

ÄÄNIMITTAUKSESTA AKUSTISEEN TIEDUSTELUUN MUSEO MILITARIA 04.10.2025

FT Ossi Ojanen toimi vuosina 1970-1984 Geodeettisessa laitoksessa astrogeodesian osastolla geodeettina. Vuosina 1985-1996 hän palveli Niinisalossa Mittauspatteristossa matemaatikkona äänimittauksen kehitystyössä, minkä jälkeen 1996-2013 erikoistutkijana Puolustusvoimien teknillisessä tutkimuslaitoksessa Ylöjärvellä erikoisalana akustinen tiedustelu.

Katsaus äänimittaustoimintaan kylmän sodan vuosina ja vuosituhannen loppuun saakka erityisesti tutkimustoiminnan osalta.

JOHDANTO

Tämä esitys on osa seminaaria, jossa siviilitutkijan näkökulma äänimittaukseen keskittyy pakostakin lähinnä tieteelliseen **tutkimustoimintaan**. Siten mm. organisaatiokysymyksiä sivutaan vain sikäli kuin ne vaikuttavat kehitystyöhön.

Perusteiltaan **analogiatekniikkaan** pohjautuvan äänimittausjärjestelmän teknistä kehitystä ei voinut ajatella.

Oli tyydyttävä erilaisten toimintaa tehostavien **lisälaitteiden** ja **ohjelmistojen** kehittämiseen.

Kokemuksen karttuessa oli mahdollista saada syntymään kuva **uuden sukupolven** akustisen tiedustelulaitteiston teknisistä ja toiminnallisista **vaatimuksista**.

Tämän työn tuloksena syntynyt **loppuraportti** ^[14] **valitettavasti jäi käyttöä vaille** äänimittaustoiminnan loppuessa vuosituhannen umpeutuessa.

Esitykseni jakaantuu oman ammatillisen asemani perusteella loogisesti viiteen osaan.

1 **Sotien jälkeinen aika** aina 1970-luvulle saakka sivuutetaan viittaamalla kevyesti pääasioihin sekä Pekka Majurin alustukseen 1950-luvun tilanteesta.

2 Aika 5 kk erikoisupseerikokelaana Mittauspatteristossa v. **1973**.

3 Varusmiespalvelun jälkeinen aika **1974-1984**, jolloin Geodeettisessa laitoksessa ollessani saatoin osin virkatyönä tutkia säätietojen parempaa hyödyntämistä. Samaan aikaan Mittauspatteristossa suoritettiin voimakasta kokeilu- ja tutkimustyötä.

4 Tärkein jakso ollessani **1985-1996** matemaatikkona Mittauspatterissa ja virallisen kylmän sodan jälkeinen aika **1996-2000 (-2013)** Puolustusvoimien teknillisessä tutkimuslaitoksessa erikoistutkijana akustisen tiedustelun kehittämisessä.

Koko mittautiedustelun **kehitystyö** kylmän sodan aikana on vaatinut valtavan **työmäärän** ja asialleen omistautuneita **tekijöitä**.

- Monet patteriston komentajat, esim. evl. Reino Tirronen
- Pekka Majurin ohjesääntötyö ^[17] saattamaan T J Kukkamäen legendaarinen ohjesääntö ^[18] lopullisesti eläkkeelle ja uusi ajan tasalle.
- Pekka Kukon lyhytkantalaitteiston ^{[2, s.152], [6], [7]} kehitystyö ennakoimaan modernien akustisten järjestelmien rakennetta.
- Tekninen henkilökunta, joka on pitänyt laitteistoa kunnossa ja tehnyt niihin parannuksia.

SOTIEN JÄLKEINEN AIKA ^[1]

Sodan aikana äänimittausmenetelmiä ja -laitteita kehitettiin ja toiminnasta saatiin paljon kokemusta.

Asevelvollisuusarmeijalla oli etu saada riveihinsä upseerikoulutettuja huippuluokan tiedemiehiä, mm. T.J. Kukkamäki ja T.B. Honkasalo. Lisänä lukuisia osaavia mittauspattereiden päällikköjä sekä runsaasti teknisesti koulutettua väkeä parantamaan laitteiden suorituskykyä.

Ensimmäinen tehtävä oli siirtää saatu kokemus ja tietotaito rauhan ajan organisaatioon.

Armeijan kotiuttamisen aiheuttamien normaalien vaikeuksien lisäksi harmina oli valvontakomission kiusanteko.

Sodanaikainen 1. Mittauspatteri nimettiin vuoden 1944 lopussa **Mittauspatteriksi**, sijoituspaikkana Hämeenlinna.

Järjestely- ja suunnittelutehtävien kanssa painiskelussa meni useita vuosia, jolloin **varsinaiseen kehittämistyöhön ei resursseja riittänyt.**

Rovajärven harjoitusalue saatiin käyttöön kesällä **1949** ja Mittauspatteri / Mittauspatteristo osallistui tykistön leireille.

Vähitellen saatiin toiminta normaaleihin uomiin ja vuonna **1950** tuli käsky siirtyä Hämeenlinnasta **Niinisaloon.**

Siirto paransi harjoitusmahdollisuuksia, ja koeampuma-aseman kanssa voitiin järjestää **äänimittauskokeiluja**, kuten v. **1952** krh:n tuliasemien **paikannuskokeilut.**

Vuonna **1952** suuremman uudelleenjärjestelyn yhteydessä Mittauspatterista muodostettiin **Mittauspatteristo**, joka alistettiin suoraan Pääesikunnalle.

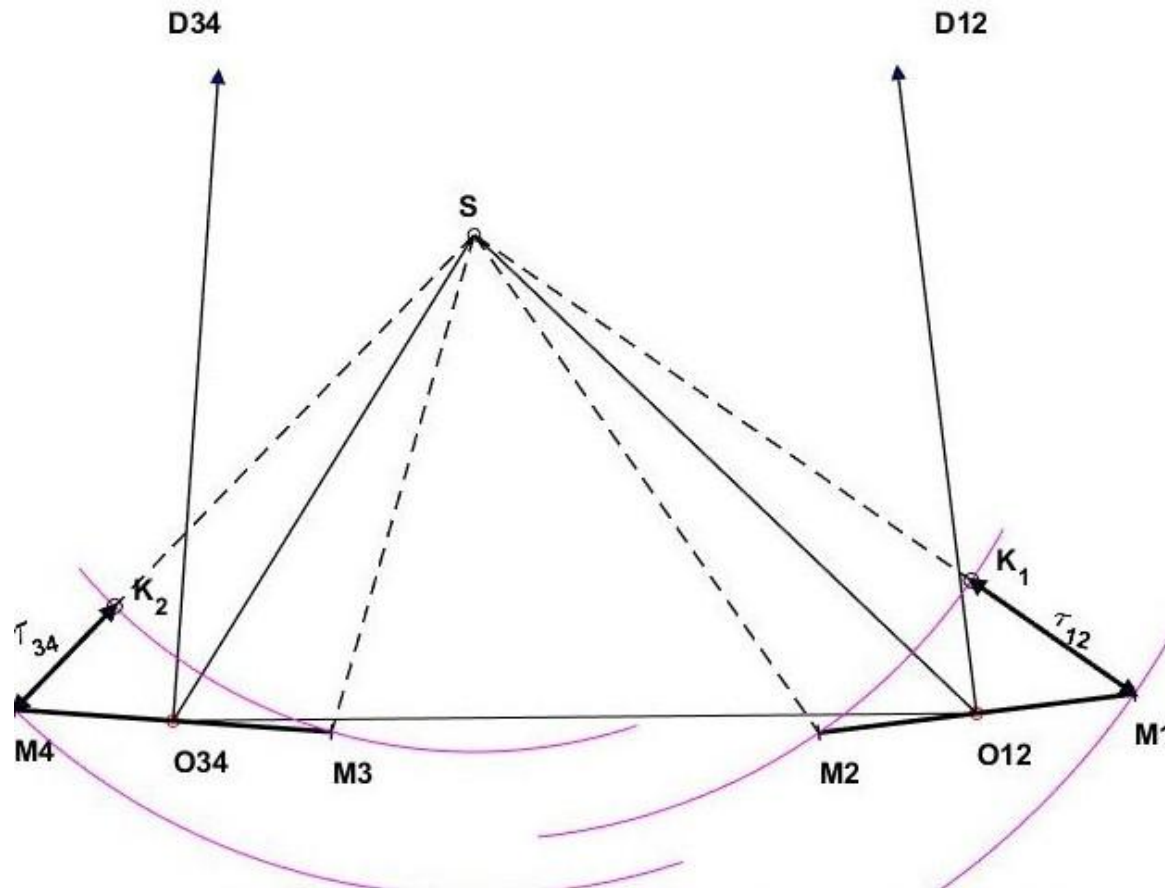
Henkilövahvuuksiin saatiin patteristoon **tutkimusupseerin (majurin) virka**.

Mittauspatteriston **kokoonpanoa tarkistettiin kesällä 1960** ja uudessa organisaatiossa siihen kuului komentaja, esikunta, mittauspatteri sekä mittaus- ja tiedustelukoulu.

Koulutukseen vaikuttivat olennaisesti evl R. Tirrosen suunnittelemat ja kehittämät valo-, ääni- ja tutka**mittausviivaimet**.

Kesällä 1970 Mittauspatteri sai koulutuskäyttöön kauan kaivatun **uuden SMA äänimittauskaluston**. Raha riitti vain tähän yhteen kalustoon, joten sodanaikaiset Siemens- ja Gamma-kalustot jäivät sodan ajan joukkojen varakalustoiksi.

Äänimittauksen tasoratkaisun periaatteet

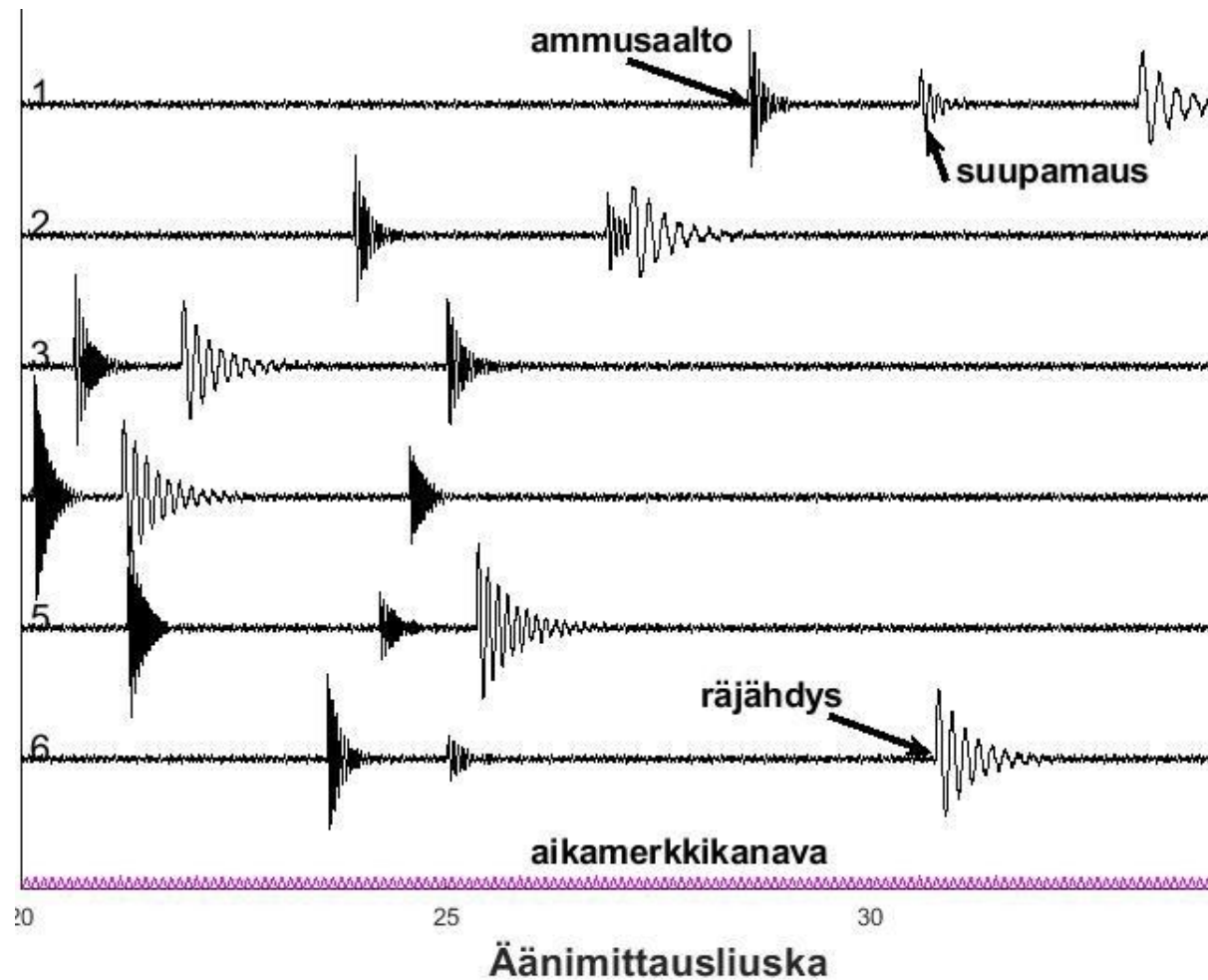


Äänirintaman kulku kahden kannan läpi

Kuva venäläisestä äänimittauksen oppaasta ^[4] havainnollistaa palloaallon etenemistä mittausrintaman läpi.

Tykin paikka **S**, mikrofonit **M1..M4**.

Mitatut aikaerot τ_{12} ja τ_{34} , joiden perusteella saadaan suunnat kantojen keskipisteistä tykkiin, jonka koordinaatit voidaan (likimäärin) laskea eteenpäin leikkauksella.

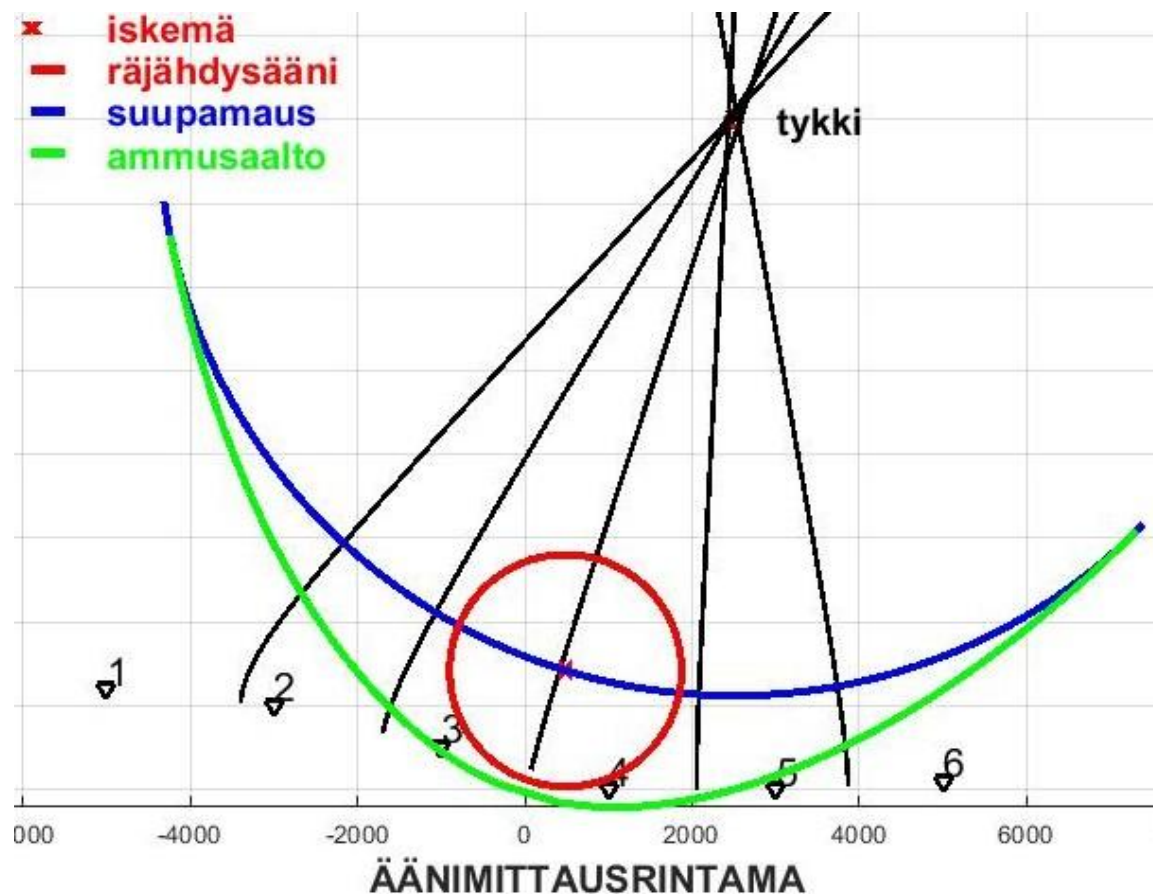


Kaavakuva **äänimittausliuska**, jonka merkitsinkone tulostaa paperiliuskalle. Mittausasemille sijoitetut mikrofonit välittävät kaapeliyhteydellä signaalit kunkin omalle kanavalleen.

Aika juoksee vasemmalta oikealle. Ensin tulee **ammusaalto** ja sitten **lähtölaukauksen** tai iskemän ääni. Ammusaalto voi esiintyä vain tietyssä sektorissa ampumasuunnassa ja

vain alakulmilla ammuttaessa.

Liuskan alareunassa on aikamerkit, joiden perusteella pulssien tuloaika määritetään.

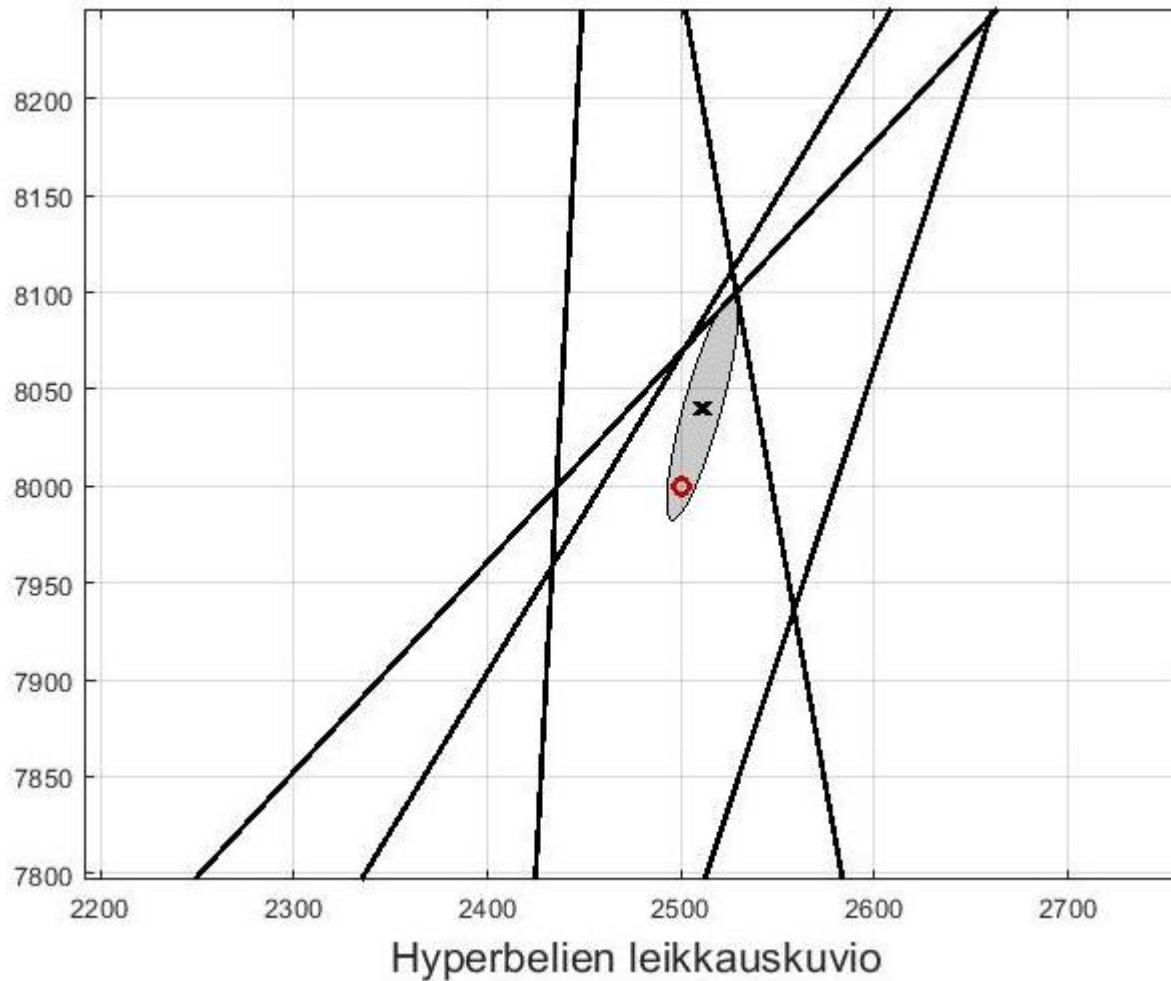


Kaavakuva perinteisestä kuuden aseman **mittausrintamasta** kahden kilometrin välimatkoin. Rintama on yleensä melko suora, mutta muunkinlainen asemien sijoitus on mahdollista, ja usein niin tehdään sen mukaan, mihin suuntaan ja etäisyydelle halutaan mittaustoiminta kohdistaa.

Kuvassa edellisen kuvan suupamausten aikamerkkien perusteella peräkkäisille kannoille piirretyt

hyperbelit, joiden **asymptootit** piirretään tasolle.

Hyperbelien leikkauskuvio, josta määritetään maalin paikka.



Tehtävä ei ole helppo, koska leikkauspisteiden muodostaman kuvion tutkiminen on useimmiten huono menetelmä siihen tarkoitukseen.

Kuvassa punainen piste on 'todellinen' maalin paikka ja musta rasti ja harmaa virhe-ellipsi tietokoneella laskettuja tuloksia.

Hyperbelien aikaeroihin on generoitu äänimittaukselle tyypilliset virheet satunnaisluvulla. Niistä aiheutuva virhe on tässä

luokkaa 50 m.

VUOSI 1973 [2, s.151]

Nopeasti kehittyvä puolijohdetekniikka toi markkinoille uusia **ohjelmoitavia laskimia**, jotka vielä muistuttivat enemmänkin paranneltuja taskulaskimia kuin tietokoneita. Mittauspatteristo hankki yhden sellaisen, mallia **Monroe1880-44**. Siinä oli tuhatkunta ohjelma-askelta, jotka syötettiin näppäimistöllä perinteisen laskimen komentoina. Sekvenssi voitiin tallettaa magneettikortille.

Huhtikuussa 1973 saavuin Mittauspatteristoon erikoisupseerikokelaana ja sain tehtäväksi ohjelmoida äänimittaustasolla suoritettavan maalin paikannuksen.

Ensisijaisena tehtävänäni oli vertailla molempien menetelmien antamia **tuloksia** ja selvittää laskimen tuomaa **aikasäästöä**.

Laskin helpotti tasolaskuja, esimerkiksi **tasotarkistuksen** tekoa.

Sään näppäily koneelle ja syötetyn datan **huomioiminen** laskennassa oli helppoa. Epävarmojen **aikamerkkien kokeilu** tehosti oikeiden merkkien löytämistä liuskalta. Syntyi tarve oikeiden merkkien **etsinnän automatisointiin**.

Laskinohjelma noudatteli turhankin tarkkaan tasoratkaisun logiikkaa, missä maali määritettiin asemaparien aikaeroja vastaavien **hyperbelien leikkauksena**. Tasolla ongelmana oli se, että joskus jokin **asema oli epäkunnossa** tai että kelvollista luku-kohtaa merkille ei löytynyt. Laskimelle siitä ei ollut haittaa mutta tasolla piti valmistella erikseen uusi yhdistetty kanta.

Mittauspatteriston komentajan Reino Tirrosen suunnittelema ja v. 1966 käyttöön ottama **äänimittausviivain** oli maalin paikannuksessa erittäin käyttökelpoinen. Tasotyöskentely helpottui ja **nopeutui** aikaisemmasta huomattavasti, koska **lämpötila- ja tuulikorjaukset** voitiin lisätä suoraan viivaimella.

Toisin kuin aikaisemmin hyperbeliviivainta käytettäessä, tässä käytettiin hyperbelien **asymptootteja**. Käytetyillä etäisyyksillä hyperbelien ja niiden asymptoottien leikkauspisteet mahtuivat tasolle piirretyn saman viivan alle.



**Monroe ja kokelas äänimittausharjoituksissa
Hämeenkankaalla kesällä 1973**



**Monroe Rovajärvellä elokuussa 1973. Esittely tykistön
tarkastaja ev. Tapani Klöfille.
© Lapin Kansa/Kalevi Vallas**

Epäkohta tasolla oli, että hyperbelit eivät olleet toisistaan riippumattomia, koska vierekkäisillä kannoilla oli yksi yhteinen asema ja siten **yksi yhteinen lukumerkki**. Ratkaisematon oppiriita oli myös käytettyjen **kantojen valinta**, peräkkäiset vaiko yhdistetyt, joiden hyperbelit ovat 'tukevammat'.

Toinen tulkinnanvarainen tehtävä oli usean hyperbelin leikkausjoukosta määrittää **lopullinen maalipiste**. Vaikeus liittyi siihen, etteivät kaikki viivat tasolla olleet samanarvoisia. Pienen aikaeron hyperbeli oli aina 'arvokkaampi' kuin suuren aikaeron.

Tykistön **kesäleirillä 1973** oli tilaisuus testata laskinta todellisissa ammunnoissa, joissa usea tykki, jopa patteristo oli samaan aikaan toiminnassa. Tällöin kyseessä oli yritys lukea kultakin kanavalta useita merkkejä ja antaa laskimen valita oikeita merkkiyhdistelmiä jättäen ammusaallot huomiotta. Tässä tuli esille silloisen **laskimen heikkous, vaatimaton laskentateho**. Korkeintaan **yhden patterin** laukaustapahtuma oli mahdollista selvittää äärellisessä ajassa (minuuteissa), ja silloinkin syntyi helposti sattuman takia ylimääräisiä valemaaleja.

Laskimen suurin **hyöty** oli siinä, että se antoi **lisäsysäyksen sään vaikutuksen tutkimiseen**. Laskimelle oli helppo syöttää eri lämpötila- ja tuuliarvoja ja katsoa, mitä muutokset vaikuttivat paikannettuihin koordinaatteihin.

Katse kääntyi sekä tarvittaviin **säähavaintolaitteisiin** että ajantasaisten säätietojen **hyödyntämiseen mahdollisimman** tehokkaasti **laskimella**.

Refraktion huomioiminen korostui! Sekä kevättalven **lämpötilainversiot** että korkeammalle mentäessä normaalisti kiihtyvä **myötätuuli** aiheuttavat äänisäteiden refraktiota eli säteen taittumista.

Ääni kulkee korkeammalla suuren osan matkaa ja siten eri nopeudella kuin säämaston korkeudella.

Ratkaisuna olisi sääanturit **kahdella korkeudella** gradientin määrittämiseksi tai **luotaussää** riittävän usein ja **laskimella** kyky sen hyödyntämiseen.

Seuraavalla vuosikymmenellä voitiin jo hyödyntää luotauksia tietokoneella.

Pika-apuna todellisen, efektiivisen, äänen kulkunopeuden määrittämiseen voitiin käyttää **testipommuksia** tunnetuilla pisteillä.

Laskimelle voitiin ohjelmoida **sääparametrien korjaukset** testipommuksen aikamerkeistä. Huom. testit Kittilässä 1988 – 1990^[3].

Syntyi tarve saada **räjähdys samaan aikaskaalaan** merkitsinkoneen kanssa.

Tästä puolestaan seurasi idea äänimittauskelloista (toteutui myöhemmin).

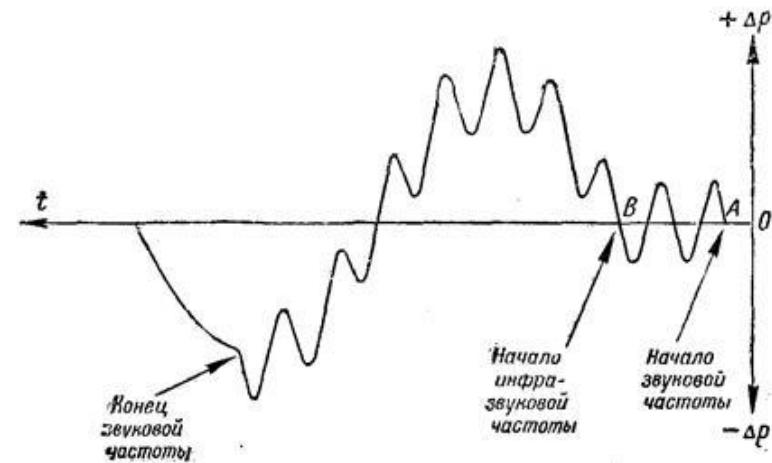
VORLÄUFER-ILMIÖ [4]

A: >20 Hz äänen alku. B: Infraäänien <20 Hz alku. Kolmas nuoli: Äänipulssin loppu. Aika kulkee kuvassa vasemmalle.

Vorläufer-ilmiö, eli äänipulssin etuvärinä, merkki monitie-etenemisestä?

Antoi sysäyksen tutkia ääniaaltojen refraktiota lämpötilainversiossa ja myötätulessa (**refraktio**).

Toinen mahdollinen selitys on äänen **dispersio** (infraäänien), josta maininta löytyi vanhasta Puna-armeijan äänimittauksen oppaasta (kuva yllä).



1974 – 1984

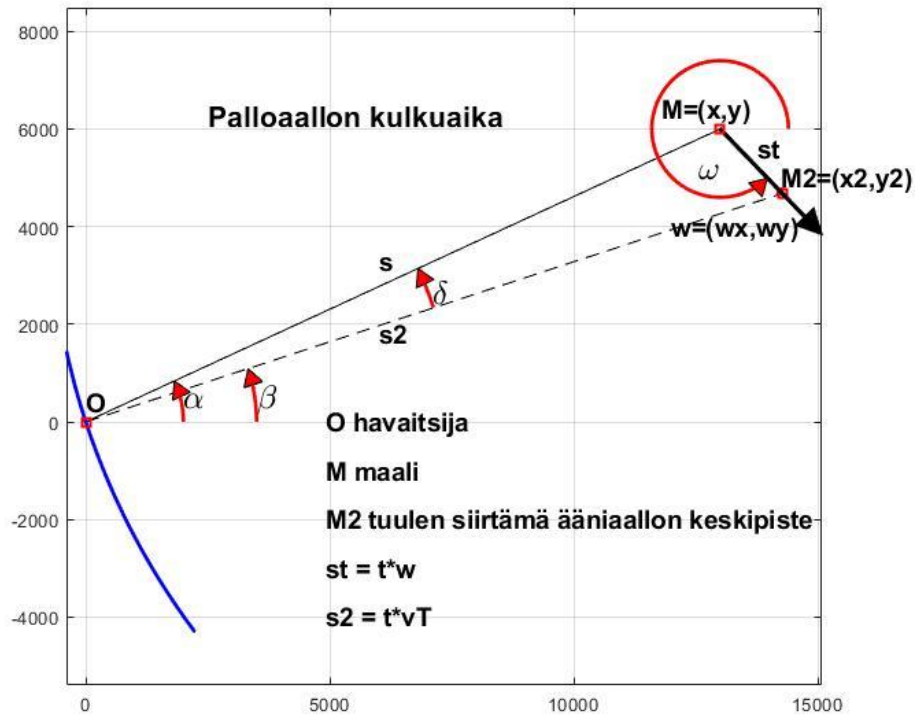
Kokelasajan loppupuolella laskimen kapasiteetti ei enää riittänyt vaadittaviin tehtäviin. Myyjä ei pystynyt toimittamaan uutta mallia ennen siirtymistäni reserviin. Kone tuli myöhemmin suoraan Geodeettiselle laitokselle, missä virkatyönä tein kesken jääneen työn loppuun.

MAALIN RATKAISU SIIRTYI TASOLTA LASKIMELLE [5], [2, s.151]

Tilanne selkeytyi, kun tasolla käytetty hyperbelimenetelmä hylättiin laskennassa ja siirryttiin laukaustapahtuman **matemaattisesti asianmukaiseen mallintamiseen**. Oleellinen muutos oli siinä, että kahden tasokoordinaatin lisäksi otettiin laukauksen lähtöaika kolmanneksi tuntemattomaksi, jolloin **kantojen valinnan ongelmat poistuivat**. Menetelmä oli hyvin mahdollista suorittaa myös Monroe-laskimella.

Ensimmäinen tehtävä oli muotoilla äänipulssin kulku-aika lähtöpaikasta mikrofonille. Toinen tehtävä oli määrittää havaituista aikamerkeistä tasoituslaskennalla äänilähteen paikka tarkkuusarvioineen.

Palloaallon kulku-aika



$$\vec{w} = (w_x, w_y), \quad \vec{s} = (x, y) = s (\cos \alpha, \sin \alpha),$$

$$W = w_x x + w_y y, \quad v_T = \text{äänen nopeus väliaineessa}$$

$$t = \frac{W + \sqrt{s^2 (v_T^2 - w^2) + W^2}}{v_T^2 - w^2} \approx \frac{s}{v_T} + \frac{s w \cos(\alpha - \omega)}{v_T^2}$$

$$s_2 = |s_2 (\cos \beta, \sin \beta)| = |(x, y) + t (w_x, w_y)| = t v_T$$

$$\delta = \alpha - \beta$$

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\cos \alpha}{v_T} + \frac{w_x}{v_T^2}, \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\sin \alpha}{v_T} + \frac{w_y}{v_T^2}$$

Tunnetaan sääparametrit v_T, w_x, w_y aikamerkit T_i ja koordinaatit (x_i, y_i) $i = 1..6$.

Lasketaan kolmen aikamerkin perusteella maalin likimääräiset koordinaatit (x_0, y_0) .

Mallinnetaan havaittu aikamerkki $T_i = t_0 + dt_0 + t(x_0 - x_i, y_0 - y_i) + \frac{\partial t_i}{\partial x} dx + \frac{\partial t_i}{\partial y} dy$,

missä $t(x, y)$ tarkoittaa aikaisemmin määritettyä kulkuajan funktiota.

Aikavakion likiarvo saadaan yhdestä havainnosta: $t_0 = T_1 - t(x_0 - x_1, y_0 - y_1)$.

$$L = \begin{bmatrix} T_1 - t_0 - t(x_0 - x_1, y_0 - y_1) \\ \vdots \\ T_6 - t_0 - t(x_0 - x_6, y_0 - y_6) \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\partial t_1}{\partial x} & \frac{\partial t_1}{\partial y} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \frac{\partial t_6}{\partial x} & \frac{\partial t_6}{\partial y} \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} dt_0 \\ dx \\ dy \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} (A^T L)$$

Laskun tuloksena saadaan tasoitettut parametrit $t_0 = t_0 + dt_0, x = x + dx, y = y + dy$

Korrelaatiomatriisi on: $C = s^2 (A^T A)^{-1}$, missä s on yhden havainnon keskivirhe.

Parametrien tarkkuudet saadaan: $[m_{t_0}, m_x, m_y] = \pm \sqrt{C(i, i)}, i = 1..3$.

Edellä esitetyt laskentakaavat syntyivät v. 1982 PE/Ktos:lle jättämässäni raportissa. ^[5]
Työn otti vastaan tykistön tarkastaja ev. Jaakkola. Laskentatestit suoritettiin GL:n tietokoneella.

Odotettavissa oleva kehitys laskimesta kohti tietokonetta mahdollisti ajatuksen käyttä mittaustoiminnassa oletusta **lämpötilan ja tuulen lineaarisesta muutoksesta** eli gradientista ilmakehän alimmassa kerroksessa.

Em. raportti sisälsi myös tilanteeseen sopivat laskukaavat tunnetulle tosiasialle, että äänen nopeuden muuttuessa lineaarisesti korkeuden funktiona, äänisäde kulkee **ympyrän kaarta** pitkin. **Tuuligradietti** halutussa suunnassa voidaan käytännössä hyvin lisätä sellaisenaan kokonaisgradienttiin.

Tunnetulle matkalle voidaan laskea säteen **lähtökulma** ja sen jälkeen saadaan **kulkuaika**.

Jos käytössä on **sääluotauksen** tiedot, voidaan äänen reitti tehdä **kerroksittain ympyrän kaarina**, mutta silloin oikean kulkumatkan löytäminen vaatii kokeilua.

Kehitystyö Mittauspatteristossa

Laskimen käyttöön ottaminen ja alustavat sääkokeilut herättivät osaltaan uutta mielenkiintoa tarkastella sään vaikutusta äänimittauksen tarkkuuteen. Asiaa tutkittiin muun muassa talvella **1974** Pohjankankaalla suoritetussa **äänimittauskokeilussa**.

Tämä toteutettiin ampumalla raskaalla kalustolla (**152 H 38**) vuorokauden ajan puolen tunnin välein. Valitettavasti tieto tuloksista ei tullut 10 vuotta myöhemmin enää esille.

Todettiin välittömästi saatavien mittauskohtaisten **säätietojen välttämättömyys**.

Kehitettiin näyttölaitteilla varustettu **sääkalusto** ja hankittiin hydrauliset **mastot**, joilla tarvittavat tuuli- ja lämpömittarit saatiin **20 metrin korkeuteen**.

Pekka Majuri teki merkittävän työn **ohjesäännön** ^[17] laatimisessa mittaustiedusteluun. Hänen tutkimustyönsä ^[16] päättyi selkeälinjaiseen esitykseen suomalaisen **mittaustiedustelun kehittämiseksi**.

Ensimmäinen mittaustiedustelun pitkän tähtäyksen **kehittämissuunnitelma** ^[6] laadittiin vuoden **1984** alussa.

Siinä tarkasteltiin mm. **kotimaisia mahdollisuuksia** mittaustiedustelukaluston konstruointiin ja tuotantoon.

Vuonna **1979** oli kaikille perustettavaksi suunnitelluille mittaustiedustelupattereille hankittu amerikkalaiset **AN/ TNS 10**-kalustot.

LYHYTKANTALAITTEISTON KEHITYS [2, s.152], [6], [7]

Teknisen toimiston mittaustiedustelu-upseerina pitkään palvellut **Pekka Kukko** kiinnostui jo 1970-luvulla lyhytkantaisen äänimittauslaitteen kehittämisestä. Tällöin hän kokeili ideaa äänimittauksesta suupamauksen tulosuunnan ilmaisevilla mikrofonipareilla.

Kukko konstruoi oppilastyönään Sähköteknillisen koulun luutnanttikurssilla toimivan lyhytkantalaitteen. **Elke Oy** valmisti vuonna **1983 prototyypisarjan** LK-laitteita.

Kuhunkin itsenäiseen asemakalustoon kuuluu **kaksi mikrofonia** kytkettynä keskusyksikköön, joka laskee aikaerosta äänen **tulosuunnan**.

Asemien suunnat viestitetään **sanomalaitteella komentopaikalle**, jossa leikkaus tapahtuu valomittauksen tapaan.

Laitteen käyttökokeissa ei kuitenkaan päästy kaikkia tyydyttävään tulokseen.

Varauksellisuuteen oli suurena syynä myös se, että 1980-luvulla oli jo alkanut toteutua äänisignaalien muuntaminen **digitaaliseen** muotoon. Haluttiin ennakoida digitaaliseen tekniikkaan perustuvia ratkaisuja.

Kalustoa oli kuitenkin mahdollista käyttää äänimittauksen hälytys- tai tutkatähystysasemilla kuulohavaintojen tarkentamiseen. Samalla saatiin **merkittävää tietoa äänimittauksesta ja analogiatekniikasta**.

Lyhytkantalaitteen konsepti oli 1970-luvulla hyvin **edistyksellinen**.

Nykyiset akustiset paikannusjärjestelmät perustuvat juuri tähän **mikrofonirypäleiden käyttöön** antaen samalla kertaa sekä äänipulssin **tuloajan** että sen **tulosuunnan**. Edistyksellistä oli myös kaapeliyhteyksien korvaaminen **radiolla**.

KOHTI ÄÄNIMITTAUKSEN ILTAHUUTOA

Vuoden 1985 alusta siirryin Geodeettisesta laitoksesta kenttätykistön kehittämiseen osoitetuilla projektivaroilla Mittauspatteristoon tutkimaan ja kehittämään äänimittausta.

Patteristoon hankittiin samalla **Micro PDP-11** tietokone. [2, s.151-152] Ensimmäinen FORTRAN kielellä laadittu äänimittauksen ohjelmaversio oli kokeiltavana jo saman vuoden huhtikuussa ampumaleirillä Rovajärvellä. Oheislaitteina tässä järjestelmässä käytettiin matriisikirjoitinta ja piirturia, joiden avulla paikannetut maalit voitiin esittää havainnollisesti.

Pari vuotta myöhemmin hankittiin tehokkaammat **VAX 2000**-tietokoneet, joista kaksi asennettiin uusiin äänimittauskontteihin. Äänimittausliuskan tutkiminen helpottui, koska tietokone pystyi kolmen (tai jopa kahden) varman aikamerkin perusteella **ohjaamaan liuskan** lukijaa etsimään muut oikeat merkit. Tällä oli suuri merkitys etenkin selvitettäessä yksittäisten tykkien sijaintia patteriston yhteislaukauksesta.

Liuskan tutkimista nopeutti huomattavasti myös **lukulaitteen** kehittäminen. Vuonna 1988 Reino Rehn ky:ssä valmistui lukulaite, jolle liuska aseteltiin. Liikuteltavan lukumerkin hiusviivan kohdalta voidaan lukema syöttää näppäimen painalluksella laskimelle. Laite piti kalibroida uuden liuskan kohdalla ainakin kahden aikamerkin avulla.

Ongelmaksi tuli joskus liuskan **kulkunopeuden vaihtelu** merkitsinkoneella. Ongelma pieneni, kun lukulaite mahdollisti **liuskan syöttönopeuden pienentämisen**, ja kun luettiin **useampia kalibrointimerkkejä**.

Toimistokäyttöön suunniteltu laskin toi mukanaan omat murheensa. Konttisäilytyksessä piti **lämmitys** ja **kosteuden poisto** olla aina päällä. Lisäksi kesäisin toiminnan aikana **pöly** ja joskus **ylikuumeneminen** kaapissa olivat ongelma. Uudet sähköistetyt ja viestivälinein varustetut kontit **nopeuttivat ryhmittymistä**.

Uusi tehokkaampi laskin mahdollisti sekä tuliasemien **tehokkaamman paikannus-toiminnan** että alan **tutkimustoiminnan kehittämisen**.^[10]

Vuonna 1988 saatiin käyttöön kolme kideuunilla (vakio 60° C) varustettua **äänimitauskelloa**, jotka kykenivät kentällä pitämään yhteisen ajan 10 ms tarkkuudella yhden vuorokauden ajan. Kellot tukivat sekä äänen etenemisen perustutkimusta että käytännön mittaustoimintaa, koska testipommuksissa räjähdysaika saatiin merkitsinkoneen kanssa **samaan aikasysteemiin**. Voitiin aikaerojen sijasta saada **suoria kulkuaikoja** mikrofoneille.

Vuonna 1992 Mittauspatteristosta tuli Tiedustelupatteristo ja se sai käyttöönsä lakautetusta Suojelu- ja sääkoulusta **sääaseman** kouluttajineen. Tämä antoi mahdollisuuden saada sääluotausten tiedot eli lämpötila- ja tuuliprofiilit eri korkeuksilta.

Vuonna 1996 yhdistettiin Koeaseman sääasema samaan kokonaisuuteen **Niinisalon maasääasemaksi** ^{[8], [9]} osaksi Tiedustelupatteristoa. Samalla se kuului Ilmatieteen laitoksen havaintoverkkoon.

Säämasto saatiin kaapelilla kytkettyä laskimeen, jolloin **säädatan keräys tapahtui automaattisesti**. Tarvittavat säätiedot tulivat aina maalin ratkaisuun mukaan.

Tulosten raportoinnissa eteenpäin voitiin laskinta käyttää keräämään havaituista **maaleista kokonaisuuksia**, jotka kuuluivat samaan tuliyksikköön.

Äänimittaustulenjohto ja sen liittäminen tykistön omien laskinjärjestelmien muutoksiin oli oma työnsä. Tehtävässä onnistuttiin kohtuullisesti, tosin useimmiten harjoituksissa improvisoiden. Muun muassa tässä kohtaa tuli ilmi se, että ohjelmiston syvällinen tuntemus oli liikaa yhden ihmisen varassa.

Henkilökunnan tarpeellinen koulutus laskimelle ohjelmoitujen toimintaa tehostavien menetelmien käytössä ei jostain syystä toiminut kunnolla.

Tultaessa 1990-luvun puoliväliin oli äänimittauslaitteisto saatu siihen kuntoon kuin analogiatekniikkaan perustuva systeemi kohtuudella voi olla. Katse kääntyi digitaali-tekniikkaan ja tutkimukseen, jossa äänimittauksesta siirrytään akustiseen **tiedusteluun** ja **yleistiedustelun** tukemiseen.

Suunnitteilla oli kytkeä kaikkien aselajien käytettävissä olevaan alueelliseen säämalliin erillinen **äänen etenemismalli** kaikille mahdollisille tarvitsijoille.

OSALLISTUMINEN MASSARÄJÄYTYLEIREIHIN 1988 – 1990 [3], [11]

Mittauspatteri osallistui kolmeen leiriin **kahdella äänimittauskalustolla**. Käytössä oli 12 mikrofonia 11 eri havaintopisteellä. Yksi yhteinen varmisti merkitsinkoneiden (2 kpl) yhteisen ajan. Käytössä olevat äänimittauskellot sitoivat **omien testiräjäytysten ajat** merkitsinkoneiden aikaan. Ainoastaan Hukkakeron **isojen räjäytysten aikaa ei saatu** talteen teknisistä syistä. Niiden kohdalla oli tyydyttävä lähimpään 8 km päässä olevaan mikrofoniiin lähtöajan arvioinnissa. Käytössä oli kaksi eri korkeuksilla olevaa sääasemaa, joista saatiin **lämpötila- ja tuuligradientit**. Käytettävissä oli myös leirin kaksi **sääluotausta** vuorokaudessa.

Tavoitteena oli tutkia äänen etenemistä pitkällä (20 km saakka) etäisyyksillä. Havaittujen kulkuaikojen perusteella laskettiin äänen nopeus eri suuntiin ja etäisyyksille. Niiden avulla saatiin käsitys siitä, miten hyvin keskusasemalla mitattua **säädataa voi korjata testipommuksilla**.

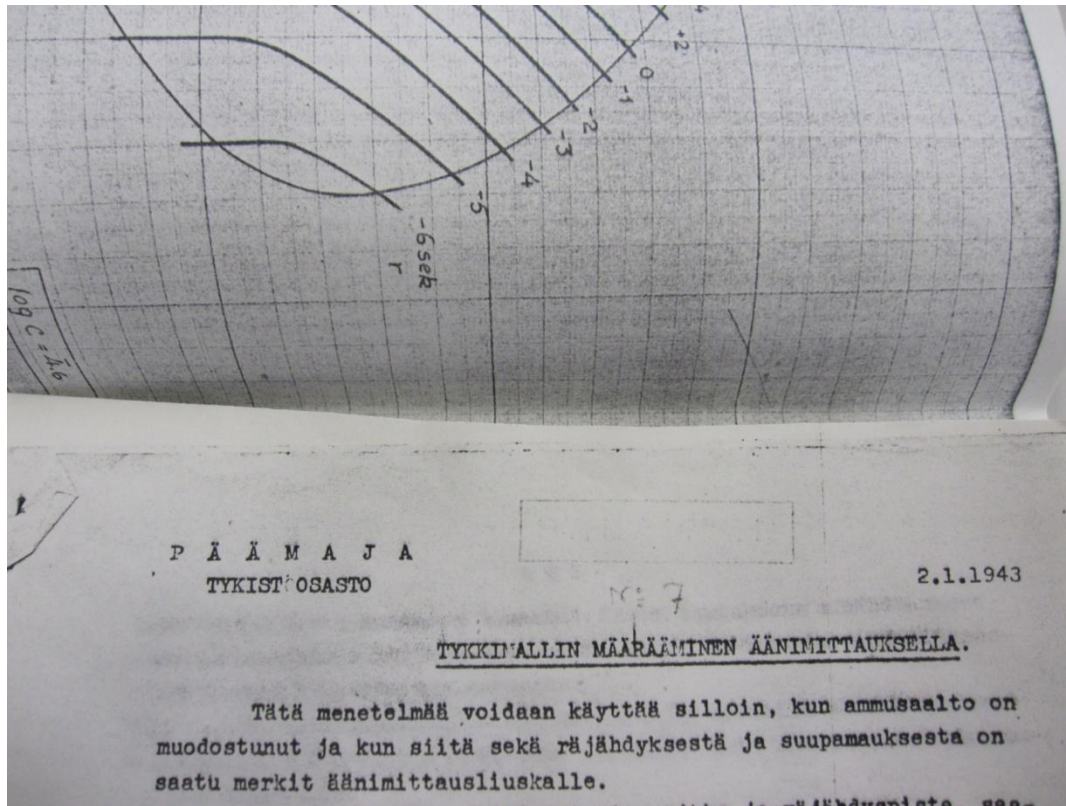
Kehitteillä olevia äänen sädeteorian mukaan **luotaustiedoilla laskettuja kulkuaikoja** voitiin verrata havaittuihin.

Raportti tuloksista luovutettiin raportti kenttätykistöosastolle 1991.^[3] Käytännön kannalta tärkein tulos oli, että normaalissa äänimittaustyössä **testipommuksilla voidaan selvästi parantaa tarkkuutta** korjaamalla säämaston dataa.

Luotaustietojen käytöllä on **pitkillä etäisyyksillä** merkittävää **hyötyä**, erityisesti ennustettaessa monitie-etenemistä. Ilmeiset käytännön seikat eivät mahdollista luotauksien tehokasta käyttöä, mutta ne ovat tutkimustilanteissa arvokkaita.

Monitie-etenemisestä selvin esimerkki oli yksi Hukkakerolla tehty räjäytys, jonka pulssi saapui keskusasemalla 14 km etäisyydelle kolmena erillisenä pulssina.

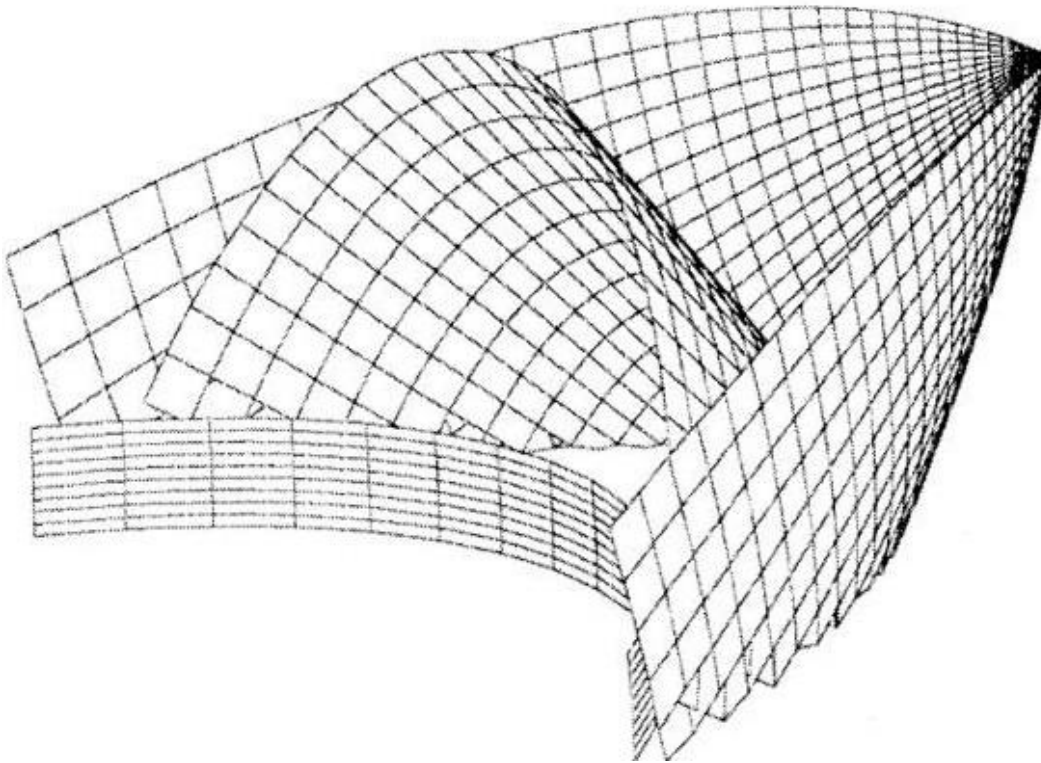
KALIIPERINMÄÄRITYS ÄÄNIMITTAUKSELLA



Yksi suuri tutkimustyö 1990-luvulla oli **kaliiperinmääritys** äänimittauksella. Työn sain perinnöksi T. J. Kukkamäeltä siirryttyäni Mittauspatteristoon. Sain mukaani valokopiot ja toiveen **modernisoida** hänen sodan aikana kehittämänsä menetelmä. Vieressä valokopio T. J. Kukkamäen 2.1.1943 Nenoselle esittelemästä dokumentista, jolla voitiin äänimittauksella määrittää ampuvan aseiden kaliiperi ja tyyppi.

Avainasemassa kaliiperin määrittämisessä on ammusallan tuloajan hyödyntäminen. Erityisesti **pamausero** (laukausäänen ja ammusallan aikaero) ampumalinjalla on ratkaiseva suure.

Kaavakuva ammusaallosta ja siihen liittyvästä suupamauksen aaltorintamasta.



Maanpinnalla ammusaalto etenee ellipsimäisenä rintamana, joka on suurella nopeudella terävä. Ammuksen nopeuden laskiessa lähelle äänen nopeutta, muuttuu tylpäksi ja lopulta lähes tasoaalloksi, jolloin koko aaltorintama etenee äänen nopeudella, eikä uutta kartiota synny.

Ammusaaltoa ei muodostu suurilla korostuskulmilla eikä myöskään tietyn sektorin ulkopuolella ampumalinjasta.

Oheisessa kaaviokuvassa on osa ylääänikartion (ammusaallon) vaippaa, jonka kärjessä on ammus. Lisänä kartion maaheijastus, joka joskus häiritsee havaintoja ja osa suupamauksen palloaallon rintamaa. Huom! Suupamausrintama sivuaa ylääänikartion vaippaa sen havaintosektorin reunalla.

KALIIPERINMÄÄRITYKSEN PERUSTEET ^{[11], [12], [13]}

Ampuvan aseiden kaliiperin määrittäminen kuuluu nykyään oleellisena osana kaikkiin akustisiin tiedustelujärjestelmiin. Määrittäminen ei perustu tietynlaiseen ominaiselle lausauksen tunnistamiseen vaan tykin **ammuksen lentoradan rekonstruoimiseen akustisten havaintojen avulla**. Äänimittauksella voidaan havaita tykin suupamauksen, ammusallan ja iskemän räjähdysäänien **tuloaika** havaintoasemalle.

Nykyään yksittäiset mikrofonit on korvattu mikrofoniryppäellä, jolloin jokaiselta asemalta saadaan myös tieto äänen tulosuunnasta.

Kun esimerkiksi ammuksen **lähtönopeus, lähtökulma ja ballistinen kerroin** saadaan laskettua, kaliiperi voidaan määrittää. Menetelmän periaatteet on yleisesti tunnettu jo vuosikymmeniä. Laskentakapasiteetin lisääntyminen on tuonut siihen uusia mahdollisuuksia. Sään vaikutuksia ei tässä tarkastella.

Tässä tutkimuksessa ei ollut tarkoitus kehittää käytännön menetelmää kaliiperin määrittämiseksi. Tähän tarkoitukseen riittää **teoreettisen perustan selvittäminen**.

Lähtölaukauksen ja ammusaallon aikaero (**pamausero**) riippuu ammuksen lähtönopeudesta ja hidastuvuudesta sekä havaintopaikan sijainnista ampumasuuntaan nähden. Tykistön akustisessa tiedustelussa on **ammusaalto normaalisti vakava haitta**. Tässä tapauksessa **ammusaallon sisältämää informaatiota voidaan hyödyntää ampuvan aseiden kaliiperin määrittämisessä**.

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että **suotuisissa olosuhteissa tehdyistä havainnoista voidaan aseiden kaliiperi määrittää tiedustelua hyödyttävällä tarkkuudella**.

Oma kysymyksensä sitten on, korvaavatko **uudet tiedustelumenetelmät** (dronet) kokonaan tiedustelun tältä osin. Vuosituhannen lopulla tämä kehitys ei ollut niin selvästi nähtävissä kuin tänä päivänä.

Garnierin vastuslaki:

$$F = i A \frac{p}{P_0} C(M)$$

i ammuksen muotokerroin, dimensioton suure

A ammuksen poikkipinta-ala m^2

p ilmanpaine $Pa (= N / m^2)$

P_0 taulukkoilmanpaine merenpinnassa = 99991.5 Pa

$C(M)$ Garnierin empiirinen vastusfunktion N / m^2

Määritellään

$c = i \frac{A}{m}$ ballistinen kerroin m^2 / kg

m ammuksen massa kg

$\Rightarrow$

$$F = m c \frac{p}{P_0} C(M)$$

Modifioitu Garnierin funktio, dimensioton suure:

$$C_{\text{mod}}(M, \rho, v_a) = \frac{C(M)}{\rho (M v_a)^2}$$

Nykyisin käytössä oleva vastuslaki:

$$F = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_D(M)$$

F vastusvoima $N = kg \, m / s^2$

ρ ilman tiheys kg / m^3

V ammuksen nopeus väliaineen suhteen m / s

A ammuksen poikkipinta-ala m^2

$C_D(M)$ ammuksen yksilöllinen vastusfunktio, dimensioton suure

$M = \frac{V}{v_a}$ Machin luku, dimensioton suure

v_a äänen nopeus m / s

Vaikka jo sodan aikana pystyttiin määrittämään tykkien kaliipereita, on menetelmän toimivuudesta esitetty epäilyjä jopa ballistikkojen taholta. Koska myös tulevaisuus näytti siltä, ettei tehtävään tarvittavaa kalustoa tule olemaan, tämä tutkimus on tarkoituksellisesti ollut lähinnä ns. 'feasibility study' eli **toteutettavuustutkimus**.

Ensimmäinen ja ratkaisevin tehtävä on varmistua, että mittausasemilla rekisteröidyistä äänihavainnoista voidaan **rekonstruoida ammuksen rata** riittävällä tarkkuudella. Avainkysymys on **ammusaallon tuloajan mallinnus**.

Pohjankankaan ammunnoissa on testattu, **miten hyvin laskennallisesti voi ennustaa** ammusaallon **tuloajan** sekä myös sen **vaakasuunnan**, kun ammuksen lentorata tunnetaan. Tulokset osoittivat, että ennusteet sopivat erittäin hyvin havaintoihin sekä tuloajan että suuntahavainnon osalta. ^[15]

Havaintojen tasoituksen tuntemattomat suureet: **aikavakio, tykin kaksi koordinaattia, vaakasuunta tykistä iskemään, lähtönopeus, koro (tai vaakanopeus)**, ja (Garnierin) **ballistinen kerroin**, yhteensä siis **7 tuntematonta**, joista **3 oleellisia**.

Matemaattisesti tämän kaltainen täydellinen seitsemän tuntemattoman systeemi on eräänlainen 'huojuva talo', jos sen haluaa ratkaista yhtenä kokonaisuutena. Syynä ovat tuntemattomien parametrien voimakkaat keskinäiset korrelaatiot.

Käytännössä kaliiperinmääritys on syytä jakaa kolmeen osaan. Ensiksi määritetään **tykin paikka** ja laukauksen **lähtöaika** äänimittausliuskan aikasytemissä.

Seuraavaksi vastaavalla tavalla **iskemän koordinaatit** ja **aika**. Nyt on käytetty havainnoista suupamauksen ja räjähdysäänen aikamerkit, joiden avulla seitsemästä vapausasteesta on saatu kiinnitettyä kuusi. Seitsemänneksi tuntemattomaksi parametriksi valitaan **ballistinen kerroin** (c).

Tykin ja räjähdyspisteen koordinaateista saadaan **ampumaetäisyys** (X) ja lähtöaikojen erotuksesta ammuksen **lentoaika** (T).

Kolmas tehtävä tykin ja iskemän määrittelyn jälkeen on **c :n määrittäminen**.

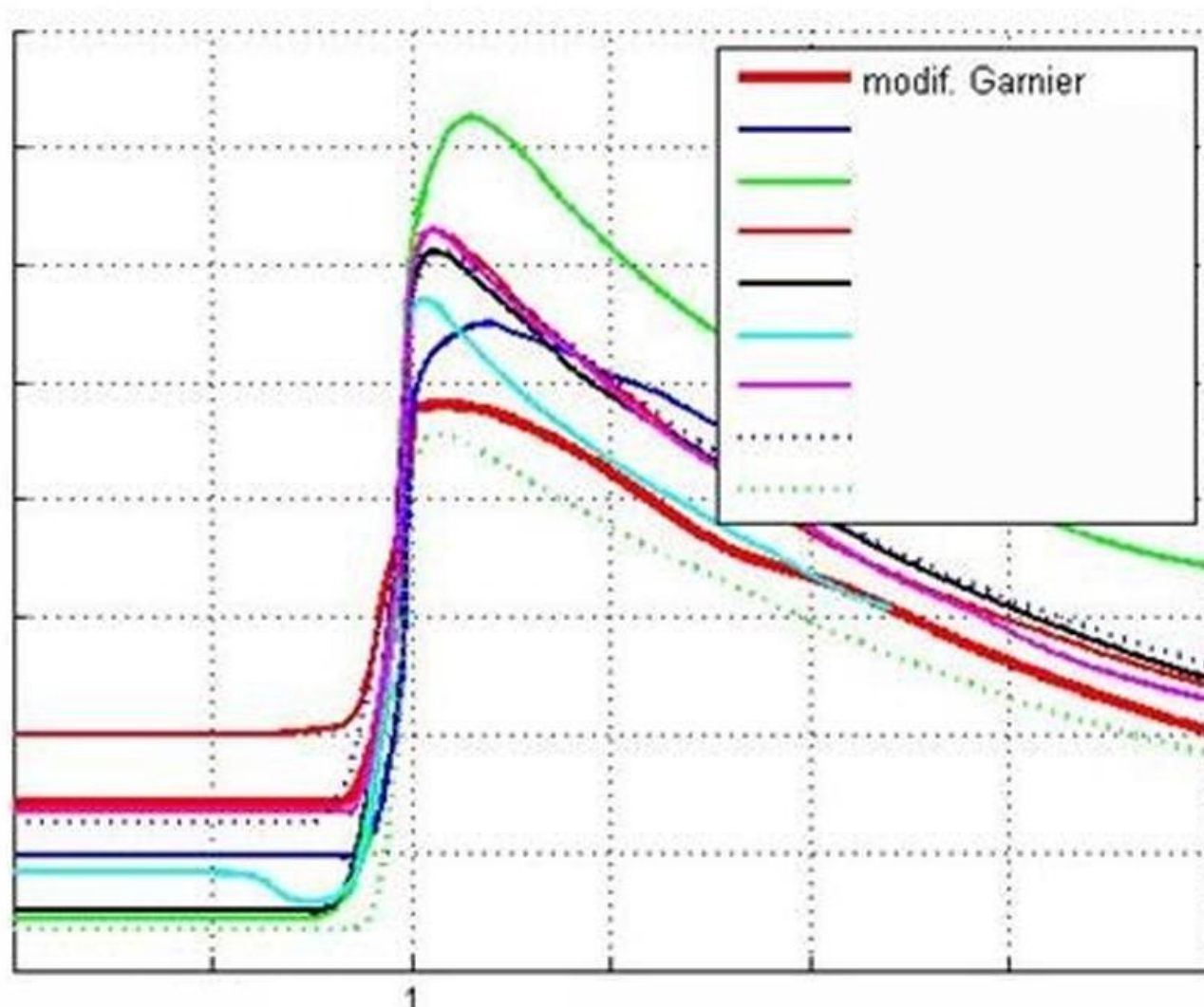
Jos c tunnetaan, voidaan aina laskea koro (k) ja lähtönopeus (v) siten, että annetut X ja T toteutuvat. **Tehtävänä on siten löytää sellainen c , joka antaa mahdollisimman hyvin havaintoihin sopivat ammusaaltojen ajat.** Tuloksena on mittausrintamasta riippumaton kolmikko (X, T, c) , jolle voi laskea tietokannan tunnetuille ammustypeille.

Näistä voi myös muodostaa kolmikon (v, k, c) , millä on se etu, että esimerkiksi haupitseilla on äärellinen määrä lähtönopeuksia käytettävien panosten lukumäärän mukaan.

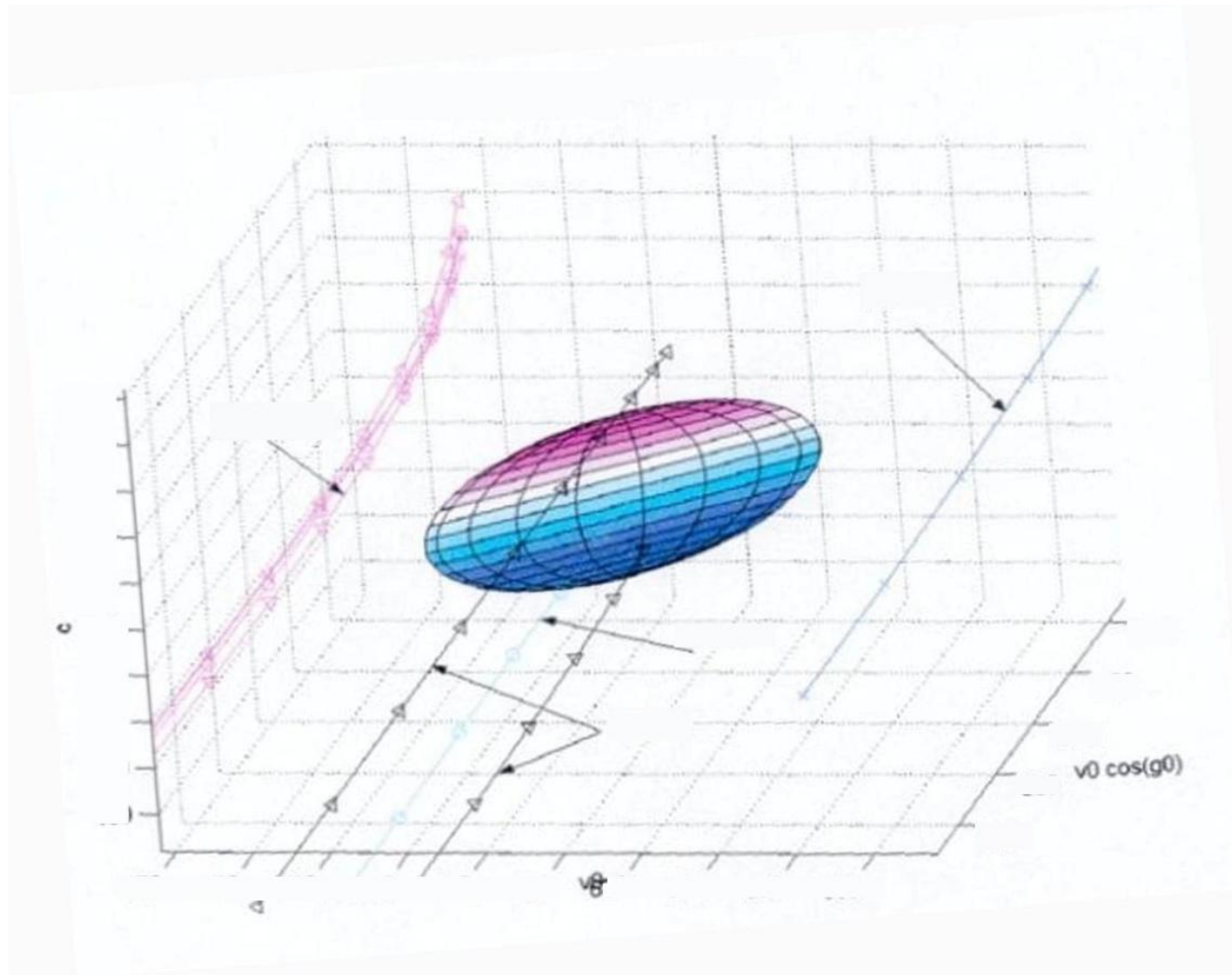
Tietokannan muodostamisen tarkempi kuvailu voidaan tässä sivuuttaa, koska se voidaan tehdä monellakin tavalla. Alempana on vain yksi havainnollinen esitys tietokannasta, missä on eri ammustyyppejä ja niiden panosvaihtoehtoja kuvaavia **käyriä** sekä yksi ratkaisua kuvaava **virhe-ellipsoidi** havainnollistamassa ratkaisun tarkkuutta.

Tunnetuille ammuksille tilanne on ongelmaton, mutta jos tiedusteltava ase ei ole tietokannassa, ratkaisussa on enemmän epävarmuutta.

Alla olevasta kuvasta saa käsityksen siitä, miten hyvin modifioitu Garnierin funktio suhtautuu muutamien valittujen vastusfunktioiden joukkoon. Voi siis odottaa, että Garnierin funktiolla voi approksimoida varsin hyvin todellista rataa.



Garnierin modifioitu funktio ja muutamia CD-funktioita vertailussa

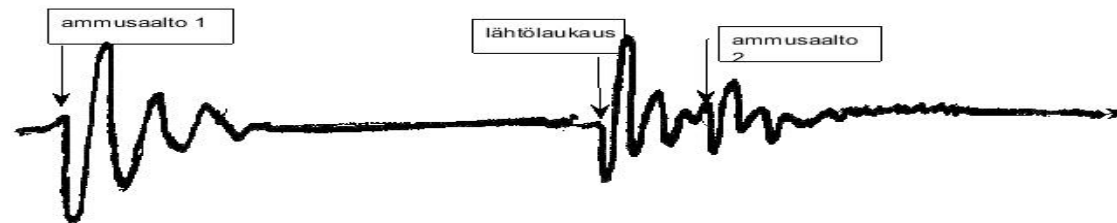


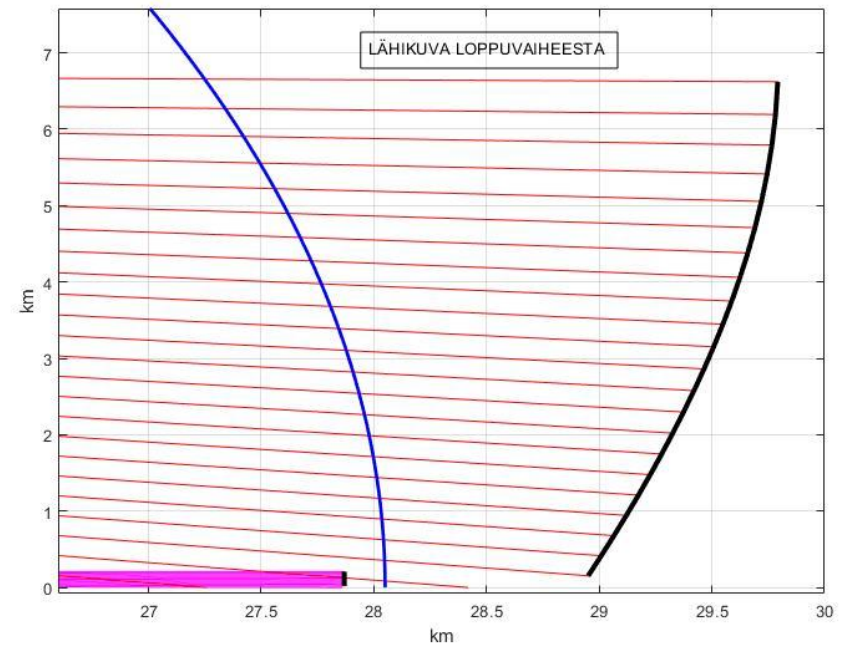
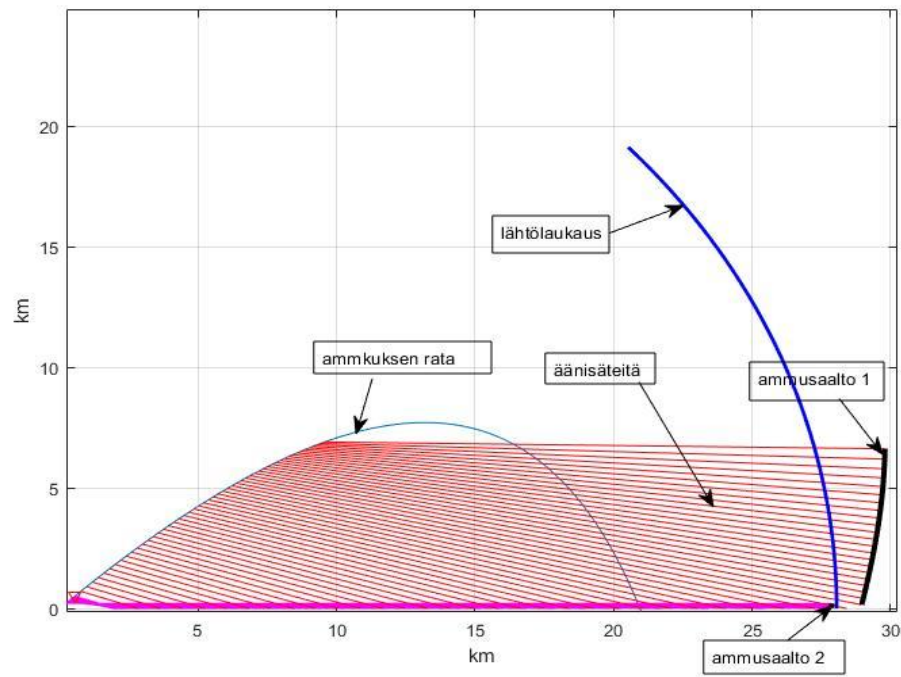
Ratkaisu $(c, v_0, v_0 \cos(g_0))$ ja siihen liittyvä virhe-ellipsi tietokannassa

Joskus aseiden tunnistaminen onnistuu lähtölaukauksen signaalikuva tarkastelemalla.

Kuriositeettina mainittakoon **raskaan raketinheittimen** lähtölaukauksen signaalikuva, jos se joskus saadaan näkyville. Rakettimoottorin kohinan lisäksi varsinaisen lähtölaukauksen pulssin jälkeen näkyy pieni lisäpulssi 0.2-0.5 sekuntia myöhemmin. Kyseessä on 'ylimääräinen' ammusaalto, joka syntyy kiihdytysvaiheessa raketin nopeuden kasvaessa yli äänen nopeuden.

Seuraavissa kuvissa nähdään havainnollisesti **rakettiaseelle tyypillisen** ilmiön muodostuminen.





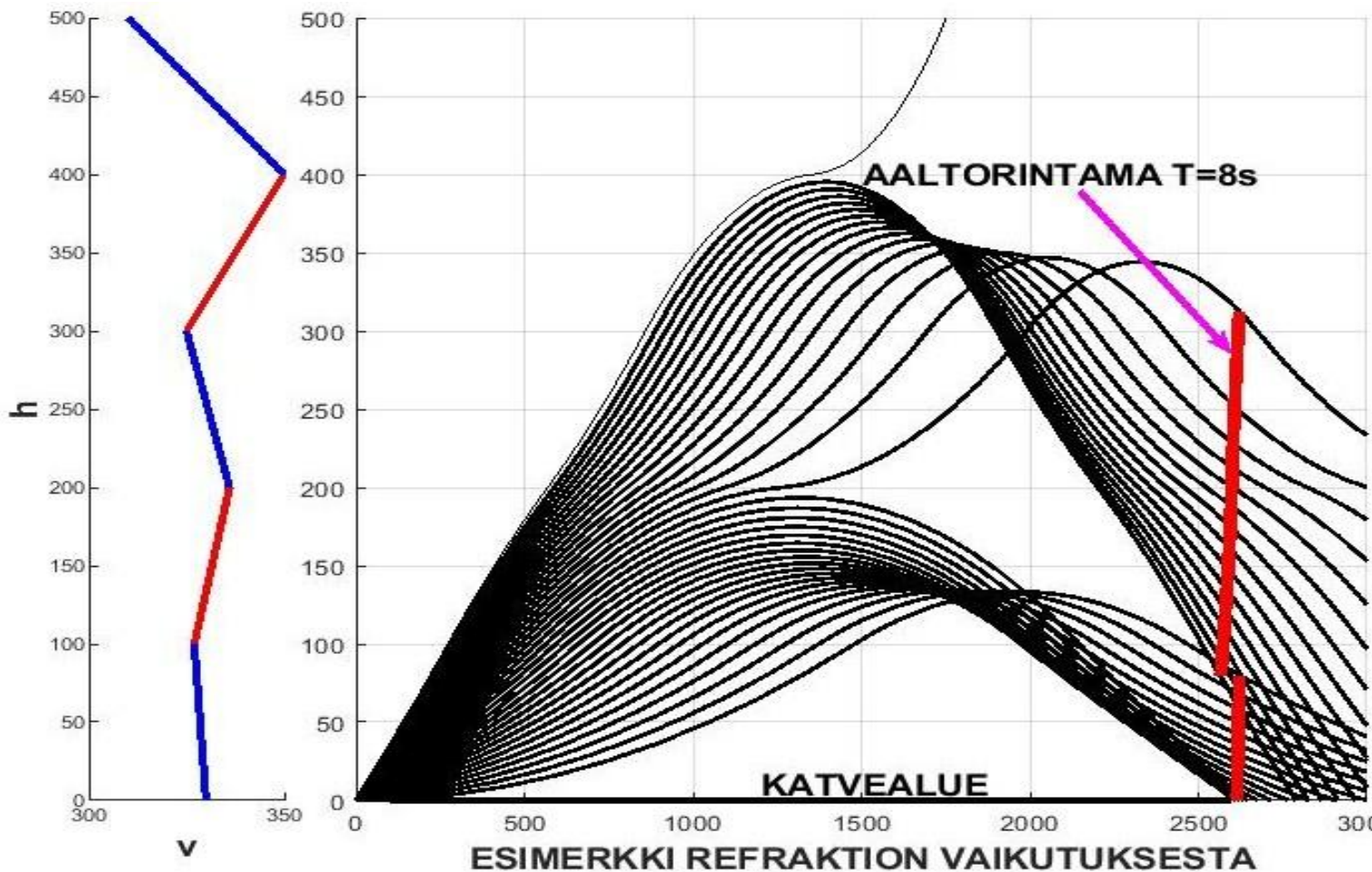
Ylimääräisen ammusaallon muodostuminen lähtölaukauksen jälkeen.

REFRAKTIOTUTKIMUS ^[11]

Jo varusmiesvaiheessa 1973 tuli esille kysymys **refraktio**n vaikutuksesta äänen etenemiseen. Aiheesta jätin 1980-luvun alussa Pääesikunnalle raportin ^[5], jossa osana oli äänen kulkuajan laskussa lämpötila- ja tuuligradientin huomioiminen. Käytännön ongelmana oli se, ettei gradientteja voitu yleensä mitata. Siihen olisi tarvittu luotaussää, jolla sitten olisi saanut tarvittavat arvot kerroksittain.

Työssäni Niinisalossa keräsin havaintomateriaalia ja aloin systemaattisesti kehittää äänimittaukselle soveltuvia **käytännön laskentamenetelmiä** luotaussäähän perustuen. Työn tuloksena valmistui v. 1996 **väitöstutkimus**, jossa samaa matemaattista mallinnusmenetelmää voitiin soveltaa myös geodeettiseen refraktioon.

Äänisäteiden reitti voidaan laskea luotaussäystä joko **kerroksittain** vakiogradienteilla tai sitten **sovittamalla useampaan kerrokseen sopivia funktioita**.



Vasemmalla äänen nopeuden profiili. Punaisella merkitty **inversiokerrokset** (positiivinen nopeusgradientti).

Katvealueelle ääni etenee käytännössä nopeasti vaimenevana pinta-aaltona sekä sirontana

Kuvassa merkittynä aaltorintama 8 sekuntia laukauksesta. Nähdään selvästi kaksi eri rintamaa, jotka osittain **lomittuneita**, eli maanpinnalle saa-

puu kaksi pulssia eri aikoina (monitie-eteneminen). Myös säteiden **tihentymät** maanpinnalla erottuvat selvästi (hyvä kuuluvuus).

Varjoalueet, joita syntyy helposti vastatuuleen sekä erityisesti yläinversiossa, hoituvat helposti käyttämällä **säämaston dataa**. Kyseessä on nopeasti vaimeneva **pinta-aalto**.

Kulkuaikojen ja teoreettisten kulkuetäisyyksien laskentakaavat ovat melko yksinkertaisia ohjelmoida, mutta joko luotausdatan ja/tai maaheijastusten aiheuttamat **useat reitit** muodostavat oman ohjelmointitehtävän.

Refraktiotutkimuksessa, jolla tavoitteena on parantaa äänen efektiivisen etenemisnopeuden ennustettavuutta, on pyritty käyttämään hyväksi **sääluotauksia**. Näitä on ollut käytettävissä yleensä vain suurempien harjoitusten yhteydessä.



SODAR Sodankylän lentokentällä kesäjaloilla.

Sään hallinnan parantamiseksi hankittiin ranskalaiselta Remtech-yhtiöltä **akustinen doppler-tuulitutka (SODAR)**. Laite lähetti tasoantennin kennoista linnun li-
verrystä muistuttavaa pulssimaista ääntä. Palaavien pulssien taajuusmuutoksesta laskettiin tuulikomponentit.

Vieressä kuva SODARin antenniosasta kesäjaloilla.

Laite mittasi tuulen suunnan ja nopeuden ainakin puolen kilometrin korkeudelle saakka kerroksittain. Valitettavasti edes Ranskasta tullut asentaja ei saanut sitä toimimaan luotettavasti.



MUU AKUSTINEN TIEDUSTELU

Akustisessa tutkimustoiminnassa alkoi 1990-luvulla mielenkiinto painottua **akustiseen yleistiedusteluun** pelkän tuliasemien paikantamisen sijaan. Sitä varten rakennettiin kaksi neljän mikrofonin telinettä, joista toinen oli asennettu kolmijalalle. Mikrofonien välimatka oli **1.5 m** ja yksi niistä oli muita korkeammalla, jotta päästiin käsiksi tulosuunnan korkeuskulmaankin. Kolmijalalla voitiin käyttää myös 0.3 m välejä (kuten kuvassa). Mikrofonit olit kyt-

ketty datatallentimeen ja sitä kautta tietokoneelle.

Laitteistoa voitiin käyttää erilaisten **akustisten herätteiden mittaamiseen** ja niiden **tunnistamiseen**.

Uravalvontaa varten mitattiin **panssarivaunujen** ja raskaiden **ajoneuvojen** herätteitä (Leijona-harjoitus 1994).

Panssariprikaatissa kokeiltiin myös akustista maalitaulua panssareiden tykkien kohdistamiseen. Menetelmää testattiin Hätilässä. Mikrofonit (3) sijoitettiin taulun tasoon sen ympärille ja yksi eri tasoon lähemmäs asetta. Mikrofonivälit olivat n. 5 m. Ammuttiin sarja 30 mm konetykillä ja talletetuista pulsseista laskettiin kranaatin osumakohdat ja verrattiin niitä taulun reikiin. Menetelmä toimi hyvin tarkasti. Asia ei edennyt käytännössä sen pidemmälle.

Ilmavalvontaan liittyen mitattiin sekä **lennokkien** että **sotilaskoneiden** akustisia herätteitä (mm. International Air Show). TTKK:lla oli projekti, missä kerättiin akustista signaalidataa Pirkkalan kentän lentoliikenteestä.

Suuri osa työstä oli alan kansainvälisen kehityksen seuraamista.

Ruotsalaiset kävivät jo 1980-luvulla esittelemässä omaa ääni mittauslaitteistoaan, mutta **kaapeliyhteyksiin** perustavana se ei ollut kelvollinen.

Akustisista tykistön paikantamisjärjestelmistä kokeiltiin Etelä-Afrikkalaista **AABS** järjestelmää ^[9], joka oli Rovajärvellä kokeiltavana syksyllä 1993 ja seuraavana talvena. Laitteisto oli monessa suhteessa kelvollinen, mutta päätöksien aika ei ollut silloin.

Englantilainen sota-alueellakin käytössä ollut **HALO**-järjestelmä oli myös kokeiltavana, mutta siinä vaiheessa jo oli päätetty lopettaa äänimittaus.

Infraäänitutkimuksiin tutustuin Tiedustelupatteriston komentajan evl. Pentti Kuosan kanssa 1994 Sveitsissä ja Ruotsissa Uumajan yliopistossa. Uumajassa löydettiin Kittilän massaräjäytysten paineaallot tallennuksista, kun he saivat räjäytysten ajat.

Infraäänitiedustelun ulottuvuus jopa tuhansien kilometrien päähän tarjoaa runsaasti yleistiedustelua tukevaa tietoa. Samoin apua tieteellisiin tutkimuksiin (esim. yläilmakehä). Infraäänellä on Euroopassa seurattu mm. Balkanin sodan **yliaänilentojen** esiintyvyyttä ja Persianlahden sodassa **palavia öljylähteitä. Suuret raketit.**

Tarkka-ampujien akustinen paikannus yleistyi 1990-luvulla. Suurkaupunkien slummeja valvovat poliisit asensivat laitteistoja ensin ja sitten seurasivat sotilaat.

Akustisia sensoreita voidaan asentaa **lennokkeihin** ja ääniherätteeseen hakeutuviin **ohjuksiin.**

Miinoissa käytetään akustisia sensoreita joko laukaisuun tai kokonaisen järjestelmän 'unilukkarina', kuten helikopterimiinoissa.

Jo 1980-luvulla kehiteltiin ei-tappavia akustisia aseita sekä sotilaallista toimintaa hämääviä tai yhteiskuntarauhaa häiritseviä **akustisia harhautusmenetelmiä** (AI!).

Akustisia laitteita käytetään monenlaisiin **vartiointitehtäviin** mm. varikoilla ja esimerkiksi lentokentillä sodan aikana **pommikuoppien** nopeaan paikantamiseen laajalla alueella. Myös **maahanlaskualueiden** valvontaan.

Neuraalilaskenta ja neuroverkot sekä hahmontunnistus olivat viimeistään 1990-luvulla uteliaan **seurannan kohteita**. Äänimittauksessa oli tarve opettaa laskin tunnistamaan ja eliminoimaan signaalista tuulihäiriöt sekä ammusaallot (jos niitä ei tarvittu). Lisäksi oli tarve suuren tulentiheyden aikana etsiä automaattisesti samaan laukaustapahtumaan kuuluvat merkit sekä kerätä paikannuksista reportointikelpoisia maaleja. Käytännön sovellusten tasolle nämä ajatukset eivät ehtineet realisoitua vuosituhannen vaihteeseen mennessä.

ÄÄNIMITTAUS LOPPUI

Vuosituhanen lopulla perustettiin **työryhmä**, johon kuului edustajia puolustusvoimien puolelta Tiedustelupatteristosta, Teknillisestä tutkimuslaitoksesta, Materiaalilaitoksesta, Sähköteknisestä tutkimuslaitoksesta. Siviilipuolelta edustettuina olivat TTKK ja VTT.

Tarkoituksena oli määritellä uuden akustisen **järjestelmän vaatimukset**. Vaihtoehtoina olivat uuden valmiin ostaminen ulkoa, lähteä kehittämään omaa Suomessa tai yhteistyössä sopivan kumppanin kanssa.

Loppuraportti ^[14] luovutettiin v. 1999 kenr.maj. Kainulaiselle. Käytännön toimiin raportti ei johtanut ja koko **äänimittaus lopetettiin**. Vuoden 2014 organisaatiouudistuksessa uudessa tutkimuslaitoksessa Lakialassa ei ollut enää akustisen tiedustelun **tutkimustakaan, joka ulkoistettiin VTT:lle**.

Käytettyjä lähteitä:

- [1] Ahti ja Jyri Paulaharju: Perkjärveltä Niinisaloon. Mittauspatteriston historia 1924-1974.
- [2] Jyri Paulaharju: Mittauspatterista Tiedustelupatteristoon 1924-1994.
- [3] Äänimittauskokeilut Kittilässä 1988 – 1990: Ossi Ojanen, MittPsto 1991, sisäinen kokeilukertomus.
- [4] ЗВУКОМЕТРИЯ, ПОСОБИЕ ДЛЯ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ УЧИЛИЩ РККА СССР МОСКВА — 1938 *Головин, Никитин и Таланов* (Äänimittausopas Puna-armeijan tykistökouluja varten)
- [5] Ossi Ojanen: Äänimittaushavaintojen käsittelystä, PE/Ktos, 1984.
- [6] Pekka Majuri: Mittaustiedustelun kehitysnäkymiä: Mittamies 1985.
- [7] Pekka Kukko: Kukkopillistä piirumittariin, Mittamies 1987.
- [8] Hannu Merilaita: Niinisalon maasääsasema avattu, Mittamies 1997
- [9] Hannu Rajahalme: Tiedustelu- ja sääalan kehitys v. 1993, Mittamies 1994

- [10] Ossi Ojanen, Raimo Poutala: Äänimittaus tänään – huomenna, Mittamies 1987.
- [11] Refraction in a Layered Medium with Applications to Geodesy and to Atmospheric Acoustics: Ossi Ojanen, Acta Polytechnica Scandinavica, 1996
- [12] Ballistik: Hermann Athen, Quelle & Meyer, Heidelberg 1958
- [13] Tykistön akustisen kaliiperinmäärityksen perusteet, tutkimusraportti PvTeknTL, 1999
- [14] Akustisen valvonta- ja mittausjärjestelmän tutkimusvaihe. Loppuraportti ETS 61 / 27 / D / 1, 18.6.1999
- [15] Akustisen tutkimuslaitteiston kokeilu läntisen maanpuolustusalueen tykistön ja kranaatinheittimistön ampumaharjoituksessa 22-27.11.1999. Raportti 28.01.2000.
- [16] Pekka Majuri, Sotakorkeakoulun diplomityö 1983.
- [17] Mittaustiedusteluopas (Mtied-opas) 1983.
- [18] Ääni- ja valomittauksen opas 1942.