

Tykkien ballistiikkaa

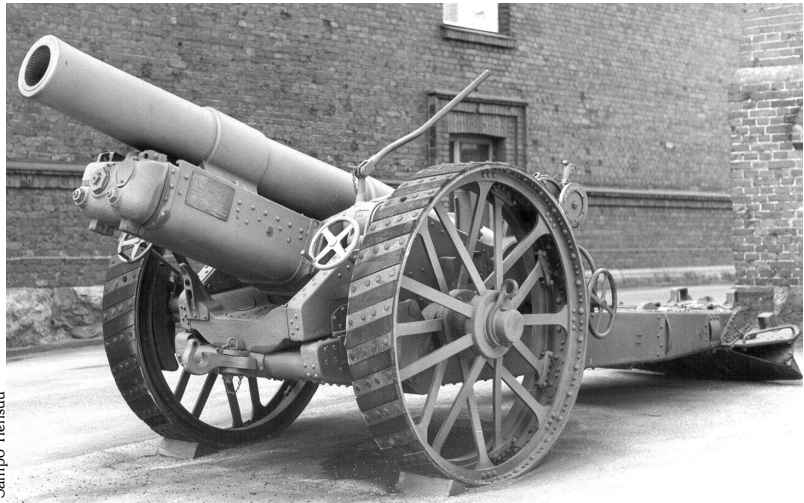
Maaliskuussa 2000 talvisodasta tuli kuluneeksi 60 vuotta. Sotaa on muisteltu ja siitä on kirjoitettu paljon. Eräs aselaji on jäänyt näissä muisteloissa sivualalle: kenttätykistö. Sääli, sillä Suomen piskuinen, mutta osaava tykistö hoiti oman osuutensa sodassa mallikkaasti ja oli mukana rakentamassa paljon puhuttua talvisodan ihmettä.

Tykkillä ampuminen on yksinkertaista, mutta kaunista mekaniikkaa ja geometriaa, johon tutustuminen on vaivan arvoista. Tässä artikkelissa keskitytään toista maailmansotaa edeltäneeseen ja sen aikaiseen tykistötoimintaan, ensinnäkin historiallisista syistä, toiseksi koska silloiset menetelmät ja laitteet ovat ajan patinan ansiosta viehättävämpiä kuin nykyajan tietokoneet, laseretäisyyssmittarit ja vastaavat.

Suomen kenttätykistön kehitys vuosina 1918-1945

Tykistönkenraali Vilho Nenonen sai kansalaissodan jälkeen Mannerheimilta tehtäväkseen suomalaisen tykistön luomisen. Hänen johdollaan Suomen kenttätykistö saavutti kansainvälistäkin arvostusta osaamisellaan. Miehistölle järjestettiin toistuvia leirejä ja ampumarajoituksia, upseereita puolestaan komennettiin esimerkiksi Teknilliseen korkeakouluun opiskelemaan matematiikkaa ja ballistiikkaa. Lisäksi 20- ja 30-luvuilla julkaistiin runsaasti sotilasammattikirjallisuutta.

Tietotaitoa ei tykistöltä puuttunut, mutta sitäkin enemmän kalustoa. Kansalaissodassa valkoiset olivat saaneet sotasa-



Kuva 2 : a ausso an aikainen tykki sotamuseon ihalla

liiksi kosolti venäläisiä tykkeitä ampumatarvikkeineen, ja nämä yli-ikäiset asevanhukset, tosin perusteellisesti huolletut, muodostivat kenttätykistön rungon talvisodan syttyessä.

Vuonna 1936 hallitus päätti perustaa valtion tykkitehtaan Jyväskylään. Tehtaan rakennustyöt päättyivät vuonna 1938, mutta kotimaisia haupitseja ei saatu joukoille ennen jatkosotaa. Kalustoa olisi ehdottomasti pitänyt hankkia ulkomailta, mutta päättäjät heräsivät vasta sodan kynnyksellä syksyllä 1939. Tällöin sotatarvikemarkkinat olivat jo melkein sulkeutuneet, mutta hankinnat kiertoteitse olivat vielä osittain mahdollisia. Tykkeitä ja ampumatarvikkeita aiottiin ostaa Saksasta ja muualta Euroopasta ja kuljettaa Ruotsin kautta Suomeen. Saksan hallitus myönsi materiaalitöimintuksille kauttakuluvan, mutta perui sen pelätessään suhteittensa Neuvostoliittoon vaarantuvan tiedon asekaupoista ja -kuljetuksista vuodettua julkisuuteen. Viime hetkellä, lokakuussa 1939, Ruotsista saatiin joitakin kanuunoita, mutta tarve olisi ollut moninkertainen.

Sodan syttyessä kenttätykistöllä oli käytössään vajaat viisisataa tykkiä, näistä osa 1800-luvun loppupuolelta peräisin olevia, asevarikkojen kätkeistä kaivettuja. Kalustopulaa kuvaa hyvin, että armeijan 9. divisioonan kenttätykistörykmentti oli jäädy tyystin vaille aseita! Myös ampumatarviketilanne oli heikko ja kotimainen ammustuotanto vasta lähtökuopissaan. Kenttätykistön kantama oli keskimäärin alle kymmenen kilometriä. Raskasta tykistöä oli aivan liian vähän, vain 10% kalustosta. Tykkeitä oli kymmeniä eri malleja, mikä vaikeutti niiden huoltoa.

Talvisodan aikana jatkettiin asehankintoja ulkomailta. Ruotsista saatiin yhteensä sata tykkiä. Ranskasta saatiin lahjoituksena yli kolmesataa kanuunaa, tosin vanhentunutta mallistoa, joista kuitenkin vain pieni osa ehti joukoille ennen Moskovan rauhaa. Myös lukuisista muista Euroopan maista saatiin pienempiä ase-eriä, ja kenraaliluutnantti Nenosen johtaman valtuuskunnan onnistui ostaa Yhdysvalloista kaksisataa tykkiä, jotka eivät tosin myöskään ehtineet talvisodan rintamille. Sodan

jälkeen tykistön materiaalitilanne oli tykkihankintojen ja sotasaaliina saadun kaluston myötä parantunut, mutta varustautumista täytyi silti jatkaa.

Saksan suhtautuminen Suomeen muuttui alkusyksystä 1940, kun Operaatio Barbarossa, suurhyökkäys Neuvostoliittoon, alkoi hahmottua. Salaisten neuvottelujen tuloksena sovittiin saksalaisten kanssa huomattavista sotatarvikehankinnoista. Suomeen saatiin Saksasta jatkosodan loppuun mennessä runsaat kuusisataa tykkiä, ja kaikkiaan kenttätykistön vahvuus kohosi reilusti yli tuhanteen tykkiin.

Ballistiikka

Sotiva ihmiskunta on kautta aikojen käyttänyt erilaisia heitokoneita ja tykkeitä, mutta vasta Newtonin mekaniikan myötä 1600-luvun lopulla ammusten radan laskeminen tuli mahdolliseksi. Ballistiikka on mekaniikan haara, joka tutkii ammusten liikettä aseiden π ruussa ja sen ulkopuolella. Tässä artikkelissa käsitellään näistä jälkimmäistä, ulkoballistiikkaa.

Tarkastellaan aluksi painovoiman alaista liikettä ilman ilmanvastusta. Ammus lähtee tykin suusta nopeudella v_0 kulmassa α tykinputken pään kautta kulkevaan vaakasuoraan, nk. putkivaakasuoraan nähden. Tätä kulmaa kutsutaan ballistiikassa lähtökulmaksi. Valitaan putkivaakasuora x -akseliksi ja suunta ammuksen lähtöpisteestä ylöspäin y -akseliksi. Ammus etenee tasaisella nopeudella x -suunnassa, ja y -suunnassa sen nopeus muuttuu tasaisesti painovoiman vaikutuksesta. Ammuksen nopeudet x - ja y -suunnassa ovat:

$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad (1)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt \quad (2)$$

Ajassa t kuljettu matka akselien suunnissa on siten

$$x = v_0 t \cos \alpha \quad (3)$$

$$y = v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} gt^2 \quad (4)$$

Ratkaisemalla t yhtälöstä (3) ja sijoittamalla se yhtälöön (4) saadaan ammuksen radan yhtälö

$$y = x \tan \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

Tämä esittää alaspäin aukeavaa paraabelia, jonka akseli on pystysuora. Näistä ylläolevista yhtälöistä voidaan selvittää joitakin ammuksen lennon perustotuuksia kuten lakipisteen koordinaatit, lentoaika ja ampumamatka, joka on pisin lähtökulman ollessa 45 astetta. Kun tiedetään maalin sijainti sekä ammuksen lähtönopeus, voidaan etsimällä oikea lähtökulma ampua tähän kohteeseen. Kulma saadaan ratkaisemalla yhtälö (5) tana:n suhteen. Yhtälö pyörähtää muotoon:¹⁾

$$-\frac{gx^2}{2v_0^2} \tan^2 \alpha + x \tan \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2} - y = 0 \quad (6)$$

Kyseessä on toisen asteen yhtälö, jolle löytyy kaksi ratkaisua, jos maali on tykin kantaman sisäpuolella; maaliin voidaan siis osua kahta eri rataa pitkin. Loivempi kulma vastaa laakalaukausta, jota käyttävät esimerkiksi kiväärit, ja jyrkempi järeämmän tykistön kaarilaukausta. Yhtälöllä on yksi ratkaisu, jos kohde on ampuma-alueen rajalla. Mikäli tykillä ei voi ylittää maaliin saakka, yhtälöllä ei ole reaalisia ratkaisuja.

Ilmanvastuksella on merkitystä

Todellisuudessa tykillä ampuminen ei ole läheskään näin yksinkertaista. Laskelmia sotkevat ennen kaikkea ilmanvastus ja tuuli. Lisäksi poikkeuksia lantorataan aiheuttavat mm. maan pinnan kaarevuus, painovoiman muuttuminen ammuksen etäisyyden maan keskipisteestä mukaan sekä

1) Käytämme hyväksi tietoa, että $\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \tan^2 \alpha + 1$

maapallon pyörimisestä johtuvat putomiskiihtyvyyden vaihtelu leveyspiiristä riippuen ja corioliskiihtyvyyks. Näiden vaikutus on kuitenkin vähäinen, esimerkiksi maan pinnan kaarevuudesta johtuva heitto korkeussuunnassa kymmenen kilometrin matkalla on vajaat kahdeksan metriä. Myös pienten virhelähteiden laskennallinen huomioiminen on toki mahdollista, muttei järin mielekästä ainakaan vanhojen tykkien kohdalla, joiden ampumamatka oli lyhyt, ammuksen lähtönopeus suhteellisen pieni 300-500 $\frac{m}{s}$ sekä mittauksien, tykin asennon ja tähtäyksen epätasällisyydestä syntyvä hajotus suuri.

Ilmanvastus F_v aiheutuu ilman molekyylien törmämisestä lentävään kappaleeseen. Kappaleen nopeuden v kasvaessa myös siihen vaikuttava ilmanvastus kasvaa, koska molekyyliä törmää siihen samassa ajassa enemmän. Samoin myös kappaleen poikkipinta-ala A ja ilman tiheyden ρ suureneminen lisäävät törmäysten määrää. Newton esitti näihin ajatuksiin pohjautuen neliövastuslain $F_v = \rho A v^2$ (7)

Kaava pitää melko hyvin paikkansa pienillä nopeuksilla, mutta on kuitenkin osoittautunut aikojen saatossa epätasälliseksi. Johtaessaan lakia Newton oletti ilmamolekyylien törmäävän lentävään esineeseen, menettävän liike-energiansa ja jäävän paikalleen kuin täit tervaan. Todellisuudessa ilmahiukkaset kimpoilevat ammuksen pinnasta, liukuvat sitä pitkin ja synnyttävät pyörteitä. Fyysikko Ernst Mach huomasi 1800-luvun lopulla, että ilmanvastus kasvaa voimakkaasti äänen nopeuden läheisyydessä. Suurilla nopeuksilla ilma ammuksen edessä puristuu kokoon, jolloin sen tiheys kasvaa ja ilmanvastus suurenee. Lisäksi kappaleen taakse muodostuu alipaine, joka hidastaa etenemistä. Myös ammuksen muodolla, ei vain sen poikkipinta-alalla, on väliä: ensimmäisen

maailmansodan aikana erään ranskalaisen meritykin ampumamatka kasvoi 12 800 metristä 18 100 metriin pelkästään tykin kranaattia virtaviivaistamalla. Ilmanvastukseen vaikuttaa myös ilman tiheyden vaihtelu lämpötilan, ilmanpaineen, kosteuden ja korkeuden maanpinnasta mukaan. Newtonin jälkeen fyysikot ovat kehittäneet lukuisia ilmanvastusta kuvaavia malleja, mutta yleisesti ottaen voidaan tyytyä lakiin

$$F_v = ipAf(v) \quad (8)$$

missä i on ammuksen muodosta riippuva muotokerroin ja $f(v)$ ammuksen nopeudesta riippuvan, mittaustulosten perusteella muodostetun funktion f arvo. Ilmanvastuksen seurauksena ampumamatka sekä ammuksen loppunopeus pienenevät ja ammus saapuu maahan jyrkemmässä kulmassa kuin ilmanvastuksettomassa tapauksessa.

Käytännön toiminta

Tykkimiesten tärkeimpänä tehtävänä oli selvittää, kuinka maali sijaitsi patteriin, useiden tykkien muodostamaan tuliyksikköön nähden, sillä tarkkojen tietojen perusteella tykit oli kyllä helppo suunnata. Suunnanmäärittämisessä törmätään väistämättä kulmiin, ja tykistöllä onkin oma kulmayksikkö, piiru, joka on määritelty siten, että yhtä piirua vastaava ympyrän kaari on tuhannesosa ympyrän säteestä, eli se on 0,001 radiaania tai likimain 0,068. Yhden piirun korjaus tykin suuntauksessa siirtää täten ammuksen osumispistettä ampumamatkan tuhannesosan verran. Tästä päästään tykkimiesten nyrkkisääntöön: korjaus piiruisa on yhtä kuin korjaus metreissa jaettuna ampumamatkalla kilometreissä²⁾. Esim. Tähtystäjä

2) Todellisuudessa korjaus metreissa ei ole ympyrän kaaren, vaan janan pituus, ja näinollen kaava ei ole aivan piirun määrittämisen mukainen. Koska piiru on kuitenkin hyvin pieni kulma ja ampumamatka huomattavasti pidempi kuin korjaus, tällainen yksinkertaistus on voitu tehdä.

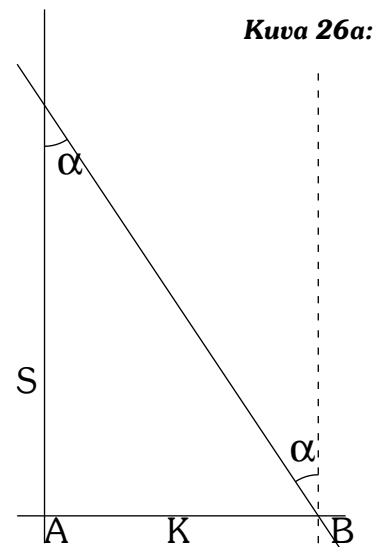
huomaa, että kranaatit putoilevat 20 metriä maalina olevasta talosta vasemmalle ampumatkan ollessa 5 km. Hän pyytää tähtäystä korjattavaksi $\frac{20}{5} = 4$ piirua oikealle. Periaatteessa täyteen ympyrään mahtuisi $2 \cdot \pi \cdot 1000$ eli likimäärin 6283,185... piirua, mutta käytännössä suomalaisten suuntausvälineiden ympyrälevyt oli jaettu 6000 yhtäsuureen osaan, jolloin yksi piiru vastaa esim. 1 km matkalla 1,05 metriä.

Tarkat kartat olivat tärkeitä tykistölle: niiden avulla voitiin hyvinkin luotettavasti arvioida korkeuksia ja etäisyyksiä. Tähtäykseen käytettiin kiikareita ja kaukoputkia. Radioita ja muita viestintävälineitä tarvittiin yhteydenpitoon tulenjohtoryhmän ja patterin välillä. Suuntausvälineitä oli lukuisia, ja niistä mainittakoon tykin putkeen kiinnitettävä kiertokaukoputki, jossa piirujaoitettu ympyrälevy on liitetty kaukoputkeen ja jolla täten voidaan suunnata tykki sivusuunnassa. Kiertokaukoputket olivat arvokkaita laitteita: niitä tuli käsitellä äärimmäisen varovasti, ja sellaisen pudottaminen oli rangaistava teko.

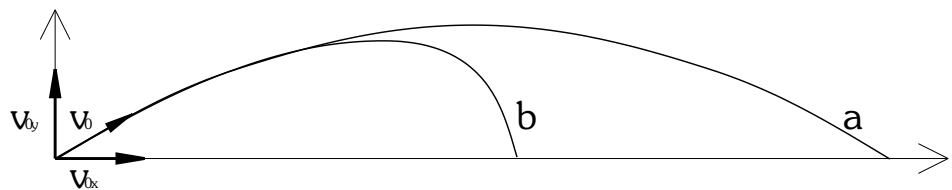
Koska mitään laskukoneita ei sotien aikaan ollut saatavilla, oli pakko kehittää muita keinoja, joiden avulla ammunta sujui juohevasti eikä laskuihin kulunut liikaa aikaa. Tavalliselta tykkimieheltä ei vaadittu kovin kummoista laskupäätä eikä ballistiikan tuntemusta. Ne muutamat laskutoimitukset, joita kentällä tarvitsi tehdä, oli tiivistetty helposti muistettaviksi kaavoiksi. Useat tiedot, kuten tykin korotuskulma tietyllä ampumamatkalla tai tuulen aiheuttama poikkeama lentorataan, voitiin lukea taulukoista ja kuvaajista, niitä

ei täytyntä laskea joka kerta erikseen paikan päällä. Laskuissa käytettiin viljalti apuna logaritmeja, joilla voidaan muuttaa kerto- ja jakolasku yksinkertaisemmiksi yhteen- ja vähennyslaskuksi.

Etäisyys maaliin oli mahdollista katsoa kartasta, mutta oli myös muita tapoja sen määrittämiseksi. Kun asetetaan tykin ja kohteen kautta kulkevaa tähtäysviivaa vastaan kohtisuoraan kantaviiva K , jonka pituus tiedetään, ja mitataan kulma α , saadaan etäisyys S edellämainitun nyrkkisäännön avulla; sen mukaanhan matka kilometreissä on korjaus (K) metreissa jaettuna kulmalla α piiruisa. Vaihtoehtoisesti K voi olla jonkin maalialueella olevan esineen tai olennon, esimerkiksi sotamiehen tai hevosen, pituus, leveys tai korkeus ja α kulma, jossa se näkyy.

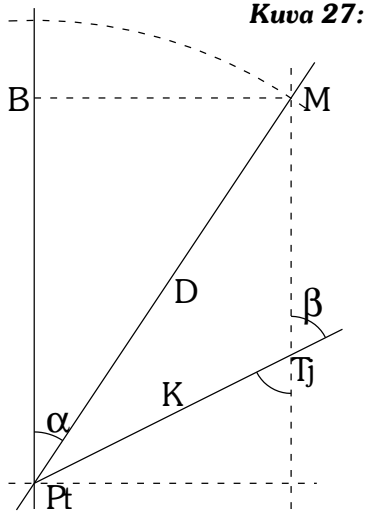


Kun ampumapaikalta on näköyhteys maaliin, käytetään suoraa suuntausta. Ensinnäkin suunnataan tykki sivusuunnassa ja asetetaan tykin korotuskulma vastaa-



Kuva 26a: Ammuksen lentorata a: tyhjiössä ja b: ilmassa

maan oikeaa matkaa, sitten tähystetään, millä korkeudella maali sijaitsee ja korotetaan tai madalletaan korotuskulmaa tämän mukaan. Jos maali ei näy tykeille,



täytyy käyttää epäsuoraa suuntausta. Tällöin maalia tähystetään tulenjohtopaikalta, jonne se näkyy, ja patteri suunnataan näin saatujen tietojen perusteella. Epäsuorassa suuntauksessa menetelmät saattoivat hieman vaihdella, mutta periaate oli aina kutakuinkin sama kuin oheisessa kuvassa. Patterin Pt tykit on suunnattu yhdensuuntaisesti tulenjohtopaikan Tj ja maalin M kautta kulkevan tähystys-suoran kanssa kohti pistettä B. Etäisyydet patterilta maaliin ja tulenjohtopaikalle tunnetaan, ja täytyy selvittää kulma α , jota myös siirtokorjaukseksi kutsutaan. Kuvioon piirretään jana S, joka on kohtisuorassa tähystys-suoraa kohtaan, joka kulkee maalin ja tulenjohtopaikan kautta. S on yhtä pitkä kuin jana BM, ja taas voidaan hyödyntää nyrkkisääntöä:

$$\alpha = \frac{S}{D/1000} \quad (D \text{ annettu metreissä})$$

Janan S mittaaminen ei ole järin käytännöllistä, vaan sen pituus selvitetään trigonometrialla. Kun tiedetään tähystys-suoran ja kannan K välinen kulma β , $S = K \sin \beta$. Siirtokorjaukseksi saadaan siis $\alpha = \sin \beta \frac{K}{D/1000}$. Tykin ja maalin

välinen korkeuserosta johtuva maastokulma voidaan helposti laskea vaikkapa karttatietojen perusteella ja ottaa huomioon tykin korotuskulmassa. Näiden toimenpiteiden jälkeen suuntausta täsmennetään haku- ja tarkistusammunnan avulla ennen varsinaista vaikutusammuntaa.

Teemu Varis

Ohjeita tykin käyttäjälle

"Palauttimen nesteellä täyttäminen: Putki tuetaan kehdon tukiraudan avulla. Poista palauttimen ilmanpaine. Tarkista, että kehto on pituus- ja poikittaissuunnassa vaakasuorassa. Poista kansi D, tulppa E ja vasen tulppa H. Kiinnitä yhdysputki aukkoon H. Nestemäärä 18,75 ltr. pumpataan sylinteriin. Poista yhdysputki ja sulje tulppa H. Poista oikea tulppa H, kiinnitä yhdysputki sukkaan H. Nestemäärä 18,18 ltr. pumpataan hitaasti sylinteriin kunnes sitä virtaa aukoista D ja E. Putkelle annetaan 5^o korotus. Aseta tulpat D ja E paikoilleen. Poista yhdysputki ja aseta tulppa H paikoilleen. Aseta putki vaakasuoraan. Poista tulpat D ja E. Nestettä lisätään D:n kautta kunnes neste uudelleen virtaa aukoista D ja E. Suljetaan tulpat D ja E. Neste värttinäöljyä. Nestemäärä 36,93 ltr. 0,57 ltr jää pumppuun. Ilmalla täyttäminen: Poista tulppa F, kiinnitä yhdysputki ja painemittari. Avaa venttiili G. Painesäiliön avulla nostetaan painetta kunnes paine näyttää 46 ilmakehää. Sulje venttiili G, poista yhdysputki painemittareineen. Aseta tulppa F paikoilleen. Paineen poistaminen: Korota tykkiä 15^o. Poista tulppa F ja avaa venttiili G." (Ohjelaatta kuvan 24 tykissä.)

"Täyttöohje hidastimelle: Putki tuetaan kehdoissa olevaan tukiraudan avulla. Poista hidast. ja Palauttimen kiinnitysmutterit ja hidast. säätövipu sekä kehdon etukansi. Pal. mäntälankojen vastamuttereita ei saa poistaa, jos palauttimessa on painetta. Kohota tykkiä noin 5 astetta. Poista tulpat A, B ja C sekä varasäiliön kansi. Varasäiliön kaadetaan öljyä, kunnes sitä virtaa ulos aukosta C. Tulppa C suljetaan. Jatka kääntämistä, jatka kääntämistä, kunnes neste virtaa ulos aukosta A ja B, jotka nyt suljetaan. Aseta putki vaakasuoraan. Lisä varasäiliöön nestettä, kunnes nesteen pinta on suodattimen alakärjen tasalle. Valvo, että tulppien ja kansien teljet ovat paikalleen. Neste: Värttinäöljyä Nestemäärä noin 27,57 ltr. Tyhjennys: Poista tulppa A. Kohota tykkiä 10^o Poista säätökara N^o 248" (Ohjelaatta kuvan 24 tykissä.)