgi langenurk $C = 3°15'$; õhingu joonvahe $J = 5 \cdot \cot 3°15' - 50\ m = 5 \cdot 17{,}6 - 50 = 38{,}1$ m.

Näide 2. Määrata 76 v. kahuri šrapnelli jaoks õhingute keskmised joonvahed kaugustel 1, 2, 3, 4, 5 km, kui keskmine lendjoon läbistab märgi ja õhingute keskmiseks soodseks kõrguseks on laskekauguse kilomeetrite arv tuhandikke.

Lahendus: Õhingukõrguse ja -joonvahe suhe $= H : J = \tan C = Tk\tilde{o} : Tp\tilde{o}$. Seepärast $J = H : \tan C$.

Lasketabelitest võetud ja lahendusega saadud andmed koondame alljärgnevasse tabelisse.

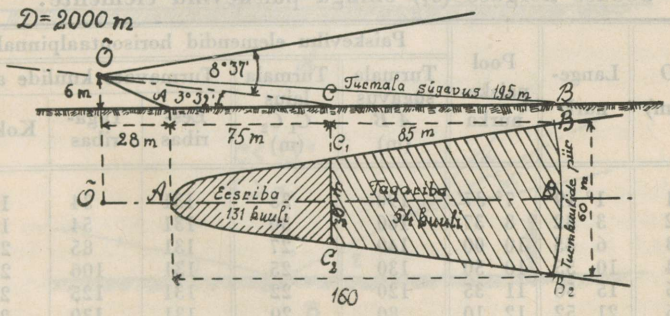
Laskekaugus (m)	Õhingu soodus kõrgus (t)	(m)	C (° ja ')	tan C	J (m)	$Tk\tilde{o}$ (m)	$Tp\tilde{o}$ (m)
1000	1	1	1—09	0,02	50	0,5	23,2
2000	2	4	3—15	0,06	67	1,6	24,2
3000	3	9	6—29	0,11	82	3,4	26,0
4000	4	16	10—35	0,19	84	6,1	28,0
5000	5	25	15—29	0,28	89	9,8	30,0

Uurides tabelis toodud andmeid saame järgmisi tulemusi.

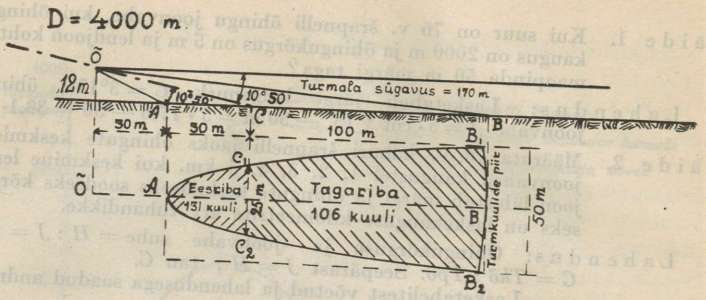
Õhinguteseeria keskmine soodus kõrgus on võrdne 2—3 $Tk\tilde{o}$ ja vastav keskmine joonvahe on võrdne 2—3 $Tp\tilde{o}$.

Kui koostaksime analoogilise tabeli üksiku õhingu soodsa kõrguse ja vastava joonvahe jaoks, siis leiaksime, et üksiku õhingu keskmine soodus kõrgus on võrdne 1 $Tk\tilde{o}$ ja vastav joonvahe on võrdne 1 $Tp\tilde{o}$.

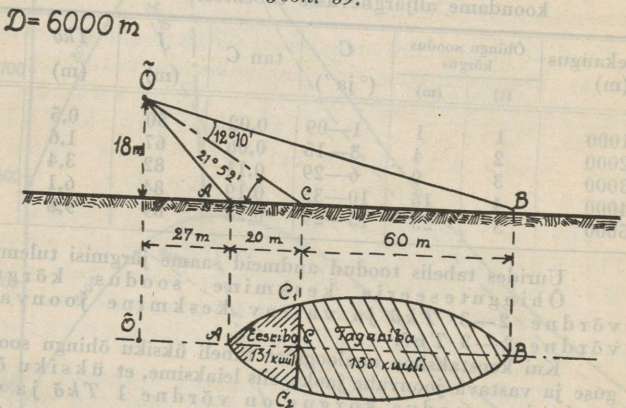
g) 75 p. šrapnelli paiskevihu ja turmala elemente (joon. 58, 59 ja 60).



Joon. 58.



Joon. 59.



Šrapnelli õhingu paiskevihu turmala. Õhingu kõrgus on 3_t.

Joon. 60.

Soodse kõrguse (3_t) õhingu paiskevihu elemente:

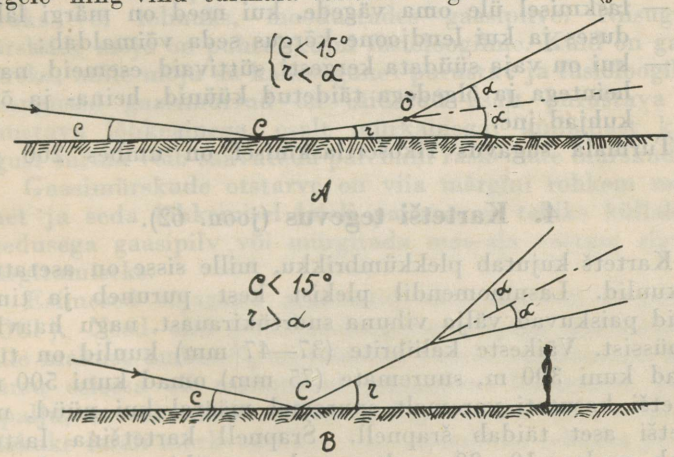
D (km)	Lange-nurk	Pool paiske-nurka	Paiskevihu elemendid horisontaalpinnal				
			Turmala sügavus *A B* (m)	Turmala laius C_1 C_2 (m)	Turmavate kuulide arv		
					Ees-ribas	Taga-ribas	Kokku
1	1° 19′	7° 37′	190	33	131	34	165
2	3 32	8 37	160	30	131	54	185
3	6 45	10 00	140	27	131	85	216
4	10 55	10 50	130	25	131	106	237
5	15 56	11 35	120	22	131	125	256
6	21 52	12 10	80	20	131	130	261

Turmavuse muutuvus olenevalt õhingukõrguse muutuvusest:

Kaugus (m)	Õhingu kõrgus (tuh.)	Õhingu joon-kõrgus (m)	Turma-vate kuulide arv	Turmala sügavus horisont. pinnal *A B* (m)	Turmala laius C_1 C_2 (m)	Keskmine paiskevi-hu ohtlik riba (turmala) (m²)
2000	2	4	195	170	20	800
	3	6	185	160	30	680
	4	8	175	150	40	560
6000	3	18	261	80	30	130
	4	24	261	100	30	150
	8	48	175	60	50	60

3. Šrapnelli tegevus lööklaskmisel.

Šrapnelli lööklaskmisel kasutatakse ainult erijuhtudel. Šrapnelli mõju lööklaskmisel oleneb peamiselt kohtamisnurgast ja maastiku iseloomust. Kui pinnas on tihe ja kohtamisnurk on alla 15°, siis šrapnell rikošeteerub ja lõhkeb õhus. Ületab aga kohtamisnurk 3°, siis tõuseb lendjoon pärast rikošetti niivõrd järsult, et kuulide paiskevihk suundub liiga kõrgele ning vihu turmala väheneb liiga kiiresti (joon. 61).



Joon. 61.

Laskmisel kohtamisnurga juures alla 3° (laskekaugusel kuni 1500 m) šrapnell annab samaväärse turma kui lõhkedes õhus; laskmise (eellaskmise) läbiviimine on lööklaskmisel palju lihtsam.

Rikošettlaskmisel šrapnelli kuulide vihu paiskenurk on umbes samaväärne kui õhinglaskmisel. Rikošettnurk r on tavaliselt umbes 1,5 kuni 2 korda suurem kui kohtamisnurk. Kui rikošettnurk on väiksem poolest paiskenurgast, siis teatav osa kuulidest „pühib" maapinda ja turmala on hää, kuigi kuulide paiskekiirus on šrapnelli löögi mõjul kohtamispunktis veidi vähem kui õhinglaskmisel.

Kui laskekauguse suurenemise tõttu kohtamisnurk ning rikošettnurk suurenevad, nii et viimase väärtus ületab kuulide-vihu poolt paiskenurga väärtust, siis turmala väheneb kiiresti. Kui kohtamisnurk on üle 15°, siis šrapnelli turmavus on peagu null.

Šrapnelliga toimetatakse rikošettlaskmist:

— patarei enesekaitseks, kui lendsüütajad ei tööta korralikult või on seatud löögile ja puudub aeg ja võimalus nende ümberseadmiseks;

— väikestel kaugustel (kuni 1500 m), kui lendsüütajad ei tööta korralikult ja kui pinnas märgi rajoonis on soodus rikošettide saamiseks; samuti ka ootamatuse vajadusel, kui ei ole aega õhingukõrguse eellaskmiseks;

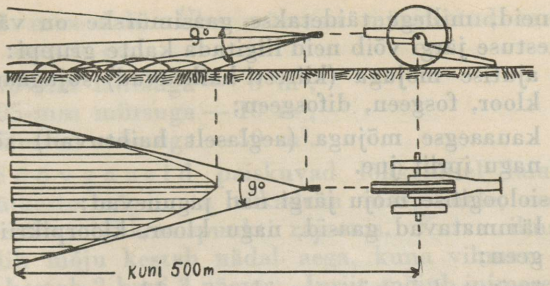
— laskmisel üle oma vägede, kui need on märgi läheduses ja kui lendjoone kõrgus seda võimaldab;

— kui on vaja süüdata kergesti süttivaid esemeid, nagu heintega ja õlgedega täidetud küünid, heina- ja õlekuhjad jne.

Turmala sügavus rikošettlaskmisel on umbes 200 m.

4. Kartetši tegevus (joon. 62).

Kartetš kujutab plekkümbrikku, mille sisse on asetatud tinakuulid. Lasumomendil plekist kest puruneb ja tinakuulid paiskuvad välja vihuna suurtükirauast, nagu haavlid jahipüssist. Väikeste kaliibrite (37—47 mm) kuulid on turmavad kuni 300 m, suuremate (75 mm) omad kuni 500 m. Kartetši kasutati varemalt suuremal määral kui nüüd, mil kartetši aset täidab šrapnell. Šrapnell kartetšina lastud lõhkeb umbes 10—20 m kaugusel suurtükiraua suudmest.



Joon. 62.

VII peatükk.

GAASIMÜRSKUDE TEGEVUS.

1. Üldmõisteid.

Gaasimürsud sarnanevad ehituselt granaadiga, kuid on täidetud peamiselt mürkainega, kas vedelas, kõvas või gaasilises olekus. Gaasimürsud on varustatud lööksüütajaga, mis kohtamispunktis purustab esiosa ning mürkaine muutub auruks või tolmuks, moodustades gaasipilve. Niisuguste mürskude mõju on puhtal kujul füsioloogiline. Kuid on gaasimürske, mille mõju on kahesugune: purustav ja füsioloogiline. Seesugused gaasimürsud on täidetud osalt purustava või pihustava lõhkeainega, osalt mürkainega; küllaldast kahesugust turma võib saavutada paremini raskemate mürskudega.

Gaasimürskude otstarve on viia märgini rohkem mürkainet ja seda lõhkemisel laiali paisata, et tekiks küllaldase tihedusega gaasipilv või mürgitada maa-ala vastase elavjõu mürgitamiseks.

Esimesed sõjagaasi granaadid olid täidetud fosgeeniga ($COCl_2$). Need olid puhtfüsioloogilise mõjuga gaasimürsud, mille mahust umbes $^2/_3$ oli täidetud vedela mürkainega, kuna mürsu esiosa oli mahutatud purustavat lõhkeainet ainult niipalju, et see mürsu lõhkemisel purustaks selle esiosa ja paiskaks laiali mürkvedeliku. Gaasimürskude tehnika ja taktika arenes kogu Maailmasõja jooksul ja areneb ka praegugi.

Mürkaineid, millega täidetakse gaasimürske on väga palju. Mõju kestuse järgi võib neid liigitada kahte gruppi:

— ajutise mõjuga (kiiresti haihtuvad) sõjagaasid, nagu kloor, fosgeen, difosgeen;

— kauaaegse mõjuga (aeglaselt haihtuvad) sõjagaasid, nagu ipriit jne.

Füsioloogilise mõju järgi nad jagunevad:

— lämmatavad gaasid, nagu kloor, kloorpikriin ja fosgeen;

— ärritavad ja pisargaasid, nagu klooratsetoon, broomiühendid ja arseeniühendid;

— mürkained, nagu sinihape;

— söövgaasid, nagu ipriit.

2. Gaasimürskude mõju.

a) Kiiresti haihtuvate gaaside mõju.

Need sõjagaasid kohe pärast lõhkemist auravad gaasipilveks, mis mürgitab elavjõudu kohe ja mis ka kiiresti haihtub laiali. Ühe mürsu lõhkemisel tekkinud gaasipilve keskmine maht on:

— 75-mm mürsul 20 m^3,
— 105-mm „ 50 m^3,
— 155-mm „ 200 m^3.

Tasasel pinnasel ja soodsete ilmastikutingimuste juures gaasipilve mõju on sügavuti:

— 75-mm mürsu juures — 50 m ulatuses,
— 105- ja 155-mm mürskude juures — 100 m ulatuses.

b) Aeglaselt haihtuvate gaaside mõju.

1. Pidevalt auravad sõjagaasid, muutuvad lõhkemismomendil gaasipilveks ainult osaliselt, kuna suurem osa mürkainest paiskub laiali maapinnale ja teistele esemetele tolmuna või tilkadena. Viimased omakorda auravad pidevalt tundide kaupa ning on mürgised. Tavaliselt mürkained mõjuvad ärritavalt ilanahkadele ja hingamisorganitele. Neid kasutatakse sel juhul, kui oma vägedel ei ole vajadust minna

gaasitatud maa-alale. Ühe mürsuga mürgitatud maapinna keskmine suurus on:

— 75-mm mürsuga — 5 m^2,
— 105-mm mürsuga — 10 m^2,
— 155-mm mürsuga — 50 m^2.

2. S ö ö v g a a s i d paiskuvad lõhkemisel laiali äärmiselt väikeste nägemata tilkadena maapinnale, esemetele ja õhku mürsu lõhkemispunkti rajoonis. Kuiva ilmaga ipriidi ohtlik mõju kestab nädal aega, kuna vihmase ilmaga see mõju kestab 2 kuni 3 päeva. Ipriit mõjub inimese nahale läbi riiete ja jalanõude ning tema mõju tuleb ilmsiks alles mõne tunni või isegi päeva järele. Ühe ipriitmürsuga mürgitatud maapinna keskmine suurus on:

— 75-mm mürsuga — 20 m^2,
— 105-mm mürsuga — 50 m^2,
— 155-mm mürsuga — 200 m^2.

c) Gaasimürskude mõju olenevus ilmastiku-, maastiku- ja lasketingimustest.

1. I l m a s t i k u t i n g i m u s t e m õ j u. Udu ja vihm vähendavad sõjagaasi mõju lahustades või surudes seda maapinnale. Temperatuuri tõus kiirendab kiiresti haihtuvate gaaside haihtumist, kuid soodustab ipriidi mõju. Päikesepaiste ning konvektsiooni tõttu gaasipilved tõusevad üles kiiremini, seepärast pilves ilm on soodsem sõjagaasi kasutamiseks. Tuul kiirustab vedelate gaaside auramist ja hajutab gaasipilvi. Sõjagaasi tarvitamisel on tähtis, et tuule suund oleks soodus gaasipilve liikumissuunale ja et tuule kiirus ei ületaks 3 m/sek.

2. M a a s t i k u m õ j u. Esemed, mis vähendavad õhuvoolusid, nagu võsad, metsad jne., soodustavad gaaside mõju. Madalamad kohad on vähemal määral tuule mõju all kui kõrgemad kohad, seepärast esimesed on soodsemad sõjagaasi mõjule; maastiku kallak vastase poole on soodsem sõjagaasi mõjule.

3. M ü r s u d. Gaasimürsud olgu varustatud hetksüütajatega, et gaasipilv tekiks maapinnal ja et mürkaine ei jääks pinnase sisse. Tuleb hoiduda rikošettidest. Suurema kaliibriga mürsud on kasulikumad, sest et gaasihulk, turmala ja mõju kestus on suuremad.

d) Andmeid Maailmasõjas tarvitatud gaasimürskude kohta.

Gaasimürsu liik	Lõhkeaine kaal (g)	Sõjagaasi maht ehk kaal	Turmala (m^2)
Saksa 77-mm „Roheline rist" difosgeen, kloorpikriin . .	23	0,61 ltr	20
„ 105- „ „Roheline rist" difosgeen, kloorpikriin . .	58	1,34 „	50
„ 150- „ „Roheline rist" difosgeen, kloorpikriin . .	60	3,90 „	200
„ 77- „ „Sinine rist" difenüülkloorarsiin segatud trotüüliga	674	0,124 kg	10
„ 105- „ „Sinine rist" difenüülkloorarsiin segatud trotüüliga	1358	0,410 „	20
„ 150- „ „Sinine rist" difenüülkloorarsiin segatud trofüüliga	3530	1,350 „	100
„ 77- „ „Kollane rist" ipriit .	20	0,610 ltr	30
„ 105- „ „ „ „ .	21	1,00 „	80
„ 150- „ „ „ „ .	62	2,880 „	200
Prantsuse 75-mm fosgeen ja arseeniühendid	—	0,750 kg	20
„ 120- „ fosgeen ja arseeniühendid	—	1,100 „	50
„ 155- „ fosgeen ja arseeniühendid	—	4,400 „	200
Inglise 114- „ fosgeen ja arseeniühendid	—	0,890 „	50

VIII peatükk.

ERIMÜRSKUDE TEGEVUS.

1. Suitsumürsud.

Suitsumürsud sarnanevad oma ehituselt granaadiga. Nende täidiseks on aine, mis annab lõhkemisel paksu ja võrdlemisi püsiva suitsupilve. Suitsumürske täidetakse vosvoriga, väävliühenditega ja ka teiste ainetega, mis võivad anda mürsu lõhkemisel suitsupilve.

Vosvoriga täidetud suitsumürsud annavad lõhkemisel paksu ja pideva suitsupilve. Need mürsud võivad ka süüdata ja mürgitada oma lõhkemispunkti lähikonnas.

Väävliühenditega täidetud suitsumürsud annavad lõhkemisel hõredama ja kiiremini haihtuva udupilve.

Suitsumürske kasutatakse suitsukatte loomiseks kas vastase pimestamise või oma osade tegevuse varjamise (moondamise) otstarbel. Rasketes vaatlustingimustes võib kasutada eduga suitsumürske eellaskmisel või tulekontrollil. Suurema ulatusega suitsukatte loomine on seotud suure laskemoona ning ka aja kuluga, seepärast suitsumürske tuleb kasutada peamiselt vastase vaatluspunktide, tulepesade ja vastupanupesade „pimestamiseks" ja eellaskmiseks ning tulekontrolliks.

Suitsumürskude kasutamist soodustab niiske ja vaikne ilm. Niiskus teeb suitsu-(udu-)pilve paksemaks, kuna tuul hajutab pilve laiali. Maastiku ebatasasused ja taimkate on samuti soodsed suitsupilve tekkimiseks. Üle 5 m/sek. tuulekiirus raskendab tunduvalt suitsumürskude kasutamist.

Olenevalt märgi kõrgusest tuleb luua suitsupilv maapinnal või väikesel kõrgusel viimasest. Seepärast suitsumürske kasutatakse peamiselt hetksüütajaga või rikošettide võimalusel ka viitsüütajaga. Väävliühenditega täidetuid ja lendsüütajaga varustatud suitsumürske võib kasutada ainult vaikse ilmaga.

Suitsukatte loomiseks 100 m rindel tuleks lasta esimese minuti jooksul umbes kuuskümmend 76-mm mürsku ja pärast seda katte alalhoidmiseks, olenevalt tuule tugevusest ja maapinna omadusist, 3 kuni 6 mürsku minutis. 107-mm mürskude kulu oleks sel juhul umbes 1,5 korda vähem.

2. Süütemürsud.

Kui süütamistingimused on soodsed, nagu kuiv ilm, kuiva põletusaine ja kergestisüttivate esemete olemasolu, siis peaaegu iga lahingumürsk (eriti aga šrapnellid) lõhkedes maapinnal võib süüdata märgi või selle ümbruskonna. Et

sünnitada süütamiseks ebasoodsetes tingimustes suurima ulatusega kahjutuld, mille kustutamine oleks raske, tuleb kasutada erimürske, millede täidis põleks väga kõrge temperatuuriga ja võiks tungida süüdatava aine või eseme sisemusse.

Ehituste ja täidise poolest on olemas mitmesuguseid süütemürskude liike. Ehituselt on olemas kahte pealiiki süütemürske: ühed on sarnased granaadiga ja pannakse lõhkema löögil, teised on sarnased šrapnelliga ja pannakse lõhkema õhus.

Venelased kasutasid 76- ja 107-mm kahurite juures šrapnelliga sarnaseid süütemürske. Need mürsud oma sisemise ehituse poolest erinevad šrapnellist sellega, et kesktoru asemel neil on süütenöör ja kuulide asemel — kolm järku süütesegmente (kokku 12). Iga süütesegment kujutab metallkesta, mis on täidetud termiitainega ja mõne põletusainega pooleks. Termiitaine koosseisus on 75% rauahapendit ja 25% pulbrilist alumiiniumi. Selle mürsu lõhkemisel õhus tõukelaeng süütab süütenööri abil süütesegmendid ja paiskab viimased välja tugeva hooga. Süütesegmendid võivad tungida puumassi sisse kuni 10 cm sügavuseni ning temperatuuriga kuni 3000° süüdata seda seestpoolt.

3. Valgustusmürsud.

Valgustusmürskude otstarve on valgustada vastase asetuse sügavamaid rajoone öösel. Valgustusmürsk peab olema täidetud aeglaselt langevate, kestvamalt ja suure valgustusjõuga põlevate särakuulidega. Valgustusmürsk tuleb panna lõhkema õhus umbes 300 m kõrgusel, et lõhkemisel süüdatud särakuulidel oleks aega ja kõrgust langemiseks. Särakuulide langemiskiiruse vähendamiseks neid varustatakse ühe- või kahekordse langevarjuga. Kui särakuulid on ilma langevarjuta, siis nende langemiskiirus on suur ning seepärast valgustusvõime on muutuv ja valgustuse kestus on lühike (15 — 30 sek.). Kahekordsete langevarjudega särakuulid valgustavad umbes ühe minuti jooksul kuni ühe km^2 maa-ala.

4. Joonestusmürsud.

Joonestusmürsk on täidetud seguga, mis põledes kogu lennuaja jooksul suitsu või ereda leegiga joonestab õhus oma lendjoone. Joonestusmürske kasutatakse õhumärkide ja soomusmasinate tulistamiseks. Läbistades õhupalli nad süütavad selle. Liikuvate märkide tulistamisel nad kergendavad eellaskmist ning pihtavuste saamist. Joonestusmürske kasutatakse veel lendjoonte lõpposade märkimiseks käärpikksilma längvõrguga.

5. Propagandamürsud.

Propagandamürsud koosnevad kannust, tõukelaengust, propagandakirjanduse kestast ja lendsüütajast. Tõukelaeng on asetatud mürsu esiossa, s. o. süütaja alla. Propagandakirjanduse kestaks on metallsilinder, mis on lõigatud pikuti pooleks ja millele toetuvad mõlemast otsast metallkettad. Kannu põhi on lahtikeeratav; see võimaldab avada mürsu põhiosa igal ajal ja asetada selle sisse soovitud propagandakirjandust. Propagandamürsk peab lõhkema ca 200 m kõrgusel. Mürsu lõhkemisel tõukelaeng tõukab välja põhiosa kaudu propagandakirjanduse kesta, mis avaneb ja vabastab oma sisu.

6. Ballistilised mürsud.

Ballistilisi mürske kasutatakse mitmesuguste eesmärgiga ballistiliste (katsete-) laskmiste juures. Ballistiline mürsk peab vastama katsetatavale lahingumürsule oma väliskuju, mõõdete, kaalu ja massijaotuse poolest. Mürsu täidis ei ole tähtis. Süütaja oma väliskuju ja mõõdete poolest peab vastama lahingumürsu süütajale.

Lafeti ja siseballistika katsete juures kasutatavate ballistiliste mürskude põhiosa kuju ja mõõted samuti ka mürsu kaal peavad vastama lahingumürsu omadele, kuid nende mürskude esiosa võib olla mistahtese kujuga.

7. Praktikamürsud.

Praktikamürske kasutatakse suurtükiväejuhtide laskealase väljaõppe juures. Praktikamürsud peavad vastama lahingumürskudele oma väliskuju, mõõdete, kaalu, massijaotuse ja süütaja poolest. Lööksüütajatel puuduvad detonaatorid. Praktikamürskude täidis peab andma lõhkemisel paksu suitsupilve, et oleks võimalik toimetada vaatlusi. Nende mürskude täidiseks kasutatakse harilikult musta rohtu või teist suitsutekitavat ainet ja liiva. Kannu materjal ei ole tähtis. Mürskude tootmine peab olema odav.

8. Õppemürsud.

Õppemürske kasutatakse suurtükimeeskonna väljaõppeks. Need on lahingumürskude mudelid, mis võimaldavad teostada numbritega (suurtükimeeskonnaga) laskemoona seadmise ja laadimise harjutusi.

Märkus: Erimürskude ehitusest vt. „Suurtükiasjandus I osa. 1936. a."

KOLMAS JAGU.

Laskmine.

IX peatükk.

ÜLDALUSEID.

Kuna suurtükivägi teotseb lahingus ainult tulega, siis laskmine on suurtükiväe tähtsaimaks ülesandeks lahingus.

Suurtükivägi liigub, teostab luuret, asub positsioonidele, organiseerib sidet ja vaatlust jne. ikkagi ainult laskmise (tulistamise) otstarbel.

Oma mürskudega (tulega) suurtükivägi võib avaldada vastasele võimsat moraalset ja materjaalset mõju, mille saavutamiseks tuleb laskmist teostada järgmiste üldpõhimõtete järgi:

1) Mürskude lõhketoimega suurtükivägi püüab saavutada tugevat, ootamatut ja täielist purustust.

Juhul, kui olukorrast tingitud asjaoludel suurtükivägi ei saa omale seada eesmärgiks märkide purustamist, siis ta peab püüdma halvata vastast, ähvardades teda hävitamisega. Niisugust tegevust nimetatakse neutraliseerimiseks.

2) Laskmine peab olema täppis.

Laskmise täpsus saavutatakse laskeettevalmistusega ja eellaskmisega.

Laskeettevalmistusega püütakse vähendada miinimumini vigu, mis tekivad lähtelaskeandmete (suuna-, tõste- ja lendsüütaja seaded) määramisel.

Eellaskmisel kontrollitakse ja parandatakse lähtelaskeandmeid tegeliku laskmisega.

Laskeettevalmistus ja eellaskmine täiendavad teineteist. Laskeettevalmistus peab olema võimalikult täielik ja täppis. Laskeettevalmistust tuleb teostada säärase kaalutlusega, nagu puuduks võimalus eellaskmise toimetamiseks; seejärgi toimetatakse eellaskmine nii, nagu puuduks laskeettevalmistus.

Sageli võivad esineda juhud, kus on tarvilik avada tuli laskeettevalmistuseta ja mõnikord ka eellaskmiseta. Samuti võivad ette tulla juhud, kus turmtuld peab algama kiire laskeettevalmistusega või lõpetamata eellaskmisega.

3) Laskmine peab algama õigeaegselt. Tulistamiseks määratud märk peab olema hävitatud või neutraliseeritud siis, kui seda nõuab taktikaline olukord. Suurtükituli ajas ja ruumis peab olema kokkukõlas taktikalise olukorraga.

4) Laskmine peab sündima sellise mürsuga, süütajaga ja laenguga, mis kõige rohkem vastab märgi iseloomule, asetusele ja tulistamise eesmärgile.

Produktiivseima mõjuga mürsu määramiseks on alati vaja uurida märgi, selle katte ja pinna iseloomu; samuti on vaja silmas pidada tule eesmärki ja taktikalist olukorda.

5) Laskmisel tuli peab olema küllalt tihe. Tuletihedus ehk teatud ajaühikul märgi pinnaühikule lastavate mürskude arv oleneb kaliibrist, märgi iseloomust ja tule eesmärgist.

Hajumusteooria põhjal võib aga öelda, et üksiku mürsuga pihtavuse tõenäosus on praktiliselt peaaegu null ja vähese laskemoonaga laskmise edukus on küsitav. Isegi hästi läbiviidud laskeettevalmistuse ja eellaskmise juures jääb laskmise tagajärg ikkagi olenevaks hajumusest. Seepärast tuleb alati määrata antud tuleülesande täitmiseks, olenevalt laskетingimustest see mürskude norm, mis on kujunenud lasketeooria ja endiste kogemuste põhjal. Normide vähendamine võib tuua ainult kahju, sest et kindlast normist vähema mürskude arvu juures ülesanne võib jääda täitmata ning väljalastud mürsud on ka asjata raisatud. Kõik eespool öeldu ei tähenda aga mitte seda, et tulistamiseks määratud mürskude arv peab alati olema välja lastud. Lastakse seni, kui on laskmise eesmärk saavutatud. Üht ja sama eesmärki võib mõnikord saavutada määratud normist vähema mürskude arvuga, mõnikord aga suurema arvuga.

6) Laskmine peab sündima kiirelt.

Laskmise tagajärjel tekkivad kaotused avaldavad vastasele seda suuremat moraalset mõju, mida ootamatumalt ja lühema aja vältel on läbi viidud laskmine. Aeglane laskmine võimaldab vastasele ära minna tule eest või varjuda.

Igasugune ajaviitmine laskmise läbiviimisel vähendab vaatlusorganite töö produktiivsust ja võib muuta lasketingimusi.

Laskmisel tuleb võimalikult kokku hoida aega, kuid seda ilma kahjuta töö täpsusele ja materjalosale.

7) Suurtükituli, olles üheaegselt tihe ja kiire, annab parima mõju, kui laskmisest võtab osa suur arv suurtükke.

Selle asemel, et üheaegselt mitme patareiga tulistada mitut märki, on otstarbekohasem koondada mitme patarei tuli alul ühele ja seejärele järjekorras teistele märkidele.

Tule koondamine, mis annab aja säästu, ei tohi kujuneda laskemoona asjatuks raiskamiseks.

8) Vaatlusel on laskmise juures väga suur tähtsus.

Vaatlus võimaldab toimetada eellaskmist ja tulekontrolli. Vaatluse organiseerimiseks tuleb kasutada kõiki võimalusi ja abinõusid.

Vaatluse puudumisel suureneb laskemoonakulu ja laskmise produktiivsus on sõltuv juhustest. Vaatluse puudumine toob suurt kahju laskmisele, kuid vaatamata sellele jääb laskmine ikkagi läbiviidavaks ja vaatluse puudumine ei õigusta suurtükiväe tegevusetust.

9) Laskeettevalmistuse perioodil, kasutades vastavaid mõõteabinõusid ja topograafilisi toiminguid, määratakse kindlaks märgi ja patarei asukohad ja nende järgi tabelilise lendjoone elemendid, missuguseid parandatakse, et neid kohaldada antud momendi lasketingimustele. Seega määratakse laskelähteandmed.

Eellaskmise perioodil tulejuht kontrollib ja täpsustab laskeettevalmistusel määratud laskelähteandmed, viies tuld üle vastavalt vaatlusega saadud kallangutele.

Kui eellaskmine on lõpetatud, siis minnakse kohe üle turmtulele, tulistades märki vastavalt selle iseloomule ja antud tuleülesandele.

Laskmise läbiviimine lahinguolukorras on seotud mitmesuguste raskustega. Sageli juhtub, et tulejuhil puuduvad tarvilikud abinõud või ta on puudulikult orienteeritud või informeeritud märgi asukoha, patarei asukoha, ilmastiku või ballistiliste tingimuste suhtes. Samuti materjaalsed ja moraalsed olukorra tingimused, milles tuleb töötada, sageli raskendavad mõõtmiste ja arvutuste toimetamist. Pealegi tulejuht pole harilikult oma aja peremees. Ta peab end alati kohaldama vanema juhi käskudele ja kavatsustele, toetatava väeliigi nõudmistele ja olukorra tingimustele.

Olukordade mitmekesisus, milles tuleb teotseda tulejuhil, nõuab temalt põhjalikke teoreetilisi ja praktilisi teadmisi suurtükiväe laskeasjanduses, et igasuguses olukorras kõige produktiivsemalt ära kasutada mürske.

X peatükk.

LASKEETTEVALMISTUS.

1. Laskeettevalmistuse iseloomustus ja liigitus.

Laskeettevalmistuse all laiemas ulatuses tuleb mõista kõiki neid toiminguid, millede lõppeesmärgiks on laskmine. Nimetatud toimingute hulka kuuluvad lahinguposítsiooni luure ja organiseerimine, positsioonile asumine, lahinguvalmisseadmine, topograafilised toimingud ja laskelähteandmete määramine.

Laskeettevalmistuseks (tavalises kitsamas mõttes) nimetatakse antud tuleülesandele vastava laskeviisi, laskemoona liigi ja lähtelaskeandmete määramist.

Laskeettevalmistus peab olema võimalikult täielik ja täppis. Laskeettevalmistuse üldine eesmärk on määrata seesugused laskelähteandmed (-seaded), laskemoon ja laskeviis, mis annaksid parimat turma.

Kasutades tulejuhtimisvahendeid ja topograafilisi toiminguid määratakse kindlaks patarei (alussuurtüki), märgi (eellaskepunkti), vaatluspunktide ja sihtpunktide suhteline asend ruumis. Selle järgi määratakse antud märgi jaoks laske-

suuna asimuut (nurgamõõtja seade, üleviiunurk), topograafiline kaugus ja maastikunurk. Neid andmeid nimetatakse laskeettevalmistuse topograafilisteks andmeteks ja nende andmete määramist topograafiliseks ettevalmistuseks. Laskeettevalmistuse topograafiliste andmete põhjal määratakse normaalse (tabelise) lendjoone elemendid laskетabelite abil.

Topograafilise ettevalmistusega määratud normaalse lendjoone elemendid (nende seas ka suuna-, tõste- ja lendsüütajaseaded) on õiged ainult laskmise normaalsete (tabeliste) tingimuste jaoks.

Tegelikud lasketingimused peaaegu kunagi ei vasta normaalsetele tingimustele, vaid erinevad viimastest suuremal või vähemal määral. Seepärast topograafilise ettevalmistusega määratud normaalse lendjoone elemendid ei vasta tegelikkudele lasketingimustele. Tegelikkude lasketingimuste erinevuse tõttu tekkivate vigade kõrvaldamiseks tuleb topograafilise laskeettevalmistuse põhjal määratud laskelähteandmeid parandada ning kohaldada tegelikkude lasketingimuste jaoks.

Lasketingimusi võib liigitada kolme järgmisse gruppi:

— topograafilised — märgi asend suurtükitasapinna suhtes, suurtükkide asendid alussuurtüki suhtes jne.;

— ballistilised — suurtükiraudade õõnete kuluvuseaste, laengu rohuliik, käredus ja temperatuur, mürsu kaal jne.;

— ilmastikulised — õhutemperatuur, õhurõhk, niiskus ja tuul; need tingimused on alaliselt muutuvad ja võivad tuua esile suuri vigu.

Järelikult laskeettevalmistuse juures on vaja määrata topograafilisi, ballistilisi ja ilmastikutingimusi ja nende mõju arvesse võtta.

Laskemoonaliigi (mürsu, süütaja ja laengu) määramisel peetakse silmas tule-eesmärki, märgi iseloomu ja tule maksimaalset produktiivsust.

Laskeviisi määramisel peetakse silmas tule-eesmärki, märgi iseloomu ja tegevust, laskemoonaliiki ja taktikalist olukorda.

Laskeettevalmistuse juures tuleb veel silmas pidada vaatlustingimusi. Vaatlustingimused määravad eellaskmise

viisi. Vaatluse topograafiline organiseerimine kuulub ka laskeettevalmistuse toimingute hulka.

Laskeettevalmistuse viis ning täpsus olenevad peamiselt taktikalisest olukorrast, kasutada olevast ajast ning vahenditest. Taktikaline olukord määrab aja ning vahendid, mida tulejuht võib kasutada laskeettevalmistuseks vajaliste andmete kogumiseks ja laskelähteandmete määramiseks.

Kohtamislahingu tingimustes, samuti ka eduarendamise perioodil ja taandumisel on taktikaline olukord ajas ja ruumis alatasa ning ka kiiresti muutuv. Seepärast laskettevalmistuseks vajaliste täpsemate andmete kogumine ja nende andmete kasutamine täpsemate laskelähteandmete määramiseks on raskendatud. Siin tuleb eelistada kiirust täpsuse arvel. Patarei ja märgi vastastikust asendit ruumis tuleb tihtipeale määrata silmamõõduliselt või ligikaudu kiire mõõtmisega kaardilt. Topograafiliste, ballistiliste ja ilmastikutingimuste arvestamine jääb ära või teostatakse ligikaudselt lihtsamatel viisidel.

Ettekavatsetud kaitsel või kallaletungil kaitsele asunud vastasele, kui laskeettevalmistuseks on olemas küllalt aega, samuti ka alati positsioonisõja oludes, on võimalik koguda täpsamaid andmeid topograafiliste, ballistiliste ja ilmastiku lasketingimuste kohta ning nende mõju arvestada täpsate vahendite ja toimingutega. Seepärast siin peab eelistama täpsust kiiruse arvel. Alussuurtüki ja märkide vastastikkused asendid ruumis määratakse täpsate kaartide (mõõduga mitte vähem kui 1 : 25.000) järgi või planšetilt või analüütilisel teel, kasutades selleks täpsamaid mõõtmisvahendeid ja -viise. Topograafiliste, ballistiliste ja ilmastikutingimuste arvestamine teostatakse suure täpsusega ja hoolega.

Eeltoodud tingimusist ja viisidest olenevalt laskeettevalmistus jaguneb:

— kiireks laskeettevalmistuseks,
— täieliseks laskeettevalmistuseks.

K i i r e l a s k e e t t e v a l m i s t u s e juures lähtesuund ja -kaugus määratakse kiire mõõtmisega kas silmamõõduliselt, käepärast olevate lihtsamate mõõtmisvahenditega (binokkel, bussool, kaugusemõõtja jne.), mõõtmisega maastikul (tavaliselt vaatluspunktis) või väiksema (alla 1 : 25 000) mõõduga kaardilt joonlaua ja malli abil. Sel viisil saadud topograafiliste andmete parandusi tehakse ligikaudu või ei

tehta hoopiski. Kiire laskeettevalmistusega saadud laskelähteandmeid tuleb tingimata kontrollida ja parandada laskmisega.

Täielise laskeettevalmistuse juures topograafilised elemendid määratakse arvutusega või mõõtmisega planšetilt või täpsalt kaardilt (mõõduga mitte alla 1 : 25 000). Laskelähteandmete parandusi tehakse täieliste lasketabelite ja täpsate ballistiliste ja ilmastikutingimuste andmete põhjal. Täielise laskeettevalmistuse täpsus võimdaldab teostada turmlaskmist ka ilma eellaskmiseta või tulekontrollita, kui seda nõuab taktikaline olukord. See laskeettevalmistusviis vähendab aega ja laskemoonakulu eellaskmiseks, samuti võimaldab saavutada ootamatust. Seepärast, kui taktikaline olukord ja aeg seda vähegi võimaldavad, tuleb teostada alati täielist laskeettevalmistust.

Kiire laskeettevalmistus jaguneb omakorda kiireks kaardita ja kiireks kaardiga laskeettevalmistuseks.

Tulejuht peab ära kasutama iga vaba minuti selleks, et täiendada ja täpsustada laskeettevalmistuse elemente järgmisteks laskmisteks. Järgmiste laskmiste lähteandmete parandamiseks ja täpsustamiseks peab ära kasutama eelmiste laskmiste andmeid.

2. Laskeettevalmistuse täpsus.

Laskeettevalmistusel määratud laskelähteandmed kui mitmesuguste suuruste mõõtmistulemused ei ole täpsad, vaid evivad olenevalt töö ja mõõtmisviiside täpsusest suuremaid või väiksemaid vigu. Selle tõttu laskeettevalmistusega määratud laskelähteandmed erinevad vastavatest tõelistest andmetest. Lasketeooria ja laskmiste registreerimise materjalide põhjal on leitud, et laskeettevalmistusel määratud laskelähteandmete keskmised vead on järgmised:

Laskeettevalmistusviis	Tõenäone viga	
	Suunas (tuh.)	Kauguses %%
Kiire kaardita	20—40	10—12
Kiire kaardiga	10—20	4—5
Täieline	4—5	1—2

Laskeettevalmistusel tekkivate vigade tõttu laskelähteseadetele vastav hajumuskese ei ühtu märgiga (eellaskepunktiga), vaid võib asuda sellest kuni nelja tõenäose vea piirides kas ees, taga, paremal või vasakul või mõnes muus suunas. Kui on teada antud laskeettevalmistusviisi jaoks tõenäoste vigade väärtusi, siis võib Gauss'i vigade-seaduse põhjal määrata laskelähteseadetele vastava hajumuskese võimaliku asendi piire märgi (eellaskepunkti) suhtes; samuti ka vastupidi — märgi (eelaskepunkti) võimaliku asendi piire laskelähteandmetele vastava hajumuskese suhtes. Näiteks, kaardiga kiire laskeettevalmistuse juures, laskekaugusel 5 km märgi võimalik asend laskelähteseadetele vastava hajumuskese suhtes võib olla ellipsi piirides, mille laskesuunaga paralleelse pooltelje pikkus on $4 \times 5 \times 50 = 1000$ m ja teise—laskesuunaga risti-pooltelje pikkus on $4 \times 20 \times 5 = 400$ kuni $4 \times 15 \times 5 = 300$ m.

Näide 1. Määrata märgi võimaliku asendi piirid, kui täielise laskeettevalmistuse juures oli lähtesuunaks nurgamõõtja 46 — 00 ja lähtetõsteks sihik 40 — 00.

Lahendus: Lähtesuuna suurim viga on $4 \times 5 = 20$ tuh. paremale või vasakule. Lähtetõste suurim viga on $4 \times 40 = 160$ kuni $4 \times 80 = 320$ m kas eelange või tagalange. Märgi võimaliku asendi piirid: suunas — nurgamõõtja 45 — 80 ja 46 — 20 ja kauguses 3840 ja 4160 kuni 3680 ja 4320.

XI peatükk.

VAATLUS.

1. Üldaluseid.

Eespool (vt. kolmas jagu IX peatükk p. 8) oli rõhutatud vaatluse suurt tähtsust suurtükiväe laskeasjanduses. Suurtükiväe vaatluse ülesandeks on:

— vastase ja oma vägede asetuse jälgimine,

— märkide otsimine ja uurimine,

— laskmise jälgimine.

Vaatlus jaguneb maapealseks ja õhuvaatluseks.

Maapealset vaatlust toimetatakse suurtükiväeüksuste vaatluspunktidest ja mõõteüksuste abil (helgi- ja kõlamõõteüksused).

Õhuvaatlust toimetatakse lennukitelt ja vaatluspallidelt. Iga maapealne vaatluspunkt peab olema varustatud vajalikkude vaatlusabinõudega ja sidevahenditega. Ta peab võimaldama teostada vaatlusülesandeid pidevalt nii päeval kui ka öösel. Vaatlustulemused olenevad suurel määral vaatluse hoolikast organiseerimisest ja ettevalmistusest ning selle täpsusest. Ettevalmistus aga ei tohi kunagi põhjustada vaatluse hilinemist. Kuigi kiire ettevalmistuse korral vaatlustulemused ei ole küllalt täielikud ning täpsad, peab vaatlus siiski igal tingimusel teostuma õigeaegselt. Igal võimalusel tuleb vaatluse organiseerimist ning ettevalmistust jätkata ja täiendada.

Vastase asukohtade, märkide ja abimärkide uurimine sünnib nende andmete põhjal, mis on saadud vaatlusvälja uurimisel. Vaatleja uurib ja eraldab kõik need esemed, millel on teatud lahinguline tähtsus. Leidnud mingisuguse märgi, vaatleja uurib tema nähtavust ja turmamisvõimalust, valides ühtlasi eellaskepunkti. Samuti ta otsib ja määrab kindlaks maastikul esemed, mida võib kasutada abimärkidena teatud märkide turmamiseks.

Õhuvaatluse ülesandeks on otsida ja uurida märke, mis on varjatud maapealse vaatluse eest (peamiselt vastase patareide tulepositsioonid ja teised kauged märgid). Õhuvaatluse ülesandeks on samuti ka jälgida ja kontrollida laskmist neile märkidele, mis on varjatud maapealse vaatluse eest. Vaatlust toimetatakse silmaga ja fotoaparaadiga. Õhufoto annab täpsamaid tulemusi. Häädes vaatlustingimustes võib lennukilt näha mittelaskja patarei tulepositsiooni 2000 m kõrguselt, kuna laskja patarei tulepositsiooni 3500 m kõrguselt väikesi kolonne (kompani-, patareisuurused) on näha 2000 m kõrguselt. 2000 m kõrgusel olevalt lennukilt võib 152-mm 4-ja mürsu või 76-mm 12-ne mürsu lõhkemisi näha 4—5 km kauguselt. Vaatluspallilt võib vaadelda rajooni raadiusega kuni 20 km. Kergesuurtükkide mürskude lõhkemised on näha kuni 12 km ja raskesuurtükkide omi kuni 15 km, kuna tulistavaid patareisid helgi või suitsu järgi kuni 20 km kauguseni.

2. Laskimise jälgimine maapealsel vaatlusel.

a) Määrangud.

Vaatlusväljaks nimetatakse nurka kahe joone vahel, mis piiravad paremalt ja vasakult maa-ala, mida vaatleja näeb palja silmaga või vaatlusabinõuga.

Vaatlusribaks nimetatakse maa-ala sirgjoonte vahel, mis ühendavad vaatleja silma märgi parema ja vasaku servaga.

Eellaskepunktiks nimetatakse märgil valitud punkti, mille suhtes toimetatakse vaatlust ja eellaskmist.

Vaatlusjooneks nimetatakse sirgjoont, mis ühendab vaatleja silma eellaskepunktiga.

Vaatluskauguseks nimetatakse kaugust vaatluspunktist märgini (eellaskepunktini).

Vaatlusnurgaks nimetatakse nurka vaatlusjoone ja joone vahel, mis ühendab patarei tulepositsiooni (alussuurtükki) eellaskepunktiga.

Vaatluspunkti algsuunaks nimetatakse sirgjoont, mis ühendab vaatleja silma algpunktiga. Algpunktiks võetakse reeglina selgesti eraldatav ja võimalikult ka kaardil tähendatud punkt patarei tegevuslõigus (vaatlusvälja keskel). Laias tegevuslõigus (vaatlusväljas) määratakse mitu algpunkti.

b) Lõhkemiste nähtavus ja iseloom.

Maapealne vaatlus oleneb suurel määral aastaajast ja päevaajast, ilmastikust ja maastikust. Ilmastiku tõttu ligikaudu 50% päevadest aastas ei võimalda vaadelda kaugemale kui 8 km. Vaatlusvõimalused olenevad ka kasutada olevatest optilistest abinõudest.

Lõhkemise nähtavus oleneb suurel määral mürsu liigist ja kaliibrist; samuti ka pinnasest, kus mürsk lõhkeb.

Soodsetes ilmastiku- ja maastikutingimustes ühekülgse vaatlusega on võimalik tulistada märke, mis asetsevad vaatluspunktist kuni 10 km, ja kahekülgse vaatlusega — kuni 12 km kaugusel.

Lõhkemine on vaadeldav, kui tema asend on hinnatud eellaskepunkti suhtes.

Laskereeglite aluseks on eksimata vaatlus. Kui vaatluse kohta tekib kahtlus, tuleb lõhkemine lugeda mittevaadelduks.

Vaadeldud lõhkemine annab alati suunavaatluse ja vaatlusribas ka kaugusvaatluse. Õhing annab peale selle ka õhingu kõrgusvaatluse.

Õhing annab allapoole suundud suitsupilve. Olenedes lõhkeainest, millega mürsk täidetud, omab suitsupilv tumehalli või musta (trotüül) või valget (must rohi) värvingut. Õhingupunktiks loetakse suitsupilve ülemist serva.

Lõhkemisel maapinnal annab mürsk üldiselt hallima suitsupilve kui lõhkemisel õhus.

Granaat hetksüütajaga, lõhkedes kõval pinnasel, annab kerasarnase pilve. Granaat normaalsüütajaga, lõhkedes kohedal pinnasel, annab võrdlemisi kõrge seenetaolise suitsusamba. Granaat viitsüütajaga, lõhkedes maa sees, annab tavaliselt hõreda suitsupilve ja üldiselt halva vaatluse.

Õhing pärast rikošetti annab ülespoole suunatud suitsupilve.

c) Lõhkemiste vaatlus.

Lõhkemise suuna ja kõrguse mõõtmisel kasutatakse optilise abinõu tiguvinti või jaotisvõrku.

Esimest lõhkemist peab vaatlema palja silmaga, sest optilise abinõu piiratud vaatlusvälja tõttu lõhkemine võib jääda nähtamatuks. On lõhkemine nähtud, toimub edaspidine vaatlus binokliga või käärpikksilmaga.

Otsus vaatluse kohta tuleb teha kohe pärast lõhkemise nägemist.

Suunavaatlus. Vaatleja mõõdab alati suunakallanguid oma vaatlusjoone suhtes ja annab need edasi tulejuhile. Suunakallangute muundamist lasketasapinna suhtes teostab tulejuht ise. Kui lõhkemise kallang vaatlusjoonest ei ületa 1 tuh., nimetatakse lõhkemist õigeks.

Rikošeteerunud mürsk võib mõnikord kalduda lasketasapinnast kõrvale. Niisuguse lõhkemise kallang võidakse määrata ainult siis, kui oli mõõdetud kohtamispunkti kallang.

Kaugusvaatlus. Kaugusvaatlusi annavad harilikult ainult lõhkemised vaatlusribas. Kallangu suurus võidakse määrata ainult kahekülgsel vaatlusel, mõnel üksikul juhul ka ühekülgsel vaatlusel (tiibvaatlus).

Lööklaskmisel loetakse lõhkemine eellangeks (—), kui lõhkemise suits katab märgi, ja tagalangeks (+),

kui märk projekteerub lõhkemise suitsupilvel. Märgis on lõhkemine siis, kui on selgesti näha märgi purustus.

Õhinglaskmisel on õhing eellangeline, kui suits katab märki, ja tagalangeline — kui märk projekteerub õhingu suitsupilvel.

Kõrgusvaatlus. Õhingukõrguseks nimetatakse nurka õhingujoone ja märkjoone vahel. Seepärast õhingukõrgust tuleb alati hinnata patarei tulepositsiooni kauguselt. Õhingukõrgust mõõdetakse märgi jalast õhingupunktini.

Soodseks õhingukõrguseks nimetatakse see kõrgus, mille juures õhing annab parimat turma. Brisantgranaatide soodus kõrgus, olenevalt kaliibrist on 10 kuni 30 m. Šrapnelli soodseks kõrguseks loetakse see minimaalne kõrgus, mille juures ei ole näkkeid, ehk nende protsent on väike (alla 10) ja mille juures keskmine lendjoon läbistab märki. Praegusaja šrapnelli õhingu soodus joonvahe on umkaudu võrdne õhingute hajumusellipsoidi pikema poolteljega. Šrapnelli õhingu keskmine soodus kõrgus laskekaugustel 3—5 km on kahurite juures 3 tuh. ja haubitsate juures 6 tuh. Kõrgeks õhinguks loetakse see õhing, mille kõrgus on soodsest suurem. Madalaks õhinguks loetakse see õhing, mille kõrgus on soodsest väiksem. Näkkeks nimetatakse lõhkemist maapinnal.

Praktika näitab, et õhingud, mille kõrgused on kahurite juures kuni 6 m ja haubitsate juures kuni 8 m, oma suitsupilvega katavad märki. Seepärast madalad õhingud annavad ka kaugusvaatlusi; samuti ka näkked annavad kaugusvaatlusi.

Järjekorra või seeria lõhkemiste vaatlemisel keskmise õhingukõrguse saamiseks mõõdetakse iga üksiku õhingu kõrgus ja arvutatakse keskmine kõrgus, kusjuures näkke kõrgus loetakse nulliks.

Järjekordadega laskmisel peab laskude vahe olema 2—5 sek., et vaatleja suudaks vaadelda iga lõhkemist. Kui vaatleja ise kirjutab üles vaatlustulemusi, siis peab laskude vahe olema 10—15 sek.

d) Vaatlusviisid.

Laskmise vaatlemine võib sündida ühest või mitmest vaatluspunktist. Vaatlus ühest punktist võimaldab määrata ainult lõhkemise suunakallangu vaatlusjoonest; kui lõhkemised toimusid vaatlusribas, siis võib otsustada kaugus-

kallangut. Olenevalt vaatlusnurgast vaatlus ühest punktist jaguneb:

— telgvaatluseks, kui vaatlusnurk ei ületa 100 tuh.;

— ühekülgseks vaatluseks, kui vaatlusnurk on üle 100 tuh.

Vaatlus mitmest punktist võimaldab määrata lõhkemise või lõhkemiste kese asukoha märgi suhtes. Olenevalt vaatluspunktide arvust vaatlus mitmest punktist jaguneb:

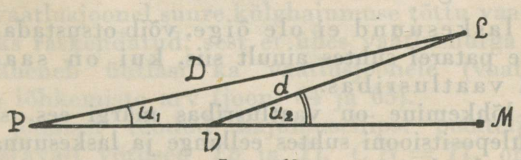
— kahekülgseks vaatluseks, kui vaatluspunkte on kaks;

— täpseks kokkukõlastatud vaatluseks, kui vaatluspunkte on vähemalt kolm ja nende asukohad on täpsalt määratud.

3. Telgvaatlus.

Kui vaatluskaugus (d) on laskekaugusega (D) ligikaudu võrdne (kauguste vahe on vähem kui 0,1 D), siis suunaparandust suurtükile võib lugeda võrdseks mõõdetud lõhkemise suunakallanguga. Kui vaatluskaugus ja laskekaugus tunduvalt erinevad (kauguste vahe on suurem kui 0,1 D), siis tuleb vaatluspunktist mõõdetud kallang muundada suurtüki jaoks, korrutades seda suhtega d/D.

Kui lõhkemiste kallangud märgist ei ületa 300 tuh., siis võib oletada, et $u_1 : u_2 = d : D$, kust $u_1 = u_2 \cdot d/D$ (joon. 63).



Joon. 63.

See reegel on maksev ka õhingute kõrguste paranduste juures tingimusel, et patarei tulepositsiooni ja vaatluspunktie kõrgused on enamvähem ühesugused.

Telgvaatlus võimaldab kiiret suuna-, kaugus- ja õhingukõrguse eellaskmist, kuigi ei ole võimalik määrata kauguskallangute suurust. Kuid sobiva vaatluspunkti valik sünnitab raskusi, sest et ainult patarei tulepositsiooni läheduses asuv

vaatluspunkt võimaldab telgvaatlust kõikide märkide suhtes.

Kui on ette näha sagedaid positsiooni vahetusi, liikuvate märkide tulistamisi või kui patarei peab viivitamata tuld avama siis, kui vähegi võimalik, peab igakord valima vaatluspunkti patarei tulepositsiooni lähedusse. See kindlustab kiire ja kindla sideloomise ja lihtse ning ka kiire tulejuhtimise.

4. Ühekülgne vaatlus.

a) Ühekülgne vaatlus väljaspool vaatlusriba.

Eellaskmine on võrdlemisi kergesti läbiviidav ühekülgse vaatluse juures, kui laskesuund on õige.

Sel juhul, kui vaatleja asub laskesuunast paremal (vasakul) ja lõhkemine märgist paremal (vasakul), siis on tagalange, ja kui lõhkemine on märgist vasakul (paremal) — eellange.

Kui on teada vaatluskaugus ja vaatlusnurk, siis võib määrata kauguskallangu suurust seda täpsamalt, mida suurem on vaatlusnurk. Kauguseellaskmist võib siin toimetada kas lõhkemiste kese ümberpaigutamisega või haaretega.

Õige suuna määramist võib läbi viia:

— täielise laskeettevalmistusega,

— suuna eellaksmisega (viisidel, mis toodud Sv. E V §§ 160—163 ja 184—185).

b) Ühekülgne vaatlus vaatlusribas.

Kui laskesuund ei ole õige, võib otsustada lõhkemise asendi üle patarei suhtes ainult siis, kui on saadud lõhkemised vaatlusribas.

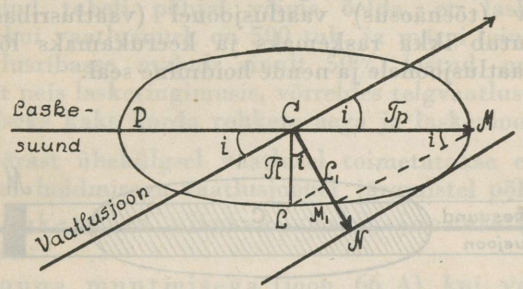
Kui lõhkemine on vaatlusribas märgi ees, siis on ta patarei tulepositsiooni suhtes eellange ja laskesuunast kõrval vaatleja poole; kui ta on märgi taga, siis ta on patarei tulepositsiooni suhtes tagalange ja laskesuunast kõrval teisele poole.

Seepärast sel juhul peab tooma lõhkemised vaatlusjoonele (-ribasse) ja hoidma nad sellel kogu eellaskmise vältel.

Lõhkemiste toomine vaatlusjoonele ja lõhkemiste hoidmine vaatlusjoonel ühekülgsel vaatlusel on raske ja keerukas tegevus ning nõuab võrdlemisi suurt aja- ja laskemoonakulu.

Kui vaatlusnurk ei ole väga suur, mitte üle 300—400 tuhandiku, siis võib lõhkemisi tuua vaatlusjoonele samal viisil, nagu seda tehakse telgvaatlusel, s. o. korrutades vaatluspunktist mõõdetud suunakallangut d/D suhtega. Sel juhul hajumus suunas ehk Tl väärtused vaatlusjoone suhtes muutuvad küll suuremaks kui tegelikud, kuid mitte nii suurel määral, et see teeks erilisi raskusi lõhkemiste hoidmiseks vaatlusjoonel.

Kui vaatlusnurk on suur — üle 400 tuhandiku, siis hajumus suunas vaatlusjoone suhtes muutub ikka suuremaks.



Joon. 64.

Seepärast suunamuutmised oleksid väga suured, võiksid osutada ohtlikeks oma vägedele ja töötamine suurtüki juures suurte pöörete tõttu oleks aeglane. Samuti ka lõhkemiste hoidmine vaatlusjoonel suure külghajumuse tõttu vaatlusjoone suhtes oleks raskendatud, sest et ühes vaatlusnurga suurenemisega väheneb ühtlasi ka vaatlusjoonele (vaatlusrippa) mahtuvate lõhkemiste arv (joon. 64 ja 65).

Olgu joonisel toodud hajumusellipsi poolteljed CM ja CL vastavalt võrdsed Tp ja Tl. $CN = Tl_1$ on võrdne tõenäose laiuskallanguga vaatlusjoone suhtes. Tl_1 suuruse määramiseks projekteerime joonele CN hajumuse tõenäosed pikkus- ja laiuskallangud Tp ja Tl ning saadud projektsioone liidame kui samasuunalisi vektorvigu, siis saame:

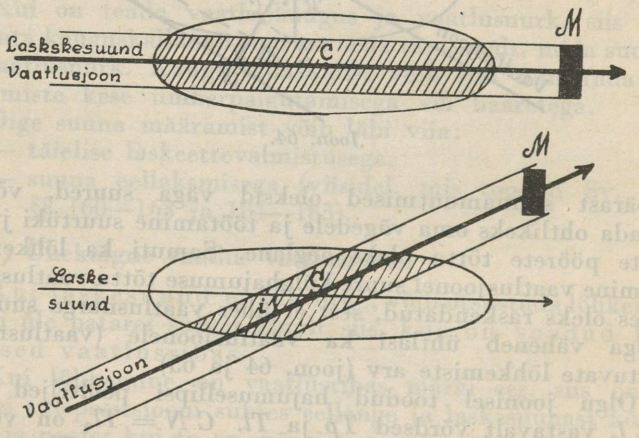
Tp projektsioon $CM_1 = Tp \cdot \sin i$;
Tl projektsioon $CL_1 = Tl \cdot \cos i$;

$$CN = Tl_1 = \sqrt{Tp^2 \sin^2 i + Tl^2 \cos^2 i}.$$

Allpool on toodud Tl_1 väärtusi olenevalt vaatlusnurga suurusest, laskmisel 76 v. kahurist, laskekaugusel 3200 m.

Vaatlusnurgad kraadides	0	2	5	10	15	30	45
Tl_1 meetrites . .	1	1,2	2,0	3,6	5,3	10,0	14,1

Ühes Tl_1 suurenemisega väheneb ka lõhkemiste (vaatluste) arv (tõenäosus) vaatlusjoonel (vaatlusribas), mille tõttu muutub ikka raskemaks ja keerukamaks lõhkemiste toomine vaatlusjoonele ja nende hoidmine seal.



Joon. 65.

Näiteks, kui märgi laius on 10 m ja kui laskesuund on õige, siis telgvaatlusel ($i = 0$) kõik vaatlused mahuvad vaatlusrippa, sest et 8 $Tl = 8$ m. Kügvaatlusel, kui $i = 15°$, siis 3200 m laskekaugusel $Tl_1 = 5{,}3$ m (2 $Tl_1 = 10{,}6$ m), ja ainult 50% lõhkemisi mahub vaatlusrippa.

Alljärgnevas tabelis on toodud lõhkemiste (vaatluste) tõenäosusi vaatlusribas, olenevalt vaatlusnurgast ja märgi laiusest, laskmisel 76 v. kahuriga, laskekaugusel 3200 m.

Märgi laius meetrites	Vaatlusnurgad tuhandikkudes					
	0	100	200	300	400	500
5	0,91	0,57	0,32	0,22	0,15	0,13
10	1,00	0,91	0,65	0,45	0,32	0,24
20	1,00	1,00	0,94	0,79	0,65	0,50

Toodud tabeli põhjal võime öelda, et laskekaugusel 3200 m, kui vaatlusnurk on 500 tuh. ja märgi laius on 20 m, siis vaatlusribasse mahub ainult 50% lastud mürskudest. Järelikult neis lasketingimusis, võrreldes telgvaatlusega, kulub eellaskmiseks kaks korda rohkem aega ja laskemoona.

Seepärast ühekülgsel vaatlusel toimetatakse eellaskmist lõhkemiste hoidmisega vaatlusjoonel järgmistel põhireeglitel:

1) Lõhkemised viiakse vaatlusjoonele (-ribasse) kahel viisil:

— suuna muutmisega (joon. 66 A), kui vaatlusnurk on väiksem kui 400 tuh. või kui parandus on väikene (lõhkemine punktis L_1 viidud punkti L_2);

— tõste muutmisega (joon. 66 B), kui vaatlusnurk on suurem kui 400 tuh. (lõhkemine punktis L_1 viidud punkti L_2).

2) Lõhkemised hoitakse vaatlusjoonel (-ribas) suuna ja tõste üheaegse muutmisega (joon. 66 C) kusjuures lõhkemine punktis L_1 viiakse punkti L_2, muutes laskesuunda nurga φ võrra ehk külgkahvli võrra ja muutes tõstet ühe kauguskahvli K võrra.

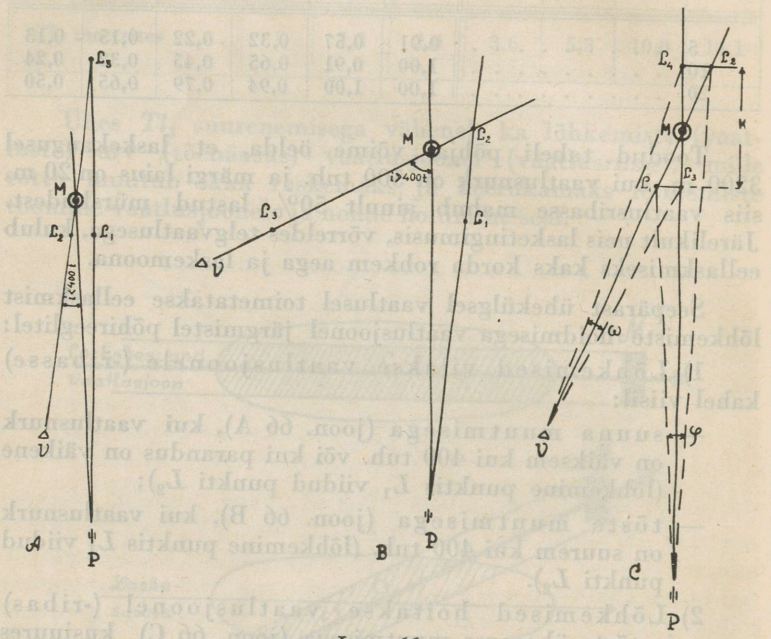
ω on nurk, mille all on näha vaatluspunktist märgi läheduses õiges laskesuunas toimunud lõhkemised L_3 ja L_4, mille kaugused erinevad ühe kauguskahvli võrra.

3) Eellaskmist toimetatakse tavaliselt ainult ühe suurtükiga. Seejuures hajumuse mõju vähendamiseks on soovitav lasta igal seadel 2 lasku.

4) Haarava eellaskmise eesmärgiks on haarata märk kahe suuna vahele, millest üks oleks märgist paremal ja teine

vasakul ning kahe tõste vahele, millest suurem oleks tagalangeline ja väiksem eellangeline, või saada katang või tabavus märki.

Haaravat eellaskmist toimetatakse samal põhimõttel kui telgvaatlusel.



Joon. 66.

Kokku võttes kõike eeltoodut tuleb järeldada, et ühekülgset vaatlust tuleb tahestahtmata tihtipeale kasutada. Kui vähegi on võimalik, siis tuleb kõigepealt leida õige suund, et kergendada ühekülgse vaatlusega eellaskmist. Eellaskmine lõhkemiste viimisega vaatlusjoonele on aegaviitev ja nõuab palju laskemoona isegi siis, kui laske- ja vaatlusettevalmistus on täppis. Seepärast võib seda viisi kasutada ainult siis, kui õige suuna saamine teisiti ei ole võimalik. Ühekülgse vaatlusega ei ole võimalik toimetada patarei vihu kontrolli ja parandust.

Ühekülgse vaatluse puudusi arvesse võttes peab võimalikult peatselt korraldama kahekülgne vaatlus.

Kui vaatluse topograafiline ettevalmistus ei ole täppis, tuleb toimetada suuna eellaskmist ruutvõrgu abil ja jätkata kauguseellaskmist ühest vaatluspunktist.

5. Kokkukõlastatud vaatlus.

Kokkukõlastatud vaatluseks nimetatakse niisugust vaatlusviisi, kusjuures vaatlusega kahest või kolmest vaatluspunktist saadud lõhkemise (lõhkemiste seeria) vaatluste tulemuste põhjal määratakse graafilise konstruktsiooni abil lõhkemise (lõhkemiste seeria) asend märgi (eellaskepunkti) suhtes.

Kokkukõlastatud vaatlusega laskmiseks on vaja organiseerida vaatlust vähemalt kahest vaatluspunktist, mis peavad olema sedavõrd kaugel üksteisest, et vaatlusjooned lõikuksid suurte nurkade (vähemalt 30° ehk 500 tuh.) all.

Kokkukõlastatud vaatlusega laskmisel vaatlejad mõõdavad iga lõhkemise suunakallangu märgi (abimärgi, eellaskepunkti) suhtes ja teatavad selle tulejuhile. Suunakallangu (suunakallangute keskmise) põhjal tulejuht määrab lõhkemise (lõhkemiste kese) asukoha otselõigetega graafilisel konstruktsioonil (plotter, skeem, planšett, ruutvõrk jne.). Seejärel ta määrab lõhkemise (lõhkemiste kese) suuna- ja kauguskallangu suuruse patarei lasketasapinna suhtes selleks, et järgmiseks lasuks (laskude seeriaks) parandada laskeseadeid.

Kokkukõlastatud vaatluse topograafiline organiseerimine nähtavale märgile või nägematule märgile, mis asub lähedal nähtavale märgile ja mille asend on täpsalt teada, nõuab vaatluspunktide määramise täpsust kuni 40—50 m, sest et kahekülgsel kokkukõlastatud vaatlusel, mõõtes kallanguid suunas märgi või sellele lähedal asuva punkti suhtes, hoitakse ära vaatluspunktide määramisel tekkinud vigade ülekandumist kallangute põhjal määratavatele punktidele.

Lõhkemiste suunakallanguid tuleb mõõta võimalikult täpsamalt (täpsusega 1 tuh.), sest et suunakallangu määramise väike viga toob enesega kaasa võrdlemisi suure vea lõhkemise kauguse määramisel. Mida väiksem on vaatlusjoonte vaheline nurk, seda täpsamad peavad olema suunakallangute mõõtmised.

Seepärast omab suurt tähtsust märgi või eellaskepunkti õige ja täppis kättejuhatamine vaatlejale.

Lõhkemise (lõhkemiste kese) asendi määramine on täpsam ka siis, kui vaatlusi teostatakse kolmest vaatluspunktist. Sel juhul 3 viseerimisjoone lõiked annavad vigade kolmnurga, mille suurus iseloomustab vaatlejate töö täpsust ning määrab eellaskmise täpsuse. Lõhkemise (lõhkemiste kese) asend võetakse vigade kolmnurga keskel.

Neil juhtudel, kui ei ole suudetud laskmise alguseks läbi viia nõutud määral kahekülgse vaatluse topograafiline organiseerimine või ei ole seda teostatud ning vaatluspunktide asukohad ei ole määratud, siis kasutatakse laskesuuna parandamiseks kahekülgset vaatlust, oletades, et vaatlusjooned lõikuvad täisnurga all. Selle oletuse põhjal kasutatav lihtis graafiline konstruktsioon nimetatakse ruutvõrguks. Ruutvõrgule kantud lõhkemiste asendid märgi suhtes on muundatud, kuid nende asendite põhjal määratud lõhkemiste ja lasketasapindade suhtelised asendid võimaldavad määrata eellaskmisel vajalisi suuna- ja tõsteparandusi võrdlemisi väikese laskemoona ja aja kuluga.

Kui märk, mille täppis asukoht on teada, on nähtamatu ja selle läheduses pole olemas täpsalt määratud nähtavat punkti, või kui tuleb määrata täpsalt lõhkemispunkti asend, siis tuleb organiseerida topograafiliselt kokkukõlastatud vaatlust suurema täpsusega kui seda on vaja eespoolnimetatud hariliku kokkukõlastatud kahekülgse vaatluse organiseerimisel. Täpsa kokkukõlastatud vaatluse juures tuleb vaatluspunktide asendid määrata 2 — 3 meetri täpsusega. Samuti tuleb määrata vaatlussuundi kaugustel kuni 10 km ühe tuhandiku täpsusega ja kaugustel 10 — 15 km poole tuhandiku täpsusega. Samade täpsusemääradega tuleb organiseerida kokkukõlastatud vaatlust eellaskmiseks kõrgete õhingutega ja märkide kindlaksmääramiseks. Vaatlusabinõu orienteerimise täpsus ei või olla alla 1 tuh.

Kokkukõlastatud vaatluse organiseerimisest ja kasutatavatest abinõudest (graafilistest konstruktsioonidest) vt. Sv. E V §§ 175—179, 184, 186—189, 203 ja 205.

Lõhkemiste sälkimise vigu kokkukõlastatud vaatluse juures.

Kokkukõlastatud vaatlusega eellaskmise juures tekkivaid vigu ja nende allikaid on järgmisi:

1. Topograafiliste ja graafiliste tööde vigu, mis olenevad laske- ja vaatluse ettevalmistuse viisist ning täpsusest.

Need vead mõjuvad lõhkemise (lõhkemiste seeria) asendi määramisele seda suuremal määral, mida suuremad on nende asendite kallangud märgist. Vaatluspunktide asukohtade määramise vead annavad end tunda siis, kui nad on tekkinud vaatlusjoonega ristisuunas. Vaatluspunkti asukoha määramise viga, mis on alla 100 m, annab end tunda siis, kui lõhkemiste kallangud märgist on suured. Lõhkemise asendi pealekandmisel graafilisele konstruktsioonile tekib seda suurem viga, mida väiksem on nurk vaatlusjoonte vahel ja mida väiksem on graafilise konstruktsiooni mõõt. Rahuldavaid tulemusi annavad graafiliste konstruktsioonide mõõdud 1 : 5000 kuni 1 : 10 000.

2. Hajumuse vigu. Need vead on teada ja põhjalikult selgitatud eespool.

3. Lõhkemiste sälkimise vigu. Need vead olenevad lõhkemiste kallangute mõõtmisviisist, mõõtmisabinõust ja viimase täpsusest.

Sälkimisvigade kohta on selgitatud eespool (vt. esimene jagu, II peatükk p. 4).

Sälkimisvigade ellipsi pooltelgede suurused olenevad:

— optilise mõõtmisabinõu täpsusest (selle tõenäosest veast);
— sälkimisnurgast (vaatlusjoontevahelisest nurgast);
— vaatluskaugusest.

Sälkimisvigade (tõenäoste vigade) ellipsi poolteljed võrduvad:

$$b = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{\delta d}{1000 \sin \alpha}, \text{ kus } a = \delta \frac{d}{1000} \text{ ja}$$

kus:

α — sälkimisnurk,

b — tõenäose sälkimisvigade ellipsi pooltelg,

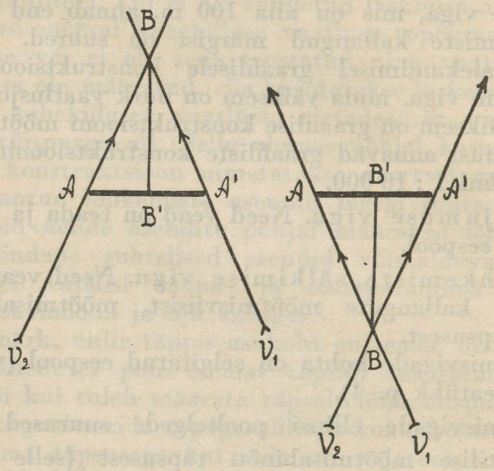
δ — optilise abinõu tõenäone viga,

a — optilise abinõu tõenäosele veale vastav joonviga, mille suund on risti vaatlusjoonega (sälkimisviga),

d — vaatluskaugus.

Vigade kohta punkti sälkimisel on tehtud alltoodud järeldusi:

a) Vead suunas on peagu jäävad kõigi sälkimisnurkade juures. Suunavigade suurus oleneb vaatluskaugusest ja optilise abinõu täpsusest. Suunavigade absoluutväärtused on võrdlemisi väikesed.



Joon. 67.

b) Vead kauguses olenevad peale selle veel sälkimisnurga suurusest. Eriti aga suurteks muutuvad need vead sälkimisnurkade juures alla 200 tuh.

Peale selle veel, kui võrrelda mitmesuguse täpsusega mõõtmisabinõude sälkimisvigu mitmesugustel vaatluskaugustel, võib järeldada et:

— sälkimise täpsus oleneb mõõtmisabinõu täpsusest,

— sälkimise täpsus väheneb ühes vaatluskauguse suurenemisega.

c) Mõõtmisabinõusid peab suunama ühte ja samasse punkti. Selle nõudmise mittetäitmine, eriti aga väikeste sälkimisnurkade ja laiade märkide juures, toob esile suuri vigu. Näiteks joon. 67 on näha, et kui vaatlejate optilised

abinõud on suundatud kumbki ise punkti (A ja A'), siis nende viseerimissuundade lõikepunkt eemaldub märgist kauguse $B\,B'$ võrra.

Toodud järelduste selgituseks määrame lõhkemiste sälkimise vigu konkreetselt. Olgu et sälkimist toimetatakse käärpikksilmaga, mille tõenäone viga $\delta = 0{,}5$ tuh., ja kui vaatluskaugused mõlemast vaatluspunktist on võrdsed $d_1 = d_2 = 3000$ m, siis sälkimisnurga suurusest olenevalt saame sälkimisvigu suunas ja kauguses, mis on toodud alljärgnevas tabelis.

Sälkimise tõenäosed vead (meetrites)	Sälkimisnurga suurus (tuhandikkudes)						
	0—50	1—00	2—00	4—00	6—00	8—00	10—00
Kauguses (c_1) . . .	40,51	20,26	10,15	5,10	3,43	2,61	2,12
Suunas (c_2)	1,04	1,04	1,07	1,08	1,11	1,16	1,22

Selleks, et määrata ühe lõhkemise sälkimise põhjal tehtud laskeseadete paranduste tõenäoseid vigu, tuleb liita sälkimis ja hajumusvigu. Topograafiliste tööde ja graafiliste tööde vigu, kui võrdlemisi väikesi ei võeta arvesse. Arvutuste lihtsustamiseks oletame, et lõhkemiste hajumuspinna ellipsi poolteljed on paralleelsed sälkimisvigade ellipsi poolteltgedega. Tehtud lihtsustamised ja oletused ei muuda arvutuste üldisi tulemusi.

N ä i d e: Määrata kokkukõlastatud vaatluse põhjal tehtavate paranduste tõenäoseid vigu, lastes 76 v. kahuriga laskekaugusel 3200 m ja kui vaatlust teostati käärpikksilmaga vaatluskaugustel 3000 meetr. Sälkimisnurk = 6 — 00.

L a h e n d u s: Sälkimise tõenäosed vead määratakse eeltoodud tabeli põhjal; $c_1 = 3{,}43$ m; $c_2 = 1{,}11$ m. Lõhkemiste tõenäosed kallangud võetakse lasketabelist; $Tp = 20$ m; $Tl = 1$ m.

Keskmise vigade-ellipsi poolteljed on:

$$r_1 = \sqrt{c_1^2 + (Tp)^2} = \sqrt{(3{,}43)^2 + 20^2} = 20{,}29 \text{ m};$$

$$r_2 = \sqrt{c_2^2 + (Tl)^2} = \sqrt{(1{,}11)^2 + 1} = 1{,}50 \text{ m}.$$

Kui samal viisil määrata laskeseadete paranduste vigu ka teiste sälkimisnurkade jaoks, siis saame:

Paranduste tõenäosed vead (meetrites)	Sälkimisnurga suurus (tuhandikkudes)						
	0—50	1—00	2—00	4—00	6—00	8—00	10—00
Kauguses (r_1) . . .	45,18	28,47	22,43	20,64	20,29	20,17	20,11
Suunas (r_2)	1,44	1,44	1,46	1,47	1,50	1,53	1,58

XII peatükk.

EELLASKMINE.

1. Eellaskmise üldine iseloomustus ja liigitus.

Laskeettevalmistusega määratud laskelähteandmed ei ole täpsad. Ka kõige hoolikamalt läbiviidud täielise laskeettevalmistusega määratud laskelähteandmed evivad vigu. Laskeettevalmistuse vigade olemasolu ei taga märgi turma vajalisel määral. Seepärast olenematult laskeettevalmistuse täielikkusest ja täpsusest peab igal võimalikul juhul kontrollima ja parandama laskeettevalmistusega määratud laskelähteandmeid tegeliku laskmisega.

Laskeettevalmistusega määratud laskelähteandmete kontrollimist ja parandamist laskmisega kuni turmamiseks vajaliste laskeseadete leidmiseni nimetatakse eellaskmiseks või tulekontrolliks.

Eellaskmise eesmärgiks on määrata:

— laskeseaded, milledele vastava hajumuskese ühtumine märgiga (märgi kesega, eellaskepunktiga) evib suurima tõenäosuse; lühemalt öeldes — laskeseaded, milledele vastab suurim pihtavuse tõenäosus;
— nende laskeseadete tõenäosed vead;
— tulistatav pindala;
— laskemoonakulu selleks, et tulistatav pindala oleks ühtlaselt ja vajalisel määral turmatud.

Kui eellaskmine ei ole tegelikult teostatav, siis tekib vajadus pindala tulistamiseks märgi pindala ümbruses, suu-

rendades märgi pindala seda rohkem, mida kiirem ning ebatäpsam oli laskeettevalmistus.

Näiteks, kui laskeettevalmistusel määratud kauguse viga ei ületa 200 m, siis tuleb turmata pindala, mis on sügavuti märgi pindalast suurem 200 m võrra kummalegi poole. Pärast täielist laskeettevalmistust tulistatava pindala suuruse vahe, võrreldes märgi pindalaga, ei ole suur; kuid siiski peab igal võimalusel vähendama tulistatavat pindala. Pärast kiiret laskeettevalmistust tulistatava pindala suurus nõuab liialt suurt laskemoonakulu. Järelikult, eellaskmist või tulekontrolli peab kasutama igal võimalikul juhul.

Vaatamata täpsuse nõuetele eellaskmise viisid peavad olema lihtsad, sest et eellaskmist peab teostama lahinguolukorras.

Eellaskmine peab olema läbi viidud kiiresti, olgu siis laskmise eesmärk hävitav või neutraliseeriv, sest et lasketingimused (eriti aga ilmastikutingimused) on alatasa muutuvad. Eellaskmise kiirus on ka siis väga tähtsis, kui tulistatakse ohtlikku või elavat märki. Kiire eellaskmine võimaldab saavutada ootamatust.

Kui märk on vaadeldav, siis teostatakse tavaliselt eellaskmist märgi suhtes. Eellaskmine märgi suhtes võimaldab täpsalt määrata ja kõrvaldada kõiki laskeettevalmistusel tekkinud vigu, seepärast järgneva turmtule produktiivsus on suurem. Kuid eellaskmisel märgi suhtes väheneb ootamatuse element.

Kui märk ei ole vaadeldav või kui vaadeldava märgi suhtes on tähtis ootamatuse element, siis teostatakse eellaskmist abimärgi suhtes. Abimärgiks võib olla iga hästi vaadeldav maastikuese, mille asukoht on täpsalt teada ja kantud kaardile või planšetile. Ka märgi asend peab olema teada ja kantud kaardile või planšetile. Eellaskmine abimärgi suhtes kõrvaldab ainult neid vigu suunasihtimisel ja ballistiliste ning ka ilmastikutingimuste arvestamisel, mis on tekkinud alussuurtüki asukoha pealekandmisel kaardile või planšetile.

Kuna lasketingimused on alati muutuvad, seepärast tuleb alatasa parandada laskeandmeid kogu laskmise vältel esimesest lastud mürsust kuni turmtule viimase mürsuni. Seepärast eellaskmine peab kestma ka turmtule vältel, eriti aga siis, kui laskmise eesmärgiks on märgi purustamine.

Vaatlusel on eellaskmise juures väga suur tähtsus. Ainult vaatluse olemasolu võimaldab teostada eellaskmist või tulekontrolli. Vaatluse organiseerimiseks tuleb kasutada kõiki võimalusi ja abinõusid. Mõnikord on vaatlemine võimatu, kas maastiku iseärasluste või muude põhjuste tõttu. Mõnikord on raske leida sobivaid vaatluspunkte ja neid siduda tulepositsiooniga. Igas olukorras ei ole läbiviidav ka õhuvaatlus. Vaatlus on raskendatud öösi ja muutub võimatuks udus või vastase suurtükiväe intensiivse tule all. Neil juhtudel suureneb laskemoonakulu ja laskmise mõjuvus on väiksem.

Tihtipeale mõnede märkide suhtes võib teostada vaatlust ainult seesuguste vaatlusvahenditega, mis ei ole vahetult või pidevalt ühendatud laskjate üksustega (lennukid, õhupallid ja mõõteüksused) ja missugused peavad teostama vaatlusi mitme patarei jaoks. Neil juhtudel eellaskmine ei ole alati teostatav suure ajakulu ja muude põhjuste tõttu ning tuleb piirduda ainult tulekontrolliga. Tulekontrolliga selgitatakse laskeettevalmistusega määratud laskeandmetega lastud mürskude seeria hajumuskese kallanguid märgist, et viimaste põhjal tehtud paranduste järgi üle minna turmtulele. Tulekontrolli teostatakse pärast täielist laskeettevalmistust. vajaduse korral parandatakse laskelähteandmeid eellaskmisega abimärgi suhtes; näiteks neil juhtudel, kui tulekontrolli teostatakse rasketes õhuvaatluse tingimustes lennukilt või õhupallilt.

Täieline laskeettevalmistus võimaldab asuda tule kontrollimisele laskmise alul. Ta soodustab vaatlusüksuste töö produktiivsust.

Juhtudel, kui eellaskmist toimetatakse maapealse vaatluse abil ja märgi nähtavus järsult halveneb ja kui tuli juhiti märgile tulekontrolliga, siis kohe pärast eel- või kontrolllaskmist toimetatakse märkimist tunnismärgile. Tunnismärgiks valitakse tegeliku märgi läheduses olev hästinähtav punkt (ese) s. o. sälkimisega kahest vaatluspunktist leitud fiktiivne punkt või laskude seeria lõhkemiste kese (maapeal või õhus), mis sälgitud kahest punktist. Pärast märkimist tunnismärgile võrreldakse mõlema märgi laskmisel saadud turmtule laskeandmeid, et vajaduse korral neid kasutada pärast eel- või kontroll-laskmist tunnismärgile, kui on vaja tulistada tegelikku märki.

Pärast igat laskmist on alati vaja eel- või kontroll-laskmise tulemusi võrrelda laskeettevalmistuse tulemustega, et selgitada laskeettevalmistusel tehtud vigu ning seega järjest paremdada ning täpsustada laskeettevalmistust järgnevatel laskmistel.

Olenevalt vaatlusviisist laskmisel võidakse määrata:

— ainult lõhkemise kallangu märk (kauguses ja suunas) või

— lõhkemise kallangu märk ja kallangu suurus.

Sellest olenevalt toimetatakse suuna- ja kauguseel-laskmist esimesel juhul haaretega, teisel juhul lõhkemiste kese ümberpaigutamisega.

Eellaskmise perioodil tulejuht kontrollib ja täpsustab laskeettevalmistusel leitud lähteandmed, viies tule üle vastavalt vaatlusega saadud kallangutele. Kui tulejuht on lõpetanud eellaskmise, läheb ta harilikult kohe üle turmtulele, tulistades märki vastavalt selle iseloomule ja määratud tule-eesmärgile.

Laskmise läbiviimine lahinguolukorras on seotud mitmesuguste raskustega. Sageli juhtub, et tulejuhil puuduvad tarvilikud abinõud või ta on puudulikult orienteeritud või informeeritud märgi asukoha, tulepositsiooni asukoha, ilmastiku või ballistiliste tingimuste suhtes. Samuti materjaalsed või moraalsed olukorra tingimused, sageli raskendavad mõõtmiste ja arvutuste toimetamist. Pealegi tulejuht pole harilikult oma aja peremees. Ta peab end alati kohaldama vanema juhi käskudele ja kavatsustele, toetatava väeüksuse nõudmistele ja lahinguolukorra tingimustele. Olukordade mitmekesisus, milledes tuleb teotseda tulejuhil, nõuab temalt põhjalikke teoreetilisi ja praktilisi teadmisi suurtükiväe laskeasjanduses, et igasuguses olukorras kõige produktiivsemalt ära kasutada mürske.

2. Laskereeglite tõendamisviise.

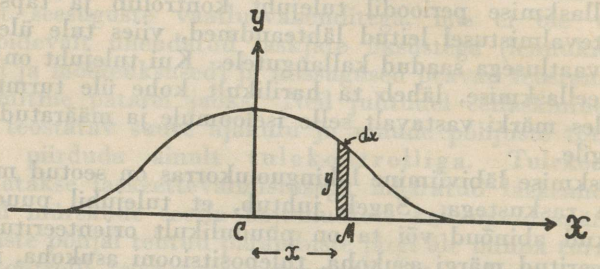
Laskereeglite (eellaskmise viiside) tõendamise eesmärgiks on selgitada mürskude hajumise teooria põhjal, et antud eellaskmise viisiga mürskude hajumuskese viiakse märgile (eellaskepunktile) lähemale kui üks tõenäone kallang ja näidata

(määrata) märgi tõenäose asendi rajooni piir. Kui eellaskmisele peab järgnema pindala tulistamine, siis näidata, et märk asub kindlasti tulistataval pindalal.

Laskereeglite tõendamiseks on olemas järgmisi viise:

a) Laskereeglite tõendus hüpoteeside tõenäosuse lausete põhjal.

Laskereeglite tõendamisviis märgi asendi tõenäosuse kõvera määramisega hüpoteeside lausete põhjal on üks tõhusamaid ja laialdasemalt kasutatavaid viise.



Joon. 68.

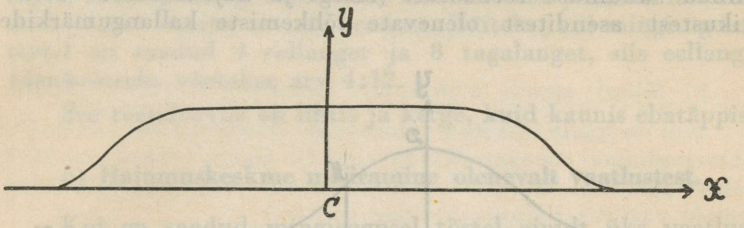
Olgu laskeettevalmistusel määratud lähtetõstel vastav hajumuskese asend punktis C (joon. 68.). Pihtavus- ehk hajumuskeskme kaugus (kallang) märgist M on vahestine (juhusest sõltuv) suurus. See suurus $CM = x$ allub Gauss'i vigadeseadusele. Märgi kaugusasendite kõigiks võimalikkudeks kohtadeks on telje CX punktid. Märgi asendi jaoks mingisuguses punktis M (abstsissiga x) on tõenäosus:

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} ;$$

kus $h = 0{,}477 : T$ (T on tõenäone kallang). Kui laskeettevalmistus on kiire ning vähese täpsusega, siis võib oletada, et lähteseadetele vastava hajumuskeskme läheduses on märgi asendid enne laskmist võrdvõimalikud, s. o. võrdse tõenäosusega. Seepärast märgi asendi tõenäosuse kõver lähteseadetele vastava hajumuskeskme C piirkonnas on peagu paral-

leelne koordinaadistiku X-teljega (joon. 69.). Kuna on teada laskeettevalmistuse tõenäoseid vigu, mille väärtused olenevad laskeettevalmistuse viisist ja täpsusest, siis on ka võimalik iga laskmise eel määrata märgi asendi tõenäosusi (tõenäosuse kõveraid) lähteseadetele vastavas hajumuskese piirkonnas.

Eellaskmisel toimetatakse lähteseadete parandusi ja kontrolli lastud mürskude lõhkemiste vaatluste põhjal. Kallangumärkide (eellange, tagalange, madal, näke jne.) kombinatsioonide põhjal määratakse märgi tõenäone asend ja selle asendi võimalikud piirid laskeseadetele vastava haju-



Joon. 69.

muskeskme suhtes. Selle lahendusviisi juures võib teha märgi ja hajumuskeskme vastastikuse asendi suhtes rida oletusi ehk hüpoteese, võrrelda nende tõenäosusi ning lahenduse tulemusena määrata suurima tõenäosusega oletus ehk hüpotees.

Kuni üksikute laskude või seeriate vaatluste saamiseni võib oletada, et kõik hüpoteesid märgi asendi kohta on võrdvõimalikud (seda vähemalt hajumuskese piirkonnas). Kuid pärast vaatluste saamist (pärast katseid) oletuste (hüpoteeside) tõenäosused muutuvad isesugusteks. Neist hüpoteesidest suurima tõenäosusega hüpoteesi määramiseks tuleb kasutada hüpoteeside lauset, mis ütleb, et kui enne katset kõik sündmuse tõestumiseks (tekkimiseks) tehtud hüpoteesid on samaväärsed, siis pärast sündmuse tekkimist (katset) nende hüpoteeside tõenäosused on võrdelised nende hüpoteeside järgi võetud sündmuse tõenäosustega s.o.:

$$Q_k = \frac{p_k}{p_1 + p_2 + \ldots + p_k + \ldots + p_n};$$

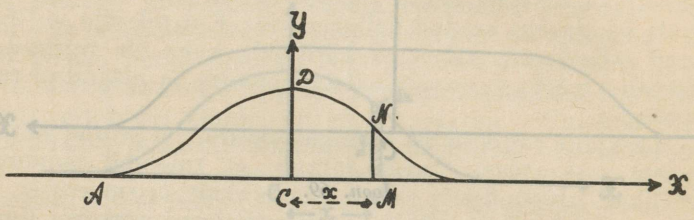
kus:

Q_k — hüpoteesi tõenäosus pärast katset,

$p_1, p_2, \ldots p_k, \ldots p_n$ — hüpoteeside järgi võetud sündmuse tõenäosused.

Järelikult, pärast katset on suurima tõenäosusega see hüpotees, mille järgi tekkinud sündmus evib suurima tõenäosuse.

Seepärast suurima tõenäosusega hüpoteesi määramiseks ei ole vaja võrrelda hüpoteeside tõenäosusi (märgi asendite tõenäosusi), vaid võrrelda ainult nende hüpoteeside järgi tekkinud sündmuse tõenäosusi (märgi ja hajumuskese vastastikustest asenditest olenevate lõhkemiste kallangumärkide



Joon. 70.

ühendluste tõenäosusi). Suurim neist tõenäosusist määrabki märgi ja hajumuskeskme vastastikuse asendi (märgi asendi).

Olgu laskeettevalmistusel määratud tõsteks H, millele vastav hajumuskese C ühtub koordinaadistiku algpunktiga (joon. 70.). Märgi mingisuguseks kaugusasendiks olgu punkt M_x, mille abstsissiks on $x = CM$; suurus x määrab praegusel juhul märgi asendi hajumuskeskme suhtes, mida vaatleme kui sündmuse S (eellangete, tagalangete või nende mingisuguse ühendluse) tekkimise kohta tehtud hüpoteesi H_x, mille tõenäosus on P_x. Kui sündmuseks S_e on eellange, siis selle sündmuse tõenäosus hüpoteesi H_x (märgi asendi M_x) järgi on p_x ja on võrdne pinnaga $ADNM$ ehk $p_x = 0{,}5 + 0{,}5 \cdot P\ (x : T)$, kus P — tõenäose pihtavuse protsendi tabelis antud pihtavuse tegur ja T — tõenäone pikkuskallang. Samuti ka määratakse sündmuse S_t (tagalange) tõenäosus sama hüpoteesi (märgi asendi) järgi või sündmuste S_e ja S_t ühendluse (liitsündmuse) tõenäosus sama hüpoteesi

järgi. Analoogiliselt tuleb toimida nende sündmuste tõenäosuste määramisel kõigi teiste hüpoteeside (märgi asendite) järgi ning saadud andmetega konstrueerida märgi asendi tõenäosuse kõver eellaskmisel saadud lõhkemiste vaatluste põhjal (ehk märgi asendi tõenäosuse kõver pärast laskmist).

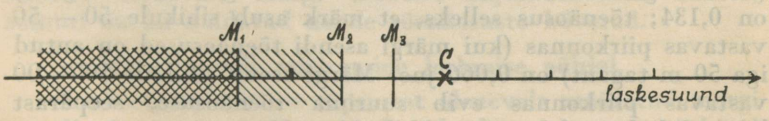
b) Laskereeglite tõendus suurte arvude seaduse rakendusega piiratud laskude arvu juures.

Eeltoodud tõendusviis on hää ja võrdlemisi täppis, kuid raske ja aegaviitev. Seepärast selle viisi asemel kasutatakse sageli kallangumärgi tõenäosuse määramiseks piiratud laskude arvu juures suurte arvude seadust. Näiteks, kui mingisugusel tõstel on saadud 4 eellanget ja 8 tagalanget, siis eellange tõenäosuseks võetakse arv 4:12.

See tõendusviis on lihtis ja kerge, kuid kaunis ebatäppis.

c) Hajumuskeskme määramine olenevalt vaatlustest.

Kui on saadud mingisugusel tõstel ainult üks vaatlus, näiteks eellange, siis antud tõstele vastav hajumuskese C ei ole märgist M_1 kaugemal kui 4 Tp võrra ehk märgi asend hajumuskeskme suhtes ei või olla lähemal kui 4 Tp võrra. Kui märgi asend on punktis M_1 (joon. 71), siis eellange saamise tõenäosus on $0{,}5 - 0{,}5\ P\ (4) = 0{,}0035$. See tõenäosus on äärmiselt väike ning eeltoodud otsus on peaaegu õige. Kui märgi asend on punktis M_2, siis eellange tõenäosus on 0,09; kahe eellange tõenäosus on $0{,}09 \cdot 0{,}09 = 0{,}0081$. Seepärast, kui ühel tõstel on saadud kaks eellanget, siis antud tõstele vastav hajumuskese ei ole märgist kaugemal kui 2 Tp. Kui märgi asend on punktis M_4, siis eellange tõenäosus on 0,25 ja 4 eellange tõenäosus on $(0{,}25)^4 = 0{,}0039$. Seepärast, kui ühel tõstel on saadud neli eellanget, siis antud tõstele vastav hajumuskese ei ole märgist kaugemal kui ühe Tp võrra. Sama on maksev ka tagalangete suhtes — muidugi vastupidises suunas.



Joon. 71.

d) Hajumuskeskme määramine olenevalt seeria üksikkallangute suurustest.

Seeria hajumuskeskme kallang määratakse üksikkallangute keskmise mõõtmistulemuse järgi, mille viga $\left(J = \frac{V}{\sqrt{n}}\right)$ oleneb seeria lõhkemiste arvust; kui see arv on 4, 6, 8, siis seeria hajumuskeskme tõenäone kallang on 0,5 T; 0,4 T; 0,35 T.

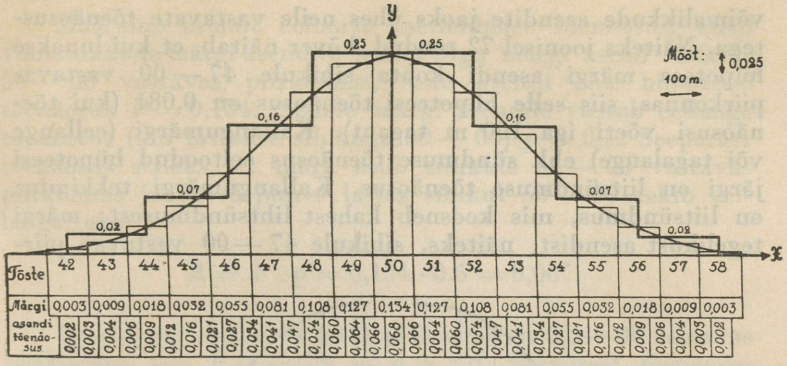
3. Märgi võimaliku asendi määramine.

a) Märgi asendi määramine laskeettevalmistuse põhjal.

Kui on teada laskeettevalmistusel määratud laskeandmete (lähteandmete) tõenäoseid vigu, siis võib Gauss'i vigade-seaduse põhjal määrata märgi võimaliku asendi piire lähtelaskeandmetele vastava hajumuskeskme suhtes.

Olgu kaardiga kiirel laskeettevalmistusel määratud laskekauguseks $D = 5000$ m. Selle ettevalmistusviisi juures olgu kauguse määramise tõenäone viga võrdne 4% laskekaugusest ehk 200 m. Kuna kauguse määramise suurim viga nii ühes kui ka teises suunas võrdub nelja tõenäolise veaga; siis märgi võimalikud kaugused alussuurtüki juurest võivad olla piirides $5000 - 4 \cdot 200 = 4200$ kuni $5000 + 4 \cdot 200 = 5800$ m. Märgi asendi tõenäosust neis kauguste piirides võib määrata tõenäoste vigade skaala järgi.

Märgi võimaliku asendi piirid, asendite tõenäosused tõsteseadetest või hajumuskeskme kaugusest olenevalt ja märgi asendi tõenäosuse kõver on toodud joonisel 72. Tõsteseaded on antud sihikujaotistes (üks sihikujaotis = 100 m). Märgi asendi tõenäosused on antud iga 200, 100 ja 50 m tagant. Näiteks, tõenäosus selleks, et märk asub sihiku 50 piirkonnas (kui märgi asendi tõenäosused on antud iga 100 m tagant) on 0,134; tõenäosus selleks, et märk asub sihikule 50 — 50 vastavas piirkonnas (kui märgi asendi tõenäosused on antud iga 50 m tagant) on 0,066 jne. Märgi asend sihikule 50 — 00 vastavas piirkonnas evib suurima tõenäosuse, seepärast lähtesihikuks tuleb võtta sihik 50 — 00.



Joon. 72.

Märgi asendi piiride (tõenäosuste) tundmine võimaldab:
— määrata õiged lähteseaded eellaskmiseks,
— määrata õiged seaded ja tulistatava pindala turmlaskmiseks.

b) Kallangumärgi tõenäosuse määramine.

Ühe või teise kallangumärgi (+ või —) saamise tõenäosus mingisugusel seadel oleneb märgi ja hajumuskeskme vastastikusest asendist.

Näiteks, kui märk asub lähtetõstele vastavast hajumuskeskmest kaugemal kui 4 *Tp*, siis ükski mürsk ei ulatu märgini (v. a. äärmiselt väikene % mürske, mis kalduvad kõrvale hajumuskeskmest rohkem kui 4 *Tp* võrra ja missuguseid praktikas arvesse ei võeta). Järelikult märgi seesuguse asendi juures eellange tõenäosus on 100 %.

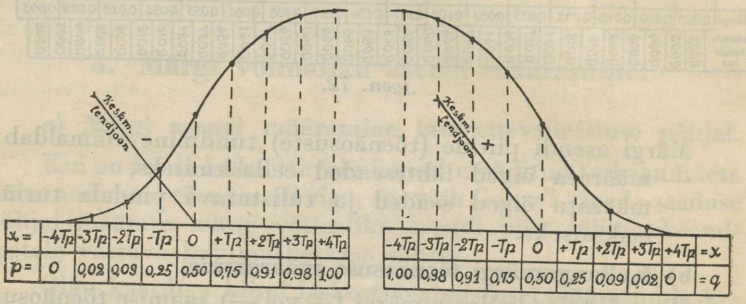
Kui märk asub hajumuskeskmest kaugemal kui 3 *Tp*, kuid lähemal kui 4 *Tp*, siis 2% lastud märskudest annavad tagalangeid ja 98% — eellangeid. Samal viisil võib määrata eellangete ja tagalangete tõenäosusi märgi kõigi võimalikkude asendite jaoks hajumuskeskme suhtes.

Joonisel 73 on toodud eellangete ja tagalangete tõenäosusi olenevalt märgi asendist hajumuskeskme suhtes, samuti on ka näidatud nende tõenäosuste kõverad.

c) Märgi asendi määramine laskmise põhjal.

Laskeettevalmistuse täpsusest olenevalt määratud märgi asendi tõenäosuse kõver annab rida hüpoteese märgi kõigi

võimalikkude asendite jaoks ühes neile vastavate tõenäosustega. Näiteks joonisel 72 toodud kõver näitab, et kui luuakse hüpotees märgi asendi kohta sihikule 47 — 00 vastavas piirkonnas, siis selle hüpoteesi tõenäosus on 0,081 (kui tõenäosusi võeti iga 100 m tagant). Kallangumärgi (eellange või tagalange) ehk sündmuse tõenäosus eeltoodud hüpoteesi järgi on liitsündmuse tõenäosus. Kallangumärgi tekkimine on liitsündmus, mis koosneb kahest lihtsündmusest: märgi tegelikust asendist, näiteks, sihikule 47 — 00 vastavas piir-



x =	-4Tp	-3Tp	-2Tp	-Tp	0	+Tp	+2Tp	+3Tp	+4Tp
p =	0	0,02	0,09	0,25	0,50	0,75	0,91	0,98	1,00

-4Tp	-3Tp	-2Tp	-Tp	0	+Tp	+2Tp	+3Tp	+4Tp	= x
1,00	0,98	0,91	0,75	0,50	0,25	0,09	0,02	0	= q

A. — Eellange tõenäosus (p) *B. — Tagalange tõenäosus (q)*

Eellange või tagalange tõenäosus olenevalt märgi asendist hajumuskeskme suhtes.

Joon. 73.

konnas ja eellange (tagalange) tekkimisest, kui lasta sihikul 50 — 00. Tõenäosuste korrutuslause põhjal kallangumärgi tekkimise tõenäosus on:

$$R\,(Q) = P \,.\, p\,(q),$$

kus R — eellange ja Q — tagalange tõenäosus määratud tõsteseadel, P — märgi asendi tõenäosus ja $p\,(q)$ — eellange (tagalange) tõenäosus määratud märgi asendi juures.

Suuruse P väärtusi leitakse märgi asendi tõenäosuse tabeli või kõvera järgi (joon. 72), suuruste p või q väärtusi võetakse kallangumärgi tõenäosuse tabeli või kõvera järgi (joon. 73). Et kasutada viimast tabelit või kõverat, peab veel teada olema Tp väärtus. Arutlusel olevas näites võtame kaugusele 5000 m Tp väärtuseks — 25 m.

Määrame esmalt eellange asetleidmise tõenäosusi kõigi võimalikkude märgi asendite jaoks. Olgu märgi asend sihikule 50 — 00 vastavas piirkonnas, selle asendi ehk hüpoteesi tõenäosus $P = 0{,}134$. Sellele märgi asendile vastab eellange tõenäosus (kui lastakse sihikuga 50 — 00) $p = 0{,}5$. Seepärast tõenäosus selleks, et märk asub sihikule 50 — 00 vastavas piirkonnas ja et seejuures lastes sihikul 50 — 00 tekib eellange, on:

$$R = P \cdot p = 0{,}134 \cdot 0{,}5 = 0{,}067.$$

Kui oletada nüüd, et märk asub sihikule 51 — 00 vastavas piirkonnas, siis $P = 0{,}127$ ja $p = 1{,}0$. Seepärast tõenäosus selleks, et märk asub sihikule 51 — 00 vastavas piirkonnas ja et seejuures lastes sihikul 50 — 00 tekib eellange, on $0{,}127 \cdot 1{,}0 = 0{,}127$.

Samasugused arvutused on tehtud ka kõigi teiste märgi võimalikkude asendite jaoks ning nende arvutuste tulemused on koondatud tabelitesse ja kujutatud graafiliselt joonisel 74. III rida.

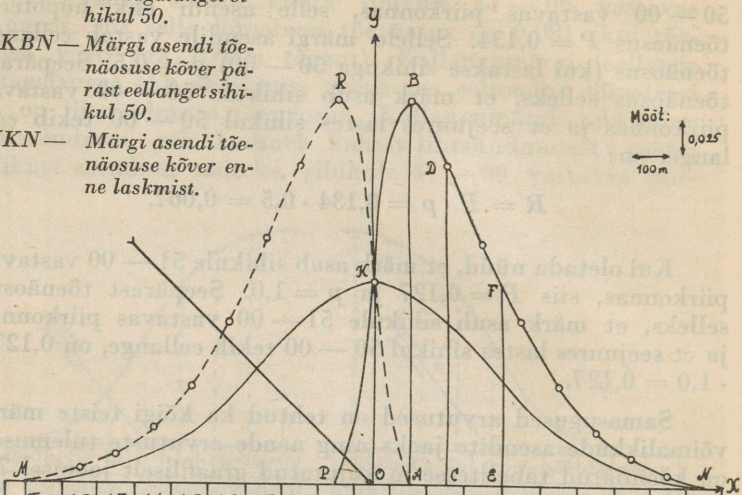
Sellest tabelist selgub, et kui märk asuks sihikule 49—00 vastavas piirkonnas või veelgi lähemal, siis eellange tõenäosus sihikul 50 — 00 on võrdne nulliga. Järelikult, kui esimese lasuga sihikul 50 — 00 oli eellange, siis märgi kõigi võimalikkude asendite lähimaks piiriks on kaugus 4900 ja kaugeimaks piiriks jääb endine, s. o. 5800. Seega pärast lasku (katset) märgi asendi piirid ning tõenäosused muutusid. Vaadeldes märgi asendi tõenäosusi uues piirkonnas, mis vastab sihikutele 49 — 00 kuni 58 — 00, võib tähele panna, et märgi asendi tõenäosused on võrdelised eellange tõenäosustega. Kuna märk peab asuma eelnimetatud uues piirkonnas, siis selles piirkonnas olevate märgi asendite uute tõenäosuste summa peab võrduma ühega. Summeerides aga saadud eellange tõenäosusi $R = Pp$, saame ainult 0,5. Kuna märgi asendi tõenäosused on võrdelised eellange tõenäosustega, siis jagades eellange tõenäosusi 0,5-ga, saame märgi asendi tõenäosusi R_1 pärast eellanget sihikul 50 — 00 (vt. joon. 74 IV rida).

Toimetades samal viisil võib määrata ka tagalange tekkimise tõenäosusi kõigi võimalikkude märgi asendite jaoks

MRKA — *Märgi asendi tõenäosuse kõver pärast tagalanget sihikul 50.*

PKBN — *Märgi asendi tõenäosuse kõver pärast eellanget sihikul 50.*

MKN — *Märgi asendi tõenäosuse kõver enne laskmist.*



	Tõste	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	Tõste
I	$P=$	0,003	0,009	0,018	0,032	0,055	0,081	0,108	0,127	0,134	0,127	0,108	0,081	0,055	0,032	0,018	0,009	0,003	$=P$
II	Eellange tõenäosus (p) ohenevalt märgi asendist sihikule 50 vastava hajumuskese suhtes	$p=0$							0	0,5	1,0	1,0	1,0	Tagalange tõenäosus (q) ohenevalt märgi asendist sihikule 50 vastava hajumuskese suhtes.					
		1,0	1,0						1,0	0,5	0	0	$=q$						
III	Eellange tõenäosus sihikul 50 ohenevalt märgi asendist hajumuskese suhtes enne laskmist. $R=Pp=$								0	0,067	0,127	0,108	0,081	0,055	0,032	0,018	0,009	0,003	$=0,5$ summa
IV	Märgi asendi tõenäosus pärast eellanget sihikul 50; $R_1=\frac{P_p}{0,5}=2P_p=$								0	0,134	0,254	0,216	0,162	0,110	0,064	0,036	0,018	0,006	
V	0,5 = summa	0,003	0,009	0,018	0,032	0,055	0,081	0,108	0,127	0,067	0	$Q=P_q$ Tagalange tõenäosus sihikul 50 ohenevalt märgi asendist hajumuskese suhtes enne laskmist.							
VI		0,006	0,018	0,036	0,064	0,110	0,162	0,216	0,254	0,134	0	$=Q_1=\frac{P_q}{0,5}=2P_q$ Märgi asendi tõenäosus pärast tagalanget sihikul 50.							

Joon. 74.

ning märgi asendi tõenäosusi Q_1 pärast tagalanget sihikul 50 — 00 (joon. 74 VI rida).

Kui võrrelda märgi asendi tõenäosuse kõveraid, mis määratud laskeettevalmistuse põhjal enne lasku ja saadud kallangumärgi põhjal pärast lasku, siis võib tähele panna järgmist:

1) Märgi võimaliku asendi rajooni sügavus laskeettevalmistuse põhjal oli 1600 m; esimese vaatluse põhjal saime ainult 950 m, s. o. umbes poole võrra vähem.

2) Märgi võimaliku asendi tõenäosused pärast esimest vaatlust määratud rajoonis on umbes kaks korda suuremad neist märgi võimaliku asendi tõenäosusist, mis olid määratud enne laskmist. Näiteks, märgi asendi tõenäosus sihikule 52 — 00 vastavas piirkonnas oli enne vaatlust määratud $P = 0{,}108$, kuna pärast eellange asetleidmist on märgi asendi tõenäosuseks samas piirkonnas määratud $R_1 = 0{,}216$.

3) Kui laskeettevalmistuse põhjal määratud märgi võimaliku asendi tõenäosuse kõver on sümmeetriline, siis esimese kallangu märgi (kas eellange või tagalange, mitte aga pihtavus või eellange ja tagalange korraga) põhjal määratud märgi võimaliku asendi tõenäosuse kõver on ebasümmeetriline.

Laskeettevalmistuse põhjal määratud märgi kõigi võimalikkude asendite keskmine oli ühtlasi ka suurima tõenäosusega. Kuna eellange põhjal märgi uute asendite keskmiseks on sihikule 52 — 00 vastav asend, mille tõenäosus on 0,216 ($C\,D$); suurima tõenäosuse ja nimelt 0,254 ($A\,B$) evib aga sihikule 51 — 00 vastav asend. Märgi uute asendite piirkonna sügavuse keskkoht vastab sihikule 53 — 50 (E).

4. Märgi asendi tõenäosuse kõvera rakendusi haaretega kauguseellaskmise tähtsamate reeglite tõendamisel.

Märgi asendi tõenäosuse kõvera abil võib pärast iga lasku (vaatlust) määrata märgi tõenäone asend ühele või teisele tõste- (samuti ka suuna-) seadele vastava hajumuskeskme suhtes. Järelikult, pärast esimest lasku võib selle lasu vaatluse põhjal konstrueeritud märgi asendi tõenäosuse kõvera abil määrata laskeseaded teise lasu jaoks jne. Sealjuures tuleb ka silmas pidada eellaskmiseks kulutatava laskemoona ja aja kokkuhoidu. Iga mürsk tuleb lasta seesuguse arvestusega, et ta annaks suurimat turma ja täpsustaks märgi asendi määramist.

Olgu käsil kauguseellaskmine haaretega lasketingimustes, mis toodud eelmises punktis (vt. p. 3 c ja joon. 74), s. o. lasu lõhkemise vaatlus andis eellange. Tekib kohe küsimus — kui palju tuleb suurendada tõstet, et järgmise lasuga saada

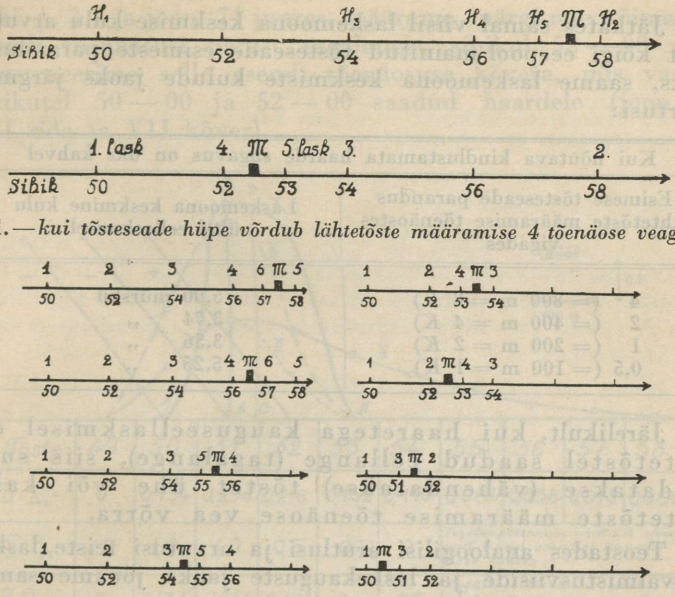
tagalange, s. o. haarata märki. Vaadeldes märgi võimaliku asendi piire pärast eellanget, näib, et kindla tagalange saamiseks (kui hajumust mitte arvestada) sihiku seadet tuleks suurendada vähemalt kauguse määramise nelja tõenäose vea võrra, s. o. 800 m võrra ehk lasta sihikul 58 — 00. Kui aga silmas pidada haarde kitsendamise vajadust kuni 1 —2 kahvlini (ehk lähtetõste määramise 0,5 — 1 tõenäose veaga võrdse haardeni, kui kahvel $K = 100$ m) ja laskemoona ning aja säästu, siis oleks eeltoodud tõsteparandus (esimene kaugushaare) suur.

Küsimuse selgituseks määrame haaretega kauguseellaskmise keskmise laskemoonakulu, kui nõutava haarde sügavus on 1 kahvel ja esimese kaugusvaatluse põhjal tehtud tõsteseade parandus on võrdne 4, 2, 1 ja 0,5 lähtetõste määramise tõenäose veaga. Saadud tulemuste võrdlus näitab, missugune peab olema kasulikum tõsteseade esimene parandus. Kui tõsteseade parandus on võrdne 4 lähtetõste määramise tõenäose veaga, siis joon. (75 A) põhjal ühekahvlilise kindlustamata haarde saamiseks kulub ära 5 mürsku (märgi asendist olenematult).

Samal viisil võib määrata eellaskmiseks mineva keskmise laskemoonakulu, kui esimene tõsteseade parandus on teistsugune (näiteks, võrdub 1 lähtetõste määramise tõenäose veaga). Sel juhul keskmine laskemoonakulu oleneb märgi asendist ja on isesugune. Joon. 75 põhjal keskmine laskemoonakulu on 3 kuni 6 mürsku.

Selleks, et määrata eellaskmiseks mineva keskmise laskemoonakulu on vaja teada mitte üksnes laskemoonakulu üksikutel juhtudel, vaid ka seda, kui sagedasti üks või teine juhus leiab aset, s. o. kui suured on tõenäosused või sagedused märgi asendiks selle piirkonna ühes või teises osas. Neid tõenäosusi määratakse märgi asendi tõenäosuse kõvera järgi. Käesoleva lasketingimuse jaoks võib leida R_1 väärtusi joon. 74 juurde kuuluva tabeli IV reast. Need on koondatud alljärgnevas tabelis.

Märgi asendile vastavad tõsteseaded	49 kuni 50	50 51	51 52	52 53	53 54	54 55	55 56	56 57	57 58	Kokku
Märgi asendi tõenäosused %%	6	19	23	20	14	9	5	3	1	100



A.—kui tõsteseade hüpe võrdub lähtetõste määramise 4 tõenäose veaga.

B.—kui tõsteseade hüpe võrdub lähtetõste määramise 1 tõenäose veaga.

Joon. 75.

Laskemoona keskmise kulu määramiseks (näiteks juhul, kui nõutava haarde sügavus on 1 kahvel ja esimese kaugusvaatluse põhjal tehtud tõsteseade parandus on võrdne lähtetõste määramise ühe tõenäose veaga, mis = 200 m) kasutame vahestise suuruse matemaatilise keskmise valemit:

$$x_m = x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 + \ldots + x_n p_n \ ;$$

kus antud juhul:

x_1, x_2, x_3, ... laskemoonakulu märgi asendi iga üksiku juhu jaoks;

p_1, p_2, p_3, ... märgi asendi tõenäosus iga üksiku juhu ehk vastava tõsteseade jaoks.

$$x_m = (3 \cdot 0{,}19) + (3 \cdot 0{,}23) + (4 \cdot 0{,}20) + (4 \cdot 0{,}14) +$$

$$+ (5 \cdot 0{,}09) + (5 \cdot 0{,}05) + (6 \cdot 0{,}03) + (6 \cdot 0{,}01) = 3{,}56 \text{ mürsku.}$$

Jätkates samal viisil laskemoona keskmise kulu arvutamist kõigi eespool mainitud tõsteseade esimeste paranduste jaoks, saame laskemoona keskmiste kulude jaoks järgmisi väärtusi:

Kui nõutava kindlustamata haarde sügavus on üks kahvel	
Esimese tõsteseade parandus lähtetõste määramise tõenäostes vigades	Laskemoona keskmine kulu ühel eellaskmisel
4 (= 800 m = 8 *K*)	5,00 mürsku
2 (= 400 m = 4 *K*)	3,74 „
1 (= 200 m = 2 *K*)	3,56 „
0,5 (= 100 m = 1 *K*)	5,25 „

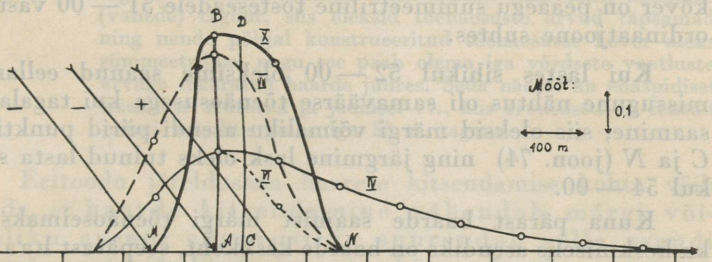
Järelikult, kui haaretega kauguseellaskmisel on lähtetõstel saadud eellange (tagalange), siis suurendatakse (vähendatakse) tõstet ühe või kahe lähtetõste määramise tõenäose vea võrra.

Teostades analoogilisi arutlusi ja arvutusi teiste laskeettevalmistusviiside ja laskekauguste jaoks jõuame samasugustele tulemustele.

Kui toodud näite lasketingimuste juures muudame lähtetõste seadet ühe lähtetõste määramise tõenäose vea võrra, siis peab laskma järgmise lasu sihikul 52 — 00. Uurides märgi asendi tõenäosuse kõverat pärast eellanget näeme, et tõsteseade 52 — 00 vastab märgi keskmisele asendile, s. o. asendile, mille juures eellangete ja tagalangete tõenäosused on võrdsed. Seejuures olgu tähendatud, et suurima tõenäosusega märgi asendile vastab tõsteseade 51 — 00. Ka edaspidi näeme, et laskereeglite tõenduse juures märgi tõenäoseima asendi määramine ei ole nii suure tähtsusega kui märgi keskmise asendi (kus eel- ja tagalangete tõenäosused on võrdsed) määramine.

Olgu et lastes sihikul 52 — 00 saime tagalange. Selle tõttu märgi võimaliku asendi piirid muutuvad ning märgi asendi kaugeimaks piiriks peab olema kaugus, mis vastab tõsteseadele 52 — 00 + 4 *Tp* ehk tõsteseadele 53 — 00. Seega märgi võimaliku asendi rajooni piiridele vastavad tõsteseaded ehk laskekaugused on 49 — 00 ja 53 — 00. Teostades arutlusi ja arvutusi, nagu seda tegime käesoleva pea-

tüki p. 3 c ja joon. 74 juures, määrame märgi uue võimaliku asendi tõenäosusi pärast tagalanget sihikul 52 — 00 ning konstrueerime selle asendi tõenäosuse kõvera, mis vastab sihikutel 50 — 00 ja 52 — 00 saadud haardele (joon. 76 VII rida ja VII kõver).



Tõste	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
IV R_1 =	0	0,134	0,254	0,216	0,162	0,110	0,064	0,036	0,018	0,006
V q_2 =	1,0	1,0	1,0	0,5	0	0	Tagalange tõenäosus sihikul 52 olenevalt märgi asendist hajumuskõvera suhtes			
VI $R_1 q_2$ =	0	0,134	0,254	0,108	0	= 0,5 (summa)	Tagalange tõenäosus sihikul 52 olenevalt märgi asendist hajumuskõvera suhtes enne laskmist.			
VII $Q_2 = \frac{R_1 q_2}{0,5}$ =	0	0,268	0,508	0,216	0	= 1,0 (summa)	Märgi asendi tõenäosus pärast tagalanget sihikul 52.			
VIII p_3 =	0	0	0,5	1,0	1,0	1,0	Eellange tõenäosus sihikul 51 olenevalt märgi asendist hajumuskõvera suhtes.			
IX $Q_2 p_3$ =	0	0	0,254	0,216	0	= 0,47 (summa)	Eellange tõenäosus sihikul 51 olenevalt märgi asendist hajumuskõvera suhtes enne laskmist			
X $R_3 = \frac{Q_2 p_3}{0,47}$ =	0	0	0,540	0,460	0	= 1,0 (summa)	Märgi asendi tõenäosus pärast eellanget sihikul 51.			

Joon. 76.

Kui nüüd võrrelda märgi asendi tõenäosuse kõveraid, mis olid määratud pärast esimest ja teist lasku (vaatlusi), siis võib panna tähele järgmist:

1) Märgi võimaliku asendi piirkonna sügavus vähenes 2,5 korda.

2) Märgi asendi tõenäosused samas piirkonnas suurenesid kahekordselt. Näiteks, pärast esimest lasku (vaatlust) oli märgi asendi tõenäosus sihikule 51 — 00 vastavas piir-

konnas $R_1 = 0{,}254$, nüüd aga pärast teist lasku (vaatlust) ehk pärast haarde saamist on märgi asendi tõenäosus sihikule 51 — 00 vastavas piirkonnas $Q_2 = 0{,}508$.

3) Märgi tõenäoseim ja ka keskmine asend ühtuvad ja on sihikul 51 — 00. Seepärast märgi asendi tõenäosuse kõver on peaaegu sümmeetriline tõsteseadele 51 — 00 vastava ordinaatjoone suhtes.

Kui lastes sihikul 52 — 00 oleksime saanud eellange, missugune nähtus oli samaväärse tõenäosusega kui tagalange saamine, siis oleksid märgi võimaliku asendi piirid punktides C ja N (joon. 74) ning järgmine lask oleks tulnud lasta sihikul 54 — 00.

Kuna pärast haarde saamist märgi tõenäoseimaks ja ka keskmiseks asendiks on haarde keskkoht, seepärast haarde kitsendamist tuleb teostada selle järkjärguse poolitamisega.

Kui nüüd jätkata laskmist ning saadud kahekahvlilise haarde kitsendamist, siis tuleb anda järgmine ning kolmas lask märgi tõenäoseimale ja ka keskmisele asendile vastaval sihikul 51 — 00, mille juures eellangete ja tagalangete tõenäosused on peaaegu võrdsed. Olgu et kolmandama lasu juures, mis tehti sihikul 51 — 00, saime eellange. Teostades arutlusi, arvutusi ja graafilisi konstruktsioone, nagu seda tegime eelmiste laskude ning vaatluste põhjal, määrame märgi uue võimaliku asendi tõenäosusi pärast eellanget sihikul 51 — 00 ning selle asendi tõenäosuse kõvera (kõver X joon. 76). Kolmandama lasu tulemuste põhjal võib öelda järgmist:

1) Märgi võimaliku asendi sügavus vähenes veelgi 1,6 korda.

2) Märgi asendi tõenäosused sihikutele 51 — 00 ja 52 — 00 vastavas piirkonnas suurenesid kuni kaks korda. Näiteks, pärast 2. lasku oli märgi asendi tõenäosus sihikule 52 — 00 vastavas piirkonnas $R_1 = Q_2 = 0{,}216$, nüüd aga pärast kolmandamat lasku $R_3 = 0{,}460$; sihikule 51 — 00 vastavas piirkonnas märgi asendi tõenäosus suurenes vähemal määral — ainult 1,06 korda.

3) Märgi keskmisele asendile vastab tõsteseade, mis on peagu 51 — 00, kuna märgi tõenäoseimale asendile vastab

tõsteseade 51 — 00. Ordinaatjoon CD jaotab tasapinna $MBDN$ pooleks.

Märkus: Joonisel 76 toodud märgi asendi tõenäosuse kõver X on ebasümmeetriline selle tõttu, et märgi asendite ja vaatluste tõenäosused on arvutatud ligikaudselt ja nimelt iga 100 m tagant. Kui neid arvutusi oleks tehtud väiksemate kauguste (vahede) tagant, siis oleksid tõenäosuste arvud täpsamad ning nende põhjal konstrueeritud tõenäosuste kõver oleks sümmeetriline, nagu see peab olema iga võrdsete vaatluste arvuga määratud haarde juures. Seda näeme ka edaspidisel küsimuse arutlusel ja joonisel 77., kus arvutused on tehtud märgi asendite jaoks iga 50 m tagant.

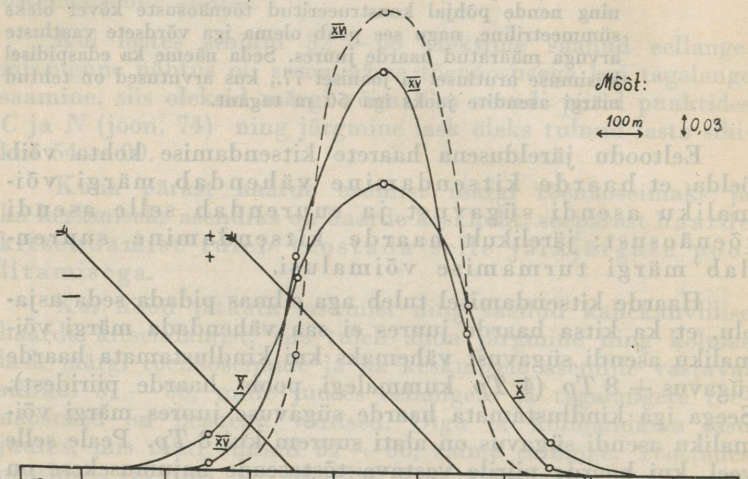
Eeltoodu järeldusena haarete kitsendamise kohta võib öelda, et haarde kitsendamine vähendab märgi võimaliku asendi sügavust ja suurendab selle asendi tõenäosust; järelikult haarde kitsendamine suurendab märgi turmamise võimalusi.

Haarde kitsendamisel tuleb aga silmas pidada seda asjaolu, et ka kitsa haarde juures ei saa vähendada märgi võimaliku asendi sügavust vähemaks kui kindlustamata haarde sügavus + 8 *Tp* (4 *Tp* kummalegi poole haarde piiridest). Seega iga kindlustamata haarde sügavuse juures märgi võimaliku asendi sügavus on alati suurem kui 8 *Tp*. Peale selle veel, kui haarde piirile vastava tõsteseade hajumusekese on märgile lähemal kui 4 *Tp*, siis võib saada valevaatlusi, mille põhjal võib suureneda eellaskmise aeg ja ka laskemoonakulu. (Valevaatluste all tuleb mõista neid vaatlusi, mis näitavad haarde lähemal piiril tagalangeid ja ka vastupidi).

Et ära hoida valevaatluste ning valehaarde (-kahvli) võimalusi ja vähendada märgi võimaliku asendi sügavust ka väljaspool haarde piire, tuleb kindlustada nõutava kitsa haarde piire kahe või rohkem vaatlusega haarde mõlemal piiril. Käesoleva peatüki punkt 2. c põhjal teame juba, et kui ühel tõstel on saadud kaks sama märgiga vaatlust, siis sellele tõstele vastav hajumuskese ei või olla märgist kaugemal või lähemal kui 2 *Tp*. Seega, kui haarde piirid on kindlustatud kumbki kahe vaatlusega, siis märgi võimaliku asendi sügavus on võrdne haarde sügavusega + 4 *Tp* (2 *Tp* kummalegi poole haarde piiridest). Kui haarde piirid on kumbki kindlustatud nelja vaatlusega, siis märgi võimaliku asendi

sügavus on võrdne haarde sügavusega + 2 *Tp* (üks *Tp* kummalegi poole haarde piiridest).

Kui nüüd tuleme tagasi meie kindlustamata 100 m (ühekahvlilise) haarde juurde, mille saime pärast 3. lasku (joon. 76) sihikutel 51 — 00 ja 52 — 00 ja kindlustame selle haarde piire veel ühe lasuga kummalgi tõsteseadel.



Tõste	50-00	50-50	51-00	51-50	52-00	52-50	53-00	Summad
$\overline{X}$ $R_3=$	0	0,047	0,275	0,407	0,232	0,039	0	=1,0
$\overline{XI}$ $P_4=$	0	0,09	0,5	0,91	1,0	Tellonge tõenäosus sihikul 51 otenevalt mägi asendist hajumushese suhtes.		
$\overline{XII}$ $q_5=$	Tagalonge tõenäosus sihikul 52 ofenevalt mägi asendist hajumushese suhtes.		1,0	0,91	0,5	0,09	0	
$\overline{XIII}$ $P_4q_5=$	0	0,09	0,5	0,83	0,5	0,09	0	
$\overline{XIV}$ $R_3P_4q_5=$	0	0,0043	0,137	0,338	0,116	0,0035	0	=0,598
$\overline{XV}$ $\frac{R_3P_4q_5}{0,598}$	0	0,007	0,299	0,564	0,194	0,006	Mägi asendi tõenäosus pääsi 2 tellonget sihikul 51 ja 3 tagalonget sihikul 53.	
$\overline{XVI}$	0	0	0,157	0,641	0,201	0	Mägi asendi tõenäosus kolme vaatlusega kindlustatud kahvli piiridest.	
$\overline{XVII}$	0	0	0,095	0,652	0,123	0	Mägi asendi tõenäosus nelja vaatlusega kindlustatud kahvli piiridest.	

Joon. 77.

Olgu, et 4. lasu juures sihikul 51 — 00 saime eellange ja 5. lasu juures sihikul 52 — 00 saime tagalange. Teostades arutlusi, arvutusi ja graafilisi konstruktsioone, nagu seda tegime varemalt, kuid kõike seda märgi asendite jaoks iga 50 m tagant, saame märgi uue võimaliku asendi tõenäosusi ning selle asendi tõenäosuse kõvera (kõver *XV* joon. 77). Viimaste laskude tulemuste põhjal võib öelda järgmist:

1) Märgi asendi sügavus vähenes eelmisega võrreldes 1,5 korda ehk 100 m (= 4 *Tp*) võrra ja seda nimelt väljaspool haarde piire.

2) Märgi asendi tõenäosused haarde piiride juures jäid umbes endisteks, kuid suurenesid tunduvalt haarde keskkoha juures. Tõenäosus selleks, et märk asub haarde keskkohas on isegi üle 50%.

3) Märgi tõenäoseimale ja keskmisele asendile vastab tõsteseade 51 — 50.

Uurides märgi asendi tõenäosuse kõveraid *X*, *XV*, *XVI* ja vastavat tabelit (joon. 77), näeme, et märgi võimaliku asendi sügavust vähendab ja selle asendi tõenäosust haarde sees suurendab tunduvalt haarde piiride kindlustamine ainult kahe vaatlusega kummalgi piiril; kuna haarde piiride kindlustamine suurema vaatluste arvuga ei too selles suhtes märkimisväärt olevaid paremusi, mis tasuksid ära selleks vajaliku aja ja laskemoona kulu.

Seepärast, turmtulele üleminekuks nõutava haarde piire tuleb kindlustada kahe vaatlusega kummalgi haarde piiril.

Kui mingisugusel tõsteseadel on saadud vastupidiste märkidega vaatlusi, siis nimetatakse seda vaatlusteühendlust katanguks.

Olgu, et 4. lasu juures sihikul 51 — 00 saime tagalange; järelikult meil on saadud sihikul 51 — 00 üks eellange ja üks tagalange — ehk katang. Teostades arutlusi ja arvutusi tavalisel viisil, määrame märgi võimaliku asendi tõenäosusi katangu jaoks järgmiselt:

Sihikud	5000	5050	5100	5150	5200	5250	5300	Summa
Märgi asendi tõenäosus pärast eellanget sihikul 51—00 (R_3) . .	0	0,047	0,275	0,407	0,232	0,039	0	1,0
Tagalange tõenäosus sihikul 51—00 (q_4) . .	1	0,91	0,50	0,09	0	0	0	—
Katangu saamise tõenäosus ($R_3 \cdot q_4$) . . .	0	0,043	0,138	0,037	0	0	0	0,218
Märgi asendi tõenäosus pärast katangut sihikul 51—00 ($R_3 q_4 : 0{,}218$) .	0	0,197	0,633	0,170	0	0	0	1,0

Järeldusi. Tõenäosus selleks, et märk asub sihikule 51 — 00 vastavas piirkonnas on üle 63%, mis on mitu korda suurem kui teiste asendite tõenäosused; seega laskmist tuleb jätkata sihikul 51 — 00.

Laskmise jätkamisel võib olla kaks järgmist kombinatsiooni:

a) Uuesti on saadud katang (kindlustatud katang), mille juures on järgmised märgi asendi tõenäosused:

Tagalange tõenäosus sihikul 51—00 (q_5) . .	0	0,09	0,50	0,91	1,00	1,00	1,00	—
Eellange tõenäosus sihikul 51—00 (p_6) . .	1,0	0,91	0,50	0,09	0	0	0	—
Katangu tõenäosus sihikul 51—00 ($q_5 p_6$) .	0	0,08	0,25	0,08	0	0	0	—
Kindlustatud katangu tõenäosus ($R_3 q_4 q_5 p_6 : 0{,}218$	0	0,016	0,13	0,014	0	0	0	0,16
Märgi asendi tõenäosus pärast kindlustatud katangut sihikul 51—00 .	0	0,10	0,81	0,09	0	0	0	1,0

Tõenäosus selleks, et märk asub sihikule 51 — 00 vastavas piirkonnas on 81%, seega sihik 51 — 00 on märgi turmamiseks tõenäoseim.

b) Kui pärast katangut on laskmise jätkamisel saadud katangu tõstel ühe ja sama märgiga vaatlusi, siis märgi keskmine asend ei vasta katangu tõstele, vaid on sellest 1 kuni 2 *Tp* võrra ees või taga.

Eeltooduga on tõestatud reegel, et katangu või tabavuse puhul tuleb alustada turmamist.

5. Eellaskmine haaretega (vaatlus annab ainult lõhkemise kallangumärgi).

a) Haaretega eellaskmise eesmärk ja iseloomustus.

Haaretega eellaskmise eesmärgiks on haarata märk kahe lendjoone vahele või saada katang või tabavus märki.

Haaretega eellaskmist toimetatakse tavaliselt elavmärkide pihta ja kui laskmise kiirusel on esmajärguline tähtsus.

Haaretega eellaskmise paremusteks on:

— eellaskmine on lihtis läbiviimisel,
— teostatav vaatlusega ühest vaatluspunktist,
— teostatav igasuguse laskeettevalmistuse viisi ja täpsuse juures ja igasuguste nähtavate märkide (abimärkide) pihta,
— läbiviidav igasuguses lahinguolukorras, eriti kohane kiirel teotsemisel.

Haaretega eellaskmise puudusteks on:

— ootamatuse puudus tulistamisel,
— nõuab võrdlemisi suurt laskemoonakulu.

Haaretega eellaskmine on kasutatav kõigi kaliibritega suurtükiüksuste juures; tavaliselt aga kergete suurtükiüksuste juures.

Haaretega eellaskmise juures tuleb eraldada kolm järgmist viisi:

— eellaskmine ühel seadel,
— eellaskmine mitmel seadel,
— kahe eeltoodud viisi ühendlus.

b) Eellaskmine ainult ühel seadel.

Hajumusteooria näitab, et kestev laskmine ühel ja samal seadel võib teatud juhtudel küllaldase täpsusega anda

parandusi. Näiteks, lastes 100 lasku ühel ja samal tõsteseadel ja saades 25 eellanget ja 75 tagalanget, võib öelda, et tõsteseadele vastav hajumuskese on tagalangeline ja on märgi taga ühe *Tp* kaugusel. Parandades tõsteseadet ühe *Tp* võrra laskja poole saadakse õige tõste, mille juures hajumuskese ühtub märgiga.

Allpool toodud tabelis on näidatud seadete parandusi olenevalt kallangute vastasmärkide arvulisest vahekorrast:

$100 \cdot \frac{(p-q)}{n}$	14	20	28	38	40	50	60	62	68	72	76	82	86	90	94	96	99
Kese ümberpaigutus tõenäostes kallangutes . .	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{3}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4

Näide. Ühel tõsteseadel lastud mürskude arv $n = 20$, seejuures eellangeid oli $p = 4$ ja tagalangeid $q = 16$.

Eel- ja tagalangete vahe suhe lastud mürskude arvuga on:

$$100 \cdot \frac{(q-p)}{n} = \frac{12 \cdot 100}{20} = 60 \ ;$$

Suhtele 60 vastab ülaltoodud tabeli järgi tõsteseade parandus 1,25. Seega tõstet tuleb vähendada 1,25 *Tp* võrra.

Ühel ja samal seadel võib eellaskmist toimetada ainult sel juhul, kui saadakse vastasmärkidega lõhkemiste kallanguid, s. o. siis, kui seade viga ei ületa 4 tõenäost kallangut.

Kui seade viga võrdub või ületab 4 tõenäost kallangut, siis lõhkemised annavad ühe ja sama märgiga kallanguid ning seadete parandused kas võrduvad või ületavad 4 tõenäost kallangut.

Seega eellaskmist ühel seadel võib kasutada ainult siis, kui ettevalmistusel saadud lähteseade viga on alla 4 tõenäost kallangut. Kuna kiire laskeettevalmistuse juures lähteseadete tõenäosed vead ületavad 4 tõenäost kallangut, seepärast kiire laskeettevalmistuse juures ei saa alata eellaskmist ühel tõstel (seda muidugi juhul,

kui lõhkemiste vaatlused annavad ainult kallangumärke). Täielise laskeettevalmistuse juures lähteseadete tõenäosed vead on alla 4 tõenäost kallangut, seepärast eellaskmise algamine ühel ja samal seadel on võimalik ainult pärast täielist laskeettevalmistust.

c) Eellaskmine mitmel seadel ehk eellaskmine haaretega.

Eellaskmine haaretega on eellaskmise (vähemalt eellaskmise alguse) tavaliseks viisiks, kui lõhkemiste vaatlused annavad ainult kallangute märke ja kui laskeettevalmistuse põhjal määratud lähteseadete tõenäosed vead võrduvad või ületavad 4 tõenäost kallangut.

Lähtesuunal ja -tõstel antakse üksiku suurtükiga (patareiga, rühmaga) üks lask (järjekord). Kui lõhkemised on vaatlusjoonel (-ribas) ja kui kaugusvaatlus andis eellange (tagalange), siis muudetakse tõsteseadet suurendades (vähendades) seda ühe või mitme kahvli võrra, olenevalt laskeettevalmistuse täpsusest ja märgi iseloomust ning sügavusest ja ka turmtule eesmärgist. Sel viisil toimetatakse laskmist seni kui ei ole saadud esimesele kaugusvaatlusele vastasmärgiga kallang ning haare. Pärast seda poolitatakse saadud haare, kuni on saadud nõutav haare, katang või tabamus märki. Tõsteseade hüpe ei ole väiksem kui nõutava sügavusega haare.

Kui ei oleks hajumust, siis eellaskmine haaretega viiks lendjoone lõpuks märgile. Kuid hajumuse tõttu alates eellaskmise sellest momendist, kui tõsteseade erineb õigest tõsteseadest vähem kui 4 *Tp* võrra, on täiesti loomulik, et viimase (kitsaima) haarde suuremal (vähemal) piiril (tõstel) saadakse eellangeid (tagalangeid) ehk valekahvli. Seega haaretega eellaskmise viis võimaldab leida kahvlisuuruse haarde ehk võimaldab määrata tõsteseade, mille viga on umbes 4 *Tp*, kuid ei võimalda määrata sellest suurema täpsusega tõsteseadet. Valekahvli saamise võimalused vähenevad ühes laskude arvu suurendamisega haarde (kahvli) piiridel. Kuid kitsama haarde piiride kindlustamine rohkema arvu laskudega suurendab laskemoona ja ka aja kulu; laskmisel saadakse nii ühe kui ka teise märgiga vaatlusi. Seepärast vajaduse korral (täppis eellaskmine kitsa märgi pihta) neil juhtudel on kasulikum laskmisest mitmel tõstel üle minna laskmisele ühel tõstel.

d) Kahe eeltoodud eellaskmise viisi ühendlus.

Eeltoodust tuleb järeldada, et eellaskmine ühel ja samal tõsteseadel hakkab andma täpsaid tulemusi neis tingimustes, millistes eellaskmine haaretega hakkab andma ebatäpseid tulemusi, teiste sõnadega siis, kui tõsteseade viga on alla 4 *Tp*. Seepärast täpse eellaskmise juures tuleb teostada eellaskmist mõlemal eeltoodud viisil.

Täpse eellaskmise esimene faas nimetatakse katsetuleks. Sel faasil kitsendatakse haaret seni kui on saadud ühe kahvli suurune haare, ehk tõsteseade, mille viga on alla 4 *Tp*. Seda tõstet nimetatakse katsetõsteks; ta vastab ühekahvlilise haarde keskkohale.

Täpse eellaskmise teist faasi nimetatakse parandustuleks. Sel faasil lastakse välja ühel ja samal tõstel (katsetõstel) seeria mürske ja parandatakse seda tõstet ülaltoodud põhimõttel (vt. p. b) olenevalt eel- ja tagalangete vahekorrast.

e) Tõenäoseima tõsteseade määramine kaugusvaatluste põhjal.

Kui ühel ja samal tõstel H_1 on tehtud n lasku ja on mõõdetud iga lõhkemise kallang märgist (x), võttes seda kallangut positiivsena tagalange jaoks ja negatiivsena eellange jaoks, siis on tõstele H_1 vastav tõenäoseim kallang võrdne üksikkallangute keskmise aritmeetilisega:

$$\frac{\Sigma x}{n},$$

järelikult tõenäoseima tõsteseade avaldiseks on:

$$H = H_1 - \frac{\Sigma x}{n}.$$

Kui on tehtud n lasku mitmel tõstel ja on mõõdetud iga lõhkemise kallang, siis võib määrata tõenäoseima tõsteseade järgmise arutluse põhjal. Kui mitmel tõstel laskmise juhust taandada ühel tõstel laskmise juhusele, siis võib oletada, et ühel tõstel laskmise kallangud x' erinevad mitmel tõstel laskmiste kallangutest x suuruse võrra, mis võrduvad vastavate tõsteseadete vahedega.

Järelikult:

$$x_1' = x_1 + H - H_1$$

$$x_2' = x_2 + H - H_2$$

. . . . . .

$$x_n' = x_n + H - H_n \ .$$

Seepärast fiktiivsele tõstele H vastav tõenäoseim kallang on

$$\frac{\Sigma x'}{n} = \frac{\Sigma x + nH - \Sigma H_i}{n} \ .$$

Kui saadud tõenäoseima kallangu avaldist teha võrdseks nulliga, siis saame fiktiivse tõenäoseima tõste jaoks järgmise avaldise:

$$H = \frac{\Sigma H_i}{n} - \frac{\Sigma x}{n} \ .$$

Seega, laskmisel mitmel tõstel tõenäoseim tõste. võrdub kasutatud tõsteseadete keskaritmeetilisega, mis vähendatud vastavate kallangute keskaritmeetilisega.

Viimane avaldis tõestab seda reeglit[1]), mille järgi pärast iga lasku tuleb eelmise tõsteseade parandada viimase vaatluse kallanguga, mis jagatud lasu järjekorras arvuga. Seega:

$$H_{i+1} = H_i - \frac{x_i}{i} \ ,$$

kust

$$iH_{i+1} = iH_i - x_i \ .$$

---

[1]) Kuigi see reegel põhjeneb tõenäosuse teoorial, siiski ta oli hüljatud, sest et tegi eellaskmise väga aeglaseks ja tihtipeale ka võimatuks. Selle põhjus on selgitatav ja arusaadav, kui silmas pidada seda, et pikaajalistel laskmistel mõned lasketingimused (ilmastiku seisukord, suurtükiraua kuumenemine jne.) muutuvad, ilma et oleks võimalusi nende muutuste parandusi kohe arvestada; seepärast järjekorras tekkivate lõhkemiste kallanguid ei saa võtta kui ühevääreseid (võrdselt võimalikke) sündmusi.

Kui määrata suurusele i järjekorras väärtusi 1, 2, 3, ... n, siis:

$$H_2 = H_1 - x_1$$

$$2H_3 = 2H_2 - x_2$$

.....

$$(n-1)\ H_n = (n-1)\ H_{n-1} - x_{n-1}$$

$$nH_{n+1} = nH_n - x_n\ .$$

Pärast liitmist saame:

$$nH_{n+1} = H_1 + H_2 + \ \ldots + H_n - \Sigma x_i\ ,$$

s. o.

$$H_{n+1} = \frac{\Sigma H_i}{n} - \frac{\Sigma x_i}{n}\ ,$$

ehk eespool määratud avaldis tõenäoseima tõste määramise jaoks.

Tõenäoseima tõsteseade tõenäone viga on

$$J = \frac{T}{\sqrt{n}}\ ,$$

sest et mõõtmistulemuste keskaritmeetilise määramise tulemuse tõenäone viga võrdub J, kus T on antud lasketingimustele vastav tõenäone kallang.

Seega tõenäoseimale tõsteseadele vastav hajumuskeskme kaugus märgist on ühel juhul kahest väiksem kui J.

Näiteks, kui on tehtud 8 lasku, siis eeltoodud viisil määratud tõenäoseimale tõsteseadele vastav hajumuskeskme kaugus märgist on ühel juhul kahest väiksem kui

$$J = \frac{T}{\sqrt{8}} = 0{,}36\ T\ .$$

Tõenäoseimale tõsteseadele vastav märgi võimaliku asendi piirkond. Kuna tõenäoseima tõsteseade tõenäone viga on $T:\sqrt{n}$, siis sellele tõsteseadele vastav märgi võimaliku asendi piirkonna sügavus võrdub 8 tõenäolise veaga ehk võrdub $8\ T:\sqrt{n}$, s. o. tõenäoseimale tõsteseadele

vastav hajumuspiirkonna sügavus, mis jagatud ruutjuurega tehtud laskude arvust.

Tõenäose pihtavuse teguri tabeli abil võib määrata tõenäosuse selleks, et märk asub piirkonnas nii ühel- kui ka teisel pool hajumuskeset ja mille täieline sügavus võrdub 2 tõenäose kallanguga (2 T).

Tõenäose pihtavuse teguri tabelis leitava pihtavuse teguri (n) suurus võrdub sel juhul:

$$\frac{\frac{a\,T}{T}}{\sqrt{n}} = a\,\sqrt{n}\ .$$

Kui $a\,\sqrt{n} = 4$, siis määratav tõenäosus $P = 0{,}993$, s. o. võib olla peaaegu täiesti kindel, et tõenäoseimale tõsteseadele vastav märgi võimaliku asendi piirkonna sügavus on:

$$2 \cdot \frac{4}{\sqrt{n}} \text{ tõenäost kallangut} = \frac{8}{\sqrt{n}} \text{ tõenäost kallangut.}$$

g) Täpsa kauguseellaskmise reeglite tõendusi.

Eellaskmine haaretega (katsetuli). Haaretega eellaskmise eesmärgiks on asetada märk tõenäoseimale tõstele vastava hajumusriba piirkonda. Sel eesmärgil püütakse märki haarata kahvlisse.

Allpool on toodud praktiliselt tähtsamaid juhuseid tõenäoseima tõste ja selle tõenäose vea määramisel.

1. juhus. Märk on haaratud kahvlisse ühe eellangega ja ühe tagalangega, milledele vastavad tõsteseaded H_1 ja $H_1 + K$.

Tõenäoseim tõsteseade on

$$H = H_1 + 0{,}5\ K;$$

Selle tõsteseade tõenäone viga on

$$J = 1{,}3\ Tp\ .$$

2. juhus. Märk on haaratud kindlustatud kahvlisse kahe eellangega ja kahe tagalangega, milledele vastavad tõsteseaded H_1 ja $H_1 + K$.

Tõenäoseim tõste on

$$H = H_1 + 0{,}5\ K\ ;$$

Selle tõsteseade tõenäone viga on

$$J = 0{,}9\ Tp.$$

3. juhus. Märk on haaratud kahvlisse, mille lähem piir on kindlustatud, kahe eellangega, kuid kaugem piir ühe tagalangega, milledele vastavad tõsteseaded H_1 ja $H_1 + K$.

Tõenäoseim tõste on

$$H = H_1 + 0{,}5\ K + 0{,}5\ Tp;$$

Selle tõste tõenäone viga on

$$J = 1{,}1\ Tp\ .$$

4. juhus. Märk on haaratud katanguga kahest lasust tõsteseadel H_1.

Tõenäoseim tõste on

$$H = H_1\ ;$$

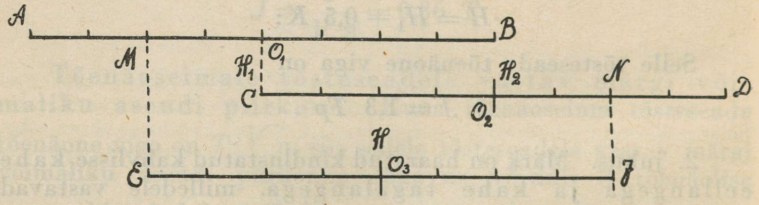
Selle tõste tõenäone viga on

$$J = 0{,}9\ Tp.$$

Järelikult tõenäoseima tõste tõenäose vea praktiline väärtus võrdub ühe tõenäose kallanguga.

Viimast järeldust võib tõestada ligikaudu hajumusskaala abil.

2. juhuse juures, kus märk on haaratud kindlustatud kahvlisse kahe eellangega ja kahe tagalangega ja milledele vastavad tõsteseaded H_1 ja $H_1 + K = H_2$ (joon. 78), olgu



Joon. 78.

tõstele H_1 vastava hajumuskeskme asend punktis O_1. Sel tõstel lastud mürsud hajuvad piirkonnas $A\ B$. Samuti ka tõstel H_2, millele vastav hajumuskese on punktis O_2, lastud mürsud hajuvad piirkonnas $C\ D$. Keskmine tõste $H = H_1 + 0{,}5\ K$ viib lastud mürsud hajumuspiirkonda $E\ F$.

Märk peab asuma tingimata piirkonnas $A\ D$. Võib tõendada, et märgi tõenäone asend on piirkonnas $E\ F$.

Kahe eellange juures märgi asendi tõenäosus punktis M võrdub $0{,}09 \cdot 0{,}09 = 0{,}0081$, s. o. vähem kui 1%. Seepärast võib öelda, et märk asub tingimata piirkonnas EF, kui kahvli piirid on kindlustatud vähemalt kahe vaatlusega kummalgi tõstel. Kui nii, siis tuleb ka oletada, et tõenäoseima tõste H tõenäone viga võrdub ühe tõenäose kallanguga.

Eellaskmine ühel tõstel seeriatega (parandustuli).

Parandustuli on eellaskmine lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega, kusjuures kauguskallangu suurus määratakse eellangete ja tagalangete vahekorra põhjal.

Hajumuse teooria põhjal võib määrata selle eellaskmise viisi juures tõenäoseima tõste ja selle tõenäose vea ning ka märgi võimaliku asendi tõenäosuse elemente (märgi asendi tõenäosuse kõver ja selle elemente).

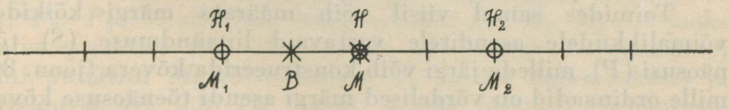
Arutluse lihtsustamise mõttes oletame, et märgi võimaliku asendi tõenäosused lähtetõstele (katsetõstele) vastavas piirkonnas on samaväärsed.

Olgu katsetuli lõpetatud kahvliga, mis vastab tõsteseadetele H_1 (hajumuskeskmega M_1) ja H_2 (hajumuskeskmega M_2) ja mille piirid on kindlustatud à nelja vaatlusega.

Olgu esimene seeria parandustulud lastud tõstel

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2},$$

mille hajumuskese on punktis M (joon. 79).



Joon. 79.

Eellaskmisega saadud vaatlused moodustavad liitsündmuse S, mis koosneb järgmistest lihtsündmustest:

4 eellanget tõstel H_1,
4 tagalanget tõstel H_2,
3 eellanget tõstel H,
9 tagalanget tõstel H.

Hüpoteeside tõenäosuse lause põhjal pärast vaatluste saamist märgi kõigi võimalikkude asendite tõenäosused on võrdelised nende juures võetud sündmuse S tõenäosustega.

Olgu märgi mingisuguseks võimalikuks asendiks punkt B, mis vastab kauguse (vahe) $M_1 M$ keskkohale (joon. 80). Määrame sellele märgiasendile vastava sündmuse S tõenäosuse järgmiselt:

ühe eellange tõenäosus tõstel H_1 on 0,75;
4 eellange tõenäosus tõstel H_1 on $p_1 = (0{,}75)^4 = 0{,}3164$;
ühe tagalange tõenäosus tõstel H_2 on $0{,}5 + 0{,}5\ P\ (3) =$

$$= 0{,}5 + 0{,}957:2 = 0{,}9785;$$

4 tagalange tõenäosus tõstel H_2 on $p_2 = (0{,}9785)^4 = 0{,}9168$;
ühe eellange tõenäosus tõstel H on 0,25;
3 eellange tõenäosus tõstel H on $p_3 = (0{,}25)^3 = 0{,}0156$;
ühe tagalange tõenäosus tõstel H on 0,75;
9 tagalange tõenäosus tõstel H on $p_4 = (0{,}75)^9 = 0{,}0751$.

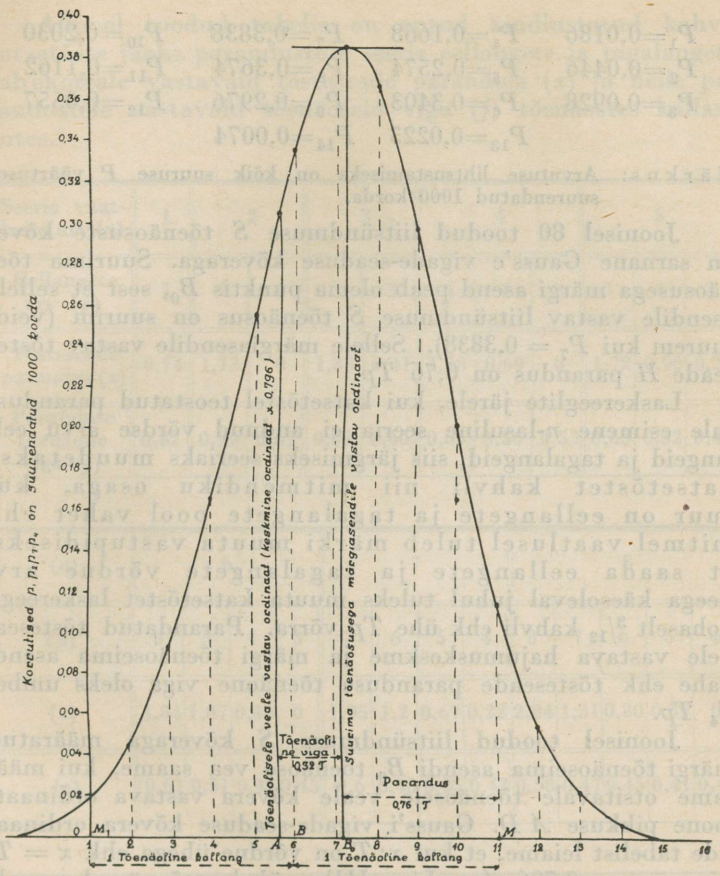
Märgi asendile punktis B vastava liitsündmuse tõenäosus

$$P = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 = 0{,}3164 \cdot 0{,}9168 \cdot 0{,}0156 \cdot 0{,}0751 =$$

$$= 0{,}0003403.$$

Pärast katset märgi asendi tõenäosus punkti B suhtes on võrdeline saadud tõenäosusega P.

Toimides samal viisil võib määrata märgi kõikidele võimalikkudele asenditele vastavaid liitsündmuse (S) tõenäosusi (P), millede järgi võib konstrueerida kõvera (joon. 80), mille ordinaadid on võrdelised märgi asendi tõenäosuse kõvera vastavate ordinaatidega.



Joon. 80.

Teostades liitsündmuse S (s. o. eeltoodud vaatlusteühendluse jaoks, kus tõstel H_1 on 4 eellanget, tõstel H_2 — 4 tagalanget ja tõstel H — 3 eellanget ja 9 tagalanget) tõenäosuste P_1, P_2, P_3 ... arvutusi märgiasendite B_1, B_2, B_3 ... jaoks alates punktist M_1 (tõsteseadele H_1 vastav hajumuskese) kuni punktini M_2 (tõsteseadele H_2 vastav hajumuskese) ja järjekorras iga 0,2 Tp tagant, saame järgmisi tõenäosuste väärtusi:

P_1=0,0186	P_4=0,1668	P_7=0,3838	P_{10}=0,2030
P_2=0,0446	P_5=0,2574	P_8=0,3674	P_{11}=0,1162
P_3=0,0928	P_6=0,3403	P_9=0,2976	P_{12}=0,0557
	P_{13}=0,0223	P_{14}=0,0074	

Märkus: Arvutuse lihtsustamiseks on kõik suuruse P väärtused suurendatud 1000 korda.

Joonisel 80 toodud liitsündmuse S tõenäosuste kõver on sarnane Gauss'e vigade-seaduse kõveraga. Suurima tõenäosusega märgi asend peab olema punktis B_0, sest et sellele asendile vastav liitsündmuse S tõenäosus on suurim (veidi suurem kui $P_7 = 0{,}3838$). Sellele märgiasendile vastav tõsteseade H parandus on 0,76 *Tp*.

Laskereeglite järele, kui katsetõstel teostatud parandustule esimene n-lasuline seeria ei andnud võrdse arvu eellangeid ja tagalangeid, siis järgmiseks seeriaks muudetakse katsetõstet kahvli nii mitmendiku osaga, kui suur on eellangete ja tagalangete pool vahet ehk mitmel vaatlusel tuleb märki muuta vastupidiseks, et saada eellangete ja tagalangete võrdne arv. Seega käesoleval juhul tuleks muuta katsetõstet laskereegli kohaselt $^3/_{12}$ kahvli ehk ühe *Tp* võrra. Parandatud tõsteseadele vastava hajumuskeskme ja märgi tõenäoseima asendi vahe ehk tõsteseade paranduse tõenäone viga oleks umbes $^1/_4$ *Tp*.

Joonisel toodud liitsündmuse S kõveraga määratud märgi tõenäoseima asendi B_0 tõenäose vea saame, kui määrame otsitavale tõenäosele veale kõvera vastava ordinaatjoone pikkuse $A\,D$. Gauss'i vigade-seaduse kõvera ordinaatide tabelist leiame, et kui $x:T$ on võrdne ühega ehk $x = T$, siis $y:y_0 = 0{,}796$ (vt. Lisa III); ühele tõenäosele veale vastav Gauss'i vigade-seaduse kõvera ordinaatjoone kõrgus on võrdne keskmise (kõrgeima) ordinaatjoone kõrgusega, mis korrutatud 0,796. Otsitav tõenäone viga võrdub 0,32 *T*.

Teostades analoogilisi arutlusi, arvutusi ja graafilisi konstruktsioone parandustule seeria teiste eellangete- ja tagalangeteühendluste jaoks, võib samuti määrata igasuguste laskudearvudega seeriate ja igasuguste võimalikkude eellangete ja tagalangete ühendluste jaoks vastavaid tõsteseade parandusi ja neile parandustele vastavaid tõenäolisi vigu tõenäostes kallangutes.

Allpool toodud tabelis on antud kindlustatud kahvli katsetõste jaoks parandustule seeria eellangete ja tagalangete vahekorrale vastavaid tõsteseade parandusi (x) ja neile parandustele vastavaid tõenäoseid vigu (j) tõenäostes kallangutes.

Seeria vaatluste arv (n)	1	2		3		4			5		
Eellangete arv (p)	1	2	1	3	2	4	3	2	5	4	3
Tõsteseade parandus (x)	0,74	1,13	0	1,38	0,41	1,58	0,69	0	1,72	0,90	0,29
Paranduse tõenäone viga (j)	0,82	0,99	0,67	0,69	0,60	0,65	0,56	0,53	0,63	0,52	0,49

(n)	6				7				8				
(p)	6	5	4	3	7	6	5	4	8	7	6	5	4
(x)	1,84	1,07	0,40	0	1,95	1,2	0,67	0,22	2,04	1,31	0,80	0,39	0
(j)	0,61	0,51	0,47	0,45	0,6	0,48	0,45	0,43	0,58	0,47	0,45	0,41	0,41

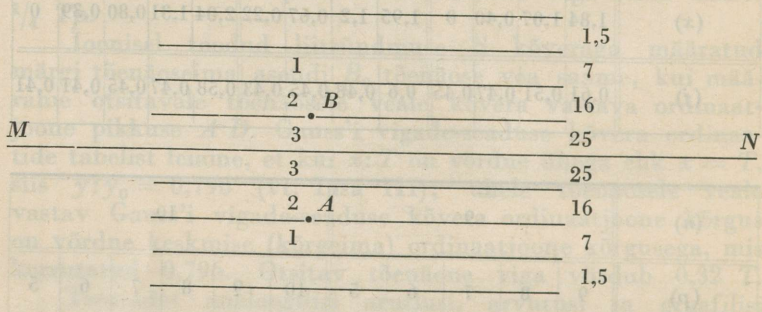
(n)	9					10					
(p)	9	8	7	6	5	10	9	8	7	6	5
(x)	2,11	1,41	0,94	0,54	0,17	2,17	1,50	1,04	0,67	0,33	0
(j)	0,57	0,46	0,42	0,40	0,39	0,56	0,45	0,40	0,38	0,36	0,36

(n)	11						12						
(p)	11	10	9	8	7	6	12	11	10	9	8	7	6
(x)	2,23	1,58	1,13	0,77	0,45	0,15	2,29	1,65	1,21	0,87	0,57	0,29	0
(j)	0,55	0,44	0,40	0,37	0,36	0,35	0,54	0,43	0,39	0,36	0,35	0,34	0,34

Eeltoodud tabelis olevad tõsteseade parandused (x) tõendavad seda parandustule reeglit, mis käseb muuta tõsteseadet pärast n-lasulist seeriat nii mitme $K:n$ võrra, kuipalju on vaja eellangeid (tagalangeid) asendada tagalangetega (eellangetega), et neid oleks võrdne arv. See reegel on kooskõlas tabelis toodud tõsteseade paranduste andmetega täpsusega kuni 0,3 *Tp*.

Parandustule tõsteseade paranduse (x) määramise reeglit võib tõendada ka lihtsamal kuid ligikaudsel viisil alljärgnevalt.

Olgu tehtud 12-lasuline seeria. Joonisel 81 olgu kujutatud skaala, mis on jaotatud kahvli kaheteistkümmendikkudeks osadeks.



Joon. 81.

Kui märgi asend on punktis *A*, siis peame saama 1 eellange ja 11 tagalanget. Reegli järele sel puhul tuleb tõstet parandada $^5/_{12}$ kahvli võrra (umbes ½ kahvlit), mille tõttu hajumuse riba keskjoon tuleb märgi joonele.

Kui märgi asend on punktis B, siis peab saama 9 eellanget ja 3 tagalanget. Reegli järele sel juhul tuleb parandada tõstet $^3/_{12}$ kahvli võrra ($^1/_4$ kahvlit), mille tõttu hajumusriba keskjoon MN tuleb märgi juure.

Kui on leitud parandustulega tõenäoseim tõste H ja selle määramise tõenäone viga J, siis selleks, et olla kindel märgi katmises mürskudega, tuleb katta mürskudega piirkond, mille sügavus on 4 J nii ühel kui ka teisel pool hajumuskeset, mis vastab tõstele H. Kui aga on vaja tõenäosust märgi katmiseks ainult 50%, siis tuleb katta mürskudega ainult piirkond, mille sügavus on üks J nii ühel kui ka teisel pool hajumuskeset.

h) Parandustule seeria kallangumärkide ühendluste tõenäosusi, kui hajumuskese ühtub märgiga.

Kui 12-lasulise seeria tõsteseadele vastav hajumuskese ühtub märgiga (eellaskepunktiga), siis eellangete ja tagalangete teoreetilised tõenäosused on võrdsed ehk $p = q = 0{,}5$.

Eel- ja tagalangete kui rippumata vastassündmuste kõigi võimalikkude ühendluste tõenäosused kujutavad endast Newtoni binoomi arendatud rea liikmeid, mille astmeks on katsete arv. Kõiki võimalikke eel- ja tagalangete ühendlusi on niipalju, kuipalju on variatsioone 12 kaupa kahest elemendiliigist, s. o. $2^{12} = 4096$. Kui jätta tähele panemata järjekorda, milles võivad tekkida eel- ja tagalanged, siis on eel- ja tagalangete ühendlusi niipalju, kuipalju on kombinatsioone korduvate elementidega 12 kaupa kahest elemendiliigist, s. o. kordumistega $K_2^{12} = 13$, milliste tõenäosused oleksid järgmised:

12	eellanget	0	tagalanget	tõenäosusega	+0,00023,
11	„	1	„	„	+0,0029,
10	„	2	„	„	+0,016,
9	„	3	„	„	+0,054,
8	„	4	„	„	+0,121,
7	„	5	„	„	+0,195,
6	„	6	„	„	+0,226,
. . . . .					
0	eellanget	12	tagalanget	tõenäosusega	+0,00023.

Toodud tabelist on näha, et eel- ja tagalangete võrdse arvu juhuseid (ühendlusi) on ainult umbes 20%, kuna juhu-

seid, mil eel- ja tagalangete vahe ei ületa 2 on kokku umbes 62%, seepärast tuleks parandustule juures, kui seeria laskude arv on üle 8, tõstet parandada ainult siis, kui eel- ja tagalangete vahe on üle kahe.

6. Eellaskmine lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega (vaatlus annab lõhkemise kallangumärgi ja suuruse).

a) Eellaskmise iseloomustus.

Selle eellaskmise viisi juures antakse üks või seeria laskusid kas laskeettevalmistusel või laskmisega määratud suuna ja tõsteseadetel ning saadud vaatluse (vaatluste) põhjal määratakse kallangu (kallangute) suurusi nii suunas kui kauguses. Nende põhjal tehakse laskeseadete parandusi selleks, et järgmine lask (seeria) annaks märgi turma.

Lõhkemiste kallangute mõõtmisi märgi (eellaskepunkti) suhtes toimetatakse mitmesugusel viisil, olenevalt kasutada olevatest mõõtmisvahenditest ja olukorrast. Lõhkemiste kallangute mõõtmise põhiviise on järgmisi:

— lõhkemiste sälkimine kahest või kolmest vaatluspunktist optiliste abinõudega; seda viisi nimetatakse eellaskmiseks kokkukõlastatud vaatlusega;
— lõhkemiste keskme kallangu määramine lennukilt;
— lõhkemiste sälkimine kõlamõõtmisega.

Seda eellaskmise viisi tarvitatakse tavaliselt raskesuurtükiväe üksustes ja kergesuurtükiväe üksustes siis, kui on aega laskmise organiseerimiseks.

Selle eellaskmise viisi paremusteks on:

— eellaskmise läbiviimine on lihtis ja kerge,
— laskemoonakulu on väike,
— ootamatuse saamise võimalused,
— turmtule andmed on täpsed ja kindlad.

Selle eellaskmise viisi puudusteks on:

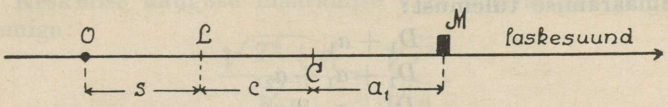
— laskmise organiseerimine nõuab palju aega eeltööks,
— on kasutatav ainult positsioonisõja oludes või suuremal ehk vähemal määral stabiliseerunud olukorras.

b) Eellaskmise reeglite tõendamine.

Olgu laskeettevalmistusel määratud märgi kauguseks D_1. Sellele vastaku tõsteseade H_1, mille juures hajumuskese on

punktis O (joon. 82) ja märgi tegelik asend punktis M. Kui anda üks lask, siis hajumuse tõttu mürsk kaldub hajumuskesest kõrvale mingisuguse kauguse s võrra ja lõhkemine sünnib punktis L ning seepärast lõhkemise tegeliku kallangu suurus on ML. Kui lõhkemise vaatlusel tehtud sälkimise vea tõttu lõhkemine märgitakse graafilisel konstruktsioonil (sälkimise veaga c) punktis C, siis lõhkemise mõõdetud kallangu suurus on $CM = a_1$.

Kui ei oleks hajumust ega lõhkemiste kallangute mõõtmisvigu, siis oleks lõhkemise kallang märgi suhtes määratud täpsalt ning saadud kauguseparandus võimaldaks viia hajumuskeskme märgile. Kuid nimetatud vigade tõttu saab hajumuskese viia ainult märgile lähemale. Seepärast kauguse



Joon. 82.

määramise tulemuseks pärast esimest lasku on $D_2 = D_1 + a_1$ ja sellele vastav tõsteseade H_2.

Pärast teist lasku tõstel H_2 on määratavaks kauguseks D_3, mis on kahe eelmise keskmine ehk

$$D_3 = \frac{(D_1 + a_1) + (D_1 + a_1 + a_2)}{2} = D_1 + a_1 + \frac{a_2}{2}.$$

Kuna aga kaugusele $D_1 + a_1$ vastab tõsteseade H_2, millel on tehtud teine lask, järelikult kolmandama lasu jaoks peab muutma tõsteseadet $a_2{:}2$ võrra, s. o. poole määratud kauguseparanduse võrra.

Pärast kolmandamat lasku tõstel H_3 on määratavaks kauguseks D_4, mis on kolme eelmise keskmine ehk

$$D_4 = \frac{(D_1 + a_1) + (D_1 + a_1 + a_2) + (D_1 + a_1 + \frac{a_2}{2} + a_3)}{3} =$$

$$= D_1 + a_1 + \frac{a_2}{2} + \frac{a_3}{3}.$$

Kuna aga kaugusele $D_1 + a_1 + a_2{:}2$ vastab tõsteseade H_3, millel on tehtud kolmas lask, järelikult neljandama lasu

jaoks peab muutma tõsteseadet a_3:3 võrra ehk ühe kolmandiku määratud kaugusparanduse võrra.

Eeltoodud arutluse põhjal saame alljärgneva reegli.

Eellaskmisel lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega laskeseadete parandus igaks järgmiseks lasuks võrdub eelmise lasu juures saadud lõhkemise kallanguga, mis jagatud eelmise lasu järjekorra numbriga.

Kui pärast esimest lasku tõstel H_1, mis vastab kaugusele D_1, määrati lõhkemise kallang a_1 ja sellele kallangule vastavalt parandatud tõsteseadel H_2, mis vastab parandatud kaugusele $D_2 = D_1 + a_1$, lasti kuuelasuline seeria, mille kauguskallangud märgi suhtes on a_2, a_3, ... a_7, siis on saadud 7 kaugusemääramise tulemust:

$$D_1 + a_1$$
$$D_1 + a_1 + a_2$$
$$D_1 + a_1 + a_3$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$D_1 + a_1 + a_7 .$$

Keskmise mõõtmistulemuse määramise reegli põhjal märgi kauguseks pärast 7. lasku tuleb määrata kaugus

$$D_8 = D_1 + a_1 + \frac{a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7}{7} .$$

Järgmise kuuelasulise seeria jaoks tuleb muuta eelmise seeria tõsteseadet H_2

$$\frac{a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7}{7}$$

võrra, sest et H_2 vastab kaugusele $D_1 + a_1$.

Pärast järgmist kuuelasulist seeriat on selle seeria tõsteseade parandus

$$\frac{a_8 + a_9 + a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13}}{13}$$

Eeltoodud arutluse põhjal saame alljärgneva reegli.

Laskeseadete parandus pärast seeriat võrdub selle seeria kallangute summaga, mis jagatud viimase lasu järjekorra numbriga sel eellaskmisel kõigi lastud mürskude suhtes (kõigi nähtud lõhkemiste vaatluste suhtes).

Eeltoodud laskeseadete paranduse määramise reeglid on õiged ning maksvad ainult siis, kui laskmist teostatakse ühe ja sama kaalu ja liigi laskemoonaga, ilmastikutingimused on laskmise kestusel jäävad ja iga lõhkemise kallangu mõõtmistäpsus on ühesugune.

Praktikas aga tihtipeale eeltoodud lasketingimused kas täielikult või osaliselt ei leia aset, sest esimese lõhkemise mõõtmistäpsus on mitmel põhjusel väiksem kui järgmiste lõhkemiste juures, ilmastikutingimused muutuvad, suurtükirauad lähevad kuumemaks jne. Neil põhjusil tuleb tihtipeale kõrvale kalduda eeltoodud teoreetilistest reeglitest. Seepärast neil juhtudel määratakse tõsteseade parandus võrdsena viimase seeria lõhkemiste kallangute keskmisega.

Keskmise kauguse määramise viga määratakse järgmise valemiga:

$$\frac{\sqrt{T^2 + c_1^2}}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{r^2}}{\sqrt{n}}.$$

Kuna toodud valem on õige nii üksiklaskudega kui seeriatega laskmise juures, kui laskude arv on üks ja sama, seepärast eellaskmise täpsuse mõttes on mõlemad eellaskmise viisid üheväärsed. Laskeseadete paranduste tegemine üksiklaskude järgi võtab rohkem aega, kuid säästab laskemoona. Laskmise alul, kui märgi asendi määramise vead on suuremad, on kasulikum teostada laskmist üksiklaskudega, sest et laskude arvu suurendamisega ei saa vähendada laskeseadete paranduste vigu juhul, kui lõhkemiste kallangud on väga suured.

Lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega eellaskmise täpsuse olenevus laskude arvust seerias. Teostades eellaskmist üksiklaskudega või seeriatega määratakse märgi võimalik asend laskeseadele vastava hajumuskeskme suhtes.

Märgi võimaliku asendi määramise viga üksiklaskude juures on:

$$j = \sqrt{T^2 + c^2},$$

kus: T — tõenäoline kallang ja c — lõhkemise sälkimise viga.

Märgi võimaliku asendi määramise viga n-lasulise seeria juures on:

$$J = \frac{\sqrt{T^2 + c^2}}{\sqrt{n}}.$$

Kui arvutada märgi asendi määramise tõenäoseid vigu pärast 1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 6-, 8-, 12-, 16-lasulisi seeriaid, siis on nende vead meetrites järgmised (vt. III peat. p. 5. tabelid):

Laskude arv seerias		1	2	3	4	5	6	8	12	16
Sälkimis-	0—50	45,2	31,9	26,1	22,6	20,1	18,4	16,0	12,0	11,3
nurgad	1—00	28,5	20,1	16,4	14,2	12,7	11,5	10,0	8,2	7,1
(tuh.)	2—00	22,4	15,8	12,9	11,2	10,0	9,1	7,9	6,4	5,6
	4—00	20,6	14,4	11,9	10,3	9,2	8,4	7,3	5,9	5,1

Tabelis toodud andmeist võib järeldada, et 4—6-lasulise seeria juures võrreldes üksiklaskudega märgi asendi määramise tõenäosed vead vähenevad silmanähtavalt (2—2,5 korda). Suurema laskude arvuga seeriate juures see viga väheneb küll, kuid võrdlemisi vähesel määral. Seega laskude arv seerias võiks olla 4 kuni 6.

Lõpuks tuleb veel märkida, et eellaskmist lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega on kasulikum teostada siis, kui tõenäosed sälkimisvead ei ületa 4 tõenäost kallangut. Neil juhtudel märgi võimaliku asendi määramise tõenäone viga pärast 4—6-lasulist seeriat võrdub ühe tõenäose kallanguga, kui tõenäone sälkimisviga võrdub 2 tõenäose kallanguga ja kahe tõenäose kallanguga, kui tõenäone sälkimisviga võrdub 4 tõenäose kallanguga. Kui sälkimisvead ületavad 4 tõenäost kallangut, siis lõhkemiste keskme ümberpaigutamisega eellaskmine nõuab suurt laskemoonakulu. Sel puhul on kasulikum toimetada eellaskmist haaretega.

7. Suuna eellaskmine.

Suuna eellaskmise eesmärgiks on:

— laskmisel ühe suurtükiga viia laskesuund soovitud kohale märki;

— laskmisel patareiga viia parempoolse suurtüki suund soovitud kohale märki, parandada vihk korrapäraseks ja kokkukõlastada lõhkemiste vihu laius märgiga või teha ta katvaks.

Alused suuna eellaskmise reeglite selgituseks ja tõestuseks on needsamad mis kauguseellaskmiselgi. Kauguseellaskmise reeglid on rakendatavad ka suunaeellaskmisel pärast mõningaid muudatusi ja teisendamisi peensustes, mis on tingitud peamiselt sellest, et hajumus laiuses on palju väiksem kui pikkuses (kauguses).

Kui vaatlus annab kallangu suuna, siis *Tl* suurus võrdub tavaliselt *ca* 0,5 tuhandikuga. Järelikult suunakahvli suurus ehk 4 $Tl \approx 2$ tuh. Ei ole mõtet teha suuna parandust vähem kui 2 tuh.

Kui vaatlus annab kallangu suuna ja suuruse, siis kui laiushajumus on väike, piirdutakse kallangute suunaparandustega, mis on suuremad kui 2 tuh., sest et üksiku lõhkemise laiuskallang määrab hajumuskeskme asendi täpsusega kuni 4 *Tl* ehk 2 tuh. Kui laiuskallang on väiksem kui 2 tuh., siis antakse samal suunaseadel mitu lasku ning saadud keskmise kallangu järgi tehakse täpsem kui 2 tuh. suunaparandus.

Kuna kaugusvaatlusi annavad ainult need lõhkemised, mis on vaatlusjoonel või vaatlusribas, siis suuna eellaskmise eesmärgiks haarlaskmisel on kõigepealt viia lõhkemised vaatlusjoonele või vaatlusribasse. Kui lõhkemised on toodud vaatlusjoonele või vaatlusribasse, siis nad annavad nii kallangu märgi kui ka suuruse. Järelikult suunaeellaskmine toimetatakse tavaliselt kallangute märgi ja suuruse määramisega.

Suunaparanduste juures üksiku lõhkemise asend loetakse hajumuskeskmeks. Seejuures hajumuskeskme määramise tõenäone viga koosneb lõhkemise kallangust laiushajumuse tõttu ja kallangu mõõtmise veast. Kui vaatlusnurk ei ole suur (mitte üle 200 tuh.), siis laiuskallangu määramise viga hajumuse tõttu ei ületa 1 tuh. Kui kallangumõõtmisi tehakse käärpikksilmaga, siis kallangu mõõtmise tõenäone viga võrdub 1—2 tuh. Kui kallangumõõtmisi tehakse binokliga, siis kallangu mõõtmise tõenäone viga on 2—3 tuh.

Kui vaatluskaugus on 2000 m, siis hajumuskeskme määramise tõenäone viga suunas on:

$$r = \sqrt{Tl^2 + c^2} = \sqrt{1 + 3^2} = 3{,}16 \text{ tuh.},$$

kui kallangute mõõtmisi tehakse binokliga, ja 2,24 tuh., kui kallangute mõõtmisi tehakse käärpikksilmaga.

Järelikult, suunaparanduste tõenäone viga on keskmiselt 2 tuh. ja ei ületa 3 tuh., kui vaatluse viis on lähedane telgvaatlusega.

Suurim võimalik suunaparanduse keskmine viga võib olla seejuures 8—12 tuh. nii ühele kui ka teisele poole.

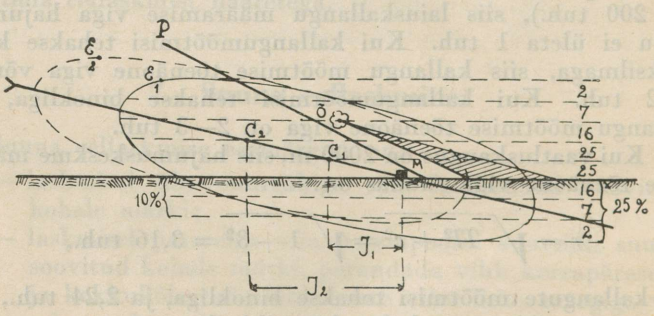
Seepärast, kui arvutatud suunaparandus on suurem kui 20 tuh., ümmardatakse suunaparandus kümneteni. On arvutatud parandus suurem kui 5 tuh., kuid väiksem kui 20 tuh., siis ümmardatakse parandus kuni viiteni. Parandused alla 2 tuh. tehakse ainult siis, kui mitu lõhkemist on näidanud selle tarvilikkust.

8. Eellaskmine õhingutega.

a) Eellaskmine šrapnelliga.

1) Õhingute turmvõime ja liigitus. Teise jao VI peatüki p. e nägime, et juhul, kui lendjoon (keskmine lendjoon) läbistab märgi, siis 76 v. kahuri šrapnelli üksiku õhingu (õhingute seeria) keskmine soodus kõrgus võrdub ca üks *Tkõ* (ca 2—3 *Tkõ*) ja keskmine soodus joonvahe võrdub ca üks *Tpõ* (ca 2—3 *Tpõ*) kusjuures üks *Tkõ* võrdub ca ühe kaugustuhandikuga ja üks *Tpõ* võrdub ca 25 m.

Üksiku õhingu ja õhinguseeriate keskmiste soodsete kõrguste (samuti ka keskmiste soodsete joonvahede) erinevus on tingitud õhingute hajumusest. Selgituseks olgu joonisel 83



Joon. 83.

toodud kahe hajumusmahu projektsioonid lasketasapinnal E_1 ja E_2, kus hajumuskeskme C_1 kõrgus võrdub üksiku õhingu soodse kõrgusega, C_2 — õhinguteseeria soodse kõrgusega ja keskmine lendjoon läbistab märgi. Neile vastavad õhingujoonvahed on J_1 ja J_2. Kui hajumuskeskme kõrgus on üks *Tkõ*, siis saame 25% näkkeid, mis ei anna turma; kui hajumuskeskme kõrgus on 2—3 *Tkõ*, siis on näkete protsent väike (üheksa ja vähem protsenti). Tuleb veel tähendada, et need õhingud, mis tekivad ülalpool märgi ülemist serva läbistavat joont *PM* (ja ülalpool lasketasapinnaga risti ja joont *PM* läbistavat tasapinda, mille kallak võrdub šrapnellide alumiste kuulide kallakuga) ei anna turma. Nende õhingute kuulid lendavad märgist üle ja langevad maapinnale märgi taha. Need kuulid võivad olla turmavad ainult sügavate märkide suhtes.

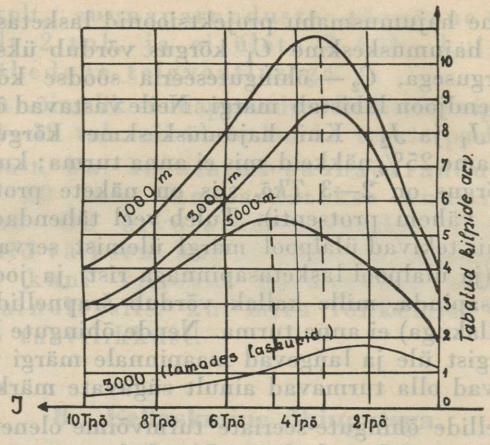
Šrapnellide õhingute-seeriate turmvõime olenevuste määramiseks toimetati katselaskmisi 76 v. kahuritega mitmesugustel kaugustel kitsaste märkide pihta. Märkideks olid laskesuunaga risti asetatud pidevad 0,75 × 0,3 m² kilpide read (põlvelt laskurid).

Alljärgnevas tabelis on toodud katselaskmistel tabatud kilpide arve olenevalt laskekaugustest ja õhingute-seeriate keskmistest joonvahedest, kui keskmised lendjooned läbistavad märgi.

Laskekaugused meetrites	Õhingute keskmised joonvahed tõenäostes pikkuskallangutes (*Tpõ*)								
	0	1	2	3	4	5	6	8	10
1000	4	6,5	9,5	10,5	10,0	9,0	8,0	5,5	4,0
3000	3,7	5,5	8,0	8,5	8,0	7,0	6,0	4,0	3,0
5000	2,6	3,2	4,0	4,7	5,0	5,5	5,0	4,0	2,6

Toodud tabeli ja joon. 84 põhjal tuleb järeldada, et parimat turma annavad need õhingud, millede keskmised joonvahed on 2—5 *Tpõ* vastavalt laskekaugusele.

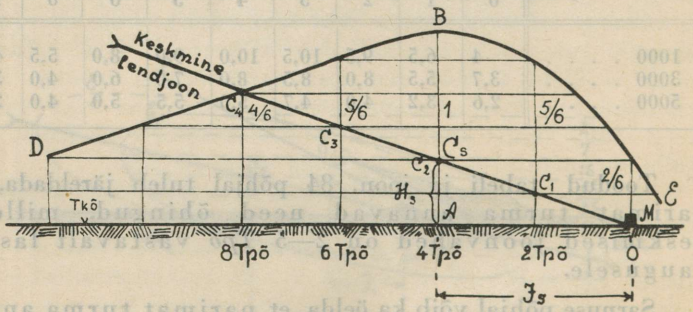
Sarnuse põhjal võib ka öelda, et parimat turma annavad need õhingud, millede keskmised kõrgused on 2—5 *Tkõ* vastavalt laskekaugusele.



Turmavuse olenevus õhingute keskmisest joonvahest.

Joon. 84.

Joonisel 85 toodud šrapnellide õhinguteseeriate turmvõimet iseloomustav kõver DBE näitab, et keskmise õhingukõrguse erinevus soodsest õhingukõrgusest ühe *Tkõ* võrra nii ülesse kui ka alla vähendab turmvõimet ainult ühe kuuendiku ehk 17% võrra. Seepärast ei ole vajadust alati püüda viia õhingute keskmist kõrgust nõutavale soodsele kõrgusele, vaid võib piirduda kõrgustega, mis ei erine soodsest kõrgusest

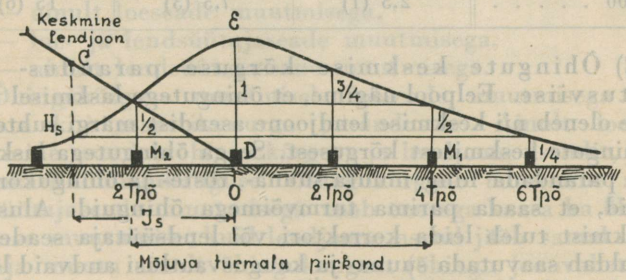


Turmavuse olenevus õhingukõrgusest.

Joon. 85.

rohkem kui ühe *Tkõ* ehk ca ühe kaugustuhandiku võrra. Sama kõver *DBE* näitab, et keskmise õhingukõrguse erinevus soodsest kõrgemale mõjutab turmvõime langemist vähemal määral kui sama erinevus vastupidises suunas.

Juhul, kui keskmine lendjoon ei läbista märki ja laskmine sünnib ühel ja samal õhingukõrgusel, siis keskmise lendjoone lõpuasend märgi suhtes määrab õhingute keskmise joonvahe ning turmvõime. Joonisel 86. toodud kõver *E* näitab õhingute turmvõime olenevusi keskmise lendjoone asendist märgi suhtes, kui õhingukõrgus on soodus. Turmvõime maksimumiks on suurus *DE*. Turmvõime muutuvus olenevalt keskmise lendjoone asendist märgi suhtes on näidatud suuruse *DE* kui ühiku osadena. Kõver *E* näitab, et kui keskmine lendjoon on märgist eelpool 100 m (ca 4 *Tpõ*) võrra või märgist tagapool 50 m (ca 2 *Tpõ*) võrra, siis turmvõime väheneb 50% võrra võrreldes maksimaalse turmvõimega (kui keskmine lendjoon läbistab märki). Järelikult, kui õhingute keskmine kõrgus on soodus, siis tõsteseadete vead, mis toovad õhinguid laskja poole, mõjuvad turmvõime langemisele vähemal määral kui samad vead vastupidises suunas. Seega, kui märgi piirkonna sügavus on 100—150 m ehk 4—6 *Tpõ* ehk umbes üks kauguskahvel ja keskmine lendjoon on selle piirkonna keskkoha rajoonis, siis õhingute turmvõime ei ole vähem kui pool maksimaalset turmvõimet. Seda piirkonda nimetatakse šrapnellide õhingute mõjuvaks turmalaks. Mõjuva turmala sügavuse suuruse põhjal tuleb sügava märgi ühtlaseks turmamiseks teostada ühekahvlilisi tõstehüppeid.



Turmavuse olenevus keskmise lendjoone lõpuasendist märgi suhtes.

Joon. 86.

Tulles tagasi joonisel 85. toodud šrapnellide õhinguteseeriate turmvõimet iseloomustava kõvera *D B E* juure, võimeliigitada õhinguid nende kõrguse ja turmvõime järgi alljärgnevatesse gruppidesse:

I grupp: madalad, millede kõrgus on 0 kuni üks *Tkõ*; nende turmvõime on $^1/_3$ kuni $^5/_6$ maksimaalset (p. C_1 kuni 14 *M*).

II grupp: soodsed, millede kõrgus on üks kuni kolm *Tkõ*; nende turmvõime on mitte alla $^5/_6$ maksimaalset (p.p. C_1, C_2 ja C_3).

III grupp: kõrged, millede kõrgus on kolm kuni kuus *Tkõ* (C_3—C_6); nende turmvõime on $^5/_6$ kuni $^1/_3$ maksimaalset.

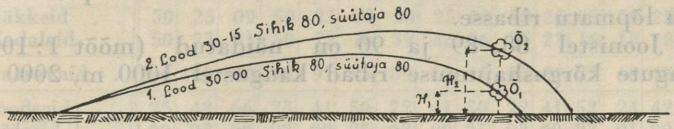
IV grupp: väga kõrged, millede kõrgus on üle kuue *Tkõ*; nende turmvõime on alla $^1/_3$ maksimaalset turmvõimet.

Eeltoodud liigituse põhjal võib määrata õhinguliikide ülemisi piire olenevalt laskekaugusest järgmiselt:

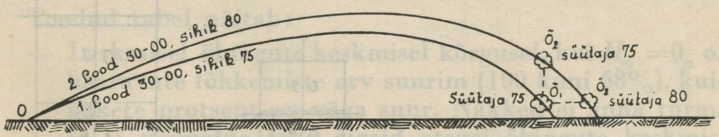
Laskekaugus meetrites	Õhinguliikide ülemised piirid meetrites (tuhandikkudes)		
	I gr. madalad	II gr. soodsed	III gr. kõrged
1000	1 (1)	2 (2)	3 (3)
2000	2 (1)	5 (3)	10 (5)
3000	3 (1)	10 (4)	20 (7)
4000	6 (2)	18 (5)	37 (9)
5000	10 (2)	30 (6)	60 (12)
2500	2,5 (1)	7,5 (3)	15 (6)

2) Õhingute keskmise kõrguse parandus- ning muutusviise. Eelpool nägime, et õhingutega laskmisel turmvõime oleneb nii keskmise lendjoone asendist märgi suhtes kui ka õhingute keskmisest kõrgusest. Seega õhingutega laskmisel tuleb parandada ning muuta suuna-, tõste- ja õhingukõrguseseadeid, et saada parima turmvõimega õhinguid. Alustades eellaskmist tuleb leida korrektori või lendsüütaja seade, mis võimaldab saavutada suuna- ja kaugusvaatlusi andvaid lõhkemisi (madalad ja näkked). Üleminekul turmamisele tuleb muuta eellaskmisel saadud seadeid, et saada suurima turmvõimega lõhkemisi (soodseid lõhkemisi).

Mitmesuguste põhjuste tõttu (mis mõjuvad lendsüütaja põlemiskiirusele ja milliseid ei ole võimalus arvesse võtta) laskeettevalmistusel määratav lendsüütajaseade ei vasta tõsteseadele. Seepärast, kui märgi maastikunurk on määratud õieti, tuleb muuta lendsüütajaseadet nii, et õhingud oleksid nõutaval keskmisel kõrgusel. Tõste- ja lendsüütajaseadete mittevastavuse põhjuseks võib ka olla mitte õieti määratud maastikunurk, siis tuleb esialgu (kuni ei ole veel saadud kaugushaare) muuta õhingukõrgust loe- (tõste-) seade muutmisega. Pärast kaugushaarde saamist tuleb õhingukõrgust muuta ainult lendsüütajaseade muutmisega.



A. Õhingukõrguse muutmine loeseade muutmisega.



B. Õhingukõrguse muutmine lendsüütajaseade muutmisega.

Joon. 87.

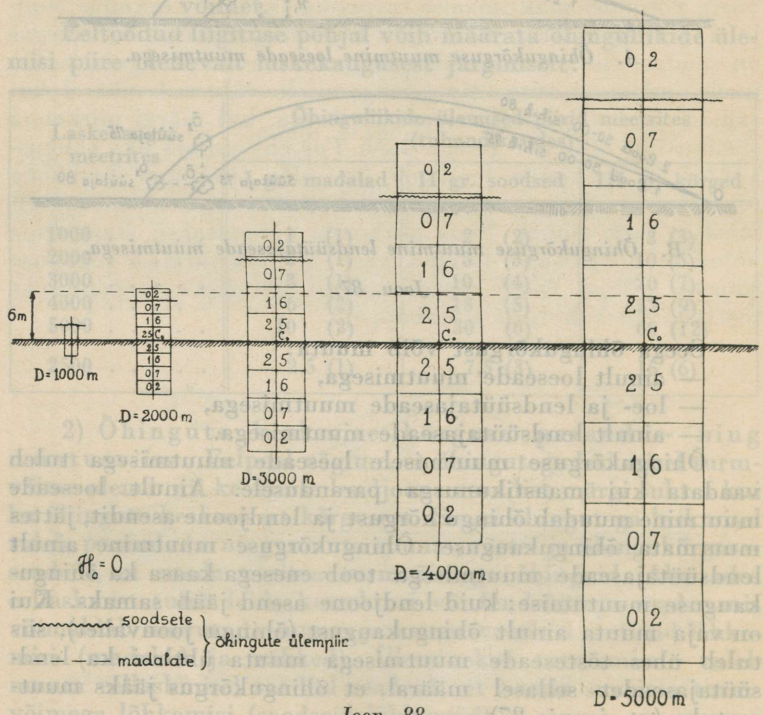
Seega õhingukõrgust võib muuta:
— ainult loeseade muutmisega,
— loe- ja lendsüütajaseade muutmisega,
— ainult lendsüütajaseade muutmisega.

Õhingukõrguse muutmisele loeseade muutmisega tuleb vaadata kui maastikunurga parandusele. Ainult loeseade muutmine muudab õhingu kõrgust ja lendjoone asendit, jättes muutmata õhingukauguse. Õhingukõrguse muutmine ainult lendsüütajaseade muutmisega toob enesega kaasa ka õhingukauguse muutumise; kuid lendjoone asend jääb samaks. Kui on vaja muuta ainult õhingukaugust (õhingu joonvahet), siis tuleb ühes tõsteseade muutmisega muuta ühtlasi ka lendsüütajaseadet sellasel määral, et õhingukõrgus jääks muutmatuks (vt. joonis 87).

3) Eellaskmise õhingukõrgus. Õhingutega laskmisel annavad kaugusvaatlusi ainult haaravad lõhkemised, s. o. madalad ja näkked. Kui märk on suure kõrgusega ja laskekaugus on väike, siis võivad anda kaugusvaatlusi ka soodsed õhingud. Allpool märgijala joont tekkivate õhingute suhtelist arvu on raske määrata, sest et see arv oleneb maastiku iseloomust märgi rajoonis.

Järelikult selleks, et määrata õhingukõrgust, mis võimaldab teostada kauguseellaskmist vähima aja- ja laskemoonakuluga, peab teadma haaravate lõhkemiste suhtelist arvu olenevalt õhingukõrgusest ja laskekaugusest. Seda lõhkemiste arvu määratakse samal viisil kui määratakse pihtavuste arvu lõpmatu ribasse.

Joonistel 88, 89 ja 90 on näidatud (mõõt 1 : 1000) õhingute kõrgushajumuse ribad kaugustel 1000 m, 2000 m,



Joon. 88.

3000 m, 4000 m, 5000 m ja juhul, kui hajumuskeskme kõrgus maapinnast või märgijalast H_0=0, H_1=1 *Tkõ* ja H_2=2 *Tkõ*. Nende jooniste põhjal määratud õhinguliikide arvud protsentides on koondatud alljärgnevasse tabelisse.

76 v. kahuri õhinguliikide arvud protsentides. (vt. joonised 88, 89 ja 90).

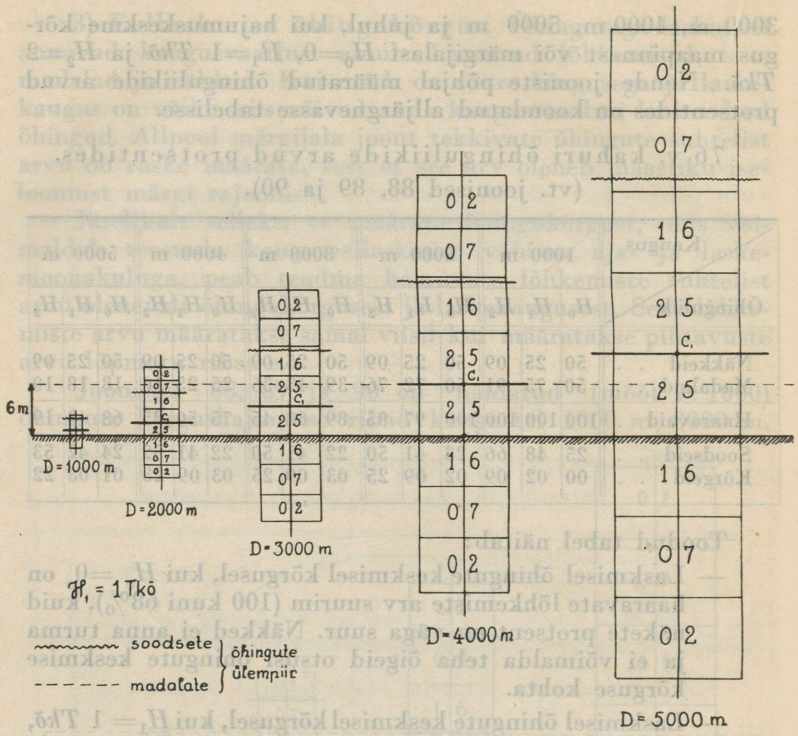
Kaugus / Õhinguliik	1000 m			2000 m			3000 m			4000 m			5000 m		
	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2	H_0	H_1	H_2
Näkkeid . .	50	25	09	50	25	09	50	25	09	50	25	09	50	25	09
Madalaid . .	50	75	91	50	72	76	39	43	36	25	25	16	18	18	10
Haaravaid .	100	100	100	100	97	85	89	68	45	75	50	25	68	43	19
Soodseid . .	25	48	66	23	41	50	22	41	50	22	41	52	24	42	53
Kõrgeid . . .	00	02	09	02	09	25	03	09	25	03	09	23	01	08	22

Toodud tabel näitab:

— Laskmisel õhingute keskmisel kõrgusel, kui H_0 =0° on haaravate lõhkemiste arv suurim (100 kuni 68%), kuid näkete protsent on väga suur. Näkked ei anna turma ja ei võimalda teha õigeid otsusi õhingute keskmise kõrguse kohta.

— Laskmisel õhingute keskmisel kõrgusel, kui H_1= 1 *Tkõ*, on haaravate lõhkemiste arv kaunis suur (100 kuni 43%), seejuures näkete arv on poole väiksem ning haaravate õhingute (s. o. madalate) arv on suurem (75 kuni 18%). Seepärast õhingute keskmine kõrgus H_1 = 1 *Tkõ* on kõige kohasem eellaskmise õhingukõrguseks.

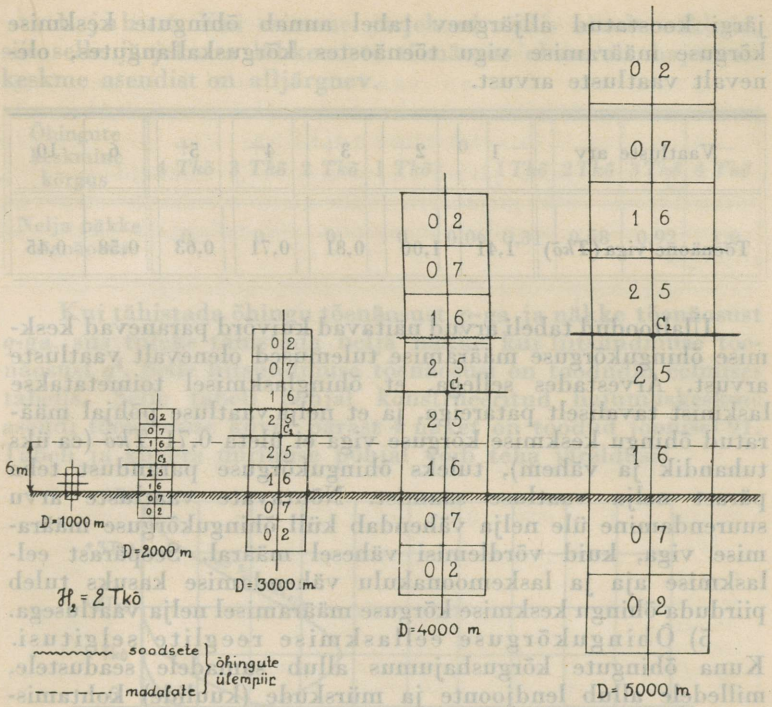
— Laskmisel õhingute keskmisel kõrgusel, kui H_2 = 2 *Tkõ*, on haaravate lõhkemiste arv väga suur (100 kuni 85%) ainult väikestel kaugustel (kuni 2000 m), kusjuures näkete protsent on väike — mitte üle 10%. Paistab silma soodsete õhingute suur protsent — mitte alla 50% (soodseteks on loetud ainult need õhingud, millede kõrguse piirideks on üks kuni kolm *Tkõ*). Tuleb silmas pidada veel seda, et osa madalaid ja kõrgeid õhinguid annavad veel küllaldast turma. See-



Joon. 89.

pärast õhingute keskmine kõrgus $H_2 = 2$ *Tkõ* on kõige kohasem kergete ja raskete kahurite turmlaskmise õhingkõrguseks. Väikestel kaugustel (kuni 2000 m) see õhingkõrgus on kohane ka eellaskmiseks.

Sv. E. V. § 152 ütleb: „Eellaskmisel šrapnelliga püütakse leida korrektori või lendsüütaja seade, mis annaks madalaid lõhkemisi (lõhkemiste keskmine kõrgus 1_t), et saada head kaugusvaatlust ja ühtlasi ka märgi turmamist eellaskmisel . . .“ Keskmistel kaugustel üks *Tkõ* võrdub ühe tuhandikuga, kuna väikestel kaugustel ta on vähem ja suurtel kaugustel suurem kui üks tuhandik.



Joon. 90.

4) Õhingukõrguse paranduseks vajalik vaatluste arv. Õhingukõrguse parandusi tehakse õhinguteseeria üksikute õhingute kõrguste keskmise väärtuse põhjal. Õhingute kõrgusi mõõdetakse käärpikksilmaga või binokliga. Binokliga mõõtmise tõenäone viga ei ületa 2 tuhandikku, mis omakorda ei ületa ühte *Tkõ*. Oletuse juures, et üksikud õhingud ühtuvad õhingute hajumuskeskmega, tekib viga, mille suurus on hajumusseaduse põhjal üks *Tkõ*. Seega õhingukõrguse mõõtmise ja hajumuse tõenäoste vigade resultant on

$$R = \sqrt{(2\ Tkõ)^2} = 1{,}41\ Tkõ\ .$$

Keskmise mõõtmistulemuse vea määramise valemi

$$J = \frac{V}{\sqrt{n}}$$

järgi koostatud alljärgnev tabel annab õhingute keskmise kõrguse määramise vigu tõenäostes kõrguskallangutes, olenevalt vaatluste arvust.

Vaatluste arv	1	2	3	4	5	6	10
Tõenäone viga (*Tkõ*)	1,41	1,00	0,81	0,71	0,63	0,58	0,45

Ülaltoodud tabeli arvud näitavad kuivõrd paranevad keskmise õhingukõrguse määramise tulemused olenevalt vaatluste arvust. Arvestades sellega, et õhinglaskmisel toimetatakse laskmist tavaliselt patareiga, ja et nelja vaatluse põhjal määratud õhingu keskmise kõrguse viga ei ületa 0,71 *Tkõ* (ca üks tuhandik ja vähem), tuleks õhingukõrguse parandust teha pärast nelja vaatluse saamist. Nõutavate vaatluste arvu suurendamine üle nelja vähendab küll õhingukõrguse määramise viga, kuid võrdlemisi vähesel määral. Seepärast eellaskmise aja ja laskemoonakulu vähendamise kasuks tuleb piirduda õhingu keskmise kõrguse määramisel nelja vaatlusega.

5) Õhingukõrguse eellaskmise reeglite selgitusi. Kuna õhingute kõrgushajumus allub samadele seadustele, milledele allub lendjoonte ja mürskude (kuulide) kohtamispunktide hajumus, siis selgitame õhingukõrguse eellaskmise reegleid, kasutades selleks kolmandas jaos, IV peatükis p. 3 toodud viisi.

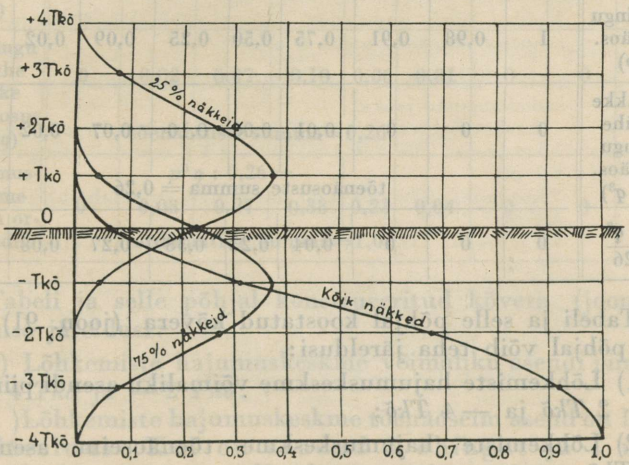
Allpooltoodud tabel näitab õhingu või näkke tõenäosusi olenevalt hajumuskeskme asendist maapinna (märgijala) suhtes.

Õhingute keskmise kõrguse asend märgijala suhtes	+ 4 *Tkõ*	+ 3 *Tkõ*	+ 2 *Tkõ*	+ 1 *Tkõ*	0	— 1 *Tkõ*	— 2 *Tkõ*	— 3 *Tkõ*	— 4 *Tkõ*
Õhingute tõenäosus	1	0,98	0,91	0,75	0,50	0,25	0,09	0,02	0
Näkete tõenäosus	0	0,02	0,09	0,25	0,50	0,75	0,91	0,98	1

1. juhus. Kui esimene järjekord andis ainult näkkeid, siis selle järjekorra lõhkemiste tõenäosus olenevalt hajumuskeskme asendist on alljärgnev.

Õhingute keskmine kõrgus	+ 4 *Tkõ*	+ 3 *Tkõ*	+ 2 *Tkõ*	+ 1 *Tkõ*	0	— 1 *Tkõ*	— 2 *Tkõ*	— 3 *Tkõ*	— 4 *Tkõ*
Nelja näkke tõenäosus	0	0	0	0	0,06	0,31	0,68	0,92	1,0

Kui tähistada õhingu tõenäosust p-ga ja näkke tõenäosust q-ga, siis tuleks tähistada nelja näkke kui liitsündmuse tõenäosust q^4. Selle liitsündmuse tõenäosusi on toodudki eelmises tabelis. Selle tabeli põhjal konstrueeritud hajumuskeskme asendi tõenäosuse kõver pärast 4 näket on toodud joonisel 91. Tabeli ja kõvera uurimise põhjal võib teha järeldusi:



Hajumuskeskme asendi tõenäosuste kõverad olenevalt õhingute ja näkete vahekorrast.

Joon. 91.

1) Lõhkemiste hajumuskeskme võimalik asend ei ole kõrgemal maapinnast kui 1 *Tkõ*;

2) Lõhkemiste ja hajumuskeskme tõenäoseim asend on 4 või rohkem *Tkõ* maapinnast allpool;

3) Ainult näkete saamine ei võimalda õhingute hajumuskeskme asendi kindlat määramist.

Järeldus. Kui on saadud ainult 4 näket, siis tuleb tõsta lõhkemiste keskmist kõrgust vähemalt 5 *Tkõ* võrra (kuni 10 tuhandikku).

2. juhus. Kui järjekord andis 75% näkkeid ja 25% õhinguid, siis selle järjekorra lõhkemiste tõenäosus olenevalt hajumuskeskme asendist maapinna või märgijala suhtes on alljärgnev.

Õhingute keskmine kõrgus	+ 4 *Tkõ*	+ 3 *Tkõ*	+ 2 *Tkõ*	+ 1 *Tkõ*	0	— 1 *Tkõ*	— 2 *Tkõ*	— 3 *Tkõ*	— 4 *Tkõ*
3 näkke tõenäos. (q^3)	0	0	0	0,02	0,12	0,42	0,75	0,94	1,0
1 õhingu tõenäos. (p)	1	0,98	0,91	0,75	0,50	0,25	0,09	0,02	
3 näkke ja ühe õhingu tõenäos. ($p \cdot q^3$)	0	0	0	0,01	0,06	0,10	0,07	0,02	0
	tõenäosuste summa = 0,26								
$\frac{p \cdot q^3}{0,26}$	0	0	0	0,04	0,23	0,38	0,27	0,08	

Tabeli ja selle põhjal koostatud kõvera (joon. 91) uurimise põhjal võib teha järeldusi:

1) Lõhkemiste hajumuskeskme võimaliku asendi piirideks on + 2 *Tkõ* ja — 4 *Tkõ*;

2) Lõhkemiste hajumuskeskme tõenäoseim asend on —1 *Tkõ*.

Järeldus. Kui on saadud 3 näket ja 1 õhing, siis tuleb eellaskmiseks tõsta õhingute keskmist kõrgust 2 *Tkõ* võrra.

3. juhus. Kui esimene järjekord andis kaks näket ja kaks õhingut, siis on selge, et hajumuskese peab asuma märgijala või maapinna kõrgusel. Sel juhul öeldakse, et lõhkemised tekivad nullisel kõrgusel.

Järeldus. Kui on saadud 2 õhingut ja 2 näket, siis tuleb tõsta õhingute keskmist kõrgust 1 *Tkõ* võrra.

4. juhus. Kui järjekord andis 75% õhinguid ja 25% näkkeid, siis selle järjekorra lõhkemiste tõenäosus olenevalt hajumuskeskme asendist maapinna või märgijala suhtes on alljärgnev.

Hajumuskeskme asendi kõrgus	+ 4 *Tkõ*	+ 3 *Tkõ*	+ 2 *Tkõ*	+ 1 *Tkõ*	0	— 1 *Tkõ*	— 2 *Tkõ*	— 3 *Tkõ*	— 4 *Tkõ*
3 õhingu tõenäos. $(p)^3$	1,0	0,94	0,75	0,42	0,12	0,02	0	0	0
1 näkke tõenäos. (q)	0	0,02	0,09	0,25	0,50	0,75	0,91	0,98	1
3 õhingu ja ühe näkke tõenäosus $(p^3 q)$	0	0,02	0,07	0,10	0,06	0,01	0	0	0
		tõenäosuste summa = 0,26							
Hajumuskeskme kõvera ordinaadid	0	$p^3 q$: 0,26 = 0,08	0,27	0,38	0,23	0,04	0	0	0
		ordinaatide summa = 1,0							

Tabeli ja selle põhjal konstrueeritud kõvera (joon. 91) uurimise järeldusi:

1) Lõhkemiste hajumuskeskme võimaliku asendi piirideks on + 4 *Tkõ* ja — 2 *Tkõ*;

2)Lõhkemiste hajumuskeskme tõenäoseim asend on 1 *Tkõ*.

Järeldus. Kui on saadud 3 õhingut ja 1 näke, siis on käes õige eellaskmise õhingukõrgus.

5. juhus. Kui järjekord andis kõik õhingud. Sel juhul tuleb määrata õhingute keskmine kõrgus tuhandikkudes, võttes selleks üksikute õhingute kõrguste aritmeetilise keskmise. Saadud keskmise kõrguse ja nõutava kõrguse vahe annab õhingukõrguse paranduse. Seda viisi kasutatakse ainult neil juhtudel, kui näkete % on alla 50. Kui aga näkete % on üle 50, siis tuleb kasutada 1. — 3. juhul toodud õhingukõrguse

paranduse viise. Kui näkete % on alla 50, siis lõhkemiste keskmise kõrguse määramisel võetakse arvesse ka näkete arv ning üksikute õhingute kõrguste summa jagatakse kõigi (ka näkete) lõhkemiste arvuga.

Toodud lõhkemistekõrguse paranduse reeglid on maksvad esimese järjekorra lõhkemiste jaoks. Järgmiste järjekordade juures tuleb arvesse võtta eelmiste järjekordade vaatlusi, sest et lõhkemiste keskmise kõrguse määramine on seda täpsem, mida suurema arvu vaatluste põhjal on see tehtud. Kui pärast parandust on selgunud järgmiste vaatluste põhjal, et eelmine parandus on liiga suur või väike, siis tehakse vahepealne parandus.

Kui maapind märgi rajoonis on kallak, siis tuleb lugeda näketeks neid õhinguid, mis tekkisid allpool märgijalga. Näkkeid, mis tekkisid sel juhul ülalpool märgijalga arvesse ei võeta.

Näide 1. Kuidas tuleb parandada lõhkemiste keskmist kõrgust, kui esimene järjekord andis 4 näket?

Lahendus. Lahendame seda küsimust ühe, kolme ja viie km laskekauguste jaoks.

Lasketabelitest leiame 76 v. kahuri kohta järgmisi andmeid:
1 km jaoks: *Tkõ* = 0,5 m, süütaja 1 j. muudab õhingu kõrgust 0,7 m;
3 km jaoks: *Tkõ* = 3,4 m, süütaja 1 j. muudab õhingu kõrgust 3,4 m;
5 km jaoks: *Tkõ* = 9,8 m, süütaja 1 j. muudab õhingu kõrgust 7,0 m.

Lõhkemiste kõrgust tuleb muuta vähemalt 5 *Tkõ* võrra ehk olenevalt laskekaugusest 2,5; 17,0; 49,0 meetri võrra ehk 3, 6, 10 tuhandiku või 4, 5, 7 lendsüütaja jaotise võrra.

Seega, kui esimene järjekord annab 4 näket, siis tuleb suurendada loe- või korrektoriseadet vastavalt laskekaugusele vähemalt 3, 6, 10 jaotise võrra või vähendada lendsüütajaseadet 4, 5, 7 jaotise võrra.

Sv. E. V. § 153 käseb sel juhul kõigi kauguste juures suurendada loe- või korrektoriseadet 10 j. võrra või vähendada lendsüütajaseadet 6 j. võrra.

Näide 2. Kuidas tuleb parandada lõhkemiste keskmist kõrgust, kui esimene järjekord andis 3 näket ja ühe õhingu?

Lahendus. Lahendame seda küsimust 1. näites toodud viisil ja andmetega.

Lõhkemiste kõrgust tuleb muuta (tõsta) 2 *Tkõ* võrra ehk olenevalt laskekaugusest 1,0; 6,8; 19,6 meetri võrra ehk 1, 2, 4 tuhandiku või 1, 2, 3 lendsüütaja jaotise võrra.

Seega, kui esimene järjekord annab 3 näket ja ühe õhingu, siis tuleb suurendada loe- või korrektoriseadet vastavalt, laskekaugusele 1, 2, 4 j. võrra või vähendada lendsüütajaseadet 1, 2, 3 j. võrra.

Sv. E. V. § 153 käseb sel juhul suurendada korrektori 3 j. võrra või vähendada lendsüütajaseadet 2 j. võrra.

Näide 3. Kuidas tuleb parandada lõhkemiste keskmist kõrgust, kui esimene järjekord andis 2 õhingut ja 2 näket?

Lahendus. Lahendame seda küsimust 1. näites toodud viisil ja andmetega.

Lõhkemiste kõrgust tuleb sel juhul tõsta ühe *Tkõ* võrra ehk olenevalt laskekaugusest 0,5; 3,4; 9,8 m võrra ehk 0,5; 1; 2 tuhandiku või ühe lendsüütajaseade jaotise võrra.

Seega, kui esimene järjekord annab 2 õhingut ja 2 näket, siis tuleb suurendada loe- või korrektoriseadet vastavalt laskekaugusele 1; 1; või 2 jaotise võrra või vähendada lendsüütajaseadet ühe jaotise võrra.

Sv. E. V. § 153 käseb sel juhul suurendada korrektoriseadet ühe jaotise võrra või vähendada lendsüütajaseadet ühe jaotise võrra.

Näide 4. Kuidas tuleb parandada lõhkemiste keskmist kõrgust, kui esimene järjekord andis 4 õhingut, millede kõrgus oli 12, 2, 8 ja 10 tuh. ja $d/D = 0{,}5$

Lahendus. Õhingute keskmine kõrgus on:

$$\left(\frac{12 + 2 + 8 + 10}{4}\right) \cdot 0{,}5 = 4 \text{ tuh.}$$

Seda kõrgust tuleb vähendada $4 - 1 = 3$ tuh. võrra.

Selleks tuleb vähendada loe- või korrektoriseadet 3 j. võrra või suurendada lendsüütajaseadet olenevalt laskekaugusest (kas 1,3 või 5 km) 4, 3, 2 jaotise võrra.

Üleminekul turmtulele tuleb lõhkemiste keskmist kõrgust tõsta soodsele kõrgusele muutes lendsüütaja- või korrektoriseadet.

6. Haaravate lõhkemiste jaotus kauguses. Küsimuse selgituseks projekteerime lasketasapinnale 76 v. kahuri šrapnellide lõhkemiste hajumusellipsoidi, mis vastab laskekaugusele 4000 m. Saadud hajumusellipsi jaotame rööpkülikuteks, millede küljed võrduvad tõenäoste pikkus- ja kõrguskallangutega õhinglaskmisel. Nendel rööpkülikutel kirjutame vastavaid õhingute tõenäosusi protsentides. Jooned $A\,B$ ja $D\,E$ tähistavad maapinda, M_1 ja M_2 tähistavad märgi asen-

dit, kui keskmine lendjoon läbistab märki ja kui hajumuskeskme kõrgus maapinna (M_1 ja M_2) suhtes on vastavalt 1 *Tkõ* ja 2 *Tkõ* (joon. 92).

Haaravate lõhkemiste jaotus M_1 suhtes on alljärgnev.
Eellangeid:

— näkkeid: $0{,}5 \cdot (1{,}00 + 4{,}00 + 6{,}25) + 1{,}75 + 0{,}50 + 4{,}00 + + 1{,}75 + 0{,}50 + 4{,}00 + 2{,}75 + 1{,}00 + 1{,}75 + 1{,}00 + 0{,}50 = = 25{,}12\%$;

— madalaid: $0{,}5 \cdot (2{,}75 + 1{,}00 + 6{,}25 + 4{,}00 + 6{,}25 + 6{,}25) = = 13{,}25\%$;

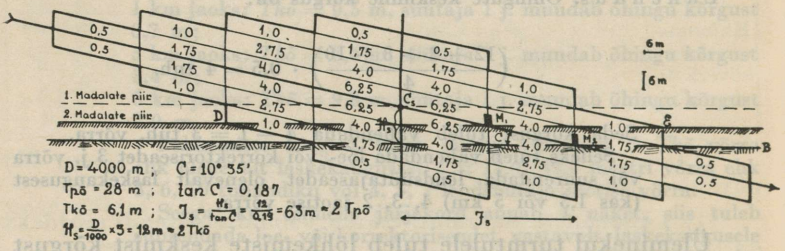
Kokku eellangeid on $25{,}12 + 13{,}25 = \mathbf{38{,}37\%}$.
Tagalangeid:

— näkkeid: $0{,}5 \cdot (4{,}0 + 1{,}0) + 1{,}75 + 0{,}5 = 4{,}75\%$;

— madalaid: $0{,}5 \cdot (4{,}0 + 1{,}0 + 2{,}75) = 3{,}87\%$;

Kokku tagalangeid on: $4{,}75 + 3{,}87 = \mathbf{8{,}62\%}$.

Teostades eelmistele sarnaseid arvutusi, leiame et haaravate lõhkemiste jaotus M_2 suhtes on järgmine:
Kokku eellangeid **27,13%** ja tagalangeid **2,75%**.



Joon. 92.

Järeldus. Õhinglaskmisel šrapnelliga, kui keskmine lendjoon läbistab märgi, on eellangete arv mitu korda suurem tagalangete arvust. Mida suurem on lõhkemiste keskmine kõrgus, seda suuremal määral eellangete arv ületab tagalangete arvu. Eellangete ja tagalangete võrdne arv näitab, et keskmine lendjoon on tagalangeline; M_1 suhtes eel- ja tagalangete võrdse arvu juures keskmine lendjoon on tagalangeline umbes ühe *Tpõ* võrra, M_2 suhtes 2 *Tpõ* võrra.

Selgituseks olgu toodud alljärgnev tabel, mis näitab 76 v. šrapnellide turmvõimet olenevalt keskmise lendjoone asendist märgi suhtes, kui $D = 3000$ m ja hajumuskeskme kõrgus on 2 *Tkõ*.

Keskmise lendjoone kohtamispunkti kallang märgi suhtes tõenäos. pikkuskallangutes											
—10	—8	—6	—4	—3	—2	—1	0	+1	+2	+3	+4
Šrapnellide turmvõime (tabatud märkide arv)											
1,2	1,6	2,7	4,3	5,2	6,3	7,5	8,3	6,3	4,0	0,6	0,1

7. Suuna- ja kauguseellaskmine. Suuna- ja kauguseellaskmine šrapnelliga teostub üldiselt samade reeglite järgi nagu löökLaskmisel, v. a. mõningaid erinevusi, mis on tingitud šrapnelli tegevuse erinevusist ja šrapnelliga tulistatavate märkide iseloomust.

b) Eellaskmine granaadiga.

Teise jao II peatüki p. 4 (joon. 47 ja 48) nägime, et õhus lõhkenud granaadi killud turmavad alla ja külgedele; parimat turma annavad 10—20 m kõrgusel lõhkevate granaatide killud, kildude turmala sügavuses on väike (5—15 m). Seega granaadi õhingu soodus kõrgus on 15 m ja soodus joonvahe — 0; neil tingimustel õhinglaskmine granaadiga omab kaunis suure moraalse ja materiaalse mõju lahtistes kaevikutes või katete taga asuva elavjõu pihta.

Rikošettlaskmisel granaadi turmavus on umbes samasugune kui õhinglaskmisel.

Suuna- ja kauguse eellaskmist toimetatakse samal viisil, nagu eellaskmisel šrapnelliga, püüdes sealjuures leida automaatvõtme korrektori seade, mis annaks lõhkemised nullisel kõrgusel.

Õhingukõrgus muudetakse mitte vähem kui kahe vaatluse põhjal, parandades vastavalt korrektoriseadet.

Üleminekul turmtulele suurendatakse loeseadet, et saada õhinguid soodsel kõrgusel ja märki läbistava püstjoone kohal.

9. Eellaskmine abimärgi suhtes. Tule üleviimine.

Kui märk on varjatud või ootamatuse saavutamiseks pole otstarbekohane toimetada eellaskmist märgi suhtes ja samuti ka öisel laskmisel või kui laskmisest võtab osa suurearvuline suurtükivägi jne., või eellaskmine märgi suhtes on raskendatud või täiesti võimatu, siis neil juhtudel märgi tulistamine täielise laskeettevalmistusega määratud laskeandmete põhjal võimaldab saavutada ootamatust täiel määral, kuid nõuab suurt laskemoonakulu ja ei taga kindlat märgi turmamist. Seepärast on otstarbekohasem parandada laskeettevalmistusega määratud laskelähteandmeid eellaskmisega mingisuguse teise vaadeldava reaalse või fiktiivse (lõhkemiste kese) abimärgi suhtes, mis asub tulistamisele kuuluva märgi rajoonis ja mille topograafiline asend on täpselt teada.

Parandused, mis on tehtud eellaskmisel abimärgi suhtes, annavad võrdlemisi täpse ettekujutuse parandustest, mis oleksid saadud samadel lasketingimustel toimetatud tegeliku märgi eellaskmisel. Tuleüleviimisega abimärgilt tegelikule märgile on võimalus abimärgi suhtes eellaskmisega leitud parandusi võtta arvesse laskelähteandmete parandamiseks tegeliku märgi jaoks. Seega tuleüleviimine võimaldab:

— lühendada eellaskmist (nähtava märgi tulistamisel),

— vähendada tulistatava pindala suurust ning laskemoonakulu (nähtamatu märgi tulistamisel) ja

— eellaskmiseta ning ootamatult turmata märki.

Tuleüleviimisel määratakse alussuurtüki, märgi ja abimärgi topograafiline asend ning märgi ja abimärgi topograafilised kaugused ja nende vaheline üleviiunurk. Eellaskmisega abimärgile määratakse *eellaskmise tõste abimärgile*. Abimärgi topograafilise ja eellaskmise tõstele vastavate kauguste vahe on tingitud laskeettevalmistusel tehtud vigadest. Seda vahet muundatakse vastavalt tegeliku märgi topograafilisele kaugusele (vt. Sv. E. V. §§ 212—215) ning sel teel määratakse lähtetõste tegeliku märgi turmamiseks. Üleviiunurk määratakse Sv. E. V § 211 toodud viisil. Järelikult tuleüleviimisel määratakse *antud momendi jaoks* ilmastiku- ja ballistiliste tingimuste mõju ning samuti ka osaliselt parandatakse topograafilise ettevalmistuse vigu. Kuna ilmastiku- ja ballistiliste tingimuste mõju määramine on

õige ainult eellaskmise momendi jaoks, seepärast tuleüleviimine peab sündima kohe pärast eellaskmist abimärgi suhtes.

Eelaskmisega abimärgile ja tuleüleviimisega on kõrvaldatavad peaaegu täielikult vead, mis on tekkinud alussuurtüki asukoha määramisel, suunasihtimisel ja ballistiliste ning ka ilmastikutingimuste tõttu. Kuna märgi ja abimärgi määramise vead ei ole kõrvaldatavad ning jäävad tuleüleviimisel püsima. Seepärast, kasutades eellaskmist abimärgi suhtes ning tuleüleviimist, tuleb märgi ja abimärgi asukohti määrata võimalikult täpsemalt.

10. Tulekontroll.

Praktika näitab, et tuleüleviimisel tekkinud vead on 2—3 korda vähemad vigadest, mis tekivad täielise laskeettevalmistuse juures.

Tulekontrolli eesmärgiks on selgitada kas laskeettevalmistusega, eellaskmisega või muul viisil turmamiseks määratud laskeandmetel lastud mürskudeseeria tegelikult katab märki. Seega, tulekontrolliga võib parandada laskeandmeid ja teatavatel juhtudel vähendada tulistatava pindala suurust. Tulekontroll võimaldab suurtükiväe juhatusel saada andmeid lahingusse astunud suurtükiväeüksuste lasketulemustest.

Tulekontrolli teostatakse lõhkemiste maapealse või õhustvaatlusega.

Tulekontroll on eriti vajalik laskmistel, mis on ettevalmistatud ainult kaardi järgi. Kuid tulekontroll on väga kasulik ka eellaskmise järgi toimetatava turmtule tagajärgede selgitamiseks eriti siis, kui turmtuli on suure kestusega või kui eellaskmise või eelmise tulekontrolli ja avatava turmtule vahel on möödunud palju aega. Taktikalise olukorra muudatusi, suurtükiväe tulede uus jaotus, ilmastikuolude tunduvaid muudatusi ja teisi lasketingimuste muudatusi (ballistilised tingimused) võivad nõuda tulekontrolli kordamisi sama päeva jooksul.

Tulekontrolli kava koostab suurtükiväejuht selleks, et kokkukõlastada tulistajate ja vaatlusüksuste tööd ajas ja ruumis. Tulekontrolli kavas märgitakse:

— üksuste tulekontrolli järjekord ja aeg,
— tulekontrolli viis ja laskemoonakulu,
— vajaduse korral turmtule katkestamise aeg.

Põhimõtteliselt tulekontrolli teostatakse turmtuleks määratud keskmistel seadetel. Laskemoonakulu — 3 mürsku kergesuurtüki peale ja 1—2 mürsku raskesuurtüki peale.

Tulekontrolli teostav üksus:

— igal ajal, kui on vaja, katkestab turmlaskmise,
— valmistab ette laskeandmed tulekontrolliks märgi keskme suhtes;
— võtab vastu tulekontrolli käsu mõni minut enne tulekontrolliks määratud kellaaega;
— teostab kontrolltuld, vastavalt saadud korraldustele;
— määratud ajal avab või uuendab turmtule.

Selleks, et oleks võimalus teostada tulekontrolli (kui tegelikku märki ei näe maapealsetest vaatluspunktidest ja tuli juhiti märgile eel- või kontroll-laskmisega erivaatlusüksuste abil) erivaatlusüksusi kasutamata, teostatakse kohe pärast eel- või kontroll-laskmist märkimist tunnismärgile (vt. Sv. E. V §§ 216—218).

XIII peatükk.

TURMLASKMINE.

1. Turmtule eesmärgid.

Turmlaskmine on laskmise otsustav järk. Turmlaskmisega laskja suurtükiväeüksus täidab antud tuleülesande. Reeglina turmlaskmisele eelneb laskeettevalmistus ja eellaskmine või kontrolltuli, mis kestab edasi ka turmtule vältel. Eellaskmise või kontrolltule vältel tuleb juba püüda saavutada märgi turmamist.

Tavaliselt peab jälgima laskmise tagajärgi kuni viimase mürsu lõhkemiseni. Seega nagu ei olekski selget piiri eel- ja turmlaskmise vahel; selle piiri määrab moment, mil loetakse eel- või kontroll-laskmine lõpetatuks ning muudetakse laskeseadeid, laskeviisi ja tuleviisi vastavalt turmtule nõuetele.

Oma eesmärkide järgi turmtuli võib olla:

— purustus- või hävitustuli,
— neutraliseeriv (mahasuruv) tuli,
— tõkketuli.

Purustus- või hävitustuli on läbiviidav siis, kui on võimalus teostada eellaskmist või tulekontrolli tulistatava märgi suhtes, seejuures märk peab olema vaadeldav kogu tule kestusel. Purustus- või hävitustuli on ka siis läbiviidav, kui on võimalus teostada täpset eellaskmist abimärgi pihta. Suuremad laskekaugused (suurem hajumus) vähendavad märksa purustustule tulemusi. Purustustulega hävitatakse vastase üksikuid tulepunkte, juhtimispunkte, varjendeid, tõkkeid ja elavjõude. Purustustuli nõuab head vaatlust, palju aega ning laskemoona ja tal puudub ootamatus.

Neutraliseeriva tule eesmärgiks on ajutiselt halvata vastase elavjõudu, sundida vaikima tema tulirelvad ning võtta talt võimalus välja tulla kaitseehitistest. Seda saavutatakse vastase elavjõu ja võitlusvahendite osalise ning juhusliku hävitusega lühiajalise kuid tugeva tulega, mille moraalne mõju halvab mõneks ajaks tulerajoonis olevate üksuste tegevust. Neutraliseerivat tuld võib anda ootamatult igasugustes laske- ja vaatlustingimustes nii üksikutele märkidele, kui ka vastase asukohtade rajoonidesse.

Tõkketule eesmärgiks on katta (kaitsta) oma vägesid vastase kallaletungide (rünnakute) ja tule vastu. Tõkketulest läbiminevad vastase elavjõud ja mehhaniseeritud võitlusvahendid hävitatakse kas täielikult või osaliselt sellasel määral, et kaitsja võiks neid tagasi lüüa. Tõkketule eesmärgiks võib ka olla oma kallaletungivate osade ees liikuvana tuleseinana katta (kaitsta) neid vastase tule ja löökide vastu. Tõkketule juures on olemas nii hävitus- kui ka neutraliseeriv element. Tõkketuli suunitakse varem kindlaksmääratud rindeosadesse.

2. Tule turmavus.

Turmava tule saavutamiseks tuleb:

a) valida märgi iseloomule ja turmtule eesmärgile vastav laskemoonaliik;

b) laskeettevalmistuse ja eellaskmise või kontrolltule viisist ning täpsusest olenevalt määrata märgile vastav tulistatav pindala ja tulejaotus sellel;

c) määrata märgi iseloomule ja turmtule eesmärgile vastav laske- ja tuleviis;

d) määrata märgi iseloomule ja turmtule viisile vastav laskemoonakulu.

a) Laengu-, mürsu- ja süütajaliigi valik.

On teada, et granaadi tegevus oleneb muuseas ka kohtamisnurgast. Näiteks, granaadi süvenemise sügavus tugevasse keskkonda on võrdeline kohtamisnurgaga; suuremat kohtamisnurka annab vähem laeng, seepärast varjendi katte läbistamiseks tuleb valida vähem laeng. Soomustatud püstpinna läbistamiseks on vaja suuremat mürsu kohtamiskiirust, seepärast sel juhul tuleb valida suurem laeng. Lastes šrapnelliga lahtise elavjõu pihta on vaja saavutada lamedamat lendjoont ja kuulide suuremat paiskekiirust. Seepärast tuleb kasutada suuremat laengut. Kui aga sama märk asub katte tagumisel längul, mis on suurem kui šrapnelli paiskevihu alumise kuuli läng, siis tuleb kasutada vähemat laengut, et lendjoone lõpposa kallak oleks järsum ning šrapnelli alumise kuuli läng oleks suurem kui kallakpinna läng.

Laskmist vastase vaatluspunkti pihta võib toimetada mitmet liiki mürsuga (šrapnell, granaat hetk-, normaal- või viitsüütajaga, suitsumürsk jne.). Kõik oleneb sellest, kus asub märk ja missugune on tule-eesmärk. Kui on vaja hävitada maapeal asuvat ja varjendiga kaetud vaatluspunkti, siis tuleb kasutada viitsüütajaga granaati. Kui märk asub lahtises kaevikus, siis on tulistamiseks kohasem granaat hetksüütajaga; kui märk asub puu otsas, siis on kohasem šrapnell või granaat lendsüütajaga. Kui on vaja märki pimendada, siis peaks kasutama suitsumürske. Lahtist elavjõudu on kasulikum tulistada väiksematel kaugustel šrapnelliga ja suurematel kaugustel granaadiga.

b) Tulistatava pindala määramine ja tulejaotus.

Märgi pindalaks nimetatakse märgile ümber joonestatud ristkülikut, mille küljed on vastavalt paralleelsed ja perpendikulaarsed laskesuunaga. Ristküliku külgede pikkusi nimetatakse vastavalt märgi sügavuseks (piki laskesuunda) ja laiuseks (risti laskesuunaga). Kui kitsas märk (kaevik, traattõkkeriba, metsa või asula serv) asub põiki laskesuunaga, siis märgi pindala vähendamiseks loetakse märgi pindalaks ristkülik, mille pikem külg on paralleelne märgi pikema servaga.

Tulistatavaks pindalaks nimetatakse pindala, mida turmtulega ühtlaselt üle külvatakse mürskudega.

Kui eellaskmine on toimetatud märgi suhtes ja turmtuli on vaadeldav ning kontrollitav algusest lõpuni, siis märgi pindala ei suurendata ning tulistatavaks pindalaks võetakse märgi pindala. Kõigil teistel juhtudel tulistatava pindala määramisel suurendatakse märgi pindala laiuti ja sügavuti kummalegi poole olenevalt turmtule laskeandmete määramise viisist ning täpsusest (vt. Sv. E. V. § 230).

Tulistatava pindala suurus oleneb seega märgi pindala suurusest ja turmtule laskeandmete määramise tõenäostest vigadest. Viimased omakorda olenevad laskeettevalmistuse viisist ning täpsusest ja eel- või kontroll-laskmise viisist ja täpsusest. Laskeettevalmistuse tõenäoseid vigu on toodud eelpool (vt. käesoleva jao X peatükk p. 2). Neil juhtudel, kui turmtule laskeandmed määratakse eel- või kontroll-laskmise põhjal, siis kaovad laskeettevalmistuse vead ning jäävad ainult eel- või kontroll-laskmise vead.

Kui eellaskmist toimetati abimärgile või tunnismärgile, siis üks osa vigu (alussuurtüki asukoha määramise-, alussuurtüki suunmise-, ilmastiku- ja ballistiliste paranduste vead) kaob, kuid jäävad püsima:

— märgi ja abimärgi asukoha määramise vead,
— graafiliste mõõtmiste vead,
— abimärgi eellaskmise vead,
— suurtükkide sihtimise vead,

milliste resultant on suunas kuni 4 tuhandikku ja kauguses ½ kuni 1% laskekaugusest.

Kui tuld kontrollis lennuk, siis turmtule laskeandmete tõenäosed vead nii suunas kui ka kauguses on:

— 75 m pärast esimest kontrolli,
— 50 m „ teist „
— 40 m „ kolmandat „

pärast katangulist seeriat on kauguse tõenäone viga 25 m.

Tulistatava pindala keskmeks määratakse laskeettevalmistusega või eel- või kontroll-laskmisega määratud turmtule laskeandmetele vastavad kohad.

Selleks, et üle külvata mürskudega märgi võimalikkude asendite kogu rajoon (100% tõenäosusega), tuleks suurendada märgi pindala nii laiuti kui ka sügavuti kummalegi poole

à 4 tõenäose vea võrra ehk kokku 8 tõenäose vea võrra. On selge, et nii suure pindala tulistamine nõuab suurt aja ja laskemoonakulu ning käib üle jõu. Seepärast tavaliselt määratakse tulistatavaks pindalaks mitte märgi võimalikkude asendite kogu rajoon, vaid osa (82% tõenäosusega) sellest, suurendades märgi pindala nii laiuses kui ka sügavuti kummalegi poole à 2 turmtule laskeandmete määramise tõenäose vea võrra. Seejuures märgi tabamise tõenäosus on küllalt suur (82%), kuid laskemoona- ja ajakulu jääb märksa väiksemaks. Sv. E. V. § 231 ütleb: „Laskemoona kokkuhoiu huvides tulejuht peab võtma tarvitusele kõik abinõud tulistatava pindala vähendamiseks, pannes pearõhku suurtükkide täpsale suunimisele."

Tulejaotus tulistataval pindalal. Märgi tulistamist teostatakse kas ühel või mitmel suuna- ja tõsteseadel.

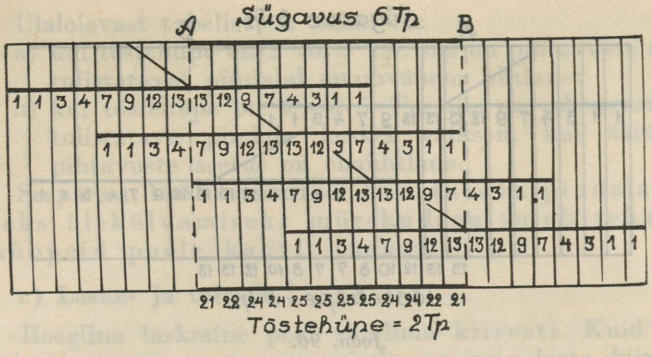
Esimesel viisil tulistatakse märke, millede mõõted rinnetpidi ja sügavuti ei ole suured võrreldes tõenäose hajumusellipsiga ja kui eellaskmine on toimetatud märgile ning laskmist võib vaadelda või kontrollida algusest lõpuni. Sel viisil purustatakse üksikuid varjendeid, tulepesi, vaatluspunkte jne.

Teisel viisil tulistatakse märke, millede mõõted on suuremad kui tõenäose hajumusellipsi vastavad teljed. Seda tulistamist nimetatakse pindala tulistamiseks. Pindala tulistamist teostatakse ka väikeste märkide pihta, kui turmtule andmed ei ole küllalt täpsed või kui puudub võimalus turmtuld vaadelda või kontrollida.

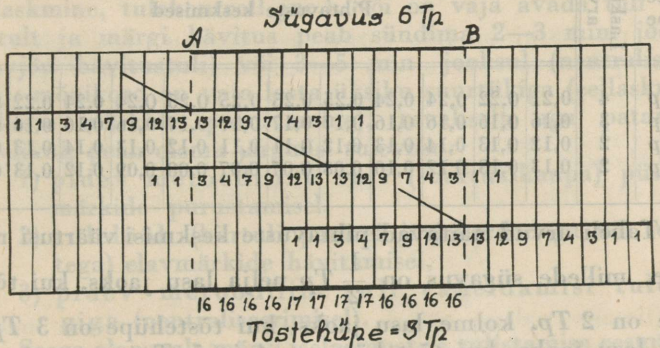
Pindala tulistatakse üldreeglina nii, et ta oleks kaetud mürskudega ühtlaselt. Seepärast tuleb teostada tulejaotust nii rinnetpidi kui ka sügavuti. Tulejaotuse viisid ja reeglid on toodud Sv. E. V §§ 232—236.

Ühtlaseks tulejaotuseks suunas tulistatav pindala rinnetpidi jaotatakse lõikudeks olenevalt suurtükkide arvust ja mürsu mõjuva turmala laiusest.

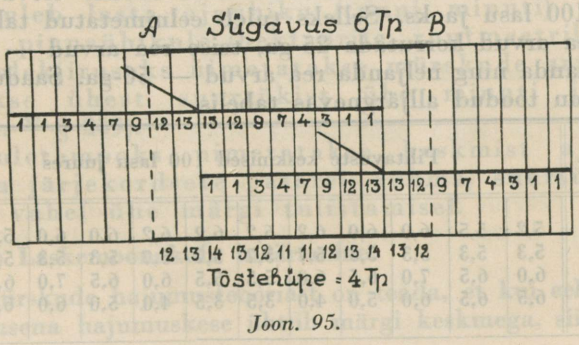
Ühtlaseks tulejaotuseks kauguses tulistatav pindala sügavuti jaotatakse ribadeks, mille sügavus laskmisel granaadiga on 1—2 *Tp* ja šrapnelliga 2—4 *Tp*. Selgituseks olgu tulistatava pindala sügavus 6 *Tp* (joon. 93 — 96). Jaotame selle poole *Tp* sügavusega ribadeks ja määrame iga riba pihtavuste keskmise 2, 3, 4 ja 5 *Tp* suuruste tõstehüpete jaoks. Arvutuste tulemused on toodud allpool (vt. joon. 93 — 96 ja neile vastav tabel).



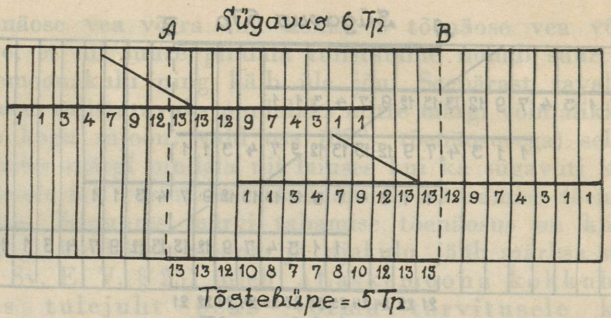
Joon. 93.



Joon. 94.



Joon. 95.



Joon. 96.

Tõstehüpe	Laskude arv	Pihtavuste keskmised											
2 *Tp*	4	0,21	0,22	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,22	8,21
3 *Tp*	3	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16
4 *Tp*	2	0,12	0,13	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,13	0,12
5 *Tp*	2	0,13	0,13	0,12	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,12	0,13	0,13

Tabeli arvud näitavad pihtavuste keskmisi väärtusi ribadesse, millede sügavus on $\frac{1}{2}$ *Tp* nelja lasu jaoks, kui tõstehüpe on 2 *Tp*, kolme lasu jaoks, kui tõstehüpe on 3 *Tp* ja kahe lasu jaoks, kui tõstehüpe on 4 ja 5 *Tp*.

Et võrrelda pihtavuste keskmisi mitmesuguste tõstehüpete jaoks, siis arvutame ümber eeltoodud tabelis olevad keskmised 100 lasu jaoks. Selleks tuleb eelnimetatud tabeli esimese rea arvud korrutada 25-ga, teise rea arvud — 33,3-ga ja kolmanda ning neljanda rea arvud — 50-ga. Saadud tulemused on toodud alljärgnevas tabelis.

Tõstehüpe	Pihtavuste keskmised 100 lasu juures											
2 *Tp*	5,2	5,5	6,0	6,0	6,2	6,2	6,2	6,2	6,0	6,0	5,5	5,2
3 *Tp*	5,3	5,3	5,3	5,3	5,7	5,7	5,7	5,7	5,3	5,3	5,3	5,3
4 *Tp*	6,0	6,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,5	6,0	6,5	7,0	6,5	6,0
5 *Tp*	6,5	6,5	6,0	5,0	4,0	3,5	3,5	4,0	5,0	6,0	6,5	6,5

Ülalolevast tabelist on näha, et:

a) kui tõstehüpe on 2 või 3 *Tp*, siis on pihtavuste asetus tulistataval pindalal enamvähem ühtlane;

b) kui tõstehüpe on 4 või 5 *Tp*, siis on pihtavuste arv tulistatava pindala keskel väiksem kui äärtel ja pihtavuste asetus on ebaühtlane.

Seepärast, lööklaskmisel tulistatava pindala ühtlaseks ülekülvamiseks mürskudega tuleb teha tõstehüppeid poole kahvli tagant.

c) Laske- ja tuleviis.

Reeglina laskmine peab sündima kiiresti. Kuid mõnikord parema turmavuse saamiseks on vaja lasta kiirusega, mis võimaldab jälgida igat üksikut lõhkemist (purustustuli, eellaskmine, tulekontroll jne.), või on vaja avada tuli ootamatult ja märgi hävitus peab sündima 2—3 min. jooksul (elavjõu hävitustuli) või 3—5 min. jooksul (neutraliseeriv tuli); mõnikord on vaja lasta üksiku suurtükiga (eellaskmine, väikeste märkide purustamine), tavaliselt aga patareiga. Järelikult peab olema järgmisi tuleviise:

1) pidev metoodiline tuli (suurtükikaupa) püsivate märkide purustamisel,

2) tulelöök (kiirtuli patarei järjekordadega või seeriatega) elavmärkide hävitamisel,

3) pidev metoodiline tuli vaheldamisi tulelöögiga (neutraliseerimisel).

Seega olenevalt märgi iseloomust ja tulistamise eesmärgist tuletihedus, tuletempo ja tulekiirus on mitmesugused.

Tuletiheduseks nimetatakse mürskude arvu, mis tuleb lasta ajaühiku (tunni, minuti) jooksul märgi pinnaühikule (hektaarile, ruutmeetrile).

Tulekiiruseks nimetatakse mürskude arvu, mis lastakse ühest suurtükist ühe minuti jooksul. (Sv. E. V § 239).

Tuletempoks nimetatakse keskmist ajavahemikku järjekordsete patarei, rühma, suurtüki laskude vahel ühe märgi tulistamisel.

d) Laskemoonakulu määramine.

Mürskude hajumusteooriast on teada, et kui eellaskmise tulemusena hajumuskese ühtub märgi keskmega, siis 6,25%

mürskudest langeb ristkülikusse, mille küljed on vastavalt võrdsed Tp ja Tl. Kui selle ristküliku kese ühtub hajumuskeskmega ja sellesse mahub märk, mille pindala on S, siis selle märgi pihtavuse tõenäosus iga mürsuga on

$$p = \frac{6{,}25}{100} \cdot \frac{S}{Tp \cdot Tl}$$

ehk

$$p = \frac{0{,}0625 \cdot S}{Tp \cdot Tl} .$$

Kui lastud mürskude arv on n, siis pihtavuste tõenäoseim arv on

$$N = np ,$$

kus N on märgi pindala turmavuse tihedus. Kui tähistada ühe m^2 pihtavuste arvu ehk tuletihedust ühe m^2 D-ga, siis

$$N = DS .$$

Vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosus $P_1 = 1 - (1-p)^n$ ehk $P_1 \approx 1 - e^{-np}$ või $P_1 \approx 1 - e^{-N}$, seega

$$N = 2{,}3 \log \frac{1}{1 - P_1} .$$

Viimane valem näitab, missugune peab olema märgi pindala turmavuse tihedus N, et saada vähemalt ühe mürsuga pihtavuse ettemääratud tõenäosust.

Kui

$$P_1 = 0{,}5;\ 0{,}9;\ 0{,}99 ,$$

siis on N väärtused vastavalt:

$$0{,}69;\quad 2{,}3;\quad 4{,}6.$$

Teisalt aga, kui on teada märgi pihtavuse tõenäosus ühe mürsuga, väärtus p, siis võib määrata mürskude arv n, mis tuleb välja lasta, et tabada märki vähemalt ühe mürsuga

$$n = \frac{N}{p} .$$

On teada, et tõenäoseima tõsteseade tõenäone viga on J. Seega, et olla kindel märgi tabamises, tuleb määrata tulistatav pindala Σ, mille sügavus on 8 J. Kui tahetakse ühtlaselt katta mürskudega pindala Σ, siis on lastavate mürskude täielik arv

$$m = \frac{n\,\Sigma}{S}\,.$$

Kui märgi pindala turmavuse tihedus $N = 1$, siis ei ole suurt usku märgi tabamise võimalustesse, sest et siis $P_1 = 0{,}63$.

Et tulistatav pindala oleks ühtlaselt kaetud mürskudega, selleks on sobiv tulistamine mitmel tõstel, lastes igal tõstel võrdse arvu mürske. Tõstehüppe suurus võib olla $\frac{1}{4}$ või $\frac{1}{2}$ kahvlit.

Näiteks, kui vaja katta ühtlaselt 400 mürsuga riba, mille sügavus on $1\frac{1}{2}$ kahvlit (6 Tp), paikneb mürske ühe Tp sügavusega ribadesse järgmiselt:

a) kui tõstehüpe on $\frac{1}{4}$ kahvlit (Tp) siis:

42 52 55 55 52 42

b) kui tõstehüpe on $\frac{1}{2}$ kahvlit (2 Tp) siis:

43 48 50 50 48 43.

Kui laskemoona piiratud arv ei luba katta kogu tulistatavat pindala 8 J sügavuses, tuleb määrata tulistatavaks pindalaks kitsam riba. Sel juhul on märgi tabamiseks tõenäosus Q ning vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosus

$$P_1' = Q \cdot (1 - e^{-np})$$

kus, lugedes endiselt $N = np$, on

$$N = 2{,}3 \cdot \log \frac{1}{1 - \frac{P_1'}{Q}}\,.$$

Näide 1. 75 p. patarei täppis eellaskmine oli lõpetatud märgile, mille kaugus $D = 5000$ m ja mille pindala $S = 42$ m². Tõste hajumuskese ühtub märgi keskmega. Mitu granaati tuleb lasta märgile, et saavutada vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosusi (P_1):

0,5; 0,9 ja 0,99?

Esmalt määrame iga mürsuga (ühe mürsuga) pihtavuse tõenäosuse p.

$Tp = 17{,}9$ m ja $Tl = 2{,}7$.

$$p = \frac{0{,}0625 \cdot 42}{17{,}9 \cdot 2{,}7} = 0{,}054 \ ;$$

P_1 vastavad N väärtused on 0,69; 2,3 ja 4,6, seega saame

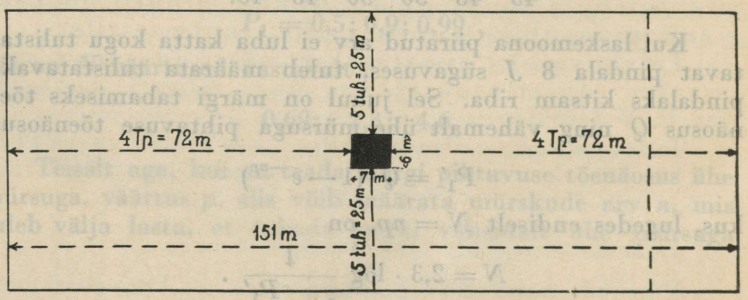
$$n_1 = \frac{0{,}69}{0{,}054} = 13; \quad n_2 = \frac{0{,}054}{2{,}3} = 43; \quad n_3 = \frac{4{,}6}{0{,}054} = 86 \ .$$

Näide 2. 75 p. patarei või kahuri jaoks oli tehtud täieline laskeettevalmistus märgile, mille kaugus $D = 5000$ m ja mille pindala $S = 42$ m² (6×7). Mitu granaati tuleb lasta märgile, kui pihtavuse tõenäosus peab olema 0,99?

Sel juhul, kui on toimetatud täieline laskeettevalmistus, arvestatud ilmastikuolud, suunmisabinõud täpsalt orienteeritud ja kui suurtükkide algkiirus, laskemoona tari ja sihtimisabinõude parandused on arvestatud, tuleb märgi pindala suurendada kummalegi poole laiuti — $5t$ ja sügavuti — ühe kahvli võrra.

$Tp \approx 18$ m. On vaja ühtlaselt katta mürskudega tulistatavat pindala, mille suurus toodud joonisel 97. Selle tulistatava pindala suurus on

$$\Sigma = 151 \cdot 56 = 8456 \text{ m}^2.$$



Joon. 97.

Oletades, et märgi asendi tõenäosus tulistataval pindalal $Q = 0{,}993$ ja kuna P_1 peab olema 0,99, siis mürgi turmavuse tihedus

$$N = 2{,}3 \log \frac{1}{1 - \frac{0{,}99}{0{,}993}} = 5{,}8 \text{ granaati}$$

ja et ühtlaselt katta mürskudega kogu tulistatavat pindala, tuleb välja lasta

$$\frac{5{,}8 \cdot 8455}{42} = 1168 \text{ granaati.}$$

Tuletame meelde, et pärast täpsat eellaskmist samadel tingimustel oli nõutav mürskude arv kõigest 86.

3. Tulistamine.

Eespool oli selgitatud märgi turmamisviisi üldiselt. Tegelikult turmavuse saavutamiseks ei piisa veel sellest, kui turmtule andmed on õieti ja täpsalt määratud, vaid turmtuld tuleb viia kokkukõlla märgi iseloomuga, tugevusega. Samuti tuleb avada turmtuli õigeaegselt, arvestades lahinguolukorda ja vajalisi materiaalseid ja moraalseid tuletulemusi. On veel palju tingimusi, missuguseid tuleb arvestada ühe või teise tuleülesande täitmise juures; kõiki neid on võimatu loetella ja kirjeldada. Alljärgnevad selgitavad tulistamise võtted ja viisid on üldist laadi. Tulejuhil tuleb neid kasutada olenevalt lahinguolukorrast.

a) Purustustuli.

1. Varjendite (automaatrelva laskepesa, *VP* jne.) purustamine.

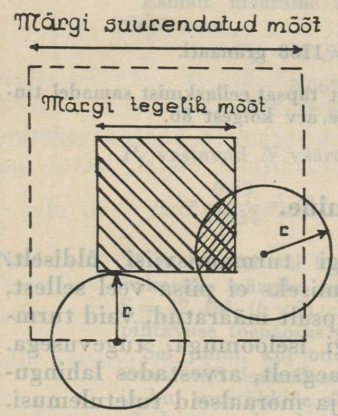
Sellaste märkide tulistamisviis ja laskemoonakulu on toodud Sv. E. V §§ 276—279. Peatume ainult laskemoonakulu arvutuse ja tuleülesande täitmise aja küsimuste juures.

Laskemoonakulu oleneb:

— märgi suurusest,
— laskekaugusest,
— mürsu kaliibrist.

Suurema pindalaga märgi pihtavuse tõenäosus on suurem, järelikult laskemoonakulu on väiksem. Suuremal kaugusel on hajumus suurem, seepärast väheneb märgi pihtavuse tõenäosus ning laskemoonakulu on suurem.

Märgi pihtavuse tõenäosuse määramisel tuleb märgi pindala suurendada igasse külge mürsu fugasstegevuse (purustuspiirkonna) raadiuse võrra, sest et mürsk, mis langeb märgist eemale vähem kui fugasstegevuse raadiuse võrra, võib veel purustada märki (joon. 98).



Joon. 98.

Näiteks, kui märgi (muldkattega varjend) tegelik pindala on $2 \cdot 2$ m^2, siis selle märgi suurendatud pindala oleks:

— kergekahuri mürsu jaoks $(2 + 1) \cdot (2 + 1) = 9$ m^2;

— kergehaubitsa mürsu jaoks $(2 + 1{,}5) \cdot (2 + 1{,}5 = 12{,}25$ m^2;

— raskehaubitsa mürsu jaoks $(2 + 2) \cdot (2 + 2) = 16$ m^2.

Seega, kui hajumus on ühtlane, siis antud märgi suhtes suuremakaliibrilise mürsuga pihtavuse tõenäosus on suurem.

Keskmise laskemoonakulu määramiseks leitakse esmalt iga üksiku mürsuga pihtavuse tõenäosus p (vt. eespool sama peatüki p. 2 *d*).

Olgu keskmiseks laskekauguseks 3 km, ja vastavad hajumuse elemendid olgu:

1) kergekahuri mürskude jaoks $Tp = 19$ m ja $Tl = 1{,}2$ m;
2) kergehaubitsa „ „ $Tp = 20$ m ja $Tl = 1{,}5$ m;
3) raskehaubitsa „ „ $Tp = 20$ m ja $Tl = 1{,}5$ m.

Üksiku mürsuga pihtavuse tõenäosused oleksid:

$$p_1 = \frac{0{,}0625 \cdot 9}{19 \cdot 1{,}2} = 0{,}025 \ ;$$

$$p_2 = \frac{0{,}0625 \cdot 12{,}25}{20 \cdot 1{,}5} = 0{,}025 \ ;$$

$$p_3 = \frac{0{,}0625 \cdot 16}{20 \cdot 1{,}5} = 0{,}033 \ .$$

Kuna ülesanne võib olla täidetud haubitsate mürskudega tavaliselt ühe pihtavusega, siis pihtavuste keskmiseks väärtuseks on 1 ehk

$$x = 1 = np = N,$$

kus x — pihtavuste keskmine ja n — laskude arv.

Seega keskmine laskemoonakulu ühe pihtavuse saamiseks on:

$$n_1 = \frac{N}{p_1} = \frac{1}{0{,}025} = 40 \text{ mürsku ;}$$

$$n_2 = 40 \text{ mürsku; } n_3 = 30 \text{ mürsku.}$$

Et aga kergekahuri granaadi ühe pihtavusega alati ei saa purustada märki, vaid tuleb saada tavaliselt vähemalt 2 pihtavust, seepärast kergekahuri mürskude keskmist kulu tuleb suurendada kuni 60 mürsuni.

Tuleb ikka meeles pidada, et need laskemoonakulu normid on keskmised, mis on määratud keskmise suurusega märgi suhtes, keskmise laskekauguse jaoks jne. Need normid ei ole rakendatavad iga üksiku märgi jaoks, vaid paljude sarnaste märkide jaoks keskmise normina. Nende normide juures vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosus ei ole kuigi suur. Kergehaubitsa jaoks vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosus oleks selle juures:

$$p_1 \approx 1 - e^{-np} \text{ või } P_1 = 1 - (1-p)^n ,$$

kust leiame, kui $n = 40$, et

$$P_1 = 0{,}63.$$

Et vähemalt ühe mürsuga pihtavuse tõenäosus oleks ütleme 0,9; siis

$$0{,}9 = 1 - (1 - 0{,}025)^n ;$$

kus laskemoonakulu on

$$(1 - 0{,}025)^n = 0{,}1; \; n \log (1 - 0{,}025) = \log 1 - 0{,}9 \text{ ja}$$

$$n = \frac{\log 0{,}1}{\log (1 - 0{,}025)} \approx 90 \text{ mürsku,}$$

kuid keskmine laskemoonakulu on ikkagi 40 mürsku.

Kui arvutada mürskude keskmist kulu suurema laskekauguse jaoks (näiteks 4 km), siis näeme, et keskmine laskemoonakulu suureneb kahekordseks:

$$n_1 = 120;\ n_2 = 80 \text{ ja } n_3 = 60\ .$$

Ajakulu tuleülesande täitmiseks oleneb laskeettevalmistuse viisist, eellaskmise viisist, tulistamise viisist, keskmisest laskemoonakulust ja tulistaja üksuse suurusest (üksik suurtükk, rühm, patarei, grupp).

Laskeettevalmistuse keskmiseks ajakuluks võib võtta 3 min.

Eellaskmise keskmine kestus on 8—10 min.

Turmtule keskmine kestus oleneb laskemoonakulust, tuletempost, tulistaja üksuse suurtükkide arvust. Vaatluseks soodsetel tingimustel turmtule keskmiseks kestuseks võib võtta patarei ja rühma jaoks 20—30 min. ja üksiku suurtüki jaoks 30—40 min.

Kokku kuluks tuleülesande täitmiseks aega, olenevalt laskekaugusest, patareiga või rühmaga 30—40 min. ja üksiku suurtükigaga 40—50 min.

Kuna tulistamine patareiga ei anna suuremat ajasäästu, seepärast neil juhtudel, kui patareil tuleb purustada mitut märki, on kasulikum aja kokkuhoiu mõttes neid tulistada üheaegselt üksikute suurtükkidega. Seda muidugi siis, kui märkide vastastikune asend, vaatlustingimused ja teised tingimused võimaldavad mitme märgi üheaegset tulistamist mitme suurtükiga.

2. Traattõkete purustamine.

Traattõkete purustamisviisid ja laskemoona- ning ajakulu on toodud Sv. E. V §§ 272—275. Kuna eeskiri käsitleb traattõkete purustamist ainult patareiga, siis vaatleme täiendavalt läbikäikude tegemise tingimusi peamiselt üksiku suurtükiga laskmisel läbikäigu suuruse ja laskemoonakulu mõttes.

Laskemoonakulu oleneb läbikäigu suurusest, laskekaugusest (hajumusest), mürsu kaliibrist, tulistaja üksuse suurtükkide arvust, vaatlus- ja teistest tingimustest.

Mürskude keskmine kulu on määratav katseliselt 6—8 m laiusega ja 20 m sügavusega läbikäigu tegemiseks üksiku suurtükiga häädes vaatlustingimustes on keskmiseks hetksüütajaga granaatide kuluks:

— laskekaugustel kuni 3 km — 200 kergekahuri ja 100 kergehaubitsa granaati;
— laskekaugustel kuni 4 km — 250 kergekahuri ja 150 kergehaubitsa granaati.

Kaks korda laiema läbikäigu (12—16 m) tegemisel suureneb keskmine laskemoonakulu umbes 1,5 korda.

Vastavalt toodud normidele kuluks aega kitsa läbikäigu tegemiseks ühe suurtükiga:
— laskekaugustel kuni 3 km — umbes 2 tundi,
— laskekaugustel kuni 4 km — umbes 2,5 tundi.

Patareiga laskmisel oleksid need ajanormid umbes poole võrra vähemad.

Kuna patareiga laskmisel suureneb laskemoonakulu, siis kui on aega rohkem, tuleks kasutada läbikäikude tegemiseks üksikuid suurtükke või rühmi.

3. Lahtise elavjõu hävitamine.

Lahtise elavjõu hävitamist vaata Sv. E. V. §§ 241—252.

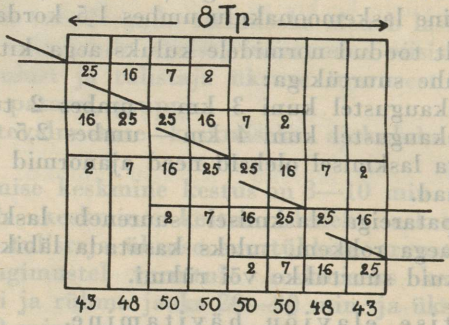
Lahtise elavjõu hävitustule turmavus oleneb tuleavamise alguse ootamatusest, tuletäpsusest, tulekiirusest ja tuletihedusest. Tulistamist toimetatakse harilikult kergesuurtükkidega. Kahuriga kasutatakse õhinglaskmisel šrapnelli või granaati lendsüütajaga, rikošettlaskmisel granaati viitsüütajaga, löökklaskmisel granaati hetksüütajaga. Kaugustel kuni 4 km on paremaks mürsuks šrapnell, suurematel kaugustel — granaat. Turmavuse põhitingimuseks on suur tuletihedus ja lühike tulekestus; seega laskeviisiks peab olema lühiajaline tulelöök (kiirtuli) patareiga.

Praktika näitab, et pärast lõpetatud eellaskmist mahaheitnud, kuid vaadeldava jalaväegrupi turmamiseks ühel ja samal tõstel kulub kergekahuri granaate hetksüütajaga 24—30 või šrapnelle 15—20 ehk kergehaubitsa granaate hetksüütajaga 12—18. Laskmisel patareiga või rühmaga seda normi tuleb suurendada 20—25% võrra.

Kui turmtuld tuleb teostada haarde piirides mitmel tõstel, siis tuleb lasta mürske igal tõstel mitte vähem kui poole eeltoodud normidest.

Kui keskmine lendjoon läbistab märki, siis märgi juures oleva 1 *Tp* sügavusega riba pihtab 25% lastud mürskudest. Kui aga igal tõstel (poolekahvliliste tõstehüpete juures) lasta samapalju mürske kui oli nõutud laskmiseks ühel tõstel,

siis pihtab 1 *Tp* sügavusega riba mürske kaks korda rohkem (ca 50%). Suurematel kaugustel (4—5 km) hajumuse suurenemise tõttu pihtavuste arv märki jääb vähemaks; seepärast tuleb eeltoodud norme suurendada 20—25% võrra.



Joon. 99.

Ühe Tp sügavusega ribade pihtavas, kui lastakse 2 Tp sügavate hüpetega.

4. Kaevikute purustamine.

Kaevikuid tuleb purustada harilikult kerge- ja raskehaubitsatega, kasutades granaati normaal- või viitsüütajaga, kuna kaevikute purustamine täies ulatuses nõuab palju laskemoona, siis purustatakse vajaduse korral ainult kaevikute üksikud tähtsamaid osi, nagu komandopunktid, ristlemiskohad, tulepesad jne.

Kuna kaeviku pikkus on määramatu suurus, siis tuleb keskmine laskemoonakulu arvestada mitte kaeviku kogupikkusele, vaid selle jooksvale meetrile, võttes kaeviku normaalseks laiuseks 2 m. Kui granaat pihtab kaevikut, siis tuleb võtta selle purustustöö ulatust (kahekordne fugasstegevuse raadius) järgmiselt:

— kergekahuri granaadiga 2 jooksvat meetrit;
— kergehaubitsa granaadiga 3 „ „
— raskehaubitsa granaadiga 4 „ „

Suurendades kaeviku normaalset laiust (2 m) mõlemale poole mürsu fugasstegevuse raadiuse võrra (mis loetakse võrdseks vastavalt mürsu kaliibrile 1, $1\frac{1}{2}$ ja 2 m) ja võttes

kaeviku pikkuseks üle 8 *Tl*, võib arvutada üheks pihtavuseks vajalikku keskmist mürskude kulu.

Kui kergehaubitsa granaadi jaoks laskekaugusel 3 km $Tp = 20$ m, siis kaeviku suurendatud laius tõenäostes pikkuskallangutes on:

$$2 + 2 \cdot 1{,}5 = 5 \text{ m}; \; 5 : 20 = 0{,}25 \; Tp.$$

Kaeviku pikkus rinnetpidi on igal juhul üle 8 *Tl*.

Oletades, et mürskude hajumus 1 *Tp* piirides on ühtlase tihedusega, leiame kaeviku pihtavuse tõenäosuse iga üksiku mürsuga

$$p = 0{,}25 \cdot 0{,}25 = 0{,}0625.$$

Saadud arvuga on ka võrdne ühe lasuga pihtavuste keskmine.

Seega keskmine laskemoonakulu ühe pihtavuse saamiseks on

$$n = \frac{N}{p} = \frac{1}{0{,}0625} = 16 \text{ mürsku.}$$

Eespool nägime, et iga kaevikut pihtanud granaadi purustustöö ulatus on kergehaubitsa granaadi juures 3 m.

Seega kergehaubitsa keskmine laskemoonakulu kaeviku igale jooksvale meetrile on $16 : 3 \approx 5$ mürsku.

Arvutades samal viisil leiame, et raskehaubitsa keskmine laskemoonakulu kaeviku jooksvale meetrile on 3—4 mürsku.

Kui laskekaugus on 4 km, siis suureneb hajumus umbes 1,5 korda, järelikult ka keskmine laskemoonakulu on suurem 1,5 korda.

Tiibtule juures mürskude pikkushajumus ühtub kaeviku pikkusega, järelikult pihtavuste keskmine läheb suuremaks ning keskmine laskemoonakulu väheneb umbes $\frac{1}{3}$ võrra.

b) Neutraliseeriv tuli.

Neutraliseeriv tuli on tavaliselt ühe või mitme patarei koondatud ning tugev ja lühiajaline tulelöök, mille kestus ei ületa 5 min. Vajaduse korral tuleb seda tulelööki korrata. Tulelöökide vaheajal harilikult tulistatakse märki ühe suurtükiga (patareiga) vähendatud tulekiirusega.

Laskemoonakulu tunnis hektaarile on:

— kergekahuri mürske — 150,
— kergehaubitsa „ — 80,
— raskehaubitsa „ — 40.

Üksiku tugeva tulelöögi korral tuleb lasta hektaarile minutis hetksüütajaga või normaalsüütajaga granaate:

kergekahuriga 12—15 mürsku,
kergehaubitsaga 8—10 „
raskehaubitsaga 4— 6 „

Näide: 3 min. tugeva tulelöögi andmiseks märgile, mille tulistatav pindala on 5 ha, on vaja välja lasta:
kergekahuri granaate h.-s. $15 \cdot 5 \cdot 3 = 225$ või
kergehaubitsa „ „ $10 \cdot 5 \cdot 3 = 150$ või
raskehaubitsa „ „ $6 \cdot 5 \cdot 3 = 90$.

Reeglina üks patarei ei suuda lühikese aja jooksul välja lasta eeltoodud arvu mürske.

3 min. jooksul kergekahur võib välja lasta mitte rohkem kui 18—20 mürsku, kergehaubits 9—10 mürsku ja raskehaubits kuni 6 mürsku. Jagades lastavate mürskude arvu toodud normidega, saame vajaliku suurtükkide arvu antud ülesande täitmiseks:

— kergekahureid — $225 : 18 \approx 12 = 3$ patareid või
— kergehaubitsaid — $150 : 9 \approx 17 = 4$ patareid või
— raskehaubitsaid — $90 : 6 \approx 15 = 5$ patareid.

c) Tõkketuli.

Tõkketule küsimusi käsitleb Sv. E. V §§ 259—264 küllaldase põhjalikkusega, seepärast nende juures ei peatu.

Funktsiooni $\Theta(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2} \cdot dt$ **tabel.**

t	$\Theta(t)$	Dif.	t	$\Theta(t)$	Dif.
0,00	0,0000000				
		112833			
0,01	0,0112883		0,21	0,2335218	
		112811			107740
0,02	0,0225644		0,22	0,2442958	
		112766			107267
0,03	0,0338410		0,23	0,2550225	
		112699			106775
0,04	0,0451109		0,24	0,2657000	
		112609			106263
0,05	0,0563718		0,25	0,2763263	
		112497			105734
0,06	0,0676215		0,26	0,2868997	
		112362			105185
0,07	0,0788577		0,27	0,2974182	
		112204			104618
0,08	0,0900781		0,28	0,3078800	
		112025			104034
0,09	0,1012806		0,29	0,3182834	
		111824			103433
0,10	0,1124630		0,30	0,3286267	
		111600			102814
0,11	0,1236230		0,31	0,3389081	
		111354			102178
0,12	0,1347584		0,32	0,3491259	
		111087			101526
0,13	0,1458671		0,33	0,3592785	
		110799			100859
0,14	0,1569470		0,34	0,3693644	
		110489			100175
0,15	0,1679959		0,35	0,3793819	
		110158			99477
0,16	0,1790117		0,36	0,3893296	
		109806			98763
0,17	0,1899923		0,37	0,3992059	
		109434			98034
0,18	0,2009357		0,38	0,4090093	
		109041			97292
0,19	0,2118398		0,39	0,4187385	
		108627			96537
0,20	0,2227025		0,40	0,4283922	
		108193			95768

t	$\Theta\ (t)$	Dif.	t	$\Theta\ (t)$	Dif.
0,41	0,4379690		0,61	0,6116812	
		94986			77302
0,42	0,4474676		0,62	0,6194114	
		94141			76349
0,43	0,4568867		0,63	0,6270463	
		93384			75394
0,44	0,4662251		0,64	0,6345857	
		92567			74435
0,45	0,4754818		0,65	0,6420292	
		91737			73473
0,46	0,4846555		0,66	0,6493765	
		90897			72510
0,47	0,4937452		0,67	0,6566275	
		90046			71545
0,48	0,5027498		0,68	0,6637820	
		89185			70579
0,49	0,5116683		0,69	0,6708399	
		88316			69611
0,50	0,5204999		0,70	0,6778010	
		87438			68644
0,51	0,5292437		0,71	0,6846654	
		86550			67676
0,52	0,5378987		0,72	0,6914330	
		85654			66708
0,53	0,5464641		0,73	0,6981038	
		84751			65742
0,54	0,5549392		0,74	0,7046780	
		83841			64776
0,55	0,5633233		0,75	0,7111556	
		82924			63811
0,56	0,5716157		0,76	0,7175367	
		82001			62849
0,57	0,5798158		0,77	0,7238216	
		81071			61888
0,58	0,5879229		0,78	0,7300104	
		80136			60931
0,59	0,5959365		0,79	0,7361035	
		79196			59975
0,60	0,6038561		0,80	0,7421010	
		78251			59023

t	$\Theta\ (t)$	Dif.	t	$\Theta\ (t)$	Dif.
0,81	0,7480033	58075	1,01	0,8468105	40275
0,82	0,7538108	57130	1,02	0,8508380	39462
0,83	0,7595238	56189	1,03	0,8547842	38657
0,84	0,7651427	55253	1,04	0,8586499	37861
0,85	0,7706680	54322	1,05	0,8624360	37075
0,86	0,7761022	53396	1,06	0,8661435	36297
0,87	0,7814398	52475	1,07	0,8697732	35529
0,88	0,7866873	51559	1,08	0,8733261	34769
0,89	0,7918432	50650	1,09	0,8768030	34020
0,90	0,7969082	49746	1,10	0,8802050	33280
0,91	0,8018828	48849	1,11	0,8835330	32549
0,92	0,8067677	47958	1,12	0,8867879	31828
0,93	0,8115635	47075	1,13	0,8899707	31116
0,94	0,8162710	46198	1,14	0,8930823	30415
0,95	0,8208908	45328	1,15	0,8961238	29724
0,96	0,8254326	44467	1,16	0,8990962	29042
0,97	0,8298703	43612	1,17	0,9020004	28370
0,98	0,8342315	42766	1,18	0,9048374	27709
0,99	0,8385081	41927	1,19	0,9076083	27057
1,00	0,8427008	41097	1,20	0,9103140	26415

t	$\Theta\ (t)$	Dif.	t	$\Theta\ (t)$	Dif.
1,21	0,9129555	25784	1,41	0,9538524	15238
1,22	0,9155339	25162	1,42	0,9553762	14811
1,23	0,9180501	24551	1,43	0,9568573	14393
1,24	0,9205052	23949	1,44	0,9582966	13984
1,25	0,9229001	23358	1,45	0,9596950	13585
1,26	0,9252359	22777	1,46	0,9610535	13194
1,27	0,9275136	22206	1,47	0,9623729	12812
1,28	0,9297342	21645	1,48	0,9636541	12438
1,29	0,9318987	21093	1,49	0,9648979	12073
1,30	0,9340080	20552	1,50	0,9661052	11716
1,31	0,9360632	20020	1,51	0,9672768	11367
1,32	0,9380652	19498	1,52	0,9684135	11027
1,33	0,9400150	18987	1,53	0,9695162	10695
1,34	0,9419137	18485	1,54	0,9705857	10370
1,35	0,9437622	17992	1,55	0,9716227	10054
1,36	0,9455614	17510	1,56	0,9726281	9745
1,37	0,9473124	17036	1,57	0,9736036	9444
1,38	0,9490160	16573	1,58	0,9745470	9150
1,39	0,9506733	16118	1,59	0,9754620	8864
1,40	0,9522851	15673	1,60	0,9763484	8585

t	$\Theta\ (t)$	Dif.	t	$\Theta\ (t)$	Dif.
1,61	0,9772069		1,81	0,9895245	
		8312			4186
1,62	0,9780381		1,82	0,9899431	
		8048			4036
1,63	0,9788429		1,83	0,9903467	
		7789			3892
1,64	0,9796218		1,84	0,9907359	
		7538			3751
1,65	0,9803756		1,85	0,9911110	
		7293			3615
1,66	0,9811049		1,86	0,9914725	
		7055			3482
1,67	0,9818104		1,87	0,9918207	
		6824			3355
1,68	0,9824928		1,88	0,9921562	
		6598			3231
1,69	0,9831526		1,89	0,9924793	
		6378			3111
1,70	0,9837904		1,90	0,9927904	
		6166			2995
1,71	0,9844070		1,91	0,9930899	
		5958			2883
1,72	0,9850029		1,92	0,9933782	
		5757			2775
1,73	0,9855785		1,93	0,9936557	
		5561			2669
1,74	0,9861346		1,94	0,9939226	
		5371			2568
1,75	0,9866717		1,95	0,9941794	
		5186			2469
1,76	0,9871903		1,96	0,9944263	
		5007			2374
1,77	0,9876910		1,97	0,9946637	
		4832			2283
1,78	0,9881742		1,98	0,9948920	
		4664			2194
1,79	0,9886406		1,99	0,9951114	
		4499			2109
1,80	0,9890905		2,00	0,9953223	
		4340			2025

t	$\Theta(t)$	Dif.	t	$\Theta(t)$	Dif.
2,01	0,9955248	1947	2,21	0,9982244	835
2,02	0,9957195	1868	2,22	0,9983079	799
2,03	0,9959063	1795	2,23	0,9983878	764
2,04	0,9960858	1733	2,24	0,9984642	731
2,05	0,9962581	1654	2,25	0,9985373	698
2,06	0,9964235	1587	2,26	0,9986071	668
2,07	0,9965822	1522	2,27	0,9986739	638
2,08	0,9967344	1461	2,28	0,9987377	609
2,09	0,9968805	1400	2,29	0,9987986	582
2,10	0,9970205	1343	2,30	0,9988568	556
2,11	0,9971548	1288	2,31	0,9989124	531
2,12	0,9972836	1234	2,32	0,9989655	507
2,13	0,9974070	1183	2,33	0,9990162	484
2,14	0,9975253	1133	2,34	0,9990646	461
2,15	0,9976386	1086	2,35	0,9991107	441
2,16	0,9977472	1039	2,36	0,9991548	420
2,17	0,9978511	994	2,37	0,9991968	401
2,18	0,9979505	954	2,38	0,9992369	382
2,19	0,9980459	913	2,39	0,9992751	364
2,20	0,9981372	872	2,40	0,9993115	347

t	$\Theta(t)$	Dif.	t	$\Theta(t)$	Dif.
2,41	0,9993462		2,61	0,9997767	
		331			121
2,42	0,9993793		2,62	0,9997888	
		315			115
2,43	0,9994108		2,63	0,9998003	
		300			109
2,44	0,9994408		2,64	0,9998112	
		286			103
2,45	0,9994694		2,65	0,9998215	
		272			98
2,46	0,9994966		2,66	0,9998313	
		260			93
2,47	0,9995226		2,67	0,9998406	
		246			88
2,48	0,9995472		2,68	0,9998484	
		235			84
2,49	0,9995707		2,69	0,9998578	
		223			79
2,50	0,9995930		2,70	0,9998657	
		213			75
2,51	0,9996143		2,71	0,9998732	
		202			71
2,52	0,9996345		2,72	0,9998803	
		192			67
2,53	0,9996537		2,73	0,9998870	
		183			63
2,54	0,9996720		2,74	0,9998933	
		173			61
2,55	0,9996893		2,75	0,9998994	
		165			57
2,56	0,9997058		2,76	0,9999051	
		157			54
2,57	0,9997215		2,77	0,9999105	
		149			51
2,58	0,9997364		2,78	0,9999156	
		141			48
2,59	0,9997505		2,79	0,9999204	
		135			46
2,60	0,9997640		2,80	0,9999250	
		127			43

t	$\Theta\ (t)$	Dif.	t	$\Theta\ (t)$	Dif.
2,81	0,9999293		3,01	0,9999793	
		41			12
2,82	0,9999334		3,02	0,9999805	
		38			12
2,83	0,9999372		3,03	0,9999817	
		37			12
2,84	0,9999409		3,04	0,9999829	
		34			10
2,85	0,9999443		3,05	0,9999839	
		33			10
2,86	0,9999476		3,06	0,9999849	
		31			10
2,87	0,9999507		3,07	0,9999859	
		29			8
2,88	0,9999536		3,08	0,9999867	
		27			9
2,89	0,9999563		3,09	0,9999876	
		26			8
2,90	0,9999589		3,10	0,9999884	
		24			7
2,91	0,9999613		3,11	0,9999891	
		23			7
2,92	0,9999636		3,12	0,9999898	
		22			6
2,93	0,9999658		3,13	0,9999904	
		21			6
2,94	0,9999679		3,14	0,9999910	
		19			6
2,95	0,9999698		3,15	0,9999916	
		18			5
2,96	0,9999716		3,16	0,9999921	
		17			5
2,97	0,9999733		3,17	0,9999926	
		17			5
2,98	0,9999750		3,18	0,9999931	
		15			5
2,99	0,9999765		3,19	0,9999936	
		14			4
3,00	0,9999779		3,20	0,9999940	
		14			4

t	$\Theta(t)$	Dif.	t	$\Theta(t)$	Dif.
3,21	0,9999944		3,41	0,9999986	
		3			1
3,22	0,9999947		3,42	0,9999987	
		4			1
3,23	0,9999951		3,43	0,9999988	
		3			1
3,24	0,9999954		3,44	0,9999989	
		3			0
3,25	0,9999957		3,45	0,9999999	
		3			
3,26	0,9999960		3,46	0,99999900780	
		2			
3,27	0,9999962		3,47	0,99999907672	
		3			
3,28	0,9999965		3,48	0,99999914101	
		2			
3,29	0,9999967		3,49	0,99999920097	
		2			
3,30	0,9999969		3,50	0,99999925691	
		2			
3,31	0,9999971		3,51	0,99999930905	
		2			
3,32	0,9999973		3,52	0,99999935766	
		2			
3,33	0,9999975		3,53	0,99999940296	
		2			
3,34	0,9999977		3,54	0,99999944519	
		1			
3,35	0,9999978		3,55	0,99999948452	
		2			
3,36	0,9999980		3,56	0,99999952115	
		1			
3,37	0,9999981		3,57	0,99999955527	
		1			
3,38	0,9999982		3,58	0,99999958703	
		2			
3,39	0,9999984		3,59	0,99999961661	
		1			
3,40	0,9999985		3,60	0,99999964414	
		1			

t	$\Theta\ (t)$	Dif.	t	$\Theta\ (t)$	Dif.
3,61	0,99999966975		3,86	0,99999995208	
3,62	0,99999969358		3,87	0,99999995575	
3,63	0,99999971574		3,88	0,99999995915	
3,64	0,99999973636		3,89	0,99999996230	
3,65	0,99999975551		3,90	0,99999996521	
3,66	0,99999977333		3,91	0,99999996790	
3,67	0,99999978990		3,92	0,99999997039	
3,68	0,99999980528		3,93	0,99999997260	
3,69	0,99999981957		3,94	0,99999997482	
3,70	0,99999983285		3,95	0,99999997678	
3,71	0,99999984517		3,96	0,99999997860	
3,72	0,99999985663		3,97	0,99999998028	
3,73	0,99999986726		3,98	0,99999998183	
3,74	0,99999987712		3,99	0,99999998327	
3,75	0,99999988629		4,00	0,99999998458	
3,76	0,99999989477		4,10	0,99999999330	
3,77	0,99999990265		4,20	0,99999999714	
3,78	0,99999990995		4,30	0,99999999881	
3,79	0,99999991672		4,40	0,99999999951	
3,80	0,99999992300		4,50	0,99999999980	
3,81	0,99999992881		4,60	0,99999999992	
3,82	0,99999993421		4,70	0,99999999997	
3,83	0,99999993921		4,80	0,99999999999	
3,84	0,99999994383				
3,85	0,99999994812				

Funktsiooni $P(n)$ tabel.

n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.
0,00	0,00000							
		538						
0,01	0,00538		0,21	0,11264		0,41	0,21787	
		538			532			517
0,02	0,01076		0,22	0,11796		0,42	0,22304	
		538			532			517
0,03	0,01614		0,23	0,12328		0,43	0,22821	
		538			532			515
0,04	0,02152		0,24	0,12860		0,44	0,23336	
		538			531			515
0,05	0,02690		0,25	0,13391		0,45	0,23851	
		538			530			513
0,06	0,03228		0,26	0,13921		0,46	0,24364	
		538			530			512
0,07	0,03766		0,27	0,14451		0,47	0,24876	
		537			529			512
0,08	0,04303		0,28	0,14980		0,48	0,25388	
		537			528			510
0,09	0,03840		0,29	0,15508		0,49	0,25898	
		538			527			509
0,10	0,05378		0,30	0,16035		0,50	0,26407	
		536			527			508
0,11	0,05914		0,31	0,16562		0,51	0,26915	
		537			526			506
0,12	0,06451		0,32	0,17088		0,52	0,27421	
		536			526			506
0,13	0,06987		0,33	0,17614		0,53	0,27927	
		536			524			504
0,14	0,07523		0,34	0,18138		0,54	0,28431	
		536			524			503
0,15	0,08059		0,35	0,18662		0,55	0,28934	
		535			523			502
0,16	0,08594		0,36	0,19185		0,56	0,29436	
		535			522			500
0,17	0,09129		0,37	0,19707		0,57	0,29936	
		534			522			499
0,18	0,09663		0,38	0,20229		0,58	0,30435	
		534			520			498
0,19	0,10197		0,39	0,20749		0,59	0,30933	
		534			519			497
0,20	0,10731		0,40	0,21268		0,60	0,31430	
		533			519			495

n	$P\ (n)$	Dif.	n	$P\ (n)$	Dif.	n	$P\ (n)$	Dif.
0,61	0,31925		0,81	0,41517		1,01	0,50428	
		494			462			425
0,62	0,32419		0,82	0,41979		1,02	0,50853	
		492			461			424
0,63	0,32911		0,83	0,42440		1,03	0,51277	
		491			459			422
0,64	0,33402		0,84	0,42899		1,04	0,51699	
		490			458			420
0,65	0,33892		0,85	0,43357		1,05	0,52119	
		488			456			418
0,66	0,34380		0,86	0,43813		1,06	0,52537	
		486			454			415
0,67	0,34866		0,87	0,44267		1,07	0,42952	
		486			452			414
0,68	0,35352		0,88	0,44719		1,08	0,53366	
		483			450			412
0,69	0,35835		0,89	0,45169		1,09	0,53678	
		482			449			410
0,70	0,36317		0,90	0,45618		1,10	0,54188	
		481			446			407
0,71	0,36798		0,91	0,46064		1,11	0,54595	
		479			445			406
0,72	0,37277		0,92	0,46509		1,12	0,55001	
		478			443			403
0,73	0,37755		0,93	0,46952		1,13	0,55404	
		476			441			402
0,74	0,38231		0,94	0,47393		1,14	0,55806	
		474			439			399
0,75	0,38705		0,95	0,46832		1,15	0,56205	
		473			438			397
0,76	0,39178		0,96	0,48270		1,16	0,56602	
		471			435			396
0,77	0,39649		0,97	0,48705		1,17	0,56998	
		469			434			393
0,78	0,40118		0,98	0,49139		1,18	0,57391	
		468			431			391
0,79	0,40586		0,99	0,49570		1,19	0,57782	
		466			430			389
0,80	0,41052		1,00	0,50000		1,20	0,58171	
		465			428			387

n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.
1,21	0,58558		1,41	0,65841		1,61	0,72249	
		384			341			297
1,22	0,58942		1,42	0,66182		1,62	0,72546	
		383			339			295
1,23	0,59325		1,43	0,66521		1,63	0,72841	
		380			337			293
1,24	0,59705		1,44	0,66858		1,64	0,73134	
		378			335			291
1,25	0,60083		1,45	0,67193		1,65	0,73425	
		377			333			289
1,26	0,60460		1,46	0,67526		1,66	0,73714	
		373			330			286
1,27	0,60833		1,47	0,67856		1,67	0,74000	
		372			328			285
1,28	0,61205		1,48	0,68184		1,68	0,74285	
		370			326			282
1,29	0,61575		1,49	0,68510		1,69	0,74567	
		367			323			280
1,30	0,61942		1,50	0,68833		1,70	0,74847	
		366			322			277
1,31	0,62308		1,51	0,69155		1,71	0,75124	
		363			319			276
1,32	0,62671		1,52	0,69474		1,72	0,75400	
		361			317			274
1,33	0,63032		1,53	0,69791		1,73	0,75674	
		359			315			271
1,34	0,63391		1,54	0,70106		1,74	0,75945	
		356			313			269
1,35	0,63747		1,55	0,70419		1,75	0,76214	
		355			310			267
1,36	0,64102		1,56	0,70729		1,76	0,76481	
		352			309			265
1,37	0,64454		1,57	0,71038		1,77	0,76747	
		350			306			263
1,38	0,64804		1,58	0,71344		1,78	0,77009	
		348			304			261
1,39	0,65152		1,59	0,71648		1,79	0,77270	
		346			301			258
1,40	0,65498		1,60	0,71949		1,80	0,77528	
		343			300			257

n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.
1,81	0,77785		2,01	0,82481		2,21	0,86394	
		254			214			176
1,82	0,78039		2,02	0,82695		2,22	0,86570	
		252			212			175
1,83	0,78281		2,03	0,82907		2,23	0,86745	
		251			210			172
1,84	0,78542		2,04	0,83117		2,24	0,86917	
		248			207			171
1,85	0,78790		2,05	0,83324		2,25	0,87088	
		246			206			170
1,86	0,79036		2,06	0,83530		2,26	0,87258	
		244			204			167
1,87	0,79280		2,07	0,83734		2,27	0,87425	
		242			202			166
1,88	0,79522		2,08	0,83936		2,28	0,87591	
		239			201			164
1,89	0,79761		2,09	0,84137		2,29	0,87755	
		238			198			163
1,90	0,79999		2,10	0,84335		2,30	0,87918	
		236			196			160
1,91	0,80235		2,11	0,84531		2,31	0,88078	
		234			195			159
1,92	0,80469		2,12	0,84726		2,32	0,88237	
		231			193			158
1,93	0,80700		2,13	0,84919		2,33	0,88395	
		230			190			155
1,94	0,80930		2,14	0,85109		2,34	0,88550	
		228			189			155
1,95	0,81158		2,15	0,85298		2,35	0,88705	
		225			188			152
1,96	0,81383		2,16	0,85485		2,36	0,88857	
		224			185			151
1,97	0,81607		2,17	0,85671		2,37	0,89008	
		221			183			149
1,98	0,81828		2,18	0,85854		2,38	0,89157	
		220			182			147
1,99	0,82048		2,19	0,86036		2,39	0,89304	
		218			180			146
2,00	0,82266		2,20	0,86216		2,40	0,89450	
		215			178			145

n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.
2,41	0,89595		2,61	0,92166		2,81	0,94195	
		143			114			89
2,42	0,89738		2,62	0,92280		2,82	0,94284	
		141			112			87
2,43	0,89879		2,63	0,92392		2,83	0,94371	
		140			111			87
2,44	0,90019		2,64	0,92503		2,84	0,94458	
		138			110			85
2,45	0,90157		2,65	0,92613		2,85	0,94543S	
		136			108			84
2,46	0,90293		2,66	0,92721		2,86	0,94627	
		135			107			84
2,47	0,90428		2,67	0,92828		2,87	0,94711	
		134			106			82
2,48	0,90562		2,68	0,92934		2,88	0,94793	
		132			104			81
2,49	0,90694		2,69	0,93038		2,89	0,94874	
		131			103			80
2,50	0,90825		2,70	0,93141		2,90	0,94954	
		129			102			79
2,51	0,90954		2,71	0,93243		2,91	0,95033	
		128			101			78
2,25	0,91082		2,72	0,93344		2,92	0,95111	
		126			99			76
2,53	0,91208		2,73	0,93443		2,93	0,95187	
		124			98			76
2,54	0,91332		2,74	0,93541		2,94	0,95263	
		124			97			75
2,55	0,91456		2,75	0,93638		2,95	0,95338	
		122			96			74
2,56	0,91578		2,76	0,93734		2,96	0,95412	
		120			94			73
2,57	0,91698		2,77	0,93828		2,97	0,95485	
		119			94			72
2,58	0,91817		2,78	0,93922		2,98	0,95557	
		118			92			71
2,59	0,91935		2,79	0,94014		2,99	0,95628	
		116			91			70
2,60	0,92051		2,80	0,94105		3,00	0,95698	
		115			90			69

n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.	n	$P(n)$	Dif.
3,01	0,95767		3,21	0,96962		3,50	0,98176	
		68			51			306
3,02	0,95835		3,22	0,97013		3,60	0,98482	
		67			51			261
3,03	0,95902		3,23	0,97064		3,70	0,98743	
		66			50			219
3,04	0,95968		3,24	0,97114		3,80	0,98962	
		65			49			185
3,05	0,96033		3,25	0,97163		3,90	0,99147	
		65			48			155
3,06	0,96098		3,26	0,97211		4,00	0,99302	
		63			48			129
3,07	0,96161		3,27	0,97259		4,10	0,99431	
		63			47			108
3,08	0,96224		3,28	0,97306		4,20	0,99539	
		62			46			88
3,09	0,96286		3,29	0,97352		4,30	0,99627	
		60			45			73
3,10	0,96346		3,30	0,97397		4,40	0,99700	
		60			45			60
3,11	0,96406		3,31	0,97442		4,50	0,99760	
		60			44			48
3,12	0,96466		3,32	0,97486		4,60	0,99808	
		58			44			40
3,13	0,96524		3,33	0,97530		4,70	0,99848	
		58			43			31
3,14	0,96582		3,34	0,97573		4,80	0,99879	
		56			42			26
3,15	0,96638		3,35	0,97615		4,90	0,99905	
		56			42			21
3,16	0,96694		3,36	0,97657		5,00	0,99926	
		55			41			16
3,17	0,96749		3,37	0,97698		5,10	0,99942	
		55			40			13
3,18	0,96804		3,38	0,97738		5,20	0,99955	
		53			40			10
3,19	0,96857		3,39	0,97778		5,30	0,99965	
		53			39			
3,20	0,96910		3,40	0,97817				
		52			359			

Gauss'i vigade-seaduse kõvera ordinaatide tabel.

$\frac{x}{T}$	$\frac{y}{y_0}$	△	$\frac{x}{T}$	$\frac{y}{y_0}$	△	$\frac{x}{T}$	$\frac{y}{y_0}$	△	$\frac{x}{T}$	$\frac{y}{y_0}$	△
0,0	1,000		1,0	0,796		2,0	0,402		3,0	0,129	
		2			38			36			16
0,1	0,998		1,1	0,758		2,1	0,366		3,1	0,113	
		7			39			33			15
0,2	0,991		1,2	0,719		2,2	0,333		3,2	0,098	
		12			40			33			13
0,3	0,979		1,3	0,679		2,3	0,300		3,3	0,085	
		16			41			32			13
0,4	0,963		1,4	0,638		2,4	0,268		3,4	0,072	
		20			41			29			11
0,5	0,943		1,5	0,597		2,5	0,239		3,5	0,061	
		23			41			26			9
0,6	0,980		1,6	0,556		2,6	0,213		3,6	0,052	
		27			40			24			8
0,7	0,893		1,7	0,546		2,7	0,189		3,7	0,044	
		30			39			22			6
0,8	0,863		1,8	0,477		2,8	0,167		3,8	0,038	
		32			38			20			6
0,0	0,831		1,9	0,439		2,9	0,147		3,9	0,022	
		35			37			18			6
1,0	0,796		2,0	0,402		3,0	0,129		4,0	0,026	
											15
									4,5	0,011	
											7
									5,0	0,004	

y_0 — kõvera suurim ordinaat, millele vastab $x = o$.

Allikate nimekiri.

1. Suurtükiväe-eeskiri V osa. Laske-eeskiri. Kaitsevägede Staabi VI osakonna väljaanne. Tallinn, 1933.
2. Mag. Albert Borkvell. Matemaatilise analüüsi põhimõisted ja rakendused. K. O.-Ü. „Loodus", Tartus, 1927.
3. Koostatud kolonel O. Sternbecki loengute järele III r. klp. ohvitseride kursusel 1930/31. a. Tõenäosuste ja vigahindamise teooriad ja nende kasutamine lasketeoreetiliste küsimuste otsustamiseks. Kaitseväe Ühendatud Õppeasutiste staabi väljaanne, 1931. a.
4. Major J. Mäe. Suurtükiasjandus I osa. Suurtükiväe materjalosa aluseid. Kaitsevägede Staabi VI osakonna väljaanne. Tallinn, 1936.
5. Major J. Mäe. Suurtükiasjandus II osa. Suurtükiväe laskeasjanduse aluseid. Kaitsevägede Staabi VI osakonna väljaanne. Tallinn, 1937.
6. Kollektiv avtorov pod redaktsijei V. Djakonova. Učebnik po strelbe artillerii. Tšast I, II, III. Gosudarstvennoje vojennoje izdatelstvo. Moskva, 1934.
7. Kapitanõ Nilus i Markevič. Polnõi kurs artillerii. Võpusk III. S.-Peterburg, 1900.
8. Nilus i Markevič. Polnõi kurs artillerii. Kniga IV. S.-Peterburg, 1910.
9. V. I. Ignatenko, G. V. Pavlov. Teorija projektirovanija artilleriiskih snarjadov. Võpusk pervõi. Leningrad, 1934.
10. M. G. Efimov. Teorija projektirovanija artilleriiskih snarjadov. Leningrad, 1935.
11. Strelba frantsusskoi artillerii. Leningrad, 1926.
12. Règlement de manoeuvre de l'artillerie. Titre IX-a. Manuel de tir de 75 M-le 1897. Paris, 1927.
13. Dispersiou et justification des règles de tir. Lithographie de l'Ecole Militaire de l'Artillerie, Novembre, 1922.
14. Munitions d'Artillerie. Lithographie de l'Ecole Militaire de l'Artillerie.
15. Dr. C. Cranz. Lehrbuch der Ballistik. Erster Band. Berlin, 1925.
16. Dr. Ludwig Hänert. Geschütz und Schuss. Berlin, 1928.

A-9925
i