

Ampumamelun arviointi

Kirjallisuusselvitys

Jaana Jokitulppo
Tapio Lahti
Timo Markula

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU



Ampumamelun arviointi

Kirjallisuusselvitys

**Jaana Jokitulppo
Tapio Lahti
Timo Markula**

Helsinki 2007

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Suomen ympäristö 39 | 2007
Ympäristöministeriö
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: Seija Malin
Kansikuva: Tapio Lahti

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

ISBN 978-952-11-2880-6 (nid.)
ISBN 978-952-11-2881-3 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)



Painotuote

ESIPUHE

Ympäristöministeriö asetti 15.9.2005 työryhmän, jonka tehtävänä oli ampumatoiminnan ympäristövaikutusten kannalta tarkastella puolustusvoimien ampumaratojen ja ampuma-alueiden ympäristön maankäyttöä ja ympäristölupamenettelyä. Ryhmä piti tarpeellisena teettää tehtävänsä tueksi tämän kirjallisuusselvityksen ampumamelun vaikutusten arvioinnista. Selvityksen keskeisenä aiheena oli ampumamelun ympäristössä aiheuttaman häiritsevyyden arviointiin käytettävät tunnusluvut.

Ampumaratatyöryhmän mietintö valmistui kesäkuussa 2006 (Suomen ympäristö 38/2006). Eräitä näkökohtia ja katkelmia tämän selvityksen luonnoksesta ehdittiin ottaa siinä huomioon.

Tämän selvityksen tilaajina olivat ympäristöministeriö ja pääesikunnan huolto-osasto (tilaukset: YM137481/2006, 3.3.06, ja R798/16/D/II, 17.2.06). Tilaajien taholta työtä valvoivat ympäristöneuvos Sirkka-Liisa Paikkala (YM) ja ympäristöylitarkastaja Raakel Jaloniemi (PE). Lisäksi työtä ohjasivat asiantuntijoina TkT Rauno Pääkkönen (Työterveyslaitos, Tampere) ja ympäristöteknikko Asko Parri (Itäisen maanpuolustusalueen esikunta).

Selvityksen pääasialliset tekijät olivat FM Jaana Jokitulppo ja TkT Tapio Lahti. DI Timo Markula teki osittain yhtäikaa selvityksen kanssa omaa diplomityötään, jonka aiheena oli ampumamelun leviäminen, mittaus ja arvionti. Työ tuotti samalla tähän selvitykseen runsaasti hyödyllistä täydentävää tietoa ja aineistoa.

Ympäristöministeriö kiittää kaikkia julkaisun toteuttamisessa mukana olleita.

Helsingissä marraskuussa 2007
Ympäristöministeriö

SISÄLLYS

1 Johdanto	10
1.1 Tausta	10
1.2 Tavoitteet ja rajaus.....	11
2 Ampumamelu ympäristömeluna	12
2.2 Meluallistus ja melun häiritsevyys	12
2.3 Ampumamelun altistus ja vaste	14
2.4 Ampumamelun haittojen erityispiirteitä	15
3 Ampumamelun akustiikkaa	19
3.1 Synty ja leviäminen	19
3.2 Laukausäänen fysikaaliset ominaisuudet	19
3.2.1 Voimakkuus	19
3.2.2 Impulssien muoto ja kesto.....	20
3.2.3 Spektri	21
3.3 Äänieristys, tärinä ja räminä	23
3.3.1 Rakennuksen ulkovaipan ilmastieristys	23
3.3.2 Laukausten synnyttämä tärinä ja räminä	24
3.3.3 Tärinän aiheuttamat rakenneauriot	24
4 Ampumamelun äänekkyyden ja altistuksen arviointi	26
4.1 Ajallinen vaihtelu.....	26
4.1.1 Kuuloaistin aikaintegrointi.....	26
4.1.2 Aikapainotukset	27
4.1.3 Impulssimaisuus	28
4.2 Taajuussisältö	29
4.2.1 Kuuloaistin herkkyys taajuuden suhteen	29
4.2.2 Taajuuspainotukset	30
4.3 Kokonaismeluallistus	31
4.3.1 Keskiäänitaso	31
4.3.2 Äänialtistustaso	32
5 Ampumamelun häiritsevyyden tutkimukset	35
5.1 Lähtökohtia ja menetelmiä	35
5.2 Fysikaaliset ja aistimustekijät	37
5.2.1 Äänitasojen kynnysarvoja.....	37
5.2.2 Kokonaismeluallistus, kevyet aseet.....	37
5.2.3 Kokonaismeluallistus, raskaat aseet.....	39
5.2.4 Laukausten lukumäärä.....	41
5.2.5 Taajuuspainotus.....	42
5.2.6 Pienitaajuinen melu.....	44
5.2.7 Impulssimaisuus	47
5.2.8 Tärinä ja räminä.....	48
5.3 Muut tekijät.....	49
5.3.1 Esiintymisen ajankohta	49
5.3.2 Altistumisympäristö	50
5.3.3 Ihmisen toiminnan vaikutus	51
5.3.4 Yksilölliset tekijät	51

6	Ampumamelun sääntely	52
6.1	Kevyet aseet, ohjearvoja.....	52
6.2	Raskaat aseet, ohjearvoja ja suosituksia.....	53
7	Synteesi	55
7.1	Ratkaistavia kysymyksiä.....	55
7.2	Enimmäistaso, kokonaisaltistus ja taajuuspainotus.....	55
7.3	Ampumameluun tehtävät korjaukset	56
	7.3.1 Impulssikorjaus	57
	7.3.2 Vuorokaudenajan korjaus.....	57
	7.3.3 Räminäkorjaus.....	59
8	Päätelmät	60
8.1	Häiritsevyystekijät.....	60
8.2	Mittaussuureet ja korjaukset	60
8.3	Johtopäätökset ja suosituksia.....	61
	Lähteet.....	63
	Kuvailulehti.....	67
	Presentationsblad	68
	Documentation page	69

KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

Häiritsevyys	Häiritsevyydellä tarkoitetaan tekijää, jonka yksikkö tai ryhmä koee kielteisenä, epämiellyttävänä ja ei-toivottuna. Häiritsevyys on kuulijasta riippuva melun piirre; se kuvaa melun ihmisessä aiheuttaman negatiivisen reaktion eli vasteen suuruutta. Usein häiritsevyys yhdistetään melun äänekkyteen ja meluisuuteen. Äänekkyys ja osittain meluisuuskin kuvaavat kuitenkin äänen fysikaalisia ominaisuuksia. Häiritsevyyteen vaikuttaa näiden ohella myös muita tekijöitä.
Äänekkyys	Äänen subjektiivisesti arvioitu voimakkuus, verrattuna ilmoitettuun vertailuääneen (yleensä 1 kHz äänes tietyllä äänipainetasolla).
Tasosuure	Fysikaalisen suureen (kuten äänipaineen) esitys logaritmin avulla. Esimerkkejä: äänipainetaso, äänitehotaso, äänienergiataso. Tunnus: L_x , missä x on kyseisen suureen tunnus. Esimerkkejä: painetaso L_p , p on paine; energiataso L_E , E on energia. Yksikkö: dB
Desibeli	Kaikkien tasosuureiden yksikkö, tunnus: dB.
Äänipainetaso	Äänipainesignaalin tehollisarvo, ilmoitettuna tasosuureena. Tunnus: L_p , p on äänipaine. Yksikkö: dB
Tehollisarvo	Vaihtelevan fysikaalisen suureen ajallisen neliökeskiarvon neliöjuuri.
Taajuuspainotus	Äänipainesignaalin suodatus, joka pyrkii jäljittelemään korvan toimintaa vaimentamalla pieniä ja suuria taajuuksia. Käytössä olevia taajuuspainotuksia ovat A ja C. (Joskus myös Z tai "lineaarinen" mainitaan painotuksena, mutta ne tarkoittavat samaa kuin ei painotusta.)
Aikapainotus	Äänipainesignaalin tehollisarvon ilmaisu, lyhyeltä aikaväliltä <i>liukuen</i> integroiden (neliökeskiarvoistaen). Aikapainotuksia ovat S (slow), F (fast) ja I (impulse). F-aikapainotus (integrointiaika: 125 ms) vastaa parhaiten kuuloaistissa tapahtuvaa lyhytaikaisen äänen äänekkyden arviointia. Ampumamelulle käytetään kuitenkin yleisesti myös nopeampaa painotusta I (35 ms). Hitaasti vaihtelevalle melulle saatetaan joskus käyttää aikapainotusta S (1 s).

Äänitaso	Taajuuspainotettu tehollinen äänipainetaso; joko aikapainotettu eli liukuen integroitu tai koko tarkasteltavalta ajalta integroitu (neliökeskiarvostettu).
Keskiäänitaso	Vaihtelevan äänen tehollinen taso, joka on integroitu (neliökeskiarvoistettu) koko tarkasteltavalta ajalta. Sisältää yleensä taajuuspainotuksen. Muita nimiä: ekvivalentti äänitaso, ekvivalenttitaso. Tunnus: $L_{X_{eq}}$ missä X on taajuuspainotus. Esimerkkejä: A-keskiäänitaso $L_{A_{eq}}$, C-keskiäänitaso $L_{C_{eq}}$. Yksikkö: dB
Äänialtistustaso	Aikarajoitetun äänen signaalienergiaan verrannollinen taso eli kertyneen annoksen taso. Se on integroitu, mutta ei keskiarvoistettu, koko tarkasteltavalta ajalta. Voidaan matemaattisesti tulkita myös keskiäänitasoksi, joka on normalisoitu mittausajan sijasta 1 s keston. Sisältää taajuuspainotuksen. Tunnus: $L_{X_{E}}$ missä X on taajuuspainotus. Esimerkkejä: A-äänialtistustaso $L_{A_{E}}$, C-äänialtistustaso $L_{C_{E}}$. Muu (epästandardi, ei-suositeltava) tunnus: SEL. Yksikkö: dB
Enimmäisäänitaso	Liukuvan äänitason suurin arvo, esim. AF-enimmäisäänitaso $L_{AF_{max}}$. Enimmäisäänitaso on yhden tietyn melutapahtuman aiheuttama suurin äänitaso. Se ei ole yleistettävissä muihin melutapahtumiin.
Huippuäänitaso	Suurimman hetkellisen äänipaineen esitys tasosuureena; äänipaine on yleensä taajuuspainotettu. Tunnus: $L_{X_{peak}}$ missä X on taajuuspainotus. Esimerkkejä: A-huippuäänitaso $L_{A_{peak}}$, C-huippuäänitaso $L_{C_{peak}}$. Yksikkö: dB Huom: "peak" ei ole aikapainotus.
Impulssimelu	Lyhytkestoinen ja taustasta kuuluvasti erottuva isku- tai purkausääni, joka voi toistua. Tunnuksomaista: äkillinen alku, lyhyt äänitason vakio-osuus nousun jälkeen (0–100 ms) ja melko nopea loppuvaimentuminen; impulssien toistuvuus on enintään n. 20–30 tapahtumaa sekunnissa.
Impulssimaisuus	Lyhytaikaisen äänen äkillistä ja voimakasta äänekkyyttä kuvaava fysikaalinen mitta, joka riippuu ääni-impulssin aaltomuodosta, lähinnä impulssin kestosta ja aallon verhoikäyrästä. Muodostetaan mittaamalla vähintään kaksi impulssin muotoa kuvaavaa tasosuureta tai muuta parametria. Ei ole sama kuin impulssikorjaus, mutta tarkoituksena on, että impulssimaisuus korreloisi mahdollisimman hyvin impulssikorjauksen kanssa.

Impulssikorjaus	Korjaus, joka lisätään impulssimelun keskiäänitason mitaus- tai laskentatulokseen. Tarkoituksena on muuttaa keskiäänitason lukuarvoa niin, että korjattu arvo on suoraan sama kuin yhtä häiritsevilla muilla tavallisilla ympäristömeluilla, kuten liikennemelulla. Perustuu koehenkilöiden laboratoriossa tekemiin vertaileviin kuuntelukokeisiin.
Meluarviotaso	Keskiäänitaso, johon on lisätty melun häiritsevyyttä edustava korjaus, kuten ajallista impulssimaisuutta edustava impulssikorjaus tai spektrin äänestäisyttä edustava kapeakaistakorjaus. Määritelty standardissa ISO 1996 (engl. <i>noise rating level</i>).
Melupäästö	Ampumamelulla: aseiden tai räjähteen äänienergia ilmoitettuna tasosuureena eli äänienergiatasona (muilla melulajeilla melupäästö on yleensä äänitehotaso). Tunnus: $L_{E, E}$ on äänienergia, vertailutaso: 1 pJ (pikojoule). Yksikkö: dB
Räminä	Sekundäärinen ääni, joka syntyy, kun ilmaääni ensin saa rakenteet, rakenneosat tai esineet täriseämään (värähtelemään) ja kun nämä sitten edestakaisin liikkueessaan lyövät alustaan tai toiseen kappaleeseen (engl. <i>rattle</i>).
Kevyt ase	Aseet, joiden kaliiperi <12,7 mm.
Raskas ase	Aseet, joiden kaliiperi $\geq 12,7$ mm, räjähteet sekä välineet, jotka sisältävät räjähdysainetta yli 60 g TNT:tä vastaavan määrän.

1 Johdanto

1.1

Tausta

Ampumamelu voidaan määritellä ja rajata yhtenä ympäristömelun lajina: se on melua, joka syntyy siviili- tai sotilasampumaradoilla sekä sotilasampuma-alueilla ja joka on kuultavissa niiden ulkopuolella. Sen aiheuttavat ampuma-aseiden laukaukset, lentävät ja maaliin osuvat ammuksiset sekä niihin rinnastettavat räjäytykset.

Ampumamelu poikkeaa monissa suhteissa huomattavasti muusta ympäristömelusta. Yhden laukauksen tai räjähdysten ääni on hyvin lyhyt. Melu on hetkellisesti voimakasta, raskaimpien aseiden melu äärimmäisen voimakasta. Melu leviää laajalle ja kuuluu kauemmaksi kuin muut ympäristömelun lajit, lentomelua osin lukuun ottamatta. Voidaankin sanoa, että ampumamelulla on omat hyvin erityiset, mutta toisaalta melko vakioina pysyvät ominaispiirteet. Tämä tekee ampumamelun fysikaalisten ominaisuuksien kuvaamisesta ja sen äänekkyyden mittaamisesta suhteellisen helppoa. Tarvittavia suureita ja parametrejä on rajallinen määrä ja niiden vaihteluväli on usein suppea.

Ampumamelun haittojen arviointia on kuitenkin usein pidetty ongelmallisena. Äänen akustisten, objektiivisesti mitattavissa olevien ominaisuuksien osalta arviointi on selväpiirteistä ja periaatteessa yksinkertaistakin. Hankaluudet ovatkin pääosin muissa häiritsevyyteen ja muihin haittoihin vaikuttavissa tekijöissä.

Ympäristömelun haitat yleensä tunnetaan hyvin. Vaikutuksista ja niiden arvioinnista on suomeksikin saatavilla kattavia yleiskatsauksia (Jauhiainen ym. 1997, Pesonen 2005, Jauhiainen ym. 2007). Sitä vastoin erityisesti ampumamelun vaikutuksia, häiritsevyyttä ja arviointia käsittelevä yhteenvedokirjallisuus on maailmanlaajuises-tikin varsin niukka (Arntzen 1984, NATO 2000).

Ampumamelun vaikutuksia on tutkittu mm. Ruotsissa, Saksassa, Alankomaissa, Yhdysvalloissa ja Australiassa. Määrällisesti tutkimustiedot ampumamelun häiritsevyydestä ovat vähäisiä muuhun ympäristömeluun verrattuna. Käytetyt arviointimenetelmät ovat kuitenkin viime vuosina vakiintuneet, mikä helpottaa yleiskuvan muodostamista.

Kevyiden aseiden melun osalta nykytietämys vaikutuksista näyttää suhteellisen vakiintuneelta. Useissa maissa sille on asetettu erityiset ohjearvot. Raskaiden aseiden osalta tilanne on jossakin määrin epäselvempi. Tiedot vaikutuksista ovat suppeampia, ja sääntely on vähäisempää.

Tavoitteet ja rajaus

Tämän kirjallisuusselvityksen tarkoituksena on koota ja arvioida uusin tietämys ampumamelun haittojen, erityisesti sen häiritsevyyden arvioinnista ympäristön kannalta. Selvityksessä käsitellään sekä kevyiden että raskaiden aseiden ja niihin rinnastettavien räjähteiden melua. Yliäänipamauksia koskeneiden tutkimusten tulokset sopivat usein myös raskaiden aseiden melulle.

Selvityksen päätavoitteena on mahdollisuuksien mukaan seuloa esiin, kuvata ja punnita sopivimpia kriteerejä ampumamelun haitallisuuden arvioimiseksi. Käytännön tavoitteena on esittää, mitkä lukuisista eri äänitasosuureista edustavat parhaiten ampumamelun aiheuttamia häiriöitä. Yhdeksi keskeisimmistä kysymyksistä voisi muodostua, mikä olisi ampumameluun tehtävä korjaus tai muunnos, jos sitä haluttaisiin verrata muihin tavallisempiin ympäristömelun lajeihin ja pyrkiä soveltamaan ampumamelulle muiden melulajien ohjearvojen tyyppistä arviointimenettelyä.

Ampumamelun aiheuttama kuulovaurion riski ei sisälly tähän selvitykseen, eikä tässä myöskään käsitellä psykologista vastetta ja subjektiivisten, yksilöllisten havaintojen ”mittaamista” menetelmineen ja kyselyineen. Pääpaino on akustisten suureiden avulla tehtävässä arvioinnissa.

Tutkimusten tuottamat tiedot ampumamelun annos-vastesuhteesta ovat varsin niukkoja. Alustavasti sellaisia on kuitenkin jonkin verran yritetty muodostaa. Ampumamelun – niinkuin muunkin ympäristömelun – häiritsevyyden tutkimuksia tehdään pääsääntöisesti haastatteleamalla koehenkilöitä laboratoriossa tai kentällä (esimerkiksi kodeissa) koetun altistuksen jälkeen. Kyselyissä käytetyt menetelmät vasteen arviointiin ja sen liittämiseen altistuksen ominaisuuksiin ovat ampumamelun tapauksessa suhteellisen vakiintuneita. Niitä ei tässä selvityksessä käsitellä tarkemmin, vaan rajoitutaan vain referoimaan tutkijoiden tai tutkimusryhmien saamia tuloksia ja tekemiä johtopäätöksiä. Niissä kiteytettyjä riippuvuuksia voidaan hyvin nimittää (alustaviksi, ehdotetuiksi) annos–vastesuhteiksi.

Tässä selvityksessä käsitellään myös erityisesti pienitaajuisen melun vaikutusten arviointia siltä osin, kuin ne liittyvät raskaiden aseiden meluun. Lisäksi käsitellään ampumamelun aiheuttamaan häiriövaikutukseen liittyviä muita tekijöitä, kuten tärinää ja räminää.

Lähdekirjallisuudessa on melun kuvaamiseen käytetty aikojen kuluessa hyvin monia eri suureita ja jopa suureiden esitystavat ovat vaihdelleet. Selkeää yhtenäistä linjaa kuvaamaan eri mittaussuureita ei ole ollut, mikä on hankaloittanut kokonaisuuden arviointia. Tässä selvityksessä eri tutkijoiden käyttämät mittaussuureet on mahdollisimman tarkkaan pyritty muuntamaan samalla tavoin ilmaistuksi, jotta yhtenäinen linja tulosten tulkinnassa voidaan säilyttää. Ensisijaisesti käytetään kansainvälisten standardien (ISO, IEC) käyttämiä muotoja.

2 Ampumamelu ympäristömeluna

2.1

Melun ja ympäristömelun yleisiä piirteitä

Melu on ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritsevänä taikka joka on muulla tavoin ihmisen terveydelle tai muulle hyvinvoinnille vahingollista tai haitallista. Melua esiintyy lähes kaikkialla ympäristössä. Se on yleisimpiä elinympäristön laatua heikentäviä tekijöitä. Meluhaittoja ovat lisänneet mm. kaupungistuminen, väestönkasvu, teollistuminen, liikenne ja yleinen tekninen kehitys.

Ympäristössä melua aiheuttavat liikenne, teollisuus, rakentaminen ja eräät vapaa-ajan toiminnot, kuten moottori- ja ampumaurheilu sekä tilaisuudet, joissa käytetään sähköisesti vahvistettua äänentoistoa. Tämän selvityksen kattaman aihepiirin, ampumamelun, kannalta keskeisen ympäristömelun lähteen muodostaa siviiliampumaurheilun ohella puolustusvoimien ampuma- ja taistelukoulutus.

Melu vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin monin eri tavoin. Vakavimmillaan melu voi vaikuttaa kuulokykyyn, mutta ympäristömelu on kuitenkin tuskin koskaan niin voimakasta, että se voisi aiheuttaa kuulovaurion vaaraa. Ympäristömelun merkittävin vaikutus on häiritsevyys. Ympäristömelun fysiologiset vaikutukset kohdistuvat sydän- ja verenkiertoelimistöön sekä sisäeritystoimintaan.

Ympäristömelu voi häiritä unta. Se voi vaikeuttaa unensaantia, ohentaa unen syvyyttä, lisätä heräämisen todennäköisyyttä ja aiheuttaa siten väsymystä. Häiritsevyys voi esimerkiksi ilmetä myös säikähdyksireaktiona. Huomio suuntautuu kohti äänen aiheuttajaa, jolloin melun esiintymishetkellä tapahtuva toiminta keskeytyy. Psykkisesti melu voi vaikuttaa mm. keskittymiskykyyn, muistiin ja oppimiseen. Lisäksi melu voi stressata, ärsyttää ja vaikuttaa ihmisen käyttäytymiseen.

2.2

Melualtistus ja melun häiritsevyys

Ympäristömelun yleisin haittavaikutus, häiritsevyys, on WHO:n määritelmän mukaan tekijä, jonka yksilö tai ryhmä kokee kielteisenä, epämiellyttävänä ja ei-toivottuna (WHO 1980). Häiritsevä melu on ääntä, joka varaa tahtomatta huomiota, vaikka ääntä ei haluaisi kuunnella.

Psykoakustiikassa käsitellään häiritsevyyden suhdetta äänen fysikaalisiin ominaisuuksiin, erityisesti melun äänitasoon. Suhde on äänekkyuden ja meluisuuden kanssa samankaltainen. Häiritsevyyteen vaikuttavat äänitason lisäksi mm. äänen spektri ja ajalliset ominaisuudet.

Melun häiritsevyyttä ei kuitenkaan voida täysin kuvata sen objektiivisten fysi-
kaalisten ominaisuuksien avulla, vaan siihen liittyy muitakin tekijöitä. Häiritsevyys
on subjektiivinen käsite, jonka mittaaminen edellyttää altistetun omaa häiritsevyyden
voimakkuuden tai asteen arviointia. Häiritsevyyteen vaikuttaa melun akustisten omi-
naisuuksien ohella altistustilanteeseen ja olosuhteisiin liittyviä tekijöitä, kuulijan oma
mahdollisuus vaikuttaa melulähteeseen sekä meluun liittyviä psykologisia tekijöitä,
esimerkiksi melulähteen tunnistamismahdollisuus ja suhtautuminen melulähteeseen
(Jauhiainen ym. 2007).

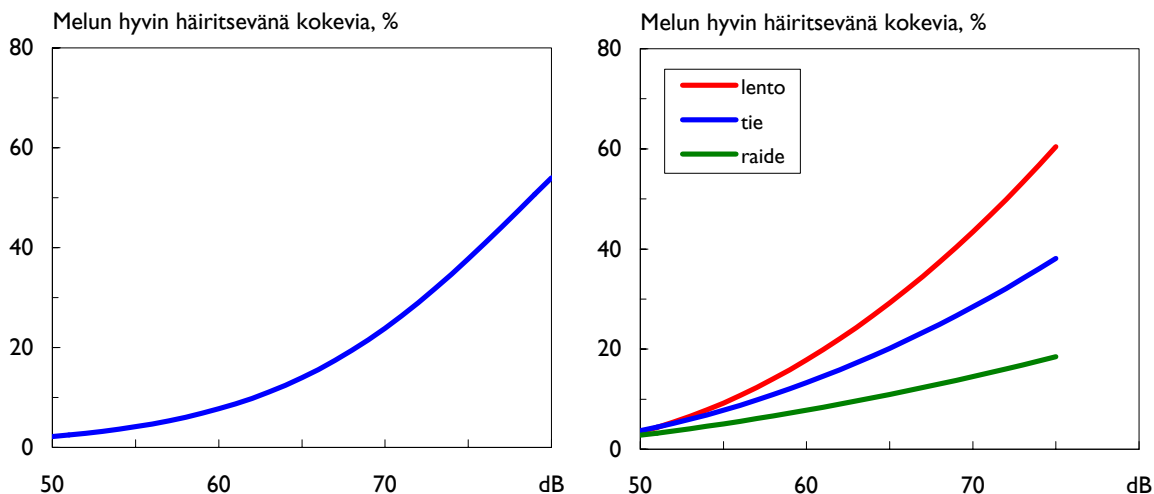
Häiritsevyys käsitetään melun haittojen tutkimuksissa yleensä melun ominaisuu-
deksi, sen haitallisuutta edustavaksi, mutta kuulijariippuvaksi attribuutiksi. Toisaalta
joskus sillä tarkoitetaan myös melun vaikutusta eli reaktiota epämiellyttävään ääneen
(Jauhiainen ym. 2007). Tällöin kyseessä on melun havaittu häiritsevyys eli häiritse-
vyyskokemus (Pesonen 2006).

Tavallisimpien ympäristömelun lajien eli eri liikennemuotojen aiheuttaman ympä-
ristömelun vaikutukset tunnetaan varsin hyvin. Vaikutuksia kuvaa esiintyvän,
objektiivisesti mitattavissa olevan melu-*altistuksen* ja sen aiheuttaman häiritsevyyden
asteen välinen annos–vastesuhde. Pelkistetysti se esitetään riippuvuutena melun
äänitaso- ja melun erittäin häiritsevänä kokevien suhteellisen osuuden välillä.

Edellä mainittujen muiden kuin akustisten muuttujien takia melun *altistukselle*
ja häiritsevyydelle ei ole yksilökohtaisesti pätevää eksaktia annos–vastesuhdetta.
Suurella koehenkilöjoukossa eri tekijöiden vaikutus kuitenkin tasaantuu, minkä
takia ympäristömelun haittavaikutusten arvioinnissa voidaan käyttää eri tavoin mää-
ritettyjä keskimääräisiä annos–vastesuhteita. Ympäristömelun ohjearvojen käyttö
perustuu viime kädessä tällaiseen menettelyyn.

Liikennemelun annos–vastesuhde, Schultzin tunnettu käyrä (kuva 1 a), on va-
kiintunut ja laajasti hyväksytty. Sen tarkistettu muoto on esitetty ympäristömelun
perusstandardissa ISO 1996-1 (2003). Se perustuu erittäin laajaan, monissa eri maissa
useiden vuosikymmenien aikana tehtyjen tutkimusten aineistoon. Tutkimuksia on
monia kymmeniä ja niiden koehenkilöitä tai haastateltuja on yhteensä useita kym-
meniä tuhansia.

Kuvan 1 a) käyrä koskee ympäristömelun pitkäaikaista, esimerkiksi vuoden
keskiäänitaso-*kuvaamaa* häiritsevyyttä. Käyrä ei vastaa lyhytaikaisen melun tai
uuden melulähteen vaikutusta. Niiden odotettavissa oleva häiritsevyys voi olla suu-
rempaa meluun tottumattomuuden vuoksi; ero voi olla suuruudeltaan noin 5 dB.
Taajama-alueiden ulkopuolella ympäristön hiljaisuuden odotus voi lisätä eroa vielä
10 dB verran. Tästä syystä yhtäkkiä uusi ääni voi enimmillään olla jopa 15 dB
pienemmällä tasolla yhtä häiritsevää.



Kuva 1. Liikennemelun annos–vastesuhteita: melun hyvin häiritseväenä kokevien suhteellisia osuuksia ulkomelun vapaan kentän päivän–yön A-keskiäänitason L_{Adn} funktiona. (vasen) Schultzin käyrä eli liikennemelun yleinen annos–vastesuhde [ISO 1996-1 (2003)]. (oikea) Eri liikennemuotojen annos–vastesuhteita erään tutkimuksen mukaan (Miedema & Vos 1998).

2.3

Ampumamelun altistus ja vaste

Tulevaisuuden tavoitteena olisi, että tutkimuskirjallisuuden perusteella voitaisiin ampumamelullekin esittää kuvan 1 käyriä vastaava annos–vastesuhde. Se antaisi varmempaa tukea haittojen arviointikäytännöille ja ohjearvoille.

Ampumamelun vaikutusten ja haittojen tutkimuksia on kuitenkin olemassa huomattavasti vähemmän kuin ympäristömelulle yleensä. Määrä on kenties noin kaksi kertaluokkaa pienempi. Erityisesti suurten kuulijamäärien haastattelututkimusten määrä on vähintään näin paljon niukempi.

Samanlaista käyrää ampumamelulle on alustavasti yritetty muodostaa muutamassa tutkimuksessa, mutta suhteellisen vähäiseen aineistoon perustuen. Koko ampumamelun vaikutusten tutkimusaineiston määrä lieneekin niin suppea ja laatu sen luonteista, että ”lopullisena” pidettävää, edustavaa ja luotettavaa käyrää ei vielä liene mahdollista piirtää. Luvussa 5 esitellään kirjallisuudessa esillä olleita alustavia vastesuhteita.

Toinen ongelma on, että vaikutustutkimuksissa käytettyjen melutasosuureiden kesken on aiemmin esiintynyt paljon sekaannusta. Yksi suure on saatettu tuomita toista huonommaksi tai yksi lukuarvo toista pienemmäksi huomaamatta, että arvio pitää suhteuttaa siihen, mitä eri tasosuureet mittaavat. Tämä on vaikeuttanut siihen peruskysymykseen vastaamista, käytettäisiinkö ampumamelun annos–vastesuhteessa samaa äänitasosuuretta kuin muille ympäristömelun lajeille vai jotakin erityisesti ampumamelulle sopivampana pidettävää tasosuuretta.

Ampumamelun haittojen erityispiirteitä

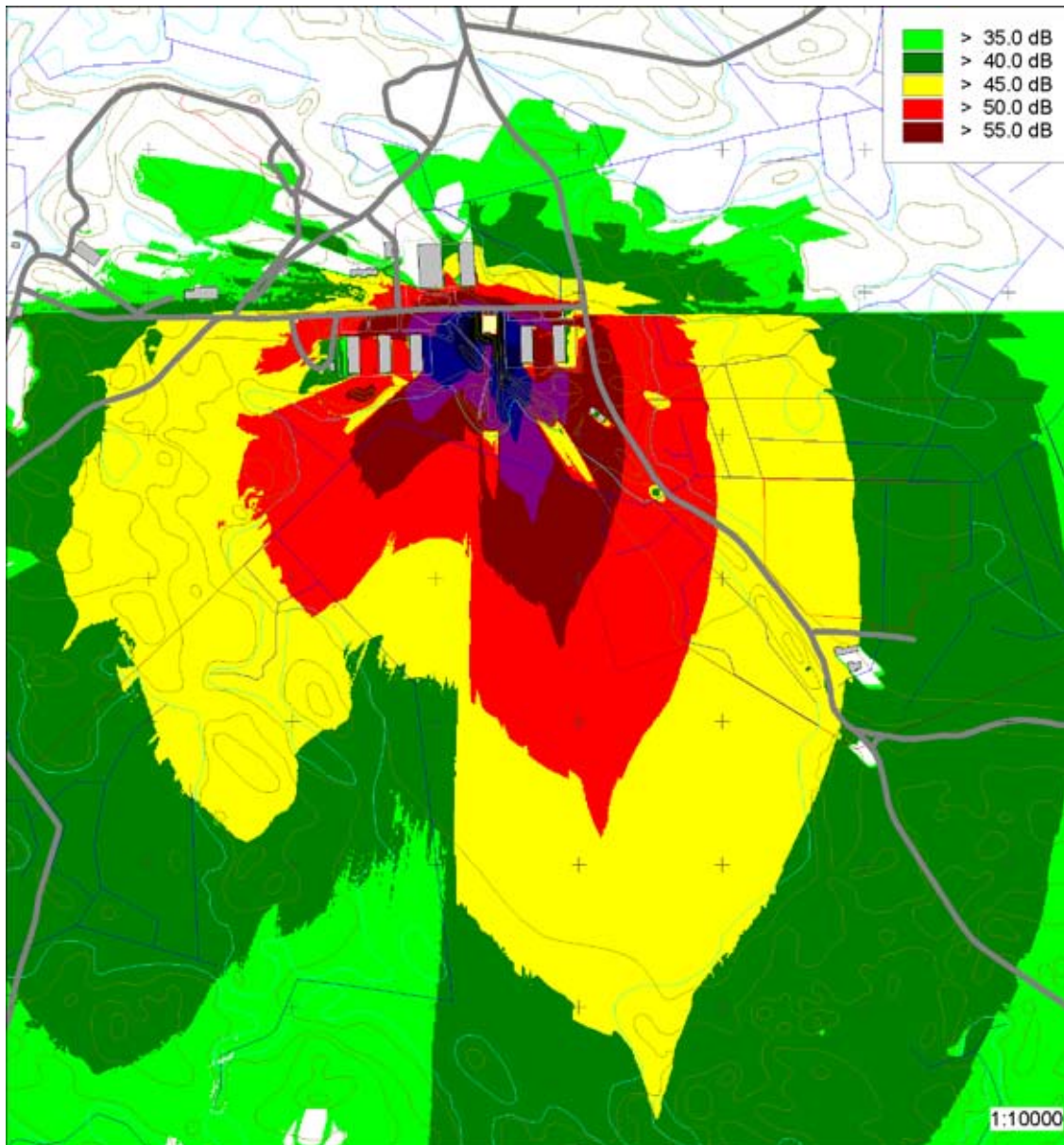
Ympäristössä ampumamelu on merkittävä häiriön aiheuttaja, mm. koska se kantautuu kauas ja erottuu helposti muusta melusta tai ääniympäristöstä. Ampumamelu voi erityisesti yöaikaan häiritä yhtä paljon kuin mikä tahansa muu melu, vaikka se esiintyisikin muita meluja huomattavasti heikompana tai harvemmin. Tähän voivat olla syynä esimerkiksi orientoitumis- ja säikähdysreaktiot, jotka äkillinen ääni saa aikaan (Schomer 1985, McCurdy ym. 2004).

Suomessa ampumamelua esiintyy kuitenkin miltei pelkästään päivällä. Tämä merkitsee sitä, että muiden ympäristömelun lajien yksi merkittävimmistä haitoista, vaikutus uneen, ei täällä ole ampumamelussa etusijalla.

Ampumamelun häiritsevään vaikutukseen liittyy läheisesti myös ampumisen aiheuttamat tärinä ja räminä, jotka ovat eri käsitteitä. Tärinä on käytännössä aina ilmaaänenä edenneen aallon aiheuttamaa. Räminä (engl. *rattle*) sen sijaan ei ole värähtelyä vaan ääntä; sillä tarkoitetaan värähtelevien rakennuksen osien, astioiden, koriste-esineiden ja muiden irtonaisten kappaleiden rämisevää, helisevää tai kilisevää uutta erillistä ääntä. Tämä koetaan usein hyvin epämiellyttävänä, ja se kiinnittää huomion kohti melun aiheuttajaa lisäten häiritsevyykokemusta.

Ampumamelun merkitys ympäristöaltisteena

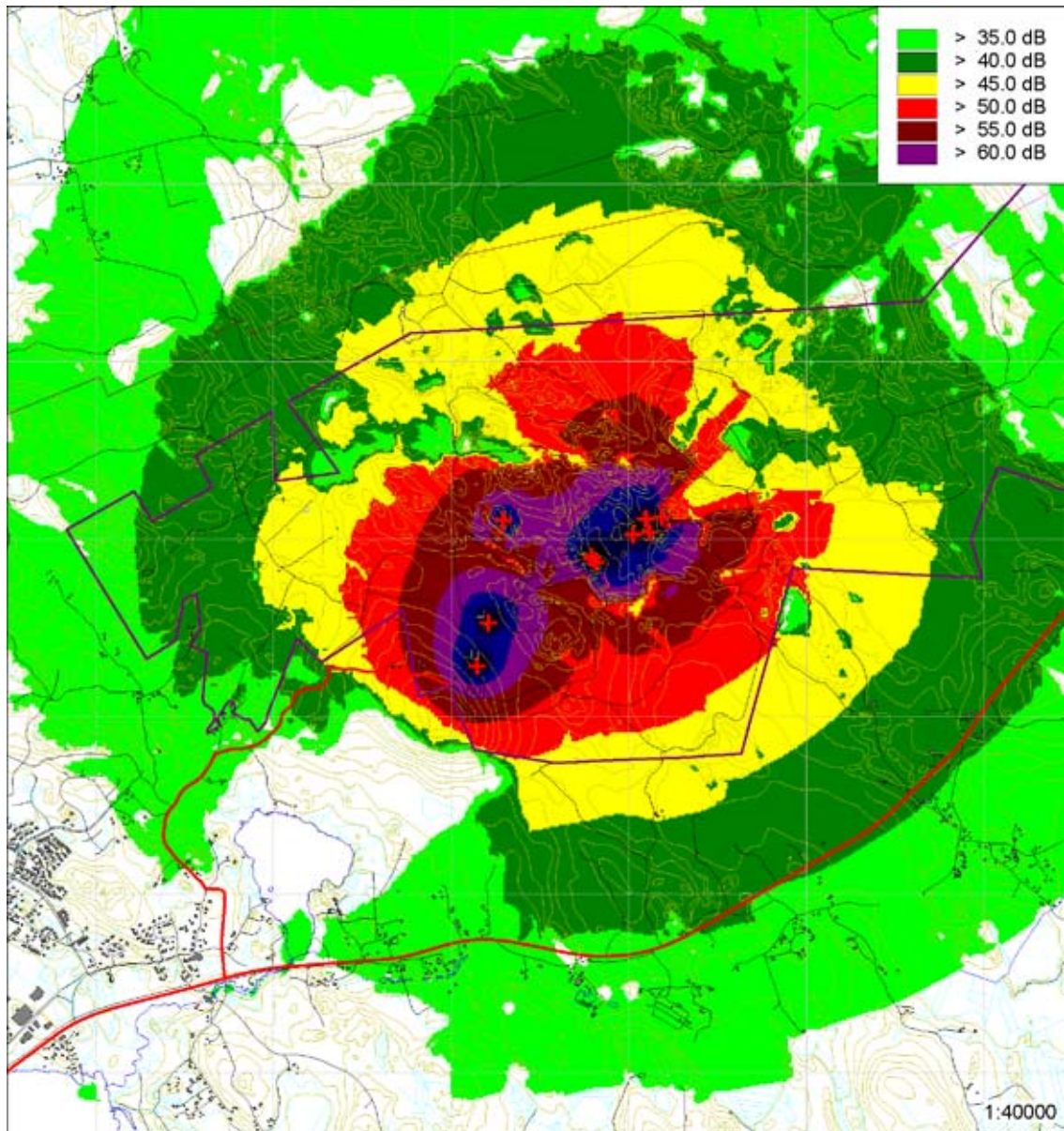
Ampumamelu on ongelmallinen ympäristöhaitta, koska se leviää suhteellisen laajalle alueelle ampumaradan tai -alueen ympäristöön. Erityisesti raskaiden aseiden ja räjähteiden melu leviää laajalle ympäristöön. Lisäksi impulssimaisen ja joskus myös pienitaajuisen ampumamelun vaimentaminen on hyvin vaikeaa ja kallista. Melualueen laajuudet vaihtelevat ampumaradan tai -alueen käytön määrästä ja asetyypeistä riippuen pahimmassa suunnassa noin 1 kilometristä aina noin 10 kilometriin (kuvat 2 ja 3).



Kuva 2. Esimerkki kevyiden aseiden ampumaradan melualueesta. Pienehkö rata, pistooli 1250 ls/pv, kivääri 250 ls/pv. Päiväajan (klo 7–22) korjaamaton A-keskiäänitaso L_{Aeq} [dB]. Kartan mittakaava 1:10 000 (koordinaattiristien väli 200 m).

Suomen ampumaratojen melualueilla on aikanaan ollut suhteellisen vähän asukkaita; useimmat radat ja alueet on alun perin pyritty sijoittamaan syrjään asutuksesta. Toisaalta erityisesti vapaa-ajan asuntojen lisääntymisen myötä melualueilla olevien rakennusten määrä ilmeisesti kasvaa jatkuvasti. Tällä hetkellä Suomessa ei juuri liene ampumaratoja tai -alueita, joiden meluvyöhykkeillä ei ole lainkaan asutusta.

Vuonna 1998 arvioitiin, että Suomen ampumaratojen lähialueella asuu noin 8 500 henkeä (Survo & Hänninen 1998). Arvio oli melko varovainen, toisin sanoen varmuuden vuoksi yliarvioiva, koska ampumaratojen kattavia meluselvityksiä oli tehty vähän.



Kuva 3. Esimerkki raskaiden aseiden ampuma-alueen melualueesta. Alueella ammutaan neljän päivän aikana rynnäköpanssarivaunujen 30 mm kanuunalla 350 ls, kertasingoilla 105 ls ja kranaatinheittimillä 90 ls. Päiväajan (klo 7–22) korjaamaton A-keskiäänitaso L_{Aeq} [dB]. Kartan mittakaava 1:40 000 (koordinaattiruutujen koko 1 km).

Yleisselvitys uusittiin vuonna 2005 (Liikonen & Leppänen 2005). Päivitetyksi arvioksi ampuma-alueiden melualueiden asukasmäärästä saatiin 2 000 – 4 000 henkeä. Tulosta arvioitiin toteamalla: "... edelliseen selvitykseen verrattuna ampumamelulle altistuvien lukumäärä näyttäisi vähentyneen noin puoleen. ... [mutta] arvio melulle altistuvien määrästä on tehty varsin vähäisellä aineistolla." On arvioitu, että vähentyminen johtuisi suurelta osin yhden tiheän asutuksen keskellä sijainneen ampumaradan (Viikki, Helsinki) sulkemisesta. Kumpikaan näistä arvioista ei sisältänyt puolustusvoimien harjoitusalueiden melua, josta ei ollut käytettävissä riittävästi tietoa.

Norjan ympäristöministeriön mukaan ampumamelun osuudeksi vuonna 2005 arvioitiin 2 % kaikkien melulajien häiritsevyydestä. Arvio perustui meluindeksiin, jossa otettiin huomioon mm. melualueilla altistuvien henkilöiden määrä. Suurimman

osuuden häiritsevyydestä (78 %) aiheutti tieliikennemelu. Lento- ja junaliikenteen sekä rakentamisen ja teollisuuden melun osuuksiksi arvioitiin kullekin 4 % (www.environment.no). Samansuuntaiseen tulokseen on päädytty myös Hollannissa (Fransen 2004).

Suomessa puolustusvoimien ampumaratojen ja -alueiden melualueilla asuvien määrää ei tällä hetkellä tunneta tarkasti. Osasyynä on, että raskaiden aseiden melun arviointiin tarkoitetuista suositusarvoista on laadittu ehdotus vasta hiljattain (Puolustusvoimat 2005). Ampumamelun vaikutusten selvityksiin ei siten aiemmin ole ollut käytettävissä riittäviä välineitä. Melumallilaskelmien avulla selvityksiä voidaan nyt kuitenkin tehdä, kun aseiden melupäästöt ja arviointikriteerit ovat selvillä.

3 Ampumamelun akustiikkaa

3.1

Synty ja leviäminen

Ampumamelussa voidaan enimmillään erottaa kaikkiaan kolme erilaista osamelua ja melun syntytapaa:

- laukausääni
- lentoääni
- iskemä-ääni.

Laukausääni aiheutuu aseiden suupamauksesta. Sen saa aikaan aseiden piipusta tai putkesta purkautuva palokaasu, joka synnyttää paine- eli ääniaallon. Joissakin tapauksissa esiintyy erillinen yliääninopeudella lentävän ammuksen aiheuttama lentoääni, ns. luotiääni tai ammusääni. Kolmantena voi esiintyä iskemä-ääni, joka syntyy kun ammus osuu maaliin. Räjähdyksen ammuksen iskemä-ääni on luonteeltaan samankaltainen kuin suupamaus.

Laukausäänen ja iskemä-äänen synty tapahtumat ovat akustisesti pistemäisiä. Äänilähteen tyyppi on siten pistelähde ja niiden synnyttämä ääniaalto on muodoltaan palloaalto.

Lentoäänen synty ja ääniaallon tyyppi ovat yliääninopeuden seurauksena mutkikkaita ilmiöitä. Ääni leviää vain kartionmuotoisena aaltona tiettyyn sektoriin etuviistoon. Sen leviämismuoto noudattaa aluksi omaa erikoista muotoaan ja kauempana muuten tavallista sylinteriaaltoa.

Räjähdyksen melu syntyy, kun räjähdysaineen palaminen synnyttää paineaallon. Se muuttuu kauempana vähitellen tavalliseksi ääniaalloksi ja vaimentuu etäisyyden kasvaessa. Räjähdyksen ääni leviää symmetrisesti palloaaltona ilman suuntaavuutta.

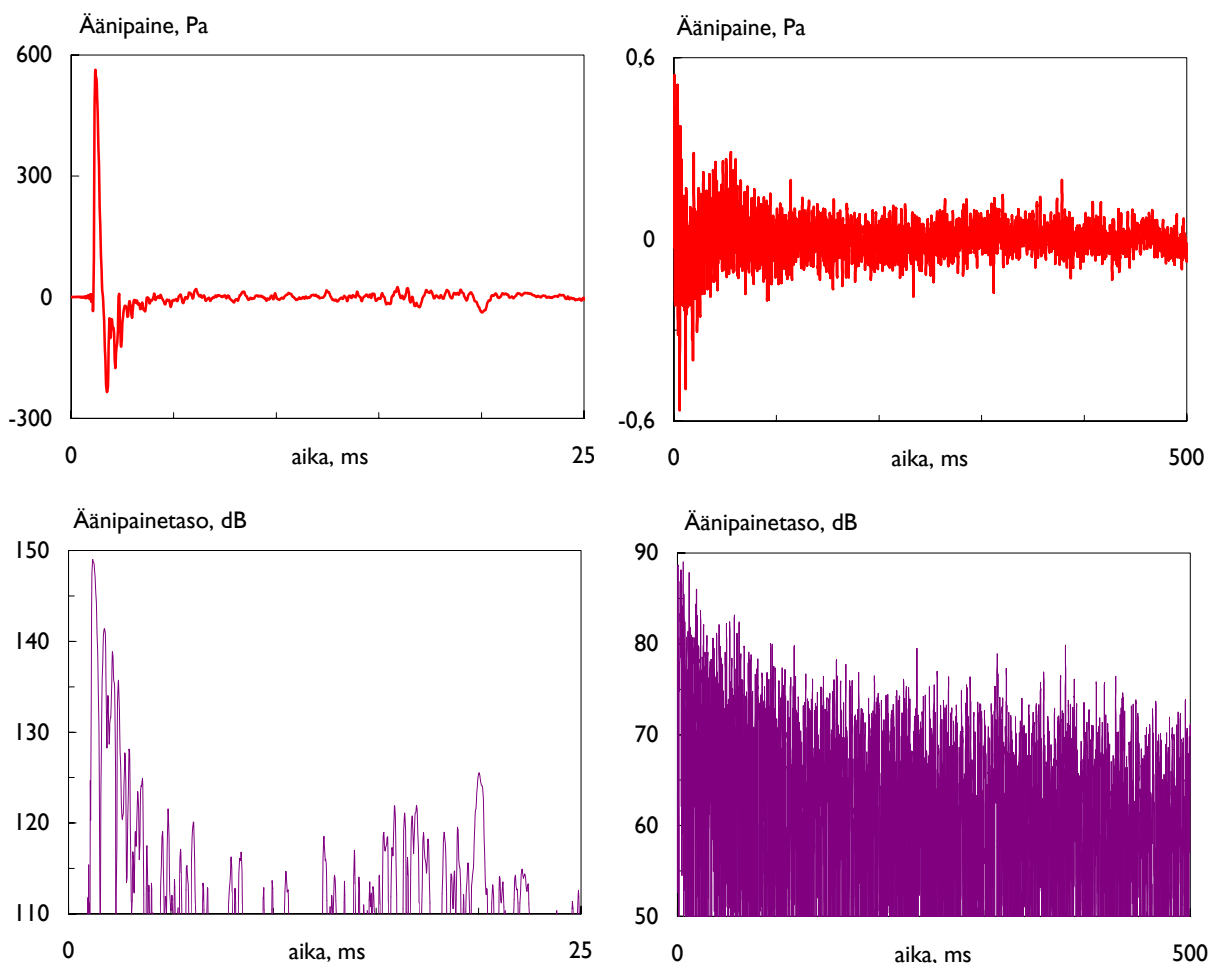
3.2

Laukausäänen fysikaaliset ominaisuudet

3.2.1

Voimakkuus

Laukausäänet ovat ajallisesti lyhyitä, ja ne toistuvat suunnilleen samanlaisina. Kevyiden aseiden laukauksen ääniaallon äänipaine on lähietäisyydellä (n. 10 m) suurimmillaan noin 100 Pa – 1 kPa. Vastaavasti painottoman huippuäänitaso L_{Zpeak} on kevyillä aseilla noin 134–154 dB. Raskailla aseilla maksimipaine on suhteellisen pienillä etäisyyksillä (n. 100 m) usein välillä 300 Pa – 3 kPa ja huippuäänitaso 144–164 dB (Pääkkönen 1988, 1991; Pääkkönen ym. 1991).



Kuva 4. Rynnäkkökiväärin **7,62 RK 95** laukaus etäisyydellä 10 m (vasen) ja 640 m (oikea). Yläkuvat: aaltomuodon aikafunktio; alakuvat: tasokäyrä desibeleinä. Huom: vasemman ja oikean sarakkeen aika-akselit eroavat.

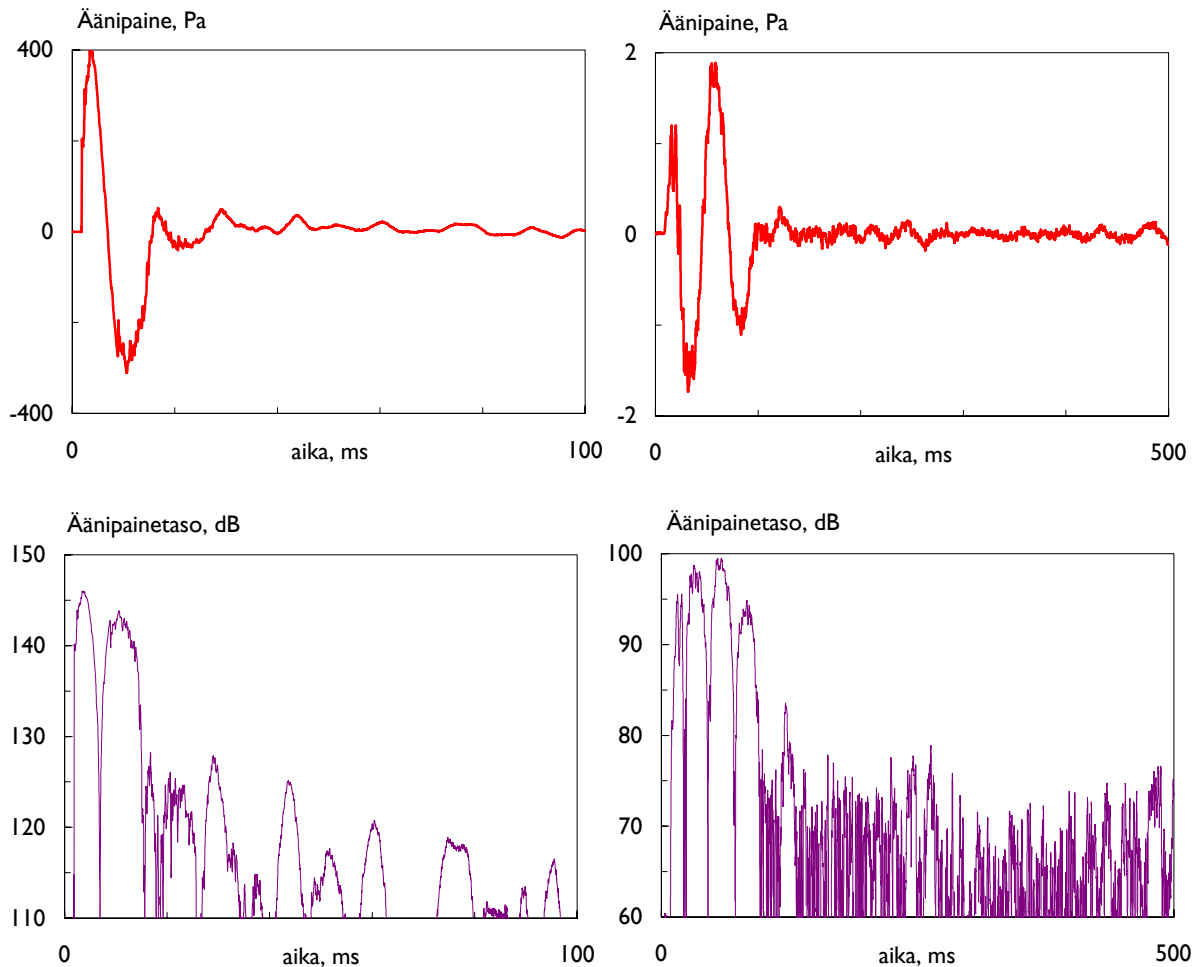
3.2.2

Impulssien muoto ja kesto

Laukausimpulssin muoto on lähellä aseensa suuta varsin yksinkertainen. Se koostuu miltei vain yhdestä positiivisesta ja yhdestä negatiivisesta puoliallostasta. Ensimmäisen kuulijapisteen ohittaa positiivinen ylipaine ja sen jälkeen negatiivinen alipaine. Kun laukauksen ääniaalto etenee kauemmaksi, äänipainepulssin muoto muuttuu huomattavasti maaston ja ilmakehän yhteisvaikutuksesta: sen kesto pitenee ja rakenne mutkistuu.

Lähietäisyydellä kevyiden aseiden laukauksen impulssi on pituudeltaan muutamia millisekunteja. Raskaiden aseiden laukauksen kesto on muutamia kymmeniä millisekunteja (kuvat 4 ja 5). Kaukana kevyiden aseiden laukauksen peruspulssi voi olla pituudeltaan muutamia kymmeniä millisekunteja ja vastaavasti raskaiden aseiden pulssin kesto muutamia satoja millisekunteja.

Laukauksen ensimmäisen puoliallon eli kaikkein ensimmäisen huipun etureunan nousuaika saattaa jonkin verran kasvaa, kun etäisyys kasvaa. Varsinaisesti kuitenkin paineimpulssin energian verhoikäyrä muuttuu kauempana: sekä verhoikäyrän alurakentumisen että sen jälkivaimenemisen ajat pitenevät huomattavasti, kun etäisyys kasvaa.



Kuva 5. Panssarihaupitsin **I22 PsH 74** laukaus etäisyydellä 90 m (vasen) ja 1600 m (oikea). Yläkuvat: aaltomuodon aikafunktio; alakuvat: tasokäyrä desibeleinä. Huom: vasemman ja oikean sarakkeen aika-akselit eroavat.

Jälkimmäinen ilmiö muistuttaa huoneakustiikasta ja konserttisaleista tuttua *jälkikaiun* käsitettä – ja tosiaankin, myös avoimessa ulkotilassa esiintyy metsän ja maaston ”kaiuntaa”, joka on syynä energian verhoäyrän ajalliseen venymiseen.

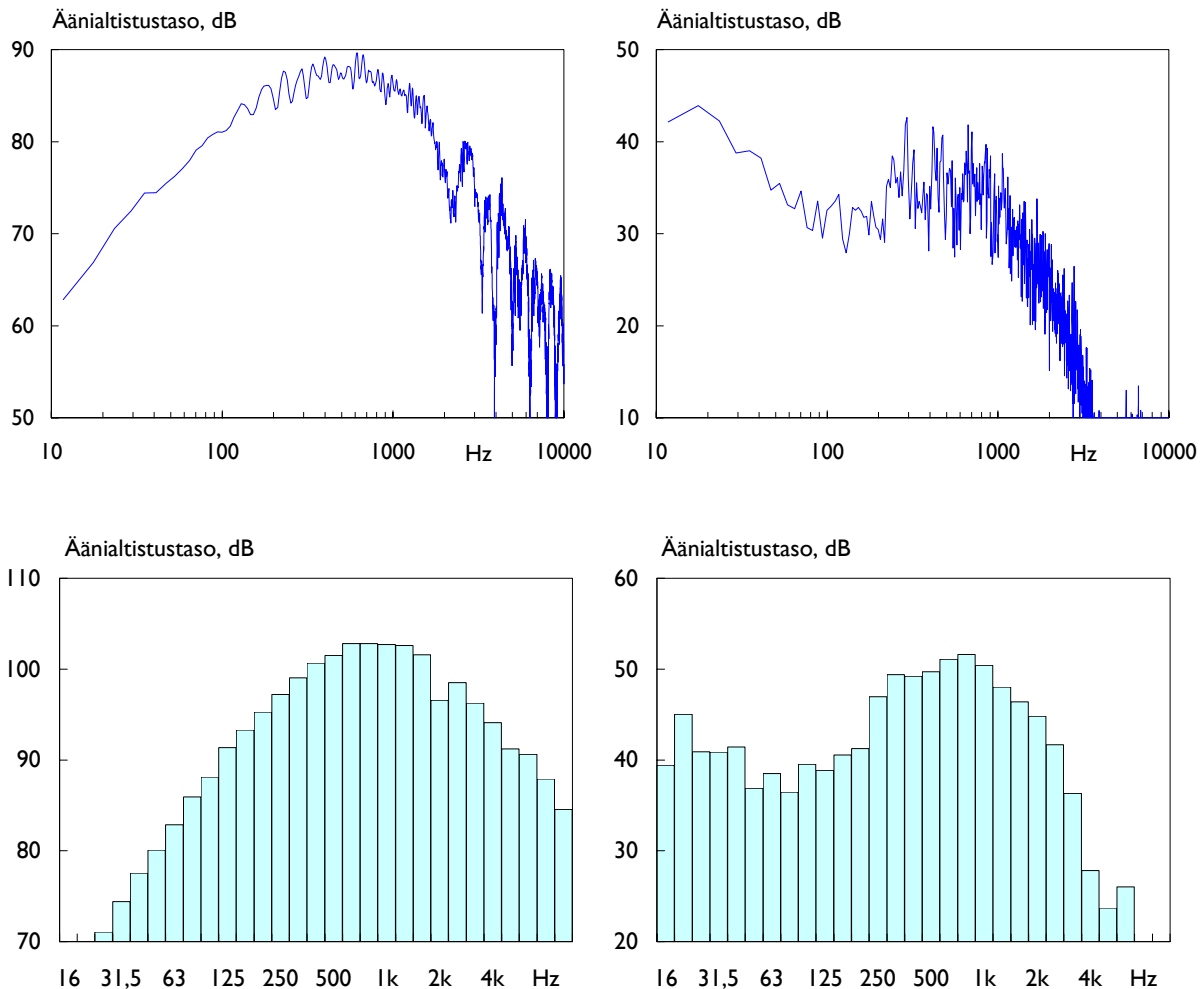
Joskus raskaan aseiden painepulssi voi lähelläänkin olla kuvassa 5 esitettyä monimutkaisempi. Esimerkiksi sinko synnyttää erilliset painepulssit sekä etu- että takapästä ja tykeillä suuhidastin vaikuttaa muodostuviin painepulsseihin.

Mitä suuremmalla etäisyydellä laukausta tarkastellaan, sitä pidemmäksi sen kokonaiskesto venyy. Hyvin suurilla etäisyyksillä tasaisesti vaimenevana kaiuntana ilmenevä kokonaiskesto voi kasvaa jopa yli sekunniksi maaston ja metsän heijastusten ja sironnan vuoksi. Ympäristön heijastukset ja toisaalta äänen vaimeneminen sekoittavat laukausäänen muuhun meluun, mutta usein kuuluvuus voi silti olla useita kilometrejä, ääritapauksessa jopa pitkälti toistakymmentä kilometriä.

3.2.3

Spektri

Ampumamelun spektri on aina laajahko ja lähes aina muodoltaan melko pehmeä (kuvat 6 ja 7). Toisin sanoen ampumamelu ei ole koskaan spektriltään kapeakaistaista. Spektrin muodon yksityiskohdat riippuvat huomattavasti aseiden kaliiperista, ja toisaalta spektri muuttuu muotoaan, kun tarkastelu- etäisyys kasvaa.

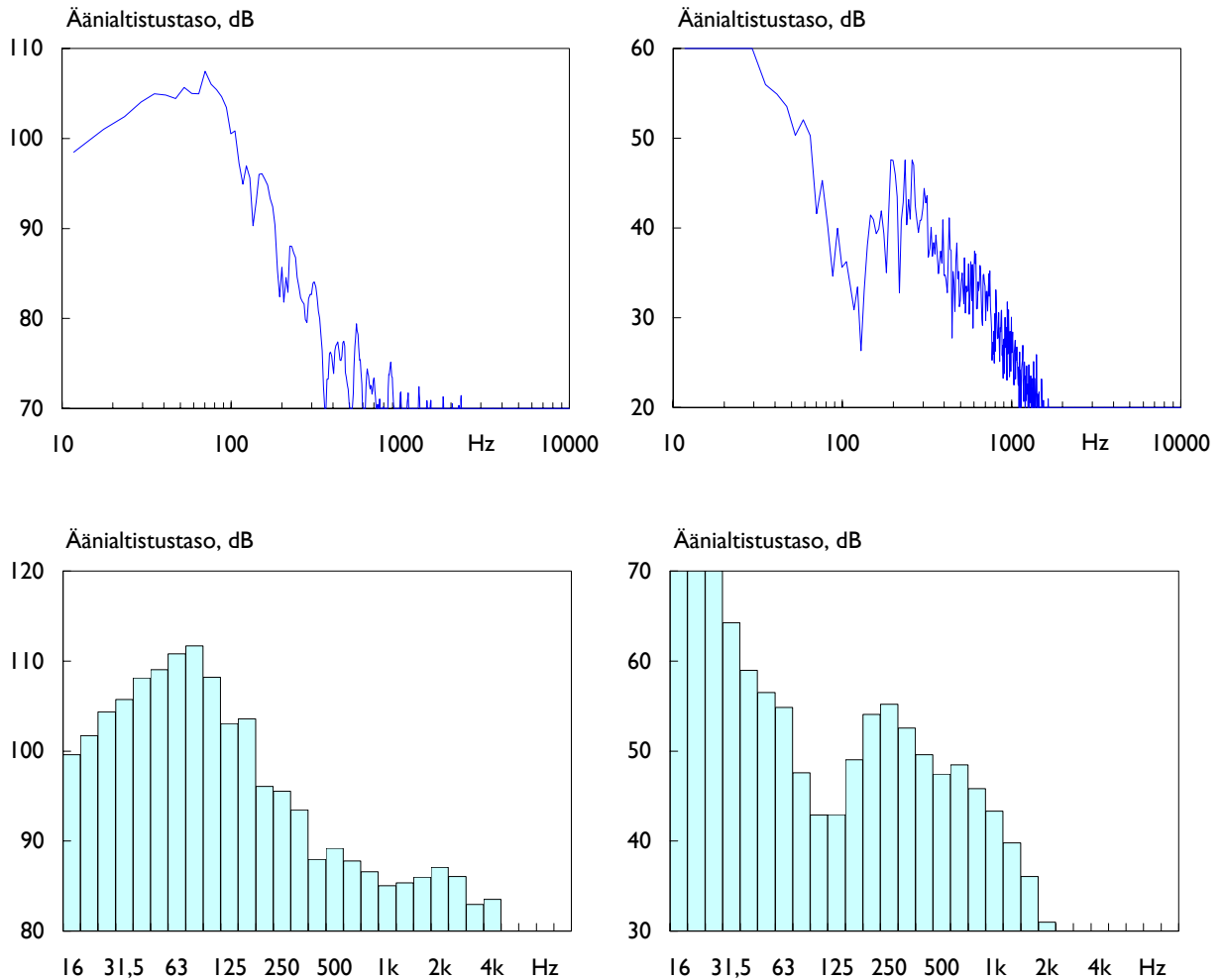


Kuva 6. Rynnäkökiväärin **7,62 RK 95** laukaus etäisyydellä 10 m (vasen) ja 640 m (oikea). Yläkuvat: kapeakaistaiset spektrit; alakuvat: terssispektrit. (Samat laukaukset kuin kuvassa 4.)

Kevyiden aseiden spektrin tärkein taajuusalue on yleensä noin 250 Hz – 2 kHz. Raskaiden aseiden merkittävä taajuusalue on suunnilleen 16–250 Hz. Kevyiden aseiden painottamattoman spektrin huippu on usein noin taajuuden 1 kHz ja raskaiden aseiden 40–80 Hz tienoilla. Tyypillisesti pehmeän maan aiheuttama maavaimennus synnyttää suuremmilla etäisyyksillä spektriin minimin noin 100–200 Hz alueelle.

Spektrin maksimikohdat antavat viitteitä siitä, miten taajuuspainotukset reagoivat ampumameluun. Kevyillä aseilla spektrin maksimi osuu käytännössä lähes yksiin A-painotussuotimen maksimin kanssa. Muut painotukset tuottaisivat saman tuloksen kuin A-painotus, joten muut painotukset eivät voi tuoda kevyiden aseiden melun tarkasteluun mitään lisäinformaatiota. Tämä johtopäätös on olennainen, ja se tulisi ottaa huomioon, jos kevyiden aseiden melun arviointiin ehdotettaisiin myös muiden taajuuspainotusten käyttöä.

Raskailla aseilla sen sijaan maksimi on merkittävästi pienemmillä taajuuksilla. A- ja C-painotettujen äänitasojen välille syntyy selvä ero, mikä voi tarjota olennaistakin lisäinformaatiota, mm. siitä miten häiritsevää melu on suuremmilla etäisyyksillä.



Kuva 7. Panssarihaupitsin **122 PsH 74** laukaus etäisyydellä 90 m (vasen) ja 1600 m (oikea).
 Yläkuvat: kapeakaistaiset spektrit; alakuvat: terssispektrit.
 (Samat laukaukset kuin kuvassa 5.)

3.3

Äänieristys, värinä ja räminä

3.3.1

Rakennuksen ulkovaipan ilmaäänieristys

Kevyiden aseiden laukausten aiheuttama haitta koetaan ehkä tavallisimmin ulkona, esimerkiksi asuintalojen pihapiirissä. Sen sijaan raskaiden aseiden haitat saattavat useamminkin ilmetä myös rakennusten sisätiloissa.

Rakennusten ulkovaipan ilmaäänieristys riippuu yleensä aina merkittävästi taajuudesta. Eristävyys on pienillä taajuuksilla pieni ja kasvaa tavallisesti suunnilleen tasaisesti taajuuden funktiona. Pienillä taajuuksilla eristys on yleensä heikko, erityisesti jos talo on kevytrakenteinen. Tavallisissa huoneissa pienillä taajuuksilla esiintyvät huoneresonanssit saattavat vielä jonkin verran vahvistaa sisään kulkeutunutta äänipainepulsssia.

Kevyiden aseiden spektrin maksimin kohdalla rakennusten ilmastieristys on yleensä muutamia kymmeniä desibeleitä. Raskaiden aseiden spektrin maksimin tienoilla, n. 40–80 Hz taajuuksilla, eristävyys voi edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutuksena olla lähes olematon.

3.3.2

Laukausten synnyttämä tärinä ja räminä

Raskaiden aseiden suupamauksen ja iskemän sekä räjähdysten maaperään aiheuttama tärinä heikentyy yleensä niin nopeasti, että sitä ei enää voida havaita ampumialueen ulkopuolella, esimerkiksi lähimpien asuinrakennusten luona. Rakennuksissa ilmenevä tärinä ei olekaan kulkeutunut maaperässä, vaan se syntyy ilmassa etenevän pienitaajuisten ääniaallon aiheuttamana.

Kevyiden aseiden laukauspulssi tuskin saa havaittavaa tärinää aikaan tavanomaisilla etäisyyksillä. Perussyynä on pulssin spektrin suhteellisen suurilla taajuuksilla oleva maksimi ja rakenteiden vasteen (äänieristuksen) kasvu suuremmille taajuuksille päin. Sen sijaan raskaiden aseiden synnyttämä pulssi, jonka maksimi on pienillä taajuuksilla, voi pienehköillä etäisyyksillä hyvin aiheuttaa ihmisen havaintokynnyksen ylittävää tärinää.

Kun laukausten ilmastieristys etenevä painepulssi kulkee rakennuksen ulkovaipan läpi sisään, se saa samalla rakenteet värähtelemään pulssin vaihtelun mukana. Tärinä voidaan havaita esimerkiksi ikkunoiden notkumisena tai lattian pystysuuntaisena liikkeenä. Tyypillisesti ensimmäisenä saapuu äänipaineen positiivinen puolialto, joka puristaa rakennusta kaikista suunnista sisäänpäin. Seuraavaksi tuleva negatiivinen puolialto pullistaa rakennusta joka suuntaan ulospäin. Ja näitä mahdollisesti seuraavat puoliallot jatkavat värähtelyn herätettä.

Sisätiloissa laukaukset voivat tietyissä tapauksissa paitsi kuulua itse sellaisinaan, myös *synnyttää uutta erillistä ääntä*. Uutta sekundääristä ääntä kutsutaan *räminäksi* (engl. *rattle*). Se syntyy, kun värähtelevät rakenneosat (kuten ikkunat) tai muut kappaleet (esim. astiat, valaisimet tai koriste-esineet) lyövät nopeasti värähtelyn jaksojen tahdissa kehykseen, alustaan tai muuhun vastinpintaan. Yleensä räminän syntymiseen tarvitaan raskaan aseiden spektriltään pienitaajuisia ääni-impulsseja.

Räminä koostuu siis pienistä nopeista iskuista. Räminä on *epälineaarinen ilmiö*. Tämä tarkoittaa, että sen esiintyminen ja voimakkuus ei kasva tasaisesti saapuvan laukausimpulssin voimakkuuden kasvaessa, vaan ilmiö alkaa äkisti vasta tietyn kynnyksen yläpuolella. Räminä-äänen luonne on yleensä erityisen epämiellyttävä. Tavallisesti räminän ilmestyminen kuuluviin koetaan heti häiritseväksi.

3.3.3

Tärinän aiheuttamat rakennevauriot

Voimakas tärinä voi periaatteessa aiheuttaa rakennevaurioita, esim. ikkunan rikkoutumisen taikka perustusten tai muiden kantavien rakenteiden murtuman. Vaurioitumisen riski on olemassa tärinän amplitudin (värähtelyn nopeuden hetkellisen maksimin) ylittäessä arvon 2–3 mm/s. Hyväkuntoisilla rakennuksilla vaurioitumista ei yleensä esiinny tärinän enimmäisvoimakkuuden ollessa alle 8–10 mm/s.

Asiantuntija voi arvioida vaurioitumisriskiä rakennuskohtaisesti ottamalla huomioon rakennuksen dynaamiset ominaisuudet, käytetyt rakennusmateriaalit, energian kytkeytymisen ilmastieristys saapuvasta laukauspulsista rakennuksen ulkovaipan, sen leviämisreitit rakenteissa jne. (Kurki ym. 2004).

Mainitut värähtelynopeudet ovat käytännössä erittäin suuria. Raskaidenkin aseiden melu aiheuttaa vain harvoin rakenneaurioita, koska etäisyydet melulähteen ja kohteen välillä ovat suuria. Ääniaallolla ei yleensä ole enää kaukana äänilähteestä riittävästi energiaa, jotta se voisi saada rakenteet värähtelemään niin suurella nopeudella, että se rikkoisi rakenteita, ellei rakenteisiin liity muita jännityksiä.

Enemmän rakenneaurioita tuottaa maaperän kautta tuleva värinä, aiheuttajana raskas raideliikenne ja rakentaminen (räjäytykset ja perustustyöt) sekä vähäisessä määrin myös raskas tieliikenne. Suomessa ei toistaiseksi ole yhtenäisiä ohjearvoja ympäristövärinälle.

4 Ampumamelun äänekkyys ja altistuksen arviointi

4.1

Ajallinen vaihtelu

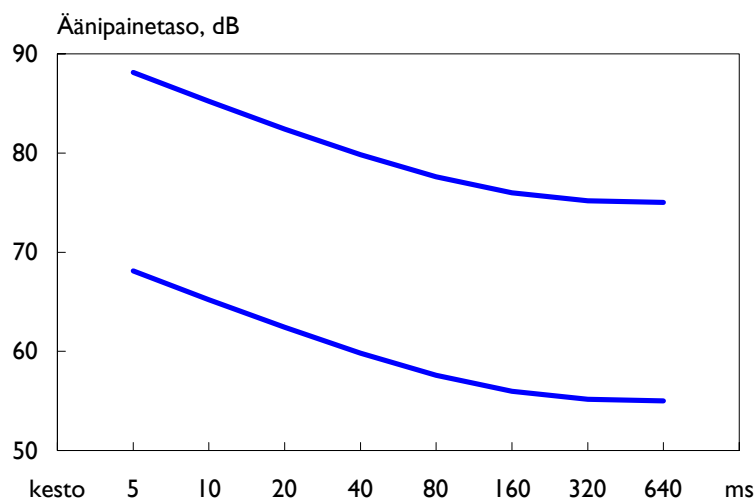
4.1.1

Kuuloaistin aikaintegrointi

Ihmisen kyky aistia lyhytaikaisten äänten voimakkuutta riippuu tietyn rajan alapuolella äänipulssin kokonaiskestosta. Kuuloaisti integroi äänen signaalienergiaa (eli muodostaa signaalienergian keskiarvoa liukuen) tietyltä ajalta. Jos hyvin lyhyiden pulssien kesto kasvatetaan, myös äänekkyysaistimus kasvaa (kuva 8).

Äänekkyys asettuu vakioksi, kun pulssin kesto on vähintään n. 100–200 ms. Tämän jälkeen äänekkyysaistimus ei merkittävästi enää kasva, kun pulssin kesto lisätään edelleen. Keston raja 200 ms pätee hiljaisille äänille, lähellä kuulokynnystä, ja 100 ms tätä selvästi voimakkaammille äänille (Zwislocki 1969, Pedersen ym. 1977, Poulsen 1981).

Kuuloaistin aikaintegroinnin ansiosta lyhytkestoisia laukausääniä ei aistita yhtä äänekkäinä kuin pidempiä, yli 200 ms ääniä. Alle 50 ms pituisten ääni-impulssien voimakkuuden nopeaa hienovaihtelua kuuloaisti ei kykene erottamaan.



Kuva 8. Kuulon ajalliset vakioäänekkyysskäyrät impulssien keston funktiona (Poulsen 1981).

Viimeaikaisissa laboratoriotutkimuksissa on laajennettu ajallisen äänekkyden tietämystä äänesten ohella laajakaistaiselle melulle, mikä on olennaista ampumamelun kannalta. Vakioäänekkyysskäyrien yleinen muoto ja käyttäytyminen on laajakaistakohinalla suunnilleen yhtenevä ääneksillä havaittavien käyrien kanssa (Florentine ym. 1996).

Kuuloaistin aikaintegroinnin eräs keskeisimmistä seurauksista on, että ulkorokkaan saapuvan ääni-impulssin hetkelliset arvot, kuten suurin hetkellinen arvo (huippuäänipaine), eivät sellaisinaan vaikuta äänekkyysaistimuksen syntyyn. Melun häiritsevyysvaikutus ei siten voi perustua huippuäänitasoon (esim. L_{Apeak} tai L_{Cpeak}) eikä huippuäänitasoa siksi pidä käyttää häiritsevyyden arviointiperusteena. Eri asia on, että suurilla huippuäänitasoilla eli lähellä äänilähdettä melun aiheuttama välitön kuulovaurio voi silti riippua huippuarvostakin.

4.1.2

Aikapainotukset

Ihmisen kuuloaistissa tapahtuvaa ajallista integrointia vastaa äänitasomittarissa eli melumittarissa aikapainotus (taulukko 1). Aikapainotuksia ei alun perin valittu kuulokykyä jäljitellen (kuten seuraavan kohdan taajuuspainotuksia), vaan ne muotoutuivat pelkästään mittaritekniikan mahdollisuuksien perusteella.

Taulukko 1.

Äänitasomittarien standardisoidut aikapainotukset ja niiden integrointiajat eli aikavakiot (IEC 61672-1: 2002).

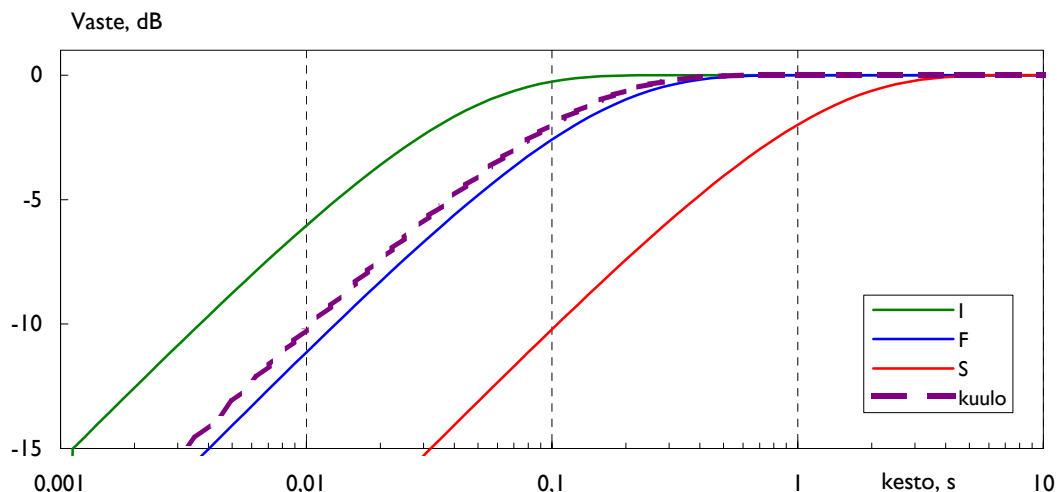
painotus	vanha nimi	aikavakio, ms
S	"slow"	1000
F	"fast"	125
I*	"impulse"	35

* vain S ja F on määritelty nykyisessä standardissa. I oli mukana vain sen edeltäjässä.

"Fast" vastasi aikanaan, yli puoli vuosisataa sitten suurinta nopeutta, johon osoittimella varustettu melumittari kykeni. "Slow" oli vain toinen, hitaampi asento, jolla osoittimen liikettä oli helpompi seurata katseella (Lahti 1995). Aikapainotusten integrointiaika on lyhyille impulsseille sama kuin aikavakio (Lahti 1979).

Brüel (1975) on valottanut aikapainotusten historiaa. 1960-luvun lopulla äänitasomittarien valmistajat ja käyttäjät innostuivat uuden mittaritekniikan sallimasta entistä nopeammasta osoittimen heilahdusnopeudesta. Kiirehdittiin standardisoimaan ja myös ottamaan ohjearvoissa käyttöön nopea "impulse" -näyttötapa. Sen arveltiin edustavan impulssimelun äänekkyden aistimista paremmin kuin vanha "fast" -asento. Pian laaja lyhytaikaisten äänten äänekkyden tutkimus kuitenkin vahvisti vakuuttavasti, että arvelu oli väärä ja että vanha "fast" olikin parempi, mm. (Pedersen ym. 1977).

Kevyiden aseiden laukausimpulssien kestot tyypillisillä ympäristössä kyseessä olevilla etäisyyksillä ovat suunnilleen 100 ms tienoilla. Tästä on seurauksena, että jos melumittauksissa käytetään I-aikapainotusta, mittaus vääristää juuri ampumamelun arviointitulosta. Jos kevyiden aseiden ampumamelun äänekkyden arvioinnissa halutaan ylipäänsä käyttää enimmäisäänitasoa, sopivin aikapainotus olisi F, koska se on lähimpänä korvan todellista äänekkyysaistimusta. Melumittarien F-aikapainotus (125 ms) on siis "sattumalta" juuri ihmisen kuuloaistin kannalta sopiva aikapainotus (kuvat 8 ja 9).



Kuva 9. Impulssien vakioäänekkyyskäyrä ("kuulo") sekä aikapainotusten S, F ja I vasteet impulssille sen keston funktiona. F-aikapainotus vastaa (sattumalta) parhaiten kuulon toimintaa. I-aikapainotus yliarvioi äänekkyyttä, jos impulssin kesto on suurempi kuin aikavakio 35 ms. Yleensä ympäristössä mahdollisesti häiriötä aiheuttavat laukausäänet ovat tätä pidempiä.

Häiritsevyyden kannalta I-aikapainotuksen käyttö on viime vuosikymmeninä saanut yhä lisääntyvää kritiikkiä. Tämä on johtanut siihen, että äänitasomittarien perustandardissa IEC 61672-1 (2002) ei enää määritellä lainkaan I-painotusta. Tästä on ilmeisenä seurauksena, että tulevaisuuden mittareissa ei enää ole I-painotusta.

Äänitasomittaristandardin IEC 61672-1 (informatiivisessa) liitteessä I-aikapainotus tuomitaan seuraavasti:

"Lukuisat tutkimukset ovat osoittaneet, että I-aikapainotus ei sovi impulssimaisten äänten äänekkyuden arviointiin. I-aikapainotus ei myöskään sovi kuulovaurion vaaran eikä äänen impulssimaisuuden arviointiin. Koska [muutoin] on mahdollista saada harhaanjohtavia tuloksia, I-aikapainotusta ei suositella käytettäväksi edellä kuvattuihin tarkoituksiin."

Koska laukausäänen akustisista ominaisuuksista riippuva häiritsevyys syntyy pääosin äänekkyuden välittämänä, kritiikki pätee äänekkyuden ohella myös häiritsevyydelle. Ampumamelun mittausta ja laskentaa käsittelevässä standardisarjassa ISO 17201 ei myöskään mainita I-painotusta.

4.1.3

Impulssimaisuus

Tiivistetyn näkökulman laukauksen ääni-impulssin ajalliseen muotoon muodostaa impulssimaisuuden käsite. Sillä pyritään kuvaamaan äänen äkillisyyttä ja lyhytaikaisuutta, aistimuksen ja äänekkyuden kannalta. Täsmällisesti se on kuitenkin fyysikaalinen mitta, muotoparametri, joka riippuu ääni-impulssin aaltomuodosta, lähinnä impulssin kestoista ja aallon verhoikäyrän muodosta. Se muodostetaan vähintään kahden äänitasosuureen tai muun mittaussuureiden avulla.

Impulssimaisuus ei täsmällisesti ole sama käsite kuin jäljempänä laajalti käsiteltävä *impulssikorjaus*, mutta tarkoituksena on, että impulssimaisuus korreloisi mahdollisimman hyvin impulssikorjauksen kanssa.

Impulssimaisuus ei ole yksikäsitteinen, vaan sille on eri aikoina ja eri tahoilla ehdotettu lukuisia erilaisia määritelmiä. Impulssimaisuuden määritelmien tavoitteena on yleensä ollut, että tasaiselle melulle impulssimaisuus olisi 0 dB, ja sen arvo olisi sitä suurempi mitä lyhyempi ja äkillisempi ääni-impulssi on.

Useimmat määritelmät perustuvat kahdella eri aikapainotuksella mitattujen enimmäisäänitason tai muita vastaavia tasosuureita käyttäen saatujen mittaustulosten erotukseen. Ehdolla olleita määritelmiä ovat mm.

$$\begin{aligned} I_1 &= L_{Apeak} - L_{Aeq} \\ I_2 &= L_{AImax} - L_{AE} \\ I_3 &= L_{AImax} - L_{Aeq} \\ I_4 &= L_{AFmax} - L_{ASmax} \end{aligned}$$

Huipputasoon perustuvat määritelmät eivät tosiasiaassa toimi, mikä voidaan todeta yhdellä esimerkillä: Todellisen gaussilaisen satunnaiskohinan (ns. valkoinen kohina) huipputaso on ääretön, ja siis myös impulssimaisuus olisi ääretön, ja silti kohina ei ole lainkaan impulssimaista, vaan se kuulostaa täysin tasaiselta.

Laukauspulssin venyminen ja loiveneminen etäisyyden kasvaessa (kuvat 4 ja 5) merkitsee, että samalla sen impulssimaisuus pienenee. Samassa yhteydessä myös impulssimaisuutta kuvaavien mittalukujen arvot yleensä pienentyvät. Edelleen, on luultavaa ja ilmeistäkin, että myös häiritsevyyden täytyy samalla pienentyä. Asiasta ei juurikaan ole olemassa tutkimuksia; asiaa käsitellään uudestaan tarkemmin kohdissa 5.2.7 ja 7.3.1.

4.2

Taajuussältö

4.2.1

Kuuloaistin herkkyys taajuuden suhteen

Ihmisen kyky aistia erikorkuisia ääniä riippuu äänen taajuudesta ja voimakkuudesta. Tämä ilmiö on tunnettu jo vähintään 1920-luvulta lähtien. Tuolloin esiteltiin ensimmäiset ns. vakioäänekkyyssäyrät, jotka kuvaavat äänekkyyssaistimusta kvantitatiivisesti.

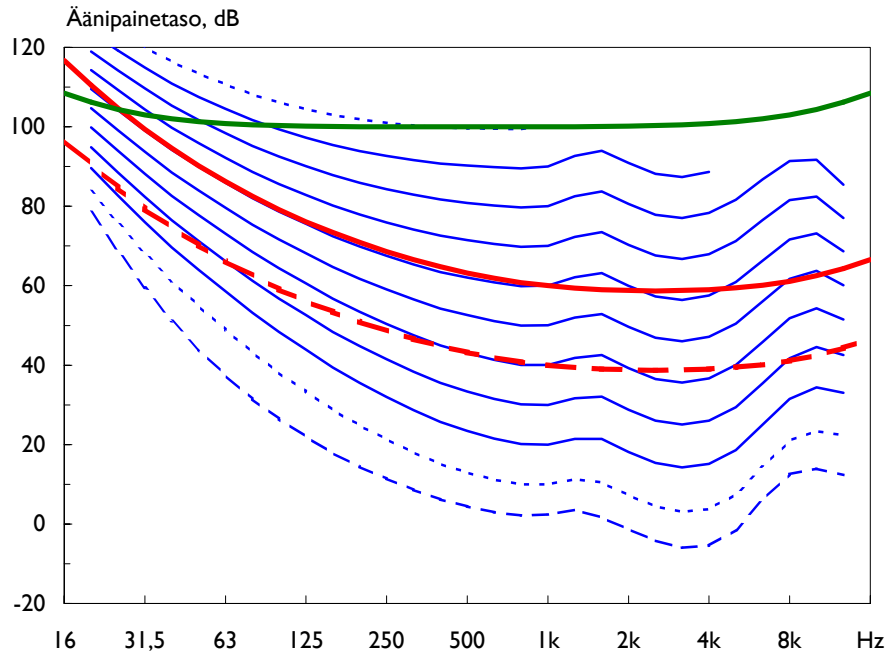
Sittemmin ilmiö on jopa voitu standardisoida. Standardissa ISO 226 esitetään vakioäänekkyyssäyrät eli kuuloaistin herkkyys erikorkuisille äänille, taajuuksilla 20 Hz – 12,5 kHz. Äänekkyyssäyrät perustuvat normaalikuuloisten nuorten henkilöiden (n. 18–25 vuotiaiden) kuulokykyyn.

Vakioäänekkyyssäyrät kuvaavat sitä, kuinka voimakas äänipainetaso eri taajuuksilla tarvitaan, jotta ääneksi (= puhtaan sinimuotoisen äänen, jolla on vain yksi taajuus) äänekkyyys olisi sama kuin 1 kHz taajuisen ääneksi, jolla on tietty voimakkuus. Esimerkiksi 1 kHz äänes, jonka äänipainetaso on 60 dB, on yhtä äänekkäs kuin 100 Hz taajuinen äänes tasolla 79 dB ja 20 Hz taajuinen äänes tasolla 110 dB (kuva 10).

Käyrästöstä nähdään, että erityisesti pienillä taajuuksilla (n. alle 250 Hz) fyysikaalisen äänipainetason tulee olla suurempi kuin keski- tai suurilla taajuuksilla, jotta ääni aistittaisiin yhtä äänekkäänä. Kuulo on herkin n. 3–4 kHz kohdalla.

Uusimman tutkimustiedon seurauksena standardisoidut vakioäänekkyyssäyrät uusittiin vuonna 2003 (ISO 226: 2003). Käyrästöjen muoto muuttui jopa yllättävänkin paljon verrattuna standardin edelliseen versioon, jonka pohjalla ollut tutkimustieto oli peräisin 1950-luvulta.

Päivitetyt käyrät antavat vähintään n. 10 dB vähemmän painoa kohtuuvoimakuisen melun pienitaajuiselle alueelle kuin aiemmat käyrät. Toisin sanoen pienitaajuisen spektrin osan äänekkyyys on tämän verran pienempi, kuin mitä aikaisemmin arvioitiin. Vos & Geurtsen (2003) huomauttavatkin, että muutoksella on käytännössä erittäin huomattava vaikutus pienitaajuisen melun (tässä: raskaiden aseiden melun) äänekkyyden arviointiin.

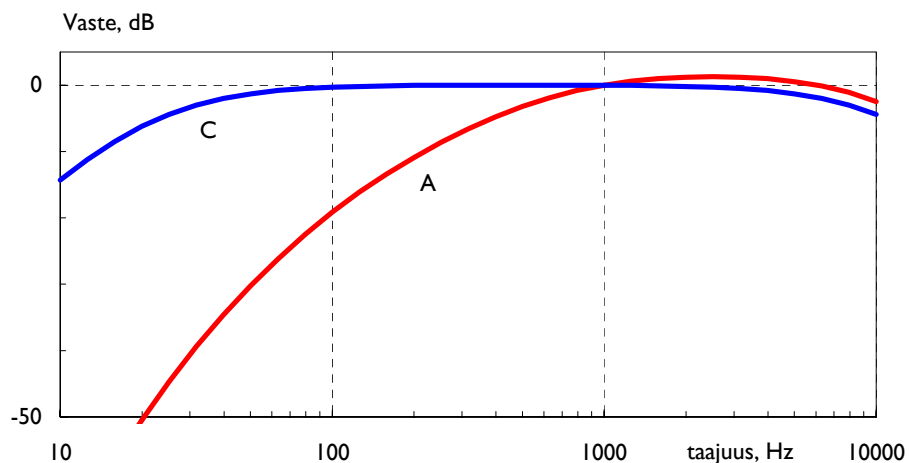


Kuva 10. Kuuloaistin standardisoidut, ”tavalliset” vakioäänekkyysskäyrät ääneksille taajuuden funktiona (ISO 226: 2003). Alin katkoviiva on kuulokynnys. Ylin 100 fonin käyrä on merkitty pisteiviivalla, koska äänekkyyystieto on rajallinen. Kuvaan on merkitty myös A- ja C-painotukset, joita kuvaillaan tarkemmin tekstissä (A: punainen, C: vihreä).

4.2.2

Taajuuspainotukset

Ihmisen kuuloaistin erilaista herkkyyttä erikorkuisille äänille vastaa äänitasomittarissa taajuuspainotus (kuva 11). Eri taajuuspainotusten alkuperäinenkin tarkoitus oli jäljitellä juuri tätä kuulokyvyn ominaisuutta.



Kuva 11. Äänitasomittarin standardisoidujen taajuuspainotusten A ja C vasteet, joiden alun perin uskottiin olevan sopivia vastineita edellisen kuvan vakioäänekkyysskäyrille noin 40 fonin ja noin 100 fonin kohdalla.

Yleisimmin käytetty A-painotuskäyrä on alle 1 kHz taajuuksilla likimain identtinen uuden 60 fonin käyrän kanssa (ehjä punainen käyrä kuvassa 10). Aikaisemmin sovitukset oli paras 40 fonin käyrään (punainen katkoviiva kuvassa 10). Muutos on 63 Hz kohdalla n. 10 dB ylemmäksi ja tämän taajuuden alapuolella vielä enemmän.

Tämän muutoksen jälkeen on selvää, että vanha ja sitkeä käsitys A-painotuksen sopimattomuudesta pienitaajuisen melun äänekkyuden arviointiin on vailla pohjaa. A-painotus jopa *liioittelee* pienitaajuisen melun aistimusta n. alle 40–50 dB A-äänitasoilla ja n. 100 Hz alapuolella.

Samalla C-painotuksenkin status muuttui, kenties ratkaisevasti. Se ei selvästikään enää vastaa mitään vakioäänekkyyskäyrää, ei edes niinkään korkealla kuin 100 fonin tasolla (äänipainetaso 100 dB taajuudella 1 kHz, vihreä käyrä kuvassa 10). Tämän jälkeen C-painotuksen todelliseksi merkitykseksi jääkin pelkästään edustaa painottamattontaa, ”lineaarista” painotusta eli tilannetta, jossa vain ihmiskorvalle kuulumattomat infraäänit alle 20 Hz taajuuksilla on suodatettu pois.

Muutoksilla on erityisen merkittävä vaikutus raskaiden aseiden ampumameluun. Aikaisemmin on useissa yhteyksissä korostetusti perusteltu, että C-painotus on raskaalle ampumamelulle sopivin painotus, koska melu on pienitaajuisista ja koska ”A-painotus ei sovi pienitaajuiselle melulle”.

Taajuuspainotuksen perimmäisenä tarkoituksena on jäljitellä mahdollisimman hyvin ihmisen aistimuksen tai häiriövaikutuksen muodostumistapaa melun äänenkorkeuksien eli spektrin suhteen. Taajuuspainotuksen tarkoituksena ei siis ole sovitattua mahdollisimman hyvin mitattavan melun fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kuitenkin melun arvioinnin historiassa ensimmäinen tavoite on usein unohdettu ja jälkimmäistä tavoitetta on käytetty hyvin yleisesti perusteena painotuksen valinnalle.

Lukuisia kertoja C-painotuksen tai täyden painottamattomuuden valintaa on perusteltu sillä, että ne eivät vaimenna sitä spektrin osaa, jossa on mitattavan melun energian pääosa. Ja kuitenkin jos taajuuspainotus vaimentaa niitä taajuuksia, joiden merkitys aistimuksen tai häiriövaikutuksen syntymisessä on muita vähäisempi, painotus tosiasiaassa toimii juuri niin kuin on tarkoituskina.

4.3

Kokonaismelualtistus

4.3.1

Keskiäänitaso

Edeltävä tarkastelu kohdissa 4.1 ja 4.2 koskee toistaiseksi pelkästään yhtä laukausta kerrallaan. Ampumaradan tai -alueen ympäristömelun hyväksyttävyyden tai häiritsevyyden arvio kuitenkin tuskin koskaan perustuu vain yhden tapahtuman ääneen. Yhden laukauksen melu ei ole koko meluannos altistuvissa kohteissa.

Ampumamelun häiritsevyyden arvioinnin keskeisimpänä tavoitteena on tarkastella koko melualtistusta, esimerkiksi koko päivän, koko viikon tai koko vuoden aikana. Tässä vaiheessa arviointiin tulevat mukaan paitsi eri aseet, myös lukuisat muut häiritsevyyteen vaikuttavat tekijät, kuten laukausten määrä, vuorokaudenaika, viikonpäivä ja vuodenaika sekä esimerkiksi kuuntelupaikka ja -tapahtuma.

Yleisesti ympäristömelun pitkän ajan haittoja ja häiritsevyyttä arvioidaan käyttäen A-keskiäänitasoa eli ekvivalenttia A-äänitasoa L_{Aeq} . Useimmissa maissa keskiäänitasoa käytetään ainakin tavallisten melulajien arvioinnissa, ja yleensä se toimiikin hyvin.

Keskiäänitaso otettiin ympäristömelun arvioinnissa yleiseen käyttöön 1970-luvun kuluessa. Sen katsottiin tarjoavan keskimäärin parhaan vastauksen perusongelmaan, miten tulisi arvioida yhteismitallisesti eri tavoin ajallisesti vaihtelevien ympäristömelujen haitallisuutta ja häiritsevyyttä.

Joissakin satunnaisissa liikenteen ympäristömelun arviointimenetelmien kritiikeissä on arveltu, että jos äänenvoimakkuus vaihtelee, häiritsevyyden arviointi on vaikeaa. On argumentoitu, että jos melutapahtumia esiintyy melko harvoin tai tapahtumien väliin tulee taukoja, keskiäänitaso ei olisi kovin hyvä äänekkyuden mittari (Looten 1992, Kuwano & Namba 1996, Namba & Kuwano 1997).

Ajoittain esiin nouseva kritiikki vaikuttaa usein unohtavan sen seikan, että keskiäänitaso on alunperin tarkoitettukin juuri tällaiselle liikennemelulle: harvalle autoliikenteelle, junien ohiajoille ja lentokoneiden ylilennoille. Keskiäänitaso on nimenomaan väline ajallisesti vaihtelevan melun arviointiin. Tasaiselle melulle keskiäänitasoa ei tarvita lainkaan, pelkkä tavallinen A-äänitaso riittää sellaisenaan. Keskiäänitaso ei myöskään liity mitenkään taajuuksia, spektriä tai taajuuspainotuksia koskeviin seikkoihin; se on pelkästään ajallista vaihtelua koskeva käsite.

Keskiäänitasoa tukeva tutkimustieto on yleisen liikennemelun tapauksessa massiivinen. Ampumamelun kyseessä ollen vastaava keskeinen kysymys onkin viimeisten muutaman vuosikymmenen vaikutustutkimuksissa ollut, voisiko keskiäänitaso sopia myös ajallisesti äärimmäisen voimakkaasti vaihtelevan ampumamelun kokonaisaltistuksen haittojen arviointiin. Ja jos sopii, periaatteessa ja alustavasti, tarvitaanko mahdollisesti lisäehtoja, esimerkiksi yleensä melun impulssimaisen luonteen tai ajan-kohtien painotusten suhteen.

Ampumamelun osalta viimeisin tutkimus on osoittanut, että keskiäänitaso olisi kaikenkokoisille aseille sopivin yleismittaluku ajallisten vaihteluiden ottamiseksi huomioon (Vos 1995, Buchta & Vos 1998, Leatherwood ym. 2002, McCurdy ym. 2004). Asiaa tarkastellaan tarkemmin kohdassa 5.2.

4.3.2

Äänialtistustaso

Kun määritetään keskiäänitasoa melulle, joka koostuu lyhyistä ilmiöistä (ja pitkistä välillä olevista hiljaisista jaksoista), tarvitaan välttämättömänä välisuurena *äänialtistustaso*. Suure on määritelty ympäristömelun perusstandardissa ISO 1996-1 (2003).

Äänialtistustaso voidaan määrittää eri taajuuspainotuksilla, kuten A-äänialtistustaso L_{AE} , C-äänialtistustaso L_{CE} jne. Sen määritelmä on

$$L_E = 10 \lg \int_T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad (1)$$

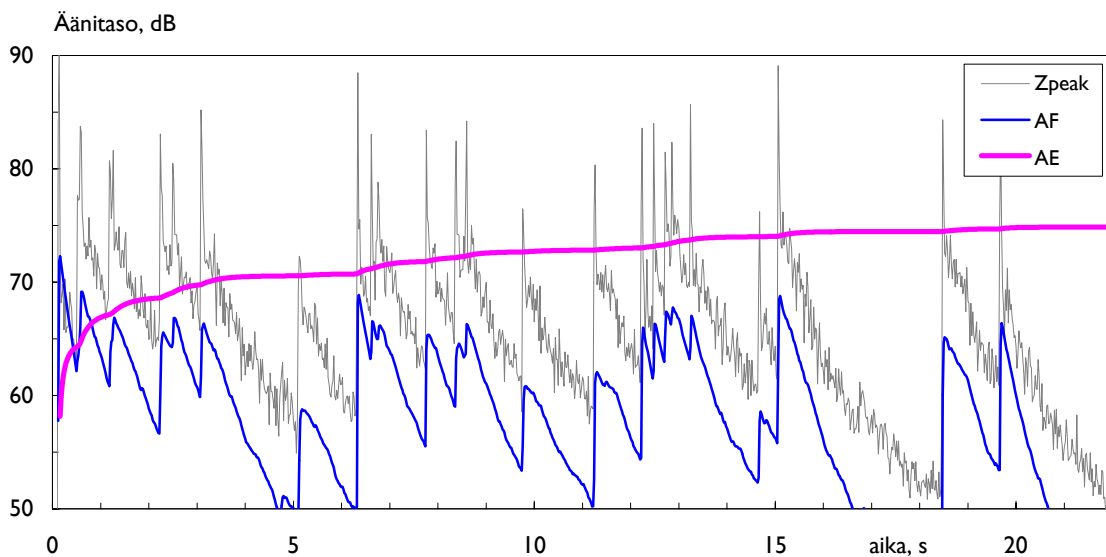
missä $p(t)$ on äänipainesignaali, p_0 on vertailupaine ja T on ääni-ilmiön kokonaiskesto.

Kirjallisuudessa suureen merkintä ja käyttö on ollut varsin sekavaa. Sitä on kutsuttu standardisoidun muodon lisäksi lukuisilla epästandardeilla nimillä ja tunnuksilla, kuten esimerkiksi amerikkalaisperäisillä kirjainlyhenteillä SEL, ASEL ja CSEL. Ruotsin raskaiden aseiden ohjearvoissa esiintyy tarkemmin määrittelemätön ja muualla tuntematon suure L_{Cx} (käsittekummajainen "1 s ajalta laskettu keskimääräinen enimmäistaso"), jolla ilmeisesti tarkoitetaan (lähes) samaa kuin L_{CE} .

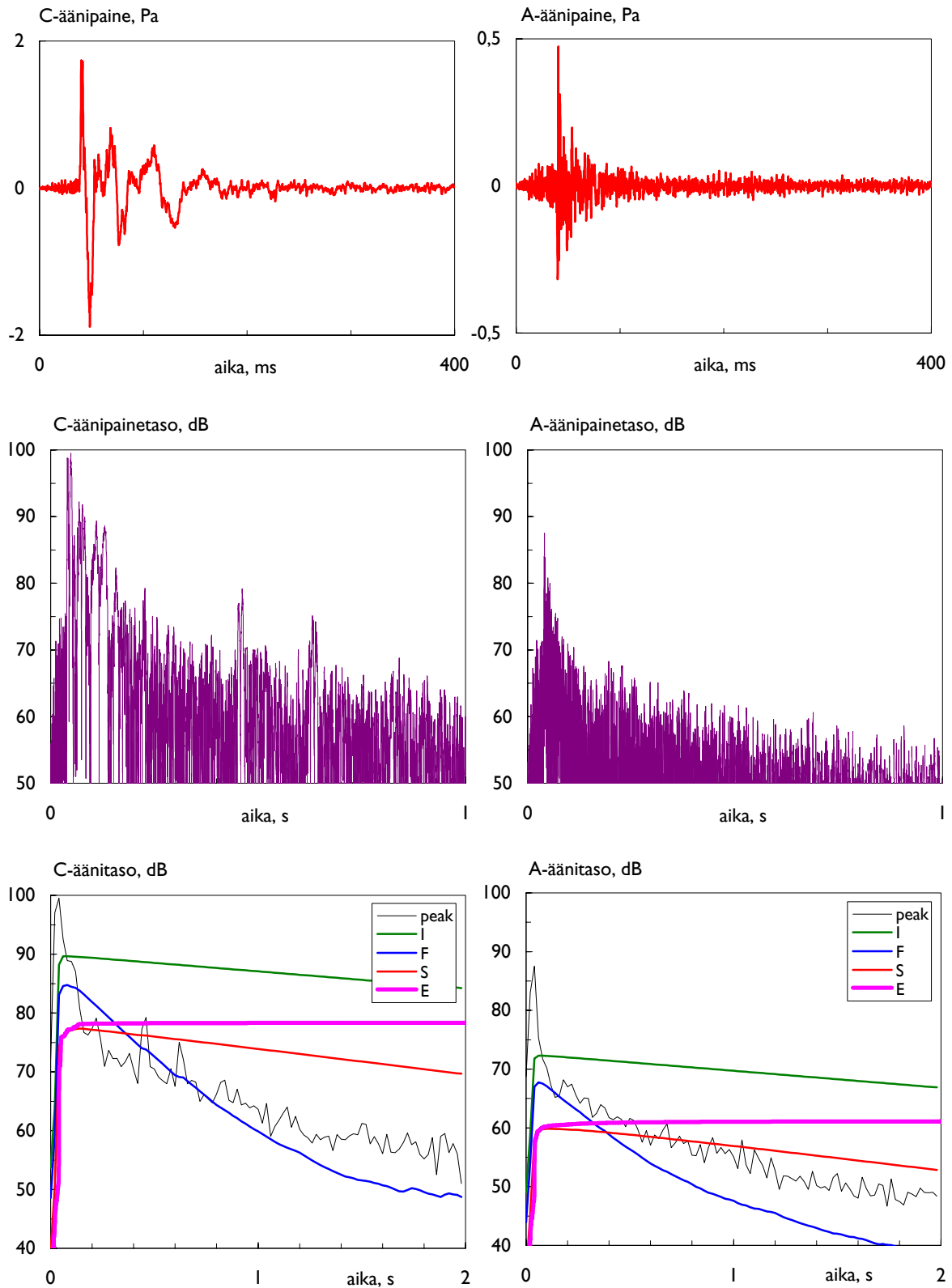
Äänialtistustaso ei sellaisenaan liity aistimiseen, äänekkyyteen tai häiritsevyyteen, vaan se on pelkästään matemaattisesti täsmällinen tekninen mittaluku. Jos ääni-ilmio on selvästi lyhyempi kuin 1 s, äänialtistustason lukuarvo on suunnilleen sama kuin S-aikapainotetun enimmäisäänitason. Jos ilmiö on pidempi, altistustason arvo on suurempi.

Tästä huolimatta äänialtistustason käyttö ampumamelun häiritsevyyden arviointiin näyttäisi olevan selvästi lisääntymässä. Erityisesti raskaiden aseiden yksittäisten laukausten melua arvioidaan eri maissa useimmiten äänialtistustasona. Lisääntyvän käytön yhtenä perussyynä voidaan pitää sitä, että äänialtistustaso yhdistää yhdeksi luvuksi meluhuipun enimmäistason ja impulssin keston, yhdistelmän, jonka kuvaamiseen vaikutustutkimuksissa on usein yritetty löytää sopivaa mittalukua. Samoin se on peruslaskentasuure, kun pyritään muodostamaan kokonaisaltistusta kuvaava yhdistelmä yhden edustavan laukausingpulssin melutasosta ja kaikkien laukausten lukumäärästä.

Kuvissa 12 ja 13 esitetään esimerkinomainen yhteenveto tässä luvussa käsitellystä äänekkyyden arvioinnista eri äänitasosuureita käyttäen.



Kuva 12. Raskaan kranaatinheittimen **120 Krh 92** laukausten ääniä n. 3,5 km etäisyydellä. Painottoman huippuäänitaso L_{Zpeak} , liukuva AF-äänitaso L_{AF} ja kertyvä A-äänialtistustaso L_{AE} .



Kuva 13. Kevyen kranaatinheittimen 81 Krh 71 iskemän ääni n. 1,8 km etäisyydellä. Vasemmanpuoleiset kuvat: C-painotettu; oikeanpuoleiset: A-painotettu. Yläkuvat: äänisignaali; keskikuvat: sama desibeleinä; alakuvat: huippuäänitaso (peak), eri aikapainotusten (I, F, S) vasteet sekä kertyvä äänialtistustaso (E) ajan funktiona. Huom: eri rivien aika-akselit eroavat.

5 Ampumamelun häiritsevyyden tutkimukset

5.1

Lähtökohtia ja menetelmiä

Ampumamelun häiritsevyyden arviointi on muihin ympäristömelun lajeihin verrattuna varsin vaativa ja ongelmallinen tehtävä. Melun luonne on muihin nähden poikkeuksellinen, mistä seuraa, että myös häiriövaikutukset voivat periaatteessa olla osittain erilaisia kuin muulla ympäristömelulla. Esimerkiksi räminän esiintyminen saattaa aiheuttaa häiritsevän reaktion ohella asukkaalle huolen rakennuksen mahdollisesta rikkoutumisesta ja sen arvon alentumisesta.

Osa häiritsevyyden arvioinnin hankaluudesta johtuu siitä, että ampumamelun häiritsevyyden tutkimuksia on tehty olennaisesti vähemmän kuin muilla melulajeilla. Ongelmia paitsi häiritsevyyden arvioinnissa, jo pelkästään tutkimustulosten tulkinnaassa tuottaa myös se, että häiritsevyyden arviointiin tarkoitettuja äänitasosuureita on ollut ehdolla runsas joukko. Sopivimpien suureiden valinta on vieläkin osittain kesken.

Tärkeä häiritsevyyteen liittyvä seikka on, millä kriteerillä häiritsevyyttä arvioidaan. Tutkitaanko melun erittäin häiritseväksi kokevien osuutta vai otetaanko mukaan myös ne, jotka pitävät melua jossain määrin häiritsevänä? Jos lähtökohdaksi valitaan sama kuin liikennemelulla, tarkastelu tehdään erittäin häiritsevänä kokevien mukaan (ISO 1996-1) sekä 10 %:lla esiintyvien vaikutusten mukaan. Samaa metodiikkaa on käytetty myös kuulovaurion arvioimisessa (ISO 1999, VNp 1404/1993).

Kuulijan vaikutelmaa melun voimakkuudesta kuvataan yleisesti käyttäen useita eri käsitteitä, joista tavallisimmat ovat äänekkyyys, meluisuus ja häiritsevyys. Meluisuus ja häiritsevyys eivät ole täysin itsenäisiä suhteessa äänekkyyteen. Yleensä äänekkyyden kasvu lisää häiritsevyyttä ja pieneneminen vähentää sitä.

Monissa ampumamelun tutkimuksissa äänekkyyys on yhdistetty (lähes) suoraan häiritsevyyteen, vaikka ne ovat eri käsitteitä. Äänekkyyys kuvaa melun fysikaalista ominaisuutta ja häiritsevyys taas melun aiheuttamaa vastetta, melun kokemista häiritsevänä. Äänekkyyys on häiritsevyyden osatekijöistä ehkä merkittävin, mutta häiritsevyyteen vaikuttavat sen ohella myös monet muut tekijät (Pesonen 2005).

Ampumamelun häiritsevyyden tutkimuksia on tehty kolmeen eri pääryhmään jakautuvilla menetelmillä:

1. Laboratoriossa saavutetaan erittäin hyvä kontrolli ääniherätteille, mutta kaiuttimilla toistettujen äänten kuunteluolosuhteet ovat epänormaalit.
2. "Kenttälaboratoriossa" koehenkilöt kuuntelevat todellista melua asuintaloa jäljittelevässä rakennuksessa. Herätteiden kontrolli ei ole yhtä eksakti kuin varsinaisessa laboratoriossa, mutta äänet ja kuunteluolot ovat luonnollisempia.
3. Normaalissa kenttätutkimuksessa selvitetään ihmisten kodeissaan kokemia haittoja haastatteluin ja altistusmittauksin. Kuuntelutilanne on normaali, mutta ääniherätteen eli meluallistuksen tunteminen on vastaavasti epävarminta.

Häiritsevyyden tutkimuksissa eräs keskeinen tekijä on yksittäisten äänitapahtumien yhdistäminen pitkäaikaiseksi monista melutapahtumista koostuvaksi kokonaisaltistukseksi. Laboratoriossa reaktioiden yhdistäminen ei juuri vastaa todellista tilannetta. "Kenttälaboratoriossa" voidaan tutkia myös monista tapahtumista koostuvaa kokonaisuutta. Varsinaisissa kenttätutkimuksissa altistava tilanne on suoraan kokonaisaltistus.

Suorien kentällä tehtävien kyselytutkimusten perushankaluutena on, että vain hyvin harvoissa tapauksissa ampumaratojen ja -alueiden ympäristössä niiden melualueilla asuu runsaasti asukkaita. Vasta suuri asukasmäärä tuottaisi tilastollisesti merkitseviä ja luotettavia tutkimustuloksia.

Ampumamelun keskeisimmissä häiritsevyydetutkimuksissa onkin yleensä pyritty löytämään vastaavuus tavallisten ympäristömelun lajien ja ampumamelun keskinäisen häiritsevyyden välille. Toisin sanoen yleensä ei ole yritetty yksin erikseen määrittää, kuinka häiritsevää pelkkä ampumamelu on.

Tämän periaatteellisen eron syynä on, että muun ympäristömelun häiritsevyys tunnetaan yleisesti ottaen perusteellisesti, hyvin monien ja hyvin laajojen tutkimusten ansiosta. On arvioitu, että käytännössä ei ole mahdollista tehdä pelkälle ampumamelulle vastaavan laajuista tutkimuskokonaisuutta, vaan että parempi ja usein ainoakin realistinen mahdollisuus on verrata tunnettuun vertailukohtaan. Vertailututkimukset on pääsääntöisesti tehty laboratoriossa tai kenttälaboratoriossa.

Ampumamelun häiritsevyyden tutkimuksia on maailmalla tehty pitkäjänteisesti, laajasti tai systemaattisesti lähinnä vain kolmessa paikassa:

- Yhdysvaltain armeija, Construction Engineering Research Laboratories, Champaign, Illinois, USA; päätutkijana Paul D. Schomer, alkaen n. vuodesta 1977.
- Institut für Lärmschutz, Düsseldorf, Saksa; päätutkijoina Edmund Buchta ja Karl-Wilhelm Hirsch, alkaen n. vuodesta 1981.
- TNO Defense, Security and Safety, Human Factors, Soesterberg, Alankomaat; päätutkijana Joos Vos, alkaen n. vuodesta 1981.

Useimpia muita julkaistuja primääritutkimuksia, jotka ovat koskeneet erityisesti juuri ampumamelua, voidaan luonnehtia yksittäisiksi ja edellisiä rajallisemmiksi.

Fysikaaliset ja aistimustekijät

5.2.1

Äänitasojen kynnysarvoja

Raskaiden aseiden ja räjähteiden melun häiritsevyyden (melun erittäin häiritsevänä kokevien osuuden) on todettu lisääntyvän merkittävästi, kun ulkomelun C-huippuäänitaso L_{Cpeak} ylittää 115 dB (Schomer & Sias 1996, USACHPPM 2005). Lähes samoin Luzin (1994) mukaan häiritsevyys raskaiden aseiden melulle alkaa lisääntyä merkittävästi, kun melun painottamaton huippuäänitaso L_{Zpeak} ylittää 115 dB.

Korvaan saapuvan lyhyen äänen hetkellinen huippuarvo ei vaikuta äänekkyysaistimuksen syntyyn; se perustuu impulssin kokonaisenergiaan. Ihminen ei ”kuule huippuäänitasoa”. Häiritsevyyden kokeminen ei siten voi perustua huipputasoon, joten huippuäänitaso ei periaatteessa sovi häiritsevyyden arvioinnin tasosuureksi. Siksi olisi hyvin suotavaa, että tällaisten luokitusten huipputaso voitaisiin muuntaa vastaavaksi enimmäisäänitasoksi tai äänialtistustasoksi. Muunnos ei ole yksiselitteinen, mutta jos aseiden kaliiperi tunnetaan, suuntaa-antava muunnos on hyvinkin mahdollinen.

Puolustusvoimien suositusarvo-ohjeessa (2005) on esitetty arviot, että raskaiden aseiden C-huippuäänitaso L_{Cpeak} 115 dB vastaa suunnilleen C-äänialtistustasoa L_{CE} 94 dB ja A-äänialtistustasoa L_{AE} 82 dB.

Vastaavia häiritsevyyden kynnysarvoja on esitetty myös kevyille aseille ja enimmäisäänitasoille. Arntzen (1984) luettelee useita eri kynnysarvoja kevyiden aseiden melulle, mm. $L_{Cpeak} = 80\text{--}85$ dB, $L_{AImax} = 65\text{--}70$ dB ja $L_{AFmax} = 60\text{--}65$ dB.

Arntzenin ja Schomerin huippuäänitasojen lukuarvoissa on näennäisesti käsittämättömän suuri, n. 30 dB ero. Perimmäinen syy eroon on, että C-huippuäänitaso ei yksinkertaisesti sovi kaikille kaliipereille häiritsevyyden arviointiin samoja lukuarvoja käyttäen.

5.2.2

Kokonaismelualtistus, kevyet aseet

Kenttätutkimukset

Suoria haastattelutyypisiä ampumamelun kenttätutkimuksia on tehty suhteellisen vähän. Kevyille aseille (kivääreille) tutkimuksia on vain muutama, raskaille aseille hieman useampia. Niillä on kuitenkin rasitteenaan useita eri rajoituksia, minkä vuoksi niiden merkitys sellaisinaan, yksinään on rajallinen.

Ensimmäisiä varsinaisia kevyiden aseiden kenttätutkimuksia lienevät Arntzenin (1984) ja Buchtan (1990) referoimat Sörensen & Magnussonin tutkimus Ruotsissa 1979, sveitsiläinen tutkimus vuodelta 1980 sekä Bullen & Heden tutkimus Australiassa 1982. Ne tuottivat välittöminä tuloksina lähinnä edellisessä kohdassa mainittuja kynnysarvoja.

Seuraava julkaistu kevyiden aseiden melun tutkimus on Buchtan (1990) julkaisussa raportoitu kooste useasta eri tutkimuksesta Saksassa. Alkuperäiset haastattelut tehtiin vuosina 1980–81. Tutkimukset käsittivät yhteensä 5 ampumarataa, kolme siviili- ja kaksi sotilasrataa. Haastateltuja oli n. 400 henkilöä. Tutkimuksiin liittyi sekä kattavat melualtistusmittaukset että vertailu liikennemelun häiritsevyyteen.

Tutkimuksen keskeiset tulokset olivat:

- A-keskiäänitaso L_{Aeq} on parempi mitta häiritsevyyden ennustamiseen kuin AI- tai AF-enimmäisäänitasot L_{Amax} ja L_{AFmax} .
- Kohtuullisilla äänenvoimakkuuksilla ampumamelun A-keskiäänitaso L_{Aeq} on keskimäärin 13 dB pienempi kuin yhtä häiritsevän liikennemelun.

Tuoreempia kevyiden aseiden melun kenttätutkimuksia ei tiettävästi ole julkaistu. Uudemmat tiedot ovat peräisin laboratorio- ja kenttälaboratoriotutkimuksista.

Laboratoriotutkimukset

Vos (1990, 1995) referoi laajaa Euroopan Komission käynnistämää laboratoriotutkimusten sarjaa, joka sisälsi kahdeksan riippumatonta tutkimusta pistoolin ja konepistoolin melun häiritsevyydestä. Ampumamelua verrattiin liikennemeluun. Kohtuullisilla voimakkuuksilla ampumamelu osoittautui rakennusten sisätiloissa selvästi liikennemelua häiritsevämmäksi. Kun laukausten sisämelun A-keskiäänitaso oli n. 30 dB, se oli keskimäärin 12 dB pienempi kuin yhtä häiritsevän liikennemelun keskiäänitaso. Kun voimakkuus kasvoi, ero pieneni siten, että n. 65 dB A-keskiäänitasolla ero oli vain 1 dB.

Tutkimuskokonaisuuden heikko kohta on sama kuin puhtaissa laboratoriotutkimuksissa yleensäkin. Hiljaisempia laukauspulsseja vain hiljennettiin voimakkaampiin nähden; niiden kestoja ei samalla pidennetty ja muotoa pehmennetty niin kuin tapahtuu todellisuudessa, kun laukaus etenee kauemmaksi ampumaradasta.

Schomer & Wagner (1995) yhdessä laajemman työryhmän kanssa tekivät laajan kenttälaboratoriotestien sarjan, jossa verrattiin luonnollisten laukausäänten häiritsevyyttä luonnolliseen ajoneuvomeluun. Satoja koehenkilöitä kuunteli vuorotellen eri meluja sisällä asunnonomaiseksi rakennetussa koetalossa. Ikkunat olivat joko raollaan tai kiinni. Laukauksia ammuttiin eri etäisyyksillä, eli voimakkuuden vaimentuminen oli luonnollista. Kiväärien laukausäänet olivat eri tilanteissa miltei vakioerotuksen verran häiritsevempiä kuin ajoneuvojen melu, ja häiritsevyys riippui vain heikosti etäisyydestä eli voimakkuudesta. Keskimäärin ero melujen häiritsevyydessä oli 10 dB sisällä koetalossa. Kun mittaus tehtiin ulkona (vaikka koehenkilöt olivat sisällä), ero oli 12 dB.

Kevyet aseet, päätelmiä

Vos (1995) teki kriittisen katsauksen ja yhteenvedon edellä mainituista kevyiden aseiden melun häiritsevyytutkimuksista. Aikaisemmat kenttätutkimukset analysoitiin uudelleen yhdenmukaisin menetelmin. Samalla yhdenmukaistettiin keskiäänitason laskenta-aika. Käytetty koko vuoden aktiivinen toiminta-aika laskettiin nimellisen, mahdollisen käytön mukaan. Esimerkiksi koko vuoden keskiarvoistusaika satunnaisestikin arkipäivisin päiväaikaan käytetylle radalle olisi $52 \text{ (viikkoa)} \times 5 \text{ (arkipäivää)} \times 8 \text{ h} = 2080 \text{ h}$. Osoittautui, että eri kenttätutkimukset olivat hyvin lähellä toisiaan ja että niissä impulssikorjauksen arvo riippui vain heikosti melun voimakkuudesta. Häiritsevyyden ero oli 13 dB.

Kaikki analysoidut tutkimukset vahvistivat, että kokonaisaltistuksen aiheuttama häiritsevyys noudattaa energian summautumista ja siten edelleen, että A-keskiäänitaso L_{Aeq} on (impulssikorjattuna) kevyiden aseiden melulle sopivin häiritsevyyden mittaluku.

Lopuksi Vos muodosti kaikkien, sekä kenttä- että laboratoriotutkimusten perusteella kevyiden aseiden melun yhdistetyn keskimääräisen impulssikorjauksen. Hänen analyysinsä osoitti, että A-keskiäänitasona L_{Aeq} arvioituna kiväärimelu on 12 dB häi-

ritsevämpää kuin liikennemelu. Tämän yhteenvedon analyysin tulokset on käytännössä kirjattu lähes sellaisinaan ympäristömelun perustandardiin ISO 1996-1 (2003).

5.2.3

Kokonaismelualtistus, raskaat aseet

Kenttätutkimukset

Raskaiden aseiden ja räjähteiden kokonaismelun suoria haastattelutyypisiä kenttätutkimuksia on tehty jopa hieman enemmän kuin kevyiden aseiden melulle. Tutkimuksilla on rasitteinaan samantapaisia metodologisia rajoituksia kuin kevyidenkin aseiden kenttätutkimuksilla, minkä vuoksi täydentäviä laboratoriotutkimuksiakin tarvitaan.

Tärkeimmistä kenttätutkimuksista ensimmäisiä olivat Schomerin haastattelututkimukset kahdella tykistön harjoitusalueella 1980-luvun alussa Yhdysvalloissa (Schomer 1985; uudelleenanalyysi: Schomer 1994). Vuoden 1982 tutkimuksessa haastateltuja asukkaita oli n. 2350 ja vuoden 1985 tutkimuksessa n. 1250. Tutkimusten keskeinen tulos oli, että C-äänialtistustaso L_{CE} ja edelleen päivän-yön C-keskiäänitaso L_{Cdn} korreloivat hyvin häiritsevyyden kanssa. Muita tasosuureita ei alunperin yritetty määrittää.

Australialaisessa tutkimuksessa (Bullen ym. 1991) selvitettiin 13 kuukauden ajan tykistön ampuma-alueen melun häiritsevyyttä ympäristössä. Haastateltuja asukkaita oli n. 1600 ja altistuksen arvioinnissa käytettiin peräti yhdeksää erilaista äänitaso- ja muuta melusuuretta. Tutkimuksen osana tehtiin runsaasti melumittauksia.

Bullenin ym. laajan tutkimusaineiston tilastollinen jatkokäsittely oli poikkeuksellisen oivallinen. On valitettavaa, että näin harvinaisen korkealuokkaisen tutkimuksen tulosten arvoa vesittää epäonnistuneena pidettävä primäärin äänitasosuureen valinta. Analyysi vietiin pisimmälle käyttäen merkittäviä ja muissa yhteyksissä tuntematonta, "omatekoista" suuretta: *painottamattomien huippuäänitasojen kertyvä energiasumma päivän aikana*. Suureen valinnassa ei ole mittausteknistä mieltä; huippuäänitasoilla ei ole tekemistä signaalienergian kanssa ja niiden yhteenlasku energiamielessä on käsittämätöntä.

Onneksi Bullen ym. määrittivät myös muita suureita. Osoittautui, että tilastollisesti likimain samanarvoinen korrelaatio häiritsevyyden kanssa saatiin myös A- ja C-keskiäänitasoille L_{Aeq} ja L_{Ceq} . Merkittäviä muita tuloksia olivat, että pelkkä laukausten lukumäärä (ilman tasovaihtelutietoa) ei korreloinut häiritsevyyden kanssa, ei ilman kynnysarvoja eikä niiden kanssa. Toisaalta suureet, jotka eivät ota huomioon laukausten lukumäärää, olivat myös huonoja.

Yhteenvedon todettiin, että tykistön melun häiritsevyys noudattaa energiaperiaatetta. Keskiäänitason luonteiset suureet olivat kyvyllään ennustaa häiritsevyyttä "ylivertaisia" verrattuna muihin oletuksiin. Kun tykkien melun häiritsevyyttä verrattiin saman tutkijaryhmän aikaisemmin määrittämään lentomelun häiritsevyyteen Australiassa, käyttäen A-keskiäänitasa L_{Aeq} altistuksen mittana, saatiin n. 30 dB ero.

Lukuarvo on hämmästyttävä verrattuna muualla saatuihin raskaiden aseiden impulssikorjauksen arvoihin, joita arvioidaan jäljempänä. Osan siitä selittää, että Bullen ym. käyttivät koko vuorokauden (24 h) keskiäänitasa, vaikka ampumista esiintyi vain päiväaikaan (klo 7–19). On luultavaa, että he käyttivät lisäksi koko vuoden keskiäänitasa, vaikka ampumista esiintyi vuoden aikana vain 66:nä päivänä. Tämä jää kuitenkin epäselväksi, sillä jälkimmäisestä ei ole artikkelissa mainintaa.

Rylander & Lundquist (1996) tutkivat kahdeksaa raskaiden aseiden ampuma-alueita Ruotsissa. Alueiden ympäristön asukkaista haastateltiin n. 1500 henkilöä. Rylander ym. tarjosivat ampumamelunkin häiritsevyyden arviointiin aiemmin muille ympäristömelulajeille ehdottamaansa enimmäistaso + lukumäärä -tyyppistä yhdistelmää.

Rylander & Lundquist lähtivät alun perin etsimään todistusta omalle ennakkoteorialleen, mikä merkitsi sitä, että muita tasosuureita ei määritetty eikä vertailuja muihin oletuksiin ja muihin mittalukuihin siten ole käytettävissä. Tutkijoiden tulkinta tavoittelemastaan löydöksestä, lukumäärän vaikutuksen kyllästymisilmiöstä tietyn lukumäärän yläpuolella, on kiistanalainen. Lukumääräakseli on kyllästymistä havainnollistavan käyrän korrelaatiossa valittu lineaariseksi (pitäisi olla logaritminen) ja saatu korrelaatiokerroin on kovin pieni. Tämä tarkoittaa, että johtopäätös on itse asiassa hataralla pohjalla. Se on myös selvässä ristiriidassa Bullenin ym. tutkimuksen kanssa. Tutkimuksessa voidaan lisäksi osoittaa muitakin rakenteellisia heikkouksia. Se perustui pelkästään laskelmiin (tuntemattomalla) melulaskentamallilla eikä asuinalueilla tehty lainkaan todellisia meluallistustutkimuksia.

Neljäs merkittävä kenttätutkimuskokonaisuus tehtiin Saksassa (Buchta & Vos 1998). Kahden raskaiden aseiden harjoitusalueen melua tutkittiin niiden ympäristössä 17:llä asuinalueella. Haastateltuja oli yhteensä 433 henkeä. Kaikilla alueilla esiintyi myös tieliikennemelua ja sen häiritsevyys sisältyi tutkimukseen.

Tutkimuksen merkittävänä heikkoutena oli, että asuinalueilla ei tehty ampumamelun mittauksia, vaan melu laskettiin vain laskentamallilla. Tieliikennemelu sen sijaan mitattiin. Käytetty saksalainen raskaiden aseiden melun laskentamalli "Larmlast" laskee vain C-äänialtistustasoja L_{CE} ja C-keskiäänitasoja L_{Ceq} . A-tasojen puuttuminen on tutkimuksen toinen merkittävä heikkous. Asuinalueiden ampumamelulle laskettiin koko vuoden päivän (16 h) ja yön (8 h) C-keskiäänitasot käyttäen mukaan otettujen päivien lukumääränä $52 \text{ (viikkoa)} \times 5 \text{ (arkipäivää)} = 260 \text{ päivää}$.

Tutkimuksen tulos oli, että jos raskaiden aseiden ampumamelua arvioidaan C-keskiäänitasona L_{Ceq} ja tieliikenteen melua A-keskiäänitasona L_{Aeq} , ampumamelu oli n. 5 dB häiritsevämpää.

Tämä ampumamelun C-tason ja liikennemelun A-tason vertaaminen keskenään on ollut monien 1990-luvun tutkimusten harmillinen erityispiirre, joka sekoittaa tuntuvasti kokonaiskuvan muodostamista. Asiaa käsitellään tarkemmin kohdassa 5.2.5.

Kenttälaboratoriotutkimukset

Schomer & Wagner (1995) tekivät Yhdysvalloissa kenttälaboratoriotutkimuksen, jossa äänilähteinä olivat moottoriajoneuvojen, helikopterin ja kevyiden aseiden ohella kevyt 25 mm kanuuna ja räjäytykset. Lisäksi referoitiin kahta samanlaista Saksassa tehtyä kenttälaboratoriotutkimusta, joissa lähteinä oli mm. räjäytyksiä. Koehenkilöt kuuntelivat todellisia ääniä asuintalossa muistuttavassa koetalossa.

Kanuunanlaukausten ja räjäytysten etäisyys koetalosta oli kohtuullisen edustava, välillä 1–2,5 km. Osoittautui, että kanuunan melu oli A-äänialtistustasoina arvioituna sisällä talossa 12 dB häiritsevämpää kuin moottoriajoneuvojen melu. Mutta jos mitaus tehtiin talon ulkopuolella (vaikka koehenkilöt olivat talossa sisällä), tarvittava korjaus A-äänialtistustasoon oli 15 dB. Jälkimmäisen selitykseksi esitettiin kanuunan pienitaajuisempi spektri ja talon vähäisempi äänieristys pienillä taajuuksilla.

Päinvastoin kuin muilla melulähteillä, räjäytysten melu mitattiin vain C-äänialtistustasona, mikä kiusallisesti estää yksinkertaisen vertailun. Yleistuloksena havaittiin, että kun vertailuäänilähteen (ajoneuvojen) A-äänialtistustaso muuttui 2 dB, vastaavan suuruinen muutos häiritsevyydessä saatiin, kun räjäytysten C-äänialtistustaso muuttui vain 1 dB. Tämä yleishavainto johti sittemmin lukuisiin jatkotutkimuksiin laboratorioissa, joissa ilmiötä pyrittiin kuvamaan tarkemmin.

Tärkeimpien tutkimusryhmien työ on noin viimeisen kymmenen vuoden aikana keskittynyt yhä yksityiskohtaisempiin tutkimuksiin raskaiden aseiden melun voimakkuusriippuvuudesta ja spektrin pienitaajuisen osuuden vaikutuksesta. Näitä tutkimuksia käsitellään kohdassa 5.2.6. Vastaavaa suurta kokoavaa yhteenvetoa, jollaisen Vos (1995) teki kevyiden aseiden melulle, ei ole toistaiseksi esitetty raskaille aseille.

Laukausten lukumäärä

Ampumamelun annos-vastesuhteen muodostaminen voisi periaatteessa olla yhdessä suhteessa yksinkertaisempaa kuin muilla ympäristömelun lajeilla. Pääsääntöisesti yhdessä kuuntelupisteessä esiintyvät yhden aseiden laukaukset ovat lähes samanlaisia.

Ratkaistavia kysymyksiä ovat, mikä on yhden laukauksen voimakkuuden vaihtelun vaikutus häiritsevyyteen ja mikä on laukausten lukumäärän vaikutus. Kokonaisuutena tarvitaan lukumäärän vaikutus yhden laukauksen vakiona pysyvään voimakkuuteen *verrattuna* ja toisaalta laukausten voimakkuuden vaihteluun *verrattuna*. Käytännössä tärkein kysymys on siis, mikä on laukausten lukumäärän vaikutus *verrattuna* yksittäisten laukausten voimakkuuden muutoksiin. Suomessa raskaiden aseiden laukausten määrä on aktiivisilla harjoitusalueilla karkeasti muutamasta kymmenestä muutamaan sataan laukaukseen päivässä ja kevyiden aseiden ampumaradoilla useasta sadasta muutamiin tuhansiin laukauksiin päivässä.

Toista kysymystä voidaan esimerkinomaisesti pelkistää seuraavasti: onko 10, 100 tai 1000 laukausta häiritsevempää kuin yksi? Kevyiden aseiden osalta kysymys voidaan selvästi katsoa ratkaistuksi, ja vastaus on myönteinen.

Viime vuosien tutkimukset ovat osoittaneet, että kevyillä aseilla häiritsevyyden riippuvuus laukausten lukumäärästä N noudattaa energiaperiaatetta eli lauseketta $10 \lg N$ (Smootenburg 1981, Bullen & Hede 1982, Buchta 1990, Vos 1990, Bullen ym. 1991, Vos 1995). Tämä merkitsee, että keskiäänitaso sopisi hyvin kevyiden aseiden melun kokonaisaltistuksen mitaksi. Kun altistusarvion perustana käytetään enimmäisäänitasa, laukausten lukumäärä ei vaikuta arviointiin.

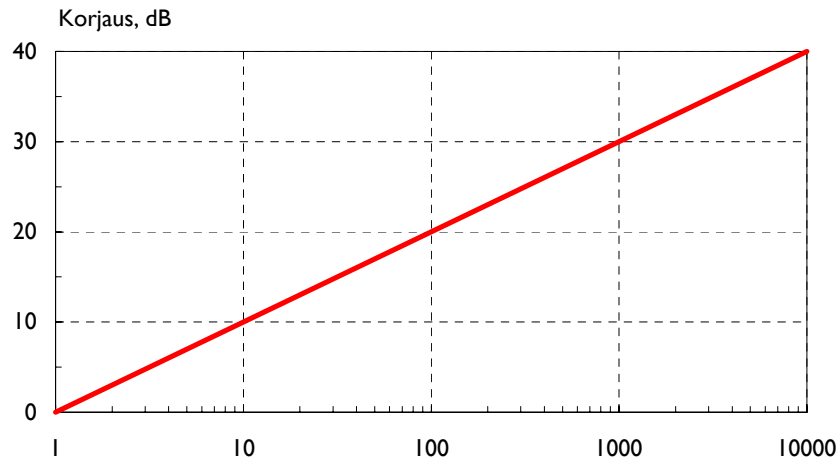
Raskaiden aseiden ja räjähteiden melun tutkimukset osoittavat, että myös niiden sekä muiden vastaavien voimakkaiden ja pienitaajuisten impulssien häiritsevyys lisääntyy impulssien lukumäärän myötä. Äskettäin on voitu vahvistaa, että raskaiden aseiden melun ja muiden pienitaajuisten impulssien häiritsevyyden ja lukumäärän N välillä pätee sama luonnollinen riippuvuussuhde $10 \lg N$ kuin kevyillä aseilla (Buchta & Vos 1998, Leatherwood ym. 2002, McCurdy ym. 2004).

Esimerkiksi jos yhden laukauksen äänialtistustaso L_{AE} on 70 dB ja päivän aikana esiintyy 20 laukausta, on lukumäärän korjaustermi kokonaisaltistukselle $10 \lg 20 = +13$ dB (kuva 14). Eräissä maissa, mm. Saksassa ja Hollannissa onkin viime vuosina otettu käyttöön tämä laukausten määrän korjaus.

Poikkeuksen edellä mainittuun muodostaa Rylander & Lundquistin tutkimus (1996). He esittivät havaintonaan, että jos raskaiden aseiden C-äänialtistustason LCE suurin arvo ylittää 90 dB, laukausten vuosittainen lukumäärä vaikuttaa vain 500:aan laukaukseen asti. Mikäli laukauksia on enemmän, ei niiden lukumäärällä ole enää vaikutusta. He ehdottivat ohjearvojen laatimista tälle perustalle.

Johtopäätös vaikuttaa merkittävästi: jos laukauksia olisi enemmän kuin noin 1,5–2 päivässä, häiritsevyys ei lisääntyisi. Ilman eri viittauksiakin tuntuu ilmeiseltä, että tämä ei voi käytännössä pitää paikkaansa. Muiden tutkimusten perusteella tiedetään, että tulos ei päde ainakaan päivällä. Tutkimus onkin jäänyt irralliseksi yksittäispaukseksi.

Bullenin ym. (1991) tykistön ampuma-alueen melututkimuksen johtopäätös laukausten lukumäärästä oli täysin päinvastainen kuin Rylander & Lundquistilla: lukumäärän vaikutus osoittautui olevan jopa hieman suurempi kuin energiaperiaatteen mukainen $10 \lg N$, ja vaikutus kasvoi edelleen, jos laukausten lukumäärä oli suuri.



Kuva 14. Laukausten lukumäärän korjaus kaavan $10 \lg N$ mukaan.

5.2.5

Taajuuspainotus

Yleistutkimuksia

Perinteinen käsitys tavallisimmasta A-painotuksesta on ollut, että se ei välttämättä vastaa pienitaajuisien melutapahtumien äänekkyyttä ja siten niiden häiritsevyyttä. Perusteluna on ollut se, että A-painotus suodattaa spektrin pieniä taajuuksia ja jos melu on pienitaajuisia, painotus vaimentaa siitä osan. A-painotuksen tarkoituksena on jäljitellä kuuloaistin toimintaa pienillä taajuuksilla. Jos painotus vaimentaa melun spektrin sitä osaa, jonka vaikutus äänekkyyteen ja häiritsevyyteen on muita vähäisempi, silloin painotus toimiikin oikein. Tätä tosiasiaa ei kuitenkaan ole useinkaan huomattu.

Varhaisemmissa häiritsevyyden yleistutkimuksissa on tehty havaintoja, joiden perusteella on arveltu, että pienitaajuisen melun A-äänitaso aliarvioi häiritsevyyttä 5–8 dB (Kjellberg & Goldstein 1985). Toisin sanoen häiritsevyyks on suurempaa samalla A-äänitasolla, jos melu on taajuudeltaan pienitaajuisia (Pawlaczyk-Luszczynska ym. 2003).

On kuitenkin huomattava, että tällaisissa laboratoriotutkimuksissa käytetyt testiäänet ovat jatkuvia ja äänenvoimakkuudet ovat tyypillisesti alueella 60–85 dB. Tällöin liikutaan ylempänä kuin tavallisilla häiritsevän ampumamelun äänitasoilla. Toisin sanoen tulokset eivät ole relevantteja ampumamelun häiritsevyyden kannalta (ks. kuva 10).

Kevyet aseet

Ihmisen kuulokyky on herkin keskitaajuuksialueella, n. 500 Hz – 5 kHz ja A-taajuuspainotus noudattaa tätä kuulon ominaisuutta. Kevyiden aseiden ampumamelun spektrin maksimikohta on myös tällä samalla alueella. Tästä syystä A-painotuksen sopivuutta kevyiden aseiden melulle ei ole koskaan asetettu kyseenalaiseksi. Uudemmatkin tutkimukset vahvistavat, että A-painotus edustaa parhaiten laukaustumelun häiritsevyyttä pienikaliiperisille aseille (Buchta 1990, Vos 1995).

Raskaat aseet

Varhaisimmat ehdotetut menetelmät raskaiden aseiden melun arvioimiseksi (NRC 1981) lähtivät suoraan siitä oletuksesta, että koska melu on pienitaajuisia, sitä ei saa suodattaa ja painotukseksi valittiin siis C. Varsinaisia perusteluja ei esitetty (Schomer 1985, Schomer 1994). Tästä syystä useita varhaisia raskaiden aseiden melun vaikutustutkimuksia tehtiin vain C-äänialtistustasoa L_{CE} käyttäen. Vasta myöhemmin

havahduttiin tekemään vertailevia tutkimuksia eri painotusten välillä (Bullen ym. 1991).

Keskeisimmissä vaikutustutkimuksissa on sittemmin päädytty siihen, että A-äänialtistustason tulisi sittenkin olla primääri mitta- ja arviointisuure myös raskaille aseille (Meloni & Rosenheck 1995, Vos 1996b, Vos 2001b). Jos räminää ei esiinny, pelkkä C-painotus vääristää häiritsevyyden arviota. C-äänialtistustaso olisikin luonteeltaan täydentävä lisätieto, siltä varalta, jos tärinää ja räminää esiintyisi melun yhteydessä.

Yliäänipamaukset ovat akustisesti hyvin samankaltaisia voimakkaita pienitaajuisia impulsseja kuin raskaiden aseiden laukaukset. Yliäänipamausten vaikutustutkimuksissa on havaittu, että A-painotus on niille sopivin ja paras taajuuspainotus. C-painotuksen on todettu olevan selvästi huonommin sopiva painotus (Leatherwood ym. 2002, McCurdy ym. 2004). Johtopäätös pätee tilanteissa, joissa räminää ei esiinny.

Jos on mahdollista, että esiintyy räminää, pelkkä A-painotus voi aliarvioida pienitaajuisen melun häiritsevyyksivaikutuksia. Päivän-yön C-keskiäänitaso L_{Cdn} on havaittu ennakoivan äänen ja räminän yhteisvaikutusta paremmin kuin A-painotettu taso L_{Adn} (Schomer 1985, Schomer & Hoover 1989, Schomer & Sias 1996).

Muöhemmin C-painotuksen käyttöä raskaiden aseiden melulle on vielä jälkikäteen yritetty perustella sillä, että A-tasojen mittaaminen on vaikeaa suurilla etäisyyksillä, koska "alhainen signaalin ja taustamelun suhde rajoittaa A-tasojen mittaustarkkuutta" (Buchta 1996, Hirsch 1998). Erityisesti Buchta ja Hirsch näyttävät toistavan tätä perustelua, joka on löytänyt tiensä jopa standardiin ISO 1996-1 (2003).

Tämä mittaustekninen perustelu vaikuttaa kuitenkin nykyisin hyvin oudolta. Sen täytynee perustua käyttökokemuksiin vanhoista analogisista, osoittimella varustetuista äänitasomittareista, joiden käyttökelpoinen dynamiikka-alue oli aikoinaan suhteellisen kapea. Tämä ongelma poistui digitaalitekniikan ansiosta 1990-luvun aikana.

Nykyisillä mittalaitteilla väitetty hankaluus ei muodosta ongelmaa. Mm. vuosien 2005–2006 puolustusvoimien ampuma-alueiden meluselvityksissä raskaiden aseiden laukausten A-äänialtistustasoja mitattiin vaivatta jopa yli 10 km etäisyyksillä. Itse asiassa C-äänialtistustasojen mittaaminen on herkempää taustamelulle, koska tuulen aiheuttaman taustaäänien spektri nousee aina pienille taajuuksille päin.

A- ja C-painotettujen tasojen vertaaminen

Raskaiden aseiden melun häiritsevyyttä ryhdyttiin vertaamaan liikennemelun häiritsevyyteen noin 1980- ja -90-lukujen vaihteessa. Mainitun vakiintuneen tavan seurauksena (raskaiden aseiden melua mitattiin C-äänialtistustasona) vertailu tehtiin liikennemelun A-keskiäänitaso L_{Aeq} ja ampumamelun C-keskiäänitaso L_{Ceq} välillä (Buchta 1996, Buchta & Vos 1998).

Liikennemelun A-tason ja ampumamelun C-tason vertaaminen keskenään oli vakava periaatteellinen virhe. Yhden ilmiön yhtä ominaisuutta mitataan yhdellä mittaluvulla ja toisen ilmiön toista ominaisuutta toisella mittaluvulla, ja sitten näiden kahden eri suureen lukuarvoja verrataan keskenään, kuin kyseessä olisi sama asia.

Tämä väliepiso aiheutti merkittävää haittaa yleiskuvan muodostamiselle raskaiden aseiden melun häiritsevyydestä. Vasta 1990-luvun loppupuolella tutkimus pääsi tämän ongelman yli ja siirtyi seuraavaan vaiheeseen. Tällöin alettiin etsiä äänitasosta ja spektristä mutkikkaammin riippuvia impulssikorjaustermejä, joita voitaisiin käyttää kummalla painotuksella tahansa määritetylle perusmittaustulokselle.

Pienitaajuinen melu

Pienitaajuisen melun häiritsevyys yleensä

Raskaiden aseiden ampumamelu on selvästi pienitaajuisempaa kuin kevyiden aseiden. Tästä syystä melun häiritsevyyskokemuksissa esiintyy joitakin eroavaisuuksia. Pienitaajuisen melun aistiminen ja vaikutukset eroavat keski- ja suuritaajuisista äänistä useista eri syistä. Äänekkyys ja häiritsevyys lisääntyvät nopeammin äänipainetason nousun myötä verrattuna keski- tai suuritaajuiseen meluun.

Melun yhteydessä voi ilmetä rakennusosien ja muiden kappaleiden tärinää ja sen aiheuttamaa räminää. Lisäksi rakennukset eivät tavallisesti eristä kovin hyvin pieniä taajuuksia.

Pienitaajuisen melun oltava melko voimakasta ennen kuin se kuullaan. Toisaalta, kun pienitaajuinen melu ylittää kuulokynnyksen, on kuuloaisti herkkä pienillekin voimakkuuden muutoksille tai vaihteluille. Kuulon dynamiikka-alue eli aistimisen voimakkuusalue kuulo- ja kipukynnysten välillä supistuu pieniä taajuuksia kohti. Taajuudella 100 Hz alueen laajuus on n. 100 dB, mutta 20 Hz kohdalla se on noin puolta suppeampi eli n. 50 dB. Tämä merkitsee sitä, että kuulokynnyksen ylittyessä äänekkyysaistimuksen voimakkuus kasvaa äänenvoimakkuuden kasvaessa pienillä taajuuksilla jyrkemmin kuin keskitaajuusalueella (ks. kuva 10).

Useissa tutkimuksissa on ilmennyt viitteitä siitä, että tavallisen jatkuvan melun annos-vastesuhde muuttuu, kun ääni koostuu tavanomaisen melun ohella lisäksi pienitaajuisesta melusta. Kohtuullisilla voimakkuuksilla tavallinen melu näyttäisi pienentävän pienitaajuisen melun haitallisuutta. Ja toisin päin, jos muuten täysin hiljaisessa ääniympäristössä esiintyy vain pienitaajuisia melua, se on häiritsevämpää kuin jos melussa on myös tavallinen osuus.

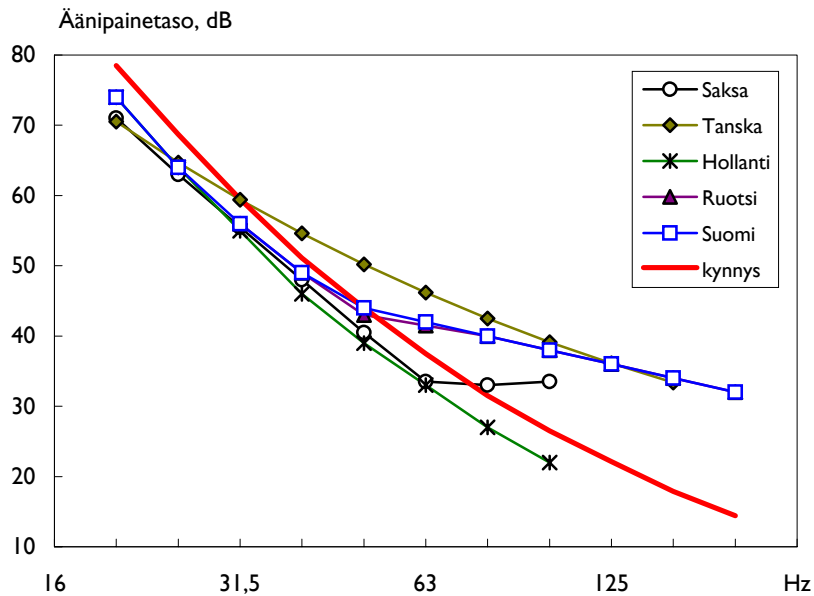
Edellisellä ilmiöllä on seurausvaikutus rakennusten sisätiloissa. Ulkovaippa eristää tavallisesti paljon paremmin keskitaajuisia kuin pienitaajuisia ääntä. Sisätiloissa voi siten pienitaajuisen melun merkitys korostua ulkona esiintyvään häiritsevyyteen verrattuna. Hiljaisessa ympäristössä pienitaajuisen kuultavissa olevan melun on todettu häiritsevän herkemmin, vaikka melu olisikin äänekkyydeltään alhainen.

Ympäristö, jossa äänelle altistutaan, vaikeuttaa pienitaajuisen melun haitallisuuden arviointia. Ulkomelumelumittausten perusteella on vaikea ennustaa sisämelun tasoa, koska siihen vaikuttavat mm. rakennuksen äänieristys sekä sisätiloihin muodostuva äänikenttä ja resonanssit. Lisäksi pienitaajuisen melun aiheuttaja, tulosuunta sekä sijainti on yleisesti ottaen vaikeampi tunnistaa kuin keski- tai suuritaajuisen melun (Benton 1991).

Useimpien maiden olemassa olevat pienitaajuisia melua koskevat ohjearvot koskevat pääasiassa jatkuvan melun häiritsevyyttä yleensä sisällä asunnoissa ja erityisesti yöaikaan (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, Socialstyrelsen 2005, Miljøstyrelsen 1997, DIN 45 680: 1997, NSG 1999). Melun ajatellaan olevan esim. raskaiden pyörivien koneiden tai ilmastointilaitteiden melua, ravintolamusiikkia jne. (kuva 15).

Asumisterveysohjeessa (2003) on pienitaajuisen (alle 200 Hz) ympäristömelun suhteen annettu yöaikaiset ohjearvot (taulukko 2) rakennuksen sisällä. Ohjearvot on annettu tiloille, joissa nukutaan. Ohjearvojen tavoitteena on lähinnä, että melu ei vaikeuta nukahtamista. Päiväaikaiselle melulle voidaan soveltaa 5 dB korkeampia ohjearvoja.

Ohjearvot noudattavat melko tarkasti vanhan ISO 226 -standardin kuulokynnyskäyrää taajuusalueella 20–50 Hz. Uudet vakioäänekkyyskäyrät, kuulokynnyksen mukaan lukien, ovat tällä alueella selvästi ylempänä. Tästä syystä asumisterveysohjeen arvot ovat nykyisen kuulokynnyksen alapuolella taajuudesta 50 Hz alaspäin. Tämä voisi kenties antaa aihetta ohjeen tarkistukseen.



Kuva 15. Pienitaajuisten melun ohjearvoja eri maissa sekä vuoden 2003 kuulokynnys.

Taulukko 2.

Yöaikaisen pienitaajuisten sisämelun ohjearvot musiikkimelun yhden tunnin painottamattomalle keskiäänitasolle $L_{Zeq,1h}$ (dB) terssikaistoittain (STM Asumisterveysohje 2003).

terassi, Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
taso, dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

Pienitaajuisten melun haitallisuuden arviointia vaikeuttaa myös normaalikuuloisiksi luokiteltujen ihmisten kuulokynnysten laaja eroavaisuus, mikä pienillä taajuuksilla voi olla jopa 10–15 dB. Tästä syystä noin 90 % ihmisistä ei kykene kuulemaan sellaista pienitaajuisia melua, joka ohjeen mukaan voi olla häiritsevää (Möller & Andersen 1983, Frost 1983).

Useiden maiden ohjearvoissa n. 50 Hz taajuudella oleva murtoviivan kulma on myös epäuskottava äänekkyyskäyrien muodon perusteella. Tanskan monotoninen käyrä vaikuttaa muodoltaan selvästi uskottavammalta suhteutettuna yleiseen fysiologia-psykoakustiseen tietämykseen korvan ja kuulon toiminnasta.

Raskaiden aseiden ampumamelun spektrin tärkein kohta osuu yksin juuri edellä tarkastellun taajuusalueen kanssa. Esitettyjen ohjearvojen sopivuutta myös tällaiselle melulle ei ole toistai käsitelty. Taajuuden perusteella voidaan kuitenkin hyvin olettaa, että raskaiden aseiden melun häiritsevyys sisätiloissa noudattaa tältä osin samoja periaatteita.

Raskaiden aseiden pienitaajuinen melu

Schomer ja Wagner (1995) osoittivat, että 1 dB muutos raskaan aseiden ampumamelun C-äänialtistustasossa L_{CE} vastaa 2 dB muutosta ei-impulssimaisen kontrollimelun A-äänialtistustasossa L_{AE} , jotta äänet koetaan yhtä häiritsevinä. Tämä ja muutama varhaisempi samansuuntainen havainto käynnistivät useita tutkimuksia, joilla on pyritty selvittämään ja numerollisesti täsmentämään ilmiötä.

Suhteellisen pian oivallettiin, että ilmiötä ei aiheuta impulssimaisen ja ei-impulssimaisen melun ero eikä myöskään A- ja C-painotuksen tuottama ero, vaan että se liittyy raskaiden aseiden melun pienitaajuisuuteen ja äänekkyden aistimiseen (Fi-

dell ym. 2002). Tiivistetysti ilmaistuna se johtuu äänekkyyskäyristä ja niiden pienillä taajuuksilla ilmenevästä pakkautumisesta (kuva 10).

Äänekkyyskäyrästä ilmentämän aistimuskokonaisuuden jäljittelemiseksi on viimeisen kymmenen vuoden aikana tutkittu ja kehitelty useita uusia ratkaisuja:

- Etsitään dynaaminen eli muuttuva taajuuspainotus, joka jäljittelee äänekkyyskäyrästä perinteisiä menetelmiä tarkemmin.
- Pyritään yksinkertaiseen ratkaisuun, joka perustuu A- ja C-painotettujen mitaussuureiden sopivaan yhdistelmään.
- Siirrytään arvioimaan raskaiden aseiden ja räjähteiden melun häiritsevyyttä taajuuskaistoittain, oktaavi- tai terssispektrin perusteella.

Schomer lähti ratkaisemaan ongelmaa noudattaen ensimmäistä vaihtoehtoa eli etsien dynaamista äänekkyysteen perustuvaa painotusta. Ensimmäinen kehitelmä (Schomer 1994) jäi vielä puolitiehen, mutta hieman myöhemmin ratkaisu oli kypsynyt perusteeltaan valmiiksi (Schomer 2000).

Schomer ehdotti, että sisämelun häiritsevyyttä voitaisiin kuvata käyttäen äänekkyystasopainotettua äänialtistustasoa (*loudness level weighted sound exposure level*, LLSEL). Alkuperäisen ehdotuksen mukaan se laskettaisiin standardin ISO 226 aikaisemman version äänekkyystasokäyrästä mukaan. Toisin sanoen taajuuspainotus olisi tarkalleen äänekkyyskäyrien muotoinen ja äänen voimakkuuden suhteen *dynaaminen* eli painotuskäyrä vaihtelisi sen mukaan, kuinka voimakas ääni on.

Ajatus on mittausteknisesti hienostunut ja myös perustaltaan korrekti, mikäli voidaan olettaa, että häiritsevyys riippuu suoraan äänekkyyydestä. Schomer tutki alustavasti ehdotuksen pätevyyttä lukuisilla eri melulajeilla ja sai kokonaisuutena varsin tyydyttäviä tuloksia useille erityyppisille ympäristömeluille. Voimakkaasti impulssimaisille äänille eli ampumamelulle tarvittiin kuitenkin edelleen impulssikorjausta, jonka suuruudeksi asetui 12 dB. (On huomionarvoista, että korjauksen lukuarvoksi tuli sama kuin Vosin 1995 yhteenvedossa kevyille aseille.)

Toisaalla sekä Buchta ja Hirsch että Vos lähtivät kehittämään toista, yksinkertaisempaa ratkaisua, joka perustuu A- ja C-painotettujen mitaussuureiden yhdistelmään. Ajatuksena oli, että A- ja C-tasojen erotus sisältää informaatiota siitä, miten pienitaajuinen ampumamelun spektri on. Tällä perusteella voitaisiin yrittää arvioida, kuinka suuri vaikutus äänekkyyskäyrien pienten taajuuksien pakkautumisella on arvioitavana olevan melun häiritsevyyteen (Buchta 1996, Vos 1996b, Hirsch 1998, Vos 1998, Vos 2001b, Vos 2003).

Vosin mukaan häiritsevyyttä voidaan ennustaa lausekkeella

$$a(L_{CE} - L_{AE}) \times (L_{AE} - b) + c$$

jossa a , b ja c ovat määritettäviä vakioita.

Schomer korjasi äänekkyystasopainotusta, kun käytettävissä oli ennakkotieto vuoden 2003 uusista äänekkyyskäyristä (Schomer 2001, Schomer ym. 2001). Vos & Geurtsen (2003) tekivät kriittisen vertailun Schomerin LLSEL:n ja oman A-C -erotukseen perustuvan lausekkeensa välillä. Tuloksena he saivat omalle menetelmälleen paremman korrelaation häiritsevyyden kanssa kuin Schomerin menetelmälle.

Selitys tälle tulokselle luultavasti piilee menetelmien periaatteellisessa erossa: Schomerin äänekkyysmenetelmä on teoreettisesti kestävämmällä pohjalla, mutta sen tarkkuus nojaa taustalla olevan äänekkyysmallin pätevyyteen sekä oletukseen, että häiritsevyys vastaa äänekkyyttä. Vosin menetelmä on puhdas empiirinen sovitus, lausekkeen kuvaama käyrästä on tilastollisesti sovitettu häiritsevyyden käytettävissä

sä olleeseen kokeelliseen aineistoon. Tilastollinen merkitsevyys saatiin suhteellisen helposti hyväksi. Vakiot kuitenkin elävät ja muuttuvat sitä mukaa, kun uusia mittaustuloksia otetaan aineistoon mukaan.

Fidell ym. (2002) tutkivat lukuisia erilaisia impulsseja laboratoriossa. Mittaussuurena käytettiin painotettujen kokonaistasojen lisäksi spektrejä. Vertailusignaaleihin lisättiin uutuutena kohinaa 63 Hz oktaavikaistalla. Johtopäätöksenä todettiin, että impulssiäänten häiritsevyys riippuu ilmeisesti ennemminkin niiden spektrin pientaajuudesta osuudesta kuin itse impulssimaisuudesta sellaisenaan.

5.2.7

Impulssimaisuus

Ampumamelu on aina hyvin impulssimaista, kaikista ympäristömelun lajeista impulssimaisinta. Impulssimaisuudesta eli äänen äkillisyydestä ja lyhytaikaisuudesta johtuvan erityisen häiritsevyyden on havaittu tai arvioitu riippuvan mm. aseiden kaliperista, etäisyydestä ja kuuntelutilanteesta (ulkona – sisällä).

Meloni & Rosenheckin (1995) eri kaliperiteita keskenään verranneessa laboratoriotutkimuksessa saatiin seuraavat tulokset. Jos melua arvioidaan A-painotettuna ja melua kuunnellaan ulkona tai sisällä ikkunan ollessa raollaan, kaikki kaliperit, kevyet, keskiraskaat ja raskaat aset, ovat yhtä häiritseviä. Jos ikkunat ovat kiinni, raskaiden aseiden häiritsevyys on n. 5 dB suurempaa kuin muun kokoisilla aseilla. Jos sen sijaan arviointisuure on C-painotettu, häiritsevyydessä ilmeni erittäin suuria eroja eri kaliperien välillä. Tästä syystä tutkimus päättyi puoltamaan vahvasti A-painotusta, jota käyttäen ampumamelun suurempaa häiritsevyyttä edustava impulssikorjaus on vakio tai lähes vakio.

Impulssimeluille esitetään perusstandardissa ISO 1996-1 (2003) seuraava luokitus:

1. Tavallinen impulssimelu: sellaiset taustamelusta erottuvat meluimpulssit, jotka eivät selvästi kuulu jälkimmäisiin luokkiin.
2. Voimakkaasti impulssimainen melu: esim. pienikaliiperisten aseiden laukaukset, paalujen juntaus, paineilmasarasara tai törmäykset ratapihalla. Tällöin yhden melutapahtuman A-äänialtistustaso on $L_{AE} > 55-60$ dB ja melu erottuu voimakkaasti taustamelusta.
3. Suurienergiainen impulssimelu: raskaiden aseiden laukausten ja räjäytysten melu.

Standardissa huomautetaan, että toistaiseksi ei ole olemassa täsmällistä matemaattista menetelmää, jolla impulssimaisuus yleensä tai kuuluminen johonkin esitetystä luokista voitaisiin määrittää.

Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeessa (2003) on mainittu luokat 1 ja 2, jotka ovat suunnilleen yhteneviä edellisten kanssa.

ISO 1996-1 mainitsee tyypillisiksi impulssikorjauksiksi 5 dB (luokka 1) ja 12 dB (luokka 2). Asumisterveysohje määrittelee vastaaviksi korjauksiksi 5 dB ja 10 dB. Edellä on kohdassa 5.2.2 viitattu tutkimukseen, joka osoittaa, että suurempien lukuarvojen välillä ei ole ristiriitaa: korjauksen 10 dB on havaittu sopivan sisätiloille ja 12 dB silloin, kun melua kuunnellaan sisällä, mutta mittaus tehdään ulkona.

Luokan 3 impulssikorjauksia varten standardin ISO 1996-1 informatiivisessa liitteessä annetaan kolme erilaista, eri tutkimuksiin perustuvaa yhtälöä raskaiden aseiden impulssikorjauksen laskemiseksi, yhtälöt (2) – (4):

NRC:n katsauksesta (1996) on peräisin impulssikorjatun C-äänialtistustason kaava; tässä se on esitetty pelkän C-altistustasoon tehtävän impulssikorjauksen muodossa

$$I_1 = \begin{cases} 0,18L_{CE} - 11, & \text{kun } L_{CE} < 100 \text{ dB} \\ L_{CE} - 93, & \text{kun } L_{CE} \geq 100 \text{ dB} \end{cases} \quad (2)$$

On kuitenkin epäselvää, minkälaiseen vertailuun tätä korjausta käytetään, eli onko kyseessä liikennemelun A-äänialtistustaso L_{AE} vai jokin muu vertailukohta.

Buchta (1996) muodosti ensimmäisen kahdesta A- ja C-tasojen erotukseen perustuvasta korjauksesta. Buchtan korjaus voidaan tehdä joko A- tai C-äänialtistustasoon; tähän kirjatussa yhtälössä se on esitetty A-tasolle pätevässä muodossa:

$$I_2 = 0,4 \cdot L_{CE} + 0,08(L_{CE} - L_{AE}) - 22 \quad (3)$$

Toisen A- ja C-tasojen erotukseen perustuvan korjauksen muodosti Vos (1996b, hienosäädetty versio 2003). Korjaus on tarkoitettu A-äänialtistustasolle:

$$I_3 = 0,015(L_{CE} - L_{AE})(L_{AE} - 47) + 12 \quad (4)$$

Hirsch (1998) antaa esimerkkejä yhtälöillä (3) ja (4) lasketuista impulssikorjausten suuruuksista eri aseille. Kun aseille mitattu A-äänialtistustaso L_{AE} on lukuarvoltaan 70 dB, yhtälö (3) tuottaa kiväärille korjauksen 8 dB, 30 mm kanuunalle 10 dB ja raskaalle tykille 15 dB. Yhtälö (4) tuottaa vastaavasti 13 dB, 16 dB ja 20 dB. Tulokset eroavat siis melko paljon. Kaavojen keskinäinen paremmuus lienee edelleen ratkaisematta, minkä vuoksi on sängen omituista, että ne on yleensäkin otettu mukaan kansainväliseen standardiin ja erityisesti ympäristömelun alan perustandardiin.

5.2.8

Tärinä ja räminä

Pienitaajuinen melu saa aikaan tärinää, joka syntyy ilmaäänä etenevästä herätteestä. Tärinä voi tietyissä olosuhteissa synnyttää räminää, mikä tarkoittaa sitä, että värähtelevä rakenne tai kappale iskee värähtelyn tahdissa alustaa tai muuta kappaletta vasten ja tuottaa näin uutta sekundaarista ääntä (esim. ikkunoiden, valaisimien, koriste-esineiden tai astioiden helinä).

Harvoissa äärimmäisissä tapauksissa voi syntyä jopa vaurioita rakennuksen rakenteissa (Namba & Kuwano 1997, NATO 2000). Myös lähellä infraäänialuetta eli taajuuksien 20–30 Hz tienoilla esiintyvä ääni voi aiheuttaa räminää, vaikka kuulo ei varsinaista heräteääntä aistisikaan (Yamada 1982, Tokita 1984, Okada 1986).

Jos laukauseräinään liittyy räminää, se lisää häiritsevyyttä merkittävästi (Schomer & Neathammer 1987, Schomer 1989, Schomer & Averbuch 1989, Schomer & Hoover 1989, Schomer & Sias 1996). Yksikin räminää tuottava meluimpulssi aiheuttaa häiriökokemuksen, esimerkiksi pelon rakennuksen rakenteiden murtumisesta ja huolen asunnon arvon alentumisesta. Näiden todentaminen käytännössä on kuitenkin hyvin vaikeaa.

Amerikkalaisen standardin ANSI S12.2 mukaan melu saattaa alkaa synnyttää räminää, kun sisämelun äänipainetaso ylittää 16 Hz tai 31,5 Hz oktaavikaistoilla 75 dB tai 63 Hz kaistalla 80 dB (Schomer 2000). Sisällä esiintyvälle räminälle on Yhdysvalloissa

asetettu painottamattomalle huippuäänitasolle $L_{Z_{peak}}$ ohjearvo 134 dB, jolla tasolla pahimmassa tapauksessa voi esim. ikkunalasi särkyä. Alin ohjearvo on kuitenkin 120 dB, mikä käsittää tarkastelun asunnon omistajan huolesta rakennuksen tai esineiden mahdollisista vaurioista (NATO 2000).

Kun helikopterin melun yhteydessä esiintyi lievää räminää, kokonaishäiritsevyyden kasvun todettiin vastaavan n. 10 dB äänitason kasvua. Kun räminä oli voimakasta, häiritsevyyden kasvua vastaava äänitasoero oli vähintään n. 20 dB (Schomer & Neathammer 1987).

Uudemmassa laboratoriotutkimuksessa Schomer & Averbuch (1989) korostivat jälleen räminän merkitystä räjäytysten aiheuttaman häiritsevyyden osatekijänä. Tutkimus tehtiin erikoisrakenteisessa koetalossa, joka oli varustettu useilla esineillä, jotka voivat rämistä herkästi. Räjäytyksiä simuloineet testiäänit asetettiin erittäin suurella tärastinpöydällä. Räminä saatiin ilmestymään karkeasti n. 100 dB C-äänialtistustason tienoilla.

Tutkijat havaitsivat, että mikäli räminää yleensä syntyy, sen vaikutus on suurimmillaan heikommilla, ”hiljaisemmilla” räjähdyksillä. Kun räminä ilmestyi, häiritsevyyden muutos vastasi 13 dB tasoeroa, vaikka räjähdysäänien A-äänialtistustaso L_{AE} ulkona ja C-äänialtistustaso L_{CE} sisällä nousivat vain 1 dB. Kun räjäytykset tulivat voimakkaammiksi, räminän vaikutus häiritsevyyden osatekijänä pieneni. Kun koetalon ulkopuolella painottamaton huippuäänitaso $L_{Z_{peak}}$ oli 112 dB, räminän aiheuttamaa häiritsevyyttä vastaava tasomuutos oli 13 dB. Kun huipputaso oli 122 dB, vastaava tasomuutos olikin vain 6 dB.

Räminän esiintymisen aste taloissa, joihin kohdistuu räjähdysten tai tykinlaukauksen meluimpulssi, riippuu useista eri seikoista: paitsi impulssin voimakkuudesta ja spektristä, mm. ulkoseinien ja ikkunoiden rakenteesta. Yleisen ampumamelun melukriteerien kannalta räminän merkitys ei vielä ole täysin selkiytynyt.

On esimerkiksi hyvin epätodennäköistä, että keskiraskaat aseet (krh, sinko, 30 mm kanuuna, it-tykki) tai raskaat aseet, jotka ampuvat pienempiä panoksia, voisivat koskaan synnyttää räminää. Lisäksi räminän synty riippuu luonnollisesti etäisyydestä. Silloin kun räminää esiintyy, se on selvästi tärkeä häiritsevyystekijä, mutta kun tarkastellaan kaikkia ase-etäisyys-rakenne -yhdistelmiä, on ilmeistä, että räminä liittyy vain vähäiseen osaan niistä (Meloni & Rosenheck 1995).

5.3

Muut tekijät

5.3.1

Esiintymisen ajankohta

Yöllä esiintyvä ampumamelu häiritsee kaikkein eniten, koska se häiritsee unta. Ruotsalaisessa haastattelututkimuksessa kolmesta–viiteen kertaan suurempi osuus vastanneista piti melua häiritsevänä illalla ja yöllä kuin päivällä (Rylander & Lundquist 1996). Schomerin mukaan yöaikaiseen C-keskiäänitasoon L_{Ceq} tulisi lisätä 10 dB jotta se vastaisi päiväaikaista häiritsevyyttä, koska on todennäköisempää, että se huomataan taustamelun hiljaisuuden vuoksi. Ilta-aikaan esiintyvään meluun tulisi lisätä 5 dB häiritsevyysskorjaus (Schomer 1985).

Suomessa häiritsevyyden arviointia helpottaa se, että käytännössä ampumamelua esiintyy lähes pelkästään päivällä. Siviiliammunta voidaan yleensä rajoittaa tapahtuvaksi vain päiväaikaan. Suhteellisen harvinaisen poikkeuksen muodostaa puolustusvoimien pimeätaistelukoulutus. Myös eräitä tykistöammuntoja saatetaan keskikesällä

tehdä varhain aamulla metsäpalovaaran vähentämiseksi, koska aamukaste on tässä suhteessa hyödyllinen ilmiö.

5.3.2

Altistumisympäristö

Melun erotettavuuteen vaikuttaa keskeisesti kuunteluympäristö. Oleskeltaessa sisätiloissa rakennuksen ulkovaipan äänieristys määrää sisälle tulevan melutason. Julkisivun äänieristävyys vaihtelee rakenteesta riippuen ja on keskitaajuuksilla tyyppillisesti vähintään 20–30 dB. Ulkovaipan määräävä rakenne on usein ikkunat. Kevytrakenteisissa taloissa yläpohja saattaa olla seuraavaksi heikoin lenkki. Joskus jopa alapohjankin osuudella on vaikutusta.

Rakennuksen eristävyys ei kuitenkaan ole yhtä hyvä pienillä taajuuksilla kuin keskitaajuuksilla. Pienitaajuisten melun äänieristävyys vaihteli amerikkalaisen tutkimuksen mukaan 10–80 Hz taajuusalueella 3–15 dB. Keskimäärin vaimennus oli 10 dB (Schomer 2000). Hollantilaisen tutkimuksen mukaan äänieristävytydet vaihtelivat alle 125 Hz taajuuksilla 12–20 dB (Vos 2003). Käytännön äänieristysmittauksissa pienten taajuuksien äänieristävyys vaihtelee Suomessa 0–15 dB. Vain kevyiden aseiden melulle voidaan saavuttaa jopa 30 dB eristys (Pääkkönen 1994).

Suomessa talot ovat yleensä paremmin ääntäeristäviä kuin tutkimuslähteissä esiintyvät rakennukset hyvän lämpöeristyksen takia. Pienillä taajuuksilla eli raskaiden aseiden melun tapauksessa erot eri maiden välillä ovat vähäisempiä.

Pienitaajuinen ääni voi voimistua sen tullessa ulkoa sisään. Esim. saksalaisessa tutkimuksessa havaittiin yli 20 Hz taajuisten äänien voimistuvan sisätiloissa äänen heijastumisen ja resonanssien johdosta. Lisäksi voimakas pienitaajuinen äänikenttä aiheutti koehenkilöille epätavallista huonoa oloa, vaikka henkilöt eivät kuulleet ääntä (Findeis & Peters 2004).

Rakenteiden äänieristävyttä määritettäessä ei alle 100 Hz taajuuksia oteta normaalisti huomioon. Käytännössä pienet taajuudet usein kuitenkin määräävät rakennusosien todellisen äänieristyksen. Pahimmassa tapauksessa pienitaajuinen ääni voi jopa voimistua sisätiloissa, jos huoneen mittasuhteet ovat aallonpituuteen nähden optimaaliset (Gjestland 2006).

Leatherwood ym. (2002) esittivät katsauksen ylääänipamausten häiritsevyyden tutkimuksiin. Akustisesti ylääänipamaus muistuttaa suuresti raskaiden aseiden laukausääntä. Ulkona pamausten äänekkyyys ja häiritsevyys vastasivat toisiaan hyvin; sopivimpia arviointisuureita olivat A-äänialtistustaso L_{AE} sekä eri äänekkyyys- ja meluisuustasot. Rakennuksen sisällä tilanne oli kuitenkin erilainen ulkoseinien äänieristävytyden johdosta: häiritsevyys oli suurempaa kuin äänekkyyys. Esitettynä äänekkyyssuureiden avulla ikkunoiden ollessa suljettuna häiritsevyys oli n. 4 dB suurempaa ja ikkunan ollessa auki noin 2 dB suurempaa kuin äänekkyyys. Tutkijoiden mukaan parhaiten häiritsevyyttä kuvasi monimutkaisesti määriteltävä meluisuustaso L_{PN} (engl. *perceived noise level*). Todettakoon, että tätä mittalukua ei nykyisin käytetä juuri lainkaan.

Osittain ristiriitaiseen tulokseen päädyttiin tuoreemmassa ylääänipamausten kenttälaboratoriotutkimuksessa (McCurdy ym. 2004). Yhteensä 33:een kotiin asennettiin laitteisto, jolla voitiin toistaa simuloituja ylääänipamauksia. Meluisuustaso osoittautui jälleen parhaaksi häiritsevyyttä vastaavaksi mittaluvuksi, mutta sen kintereillä seurasi A-äänialtistustaso L_{AE} ennen äänekkyytasoja ja C-äänialtistustasoa L_{CE} .

Ulkoseinän äänierityksen merkitystä korostavaan tulokseen päädyttiin myös hollantilaisessa tutkimuksessa, jossa mittaussuurena käytettiin A-äänialtistustasoa. Keskiraskaiden ja raskaiden aseiden häiritsevyys oli suurempaa sisätiloissa pienikaliiperisten aseiden meluun verrattuna. Ratkaisevaa oli rakennuksen äänieristys, joka oli pienikaliiperisille aseille 30–40 dB ja raskaille aseille 15–30 dB (Vos 2003).

Edellä käsitellyt havainnot vahvistavat sen käsityksen, että pienet taajuudet saavat suuremman merkityksen tarkasteltaessa melua sisätiloissa sekä rakennuksen äänieristysominaisuudet ovat ratkaisevat arvioitaessa sisäpuolelle syntyvää melutasoa.

5.3.3

Ihmisen toiminnan vaikutus

Melun häiriövaikutukset voivat vaihdella riippuen melun esiintymishetkellä tapahtuvasta toiminnasta sekä siitä, tuottaako itse toiminta lisää ääntä. Laboratoriokokeissa on voitu todeta, että mikäli melutapahtuman aikana luetaan, on äänen erottumiskynnys 5 dB korkeampi kuin ilman toimintaa, eli ääniä erityisesti "kuunnellaan". Mikäli keskitytään seuramaan elokuvaa, on erottuvuus vielä suurempi, 15 dB luokkaa (Vos 2001). Sisätilojen äänien, kuten puhe-, television ja radion äänien on todettu peittävän ulkoa tulevaa ääntä (McCurdy ym. 2004).

Tästä on siis seurauksena, että hiljaisissa oloissa (alhainen taustamelutaso) ja levittäessä melu häiritsee enemmän. Amerikkalaisen tutkimuksen mukaan levittäessä ampumamelun häiritsevyyden kasvu vastasi 1,5 dB tasonmuutosta jokaista aktiiviteettituntia kohti, mutta televisionkatselun, radion- tai musiikinkuuntelun sekä keskustelun aikana häiritsevyys taas väheni keskimäärin 0,5–0,75 dB tuntia kohti (McCurdy ym. 2004).

Vosin mukaan ampumamelun kanssa yhtä aikaa esiintyvän muun ulkomelun (esim. tieliikennemelun) peittovaikutus on kuitenkin vähäinen, jos molemmat melulähteet ovat edelleen erotettavissa (Vos 2000).

5.3.4

Yksilölliset tekijät

Melun koettuun häiritsevyyteen liittyy keskeisesti kuulokyvyn ohella myös muita yksilöllisiä tekijöitä, joista on olemassa eri yhteyksissä laadittuja selvityksiä (Berglund & Lindvall 1999, Passchier-Vermeer 2000, Heinonen-Guzejev & Vuorinen 2001). Mm. meluherkkyys, oma asennoituminen meluun ja henkilökohtainen pelko melun aiheuttamasta vaarasta lisää melun kokemista häiritseväksi ja suuntaa huomion kohti äänen aiheuttajaa. Tällä voi olla merkittävä vaikutus yksilön toimintaan.

Liikennemelututkimuksissa on todettu meluherkkien henkilöiden olevan alttiimpia kokemaan tietyn melun häiritsevänä kuin ei-meluherkkien (Otten ym. 1990). Meluherkkyyden on todettu olevan inhimillinen ominaisuus, jota tulisi käsitellä erillisenä kokonaisuutena, sillä meluherkät yksilöt raportoivat melun vaikutuksista useammin myös melualueiden ulkopuolella. Tästä syystä meluherkkyys tulisi olla yhtenä osatekijänä meluselvitysten yhteydessä (Heinonen-Guzejev & Vuorinen 2001).

Voimakas yhtäkkinen impulssimelu aiheuttaa säpsähdysreaktion. Laboratoriokokeissa on voitu todeta, että merkittävä säpsähdysreaktio tapahtuu kun A_{I} -enimmäisäänitaso $L_{A_{I\max}}$ ylittää 80 dB (Vos 1996). Lyhytaikaisissa kokeissa on voitu todeta, että impulssimelun epämiellyttävyys kasvaa yksittäisten impulssien äänenvoimakkuuden ja toistumistaajuuden myötä (Griefen ym. 1994).

Yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa on todettu häiritsevyyden lisääntyvän merkittävästi, jos henkilö säikähtää (säpsähtää) ääntä. Lisäksi melun häiritseväksi kokeneiden määrä lisääntyi, kun meluimpulsseille altistuminen lisääntyi. Säpsähdysreaktio oli sama riippumatta siitä, mitä mittausuuretta käytettiin (McCurdy ym. 2004).

Tutkimustieto pelkästään ampumameluun liittyvien yksilöllisten tekijöiden vaikutuksesta häiritsevyyteen on hyvin vähäistä; pääpaino harvoissa vaikutustutkimuksissa on ollut melun fyysikaalisten ominaisuuksien ja häiritsevyyden välisen suhteen selvittämisessä.

6 Ampumamelun sääntely

6.1

Kevyet aseet, ohjearvoja

Maa­ilman­laajuisesti pienikaliiperisten aseiden ohjearvot vaihtelevat sekä käytetyiltä mittaussuureiltaan että raja-arvoiltaan. Osassa maita ohjearvot koskevat vain siviili­ampumaratojen melua. Joidenkin maiden arviointimenettelyissä otetaan huomioon mm. laukausmäärät, päivien lukumäärä, jona ammutaan (esim. vuosittain), ampuma-ajankohta (päivä, ilta, yö), viikonpäivä (esim. viikonloppu- tai sunnuntaikorjaus), taustamelu sekä maankäyttö ja rakennusten sijainti alueella.

Ohjearvojen äänitasosuureina käytetään AI-enimmäisäänitasoa $L_{A_{I\max}}$ (Pohjois­maat, Itävalta, Hollanti, Australia), AF-enimmäisäänitasoa $L_{A_{F\max}}$ (Sveitsi, Tšekinmaa), A-keskiäänitasoa $L_{A_{eq}}$ (Norja, Saksa, Hollanti, Portugali), A-pysyvyystasoja $L_{A_{90}}$, $L_{A_{95}}$ (taustamelu, Australia, Hollanti) sekä A-äänialtistustasoa L_{A_E} (Yhdysvallat) (taulukko 3).

Joissakin maissa ilmoitetaan myös tarvittava impulssikorjaus, joka tulee tehdä keskiäänitasoon tai äänialtistustasoon, jotta meluarviotaso vastaisi muun yleisen ympäristömelun häiritsevyyttä. Norjan ohjearvossa ei ole impulssikorjausta, vaan ohjearvolla on vain selvästi pienempi luku­arvo kuin liikennemelulla. *Tehollisesti* Norjassa käytetty impulssikorjaus voidaan kuitenkin arvioida, se on arvoltaan peräti n. 20–25 dB (!).

Suomessa tällä hetkellä voimassa olevat ampumamelun ohjearvot on tarkoitettu ampumaratojen aiheuttamien meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi, maankäytön ja rakentamisen suunnitteluissa sekä rakentamisen lupamenettelyssä. Valtioneuvoston päätöksen 53/1997 ohjearvojen mukaan ampumaradan aiheuttaman melun AI-enimmäisäänitaso $L_{A_{I\max}}$ ei saa ylittää 60–65 dB alueesta riippuen.

Ohjearvojen soveltamisessa tulee ottaa huomioon ampumaratatoiminnan luonne, kuten ampuma-ajat, laukausmäärät ja ampumalajit, sekä alueen todellinen tai suunniteltu käyttö ja merkitys.

Taulukko 3.

Keyvet aseet: melutasosuureet, ohjearvot ja korjaukset eri maissa (Desarnaulds ym. 1998, Naturvårdsverket 2003, Retningslinje T-1442).

maa	tasosuure	korjaus	huom	ohjearvo	
				päivä	yö
Australia	L_{AI}		pvmäärä, tausta	60–80	55–75
Hollanti	L_{AI}		tausta	65–75	—
	$L_{Aeq,1h}$	+13	siviili-	45–50	—
	$L_{Aeq,1a}$	+9	sotilas-	45–50	—
Itävalta	L_{AI}		N, vkpäivä	50–55	40–45
Norja	$L_{A_{den}}$			30–35	(kielletty)
	L_{AI}		$N > 65\ 000$ /a	60–70	
	L_{AI}		$N < 65\ 000$ /a	65–75	
	L_{AI}		$N < 20\ 000$ /a	70–80	
Portugali*	$L_{Aeq, LA95}$	+5	N	65–75	55–65
Ruotsi	L_{AI}		vkpäivä	60–80	
			vain sotilas-	55–65	
Saksa	L_{Aeq}	+12		50–60	35–45
Suomi	L_{AI}			60–65	—
Sveitsi	L_{AF}		N, vkpäivä, pvmäärä	60–65	
Tanska	L_{AI}		vkpäivä, pvmäärä	75	55–70
Tšekimaa	L_{AF}		N, vkpäivä, pvmäärä, ajankohta	60–65	—
Yhdysvallat	L_{AE}	+12		65	—

L_{AI} ja L_{AF} tarkoittavat enimmäistasoja $L_{AI_{max}}$ ja $L_{AF_{max}}$
 N = laukaussuurekorjaus sisältyy, vkpäivä = viikonpäivä vaikuttaa, pvmäärä = päivien lukumäärä
 vai-kuttaa, tausta = taustamelu vaikuttaa; *rakennuksen sisällä

6.2

Raskaat aseet, ohjearvoja ja suosituksia

Raskaiden aseiden aiheuttaman melun ohjearvot ovat jonkin verran vaihtelevampia kuin kevyillä aseilla. Useissa maissa arvioinnin lähtökohtana on pitkälti kuitenkin samantyyppinen tarkastelu (laukaussuuremäärät, ampuma-ajankohdat, maankäyttö) kuin pienikaliiperisilla aseilla. Raskaiden aseiden osalta selvitykset ovat useissa maissa parastaikaa käynnissä tai juuri valmistumaisillaan, joten muutokset arvoihin ja suu-reisiin ovat lähiaikoina mahdollisia (taulukko 4).

Käytettyjä tai ehdotettuja mittaussuureita ovat C-äänialtistustaso L_{CE} (Suomi, Ruot-si, Norja, Tanska, Saksa, Yhdysvallat), C-keskiäänitaso L_{Ceq} (Norja, Saksa), A-keskiäänit-
 aso L_{Aeq} (Suomi), sekä huippuäänitaso $L_{Z_{peak}}$ (Australia). Pääsääntöisesti käytetään
 altistus- tai keskiäänitasoja, mutta taajuuspainotuskäytännöt vaihtelevat. Useat maat
 käyttävät C-äänialtistustasoa. Näyttää siltä, että monissa maissa ollaan siirtymässä
 erikseen päivä- ja yöaikaiseen altistumisen arviointiin (Desarnaulds ym. 1998).

Puolustusvoimat laati vuonna 2005 suosituksia raskaiden aseiden ja räjäytysten
 ympäristömelun arviointia varten. Ohjetta ei kuitenkaan sovelleta tilapäiseen toi-
 mintaan, kuten sotaharjoituksiin, jotka tapahtuvat muilla kuin puolustusvoimien
 käytössä olevilla alueilla.

Taulukko 4.

Raskaat aseet: melutasosuureet, ohjearvot ja korjaukset eri maissa (Desarnaulds, 1998, Naturvårdsverket 2003, www.bundeswehr.de). Useat ohjearvot vasta ehdotusasteella.

maa	tasosuure	korjaus	huom	ohjearvo päivä	ohjearvo yö
Australia	L_{Zpeak}		N, ajankohta	105–115	95–110
Norja	L_{Cden}			50	—
Portugali*	L_{Aeq}	+5		55–75	
Ruotsi	L_{Cx}		$N > 100$, $N < 100$	95, 100	—
Saksa	L_{Ceq}		koko vuosi	70	60
	L_{CE}		yksittäislaukaus	100	
Suomi	L_{Aeq}	+9		55	—
	L_{CE}		yksittäislaukaus	100	
	L_{Cpeak}		selvityksen tarveharkinta	115	
Tanska	L_{Ceq}			55	45
	L_{CE}			110	
Yhdysvallat	L_{Cdn}			65	

Ruotsin L_{Cx} lienee sama tai lähes sama kuin C-äänialtistustaso L_{CE} .
Yhdysvaltojen L_{CE} sisältää L_{CE} tasoon perustuvan korjauksen
 N = laukausmäärä vaikuttaa, rakennuksen sisällä

Mikäli melu ylittää asuntojen piha-alueella (ulkona herkissä kohteissa) C-huippuäänitason L_{Cpeak} 115 dB, on tehtävä tarkempi meluselvitys, jossa melua arvioidaan C-äänialtistustasona L_{CE} ja päiväajan A-keskiäänitasona L_{Aeq} . Yhden tapahtuman melu ei saa ylittää asuntojen piha-alueella C-äänialtistustasoa L_{CE} 100 dB. Melun päiväajan (klo 7–22) keskiäänitaso L_{Aeq} ei saa ylittää 55 dB. Keskiäänitasoa laskettaessa käytetään kaikille aseille ja räjähteille impulssimaisuuskorjausta 9 dB, ellei esitetä tarkempaa korjausarvoa. (Puolustusvoimat 2005).

Melun lisäksi raskaiden aseiden aiheuttamaa häiritsevyyttä saattaa lisätä mahdollisesti esiintyvä räminä. Periaatteessa sitä ei ole, erikseen mainiten, otettu huomioon tämänhetkisissä suositushjeissa. Ilman eri mainintaa eli implisiittisesti C-äänialtistustason suositusarvo toimii kuitenkin siten, että myös räminä tulee kohtuullisen hyvällä todennäköisyydellä ja painoarvolla otetuksi huomioon.

7 Synteesi

7.1

Ratkaistavia kysymyksiä

Ampumamelun mittaamiseen, häiritsevyyteen ja ohjearvoihin liittyy edelleen useita avoimia kysymyksiä, joihin tässä selvityksessä koottujen tutkimusten perusteella voidaan pyrkiä löytämään ratkaisuja. Tutkimusten tuottamien tietojen määrä ja laatu vaihtelee. Joiltakin osin tutkimukset näyttävät tällä hetkellä antavan keskeisiin avoimiin kysymyksiin varsin yhdenmukaisia, jopa kypsiä ja valmiita vastauksia. Toisilta osin tiedot ovat vielä niukkoja ja jossain määrin ristiriitaisia. Osaltaan tähän vaikuttaa se, että suuri osa ampumamelun häiritsevyyden tutkimuksista on tehty laboratorioolosuhteissa. Niissä saatujen tulosten yleistäminen tositalanteisiin eli kenttäolosuhteisiin on aina jossakin määrin epävarmaa.

Ensimmäinen kysymys on, tulisiko ampumamelun häiritsevyyttä kuvata käyttäen enimmäisäänitasoja vai koko meluallistuksen sisältäviä äänitasoja. Toiseksi tutkimuksista voidaan seuloa näkemyksiä ja johtopäätöksiä, jotka koskevat taajuuspainotusta (A, C) sekä vähäisemmässä määrin aikapainotusta (F, I) ja yksittäisten laukausten tapauksessa sitä läheisesti muistuttavaa altistustasoa (L_E).

Tärkeä ratkaistava asia on, yritetäänkö ampumamelun häiritsevyyttä arvioida yhdenmukaisesti muun ympäristömelun kanssa vai käytetäänkö omaa erillistä tapaa. Jos valitaan sama menettely, on havaittu välttämättömäksi määrittää ampumamelulle impulssikorjaus tai -korjauksia.

Korjauksiin liittyy myös etäisyyden vaikutus, sillä laukausten äkillisyys eli fyysikaalinen impulssimaisuus pienenee etäisyyden kasvaessa. Yksi keskeinen tekijä on aseiden kaliiperi. Tähän liittyvä kysymys on, halutaanko luoda samat arviointikriteerit sekä kevyille että raskaille aseille. Joidenkin näkemysten mukaan kevyitä ja raskaita aseita tulisi ainakin osittain arvioida eri tavalla.

Tarkastelussa tulisi myös ottaa huomioon, arvioidaanko melua ulkona vai rakennuksen sisällä. Jos sisämelutasoa arvioidaan ulkopuolella tehtävien mittausten perusteella (kuten yleensä ympäristömelulla), tulee rakennuksen eristävyys ottaa huomioon myös pienillä, alle 100 Hz taajuuksilla.

7.2

Enimmäistaso, kokonaisaltistus ja taajuuspainotus

Edellä kuvattujen lähtökohtien perusteella melutasosuureen tulisi kuvata parhaalla mahdollisella tavalla ampumameluallistuksen aiheuttamaa vastetta, häiritsevyyden kokemusta. Käytännössä kenties tärkein ratkaistava kysymys on, kummat tasosuureet kuvaavat parhaiten ampumamelun häiritsevyyttä, yksittäisten laukausten määrää-

mä enimmäisäänitaso L_{\max} vai koko meluallistuksen eli ajallisen annoskertymän tai energiakeskiarvon (L_E, L_{eq}) sisältävät äänitasot.

Tähän tutkimukset tarjoavat vastauksen. Ampumamelun vaikutusten primääritutkimukset ovat päätyneet siihen, että impulssiäänien yhteenlaskettu ja korjattu A-äänialtistustaso L_{AE} tai sen avulla määritetty A-keskiäänitaso L_{Aeq} ovat sopivimpia mittalukuja kuvaamaan sekä äänekkyyttä, meluisuutta että häiritsevyyttä (Vos 1995, Meloni & Rosenheck 1995, Schomer & Sias 1996, Buchta 1996). Sama vastaus pätee niin kevyiden kuin raskaidenkin aseiden melulle.

Viimeisimmät tutkimukset viittaavat siihen, että ei olisi tarvetta pitää yllä eri menetelmiä pieni- ja suurikaliiperisten aseiden melun arviointiin, vaan ampumamelua arvioitaisiin pääasiallisesti käyttäen A-äänialtistustasoa L_{AE} ensisijaisena suureena ja C-äänialtistustasoa L_{CE} täydentävänä toissijaisena suureena (Vos 2001, 2003). Pienikaliiperisten aseiden melu mitattaisiin A-äänialtistustasona L_{AE} ottaen impulssikorjaus huomioon ja vastaavasti raskaiden aseiden melu edellisen lisäksi C-äänialtistustasona L_{CE} .

A-taajuuspainotuksen käyttö myös raskaille aseille on siten saanut viimeisimpien vuosien aikana lisää tukea. Tärkeänä poikkeuksena mainitaan säännöllisesti räminän esiintymisen mahdollisuus, kun raskaiden aseiden tai räjähteiden melu on voimakasta. Tässä tapauksessa katsotaan, että C-äänialtistustaso L_{CE} on sopivin täydentävä mittaluku.

Enimmäisäänitasoa ei ole enää käytetty ampumamelun vaikutusten primäärissä tutkimuskirjallisuudessa viimeisten vuosikymmenten aikana. Ainoa poikkeama on Buchtan mielipide, että AF- ja CF-enimmäisäänitasojen erotus olisi luotettavampi mitta A-C -erolle kuin vastaavien altistustasojen erotus.

Viimeinen varsinaisissa tutkimuslähteissä esiintyvä maininta I-enimmäisäänitason käytöstä ampumamelun arviointiin melun lienee Smoorenburgin (1981) katsauksessa. Perusteena sille, miksi se valittiin ampumamelun arviointisuureeksi 1970-luvulla, mainittiin, että silloisessa äänitasomittarien standardissa (IEC 179) "Fast" -painotus oli määritetty väljästi ja tuorempi "Impulse" täsmällisemmin.

I-aikapainotettua enimmäisäänitasoa L_{AIma} voidaan pitää menneisyyden jäänteinä. Sitä käyttävät kevyiden aseiden ampumaratamelun ohjearvot olisikin nykytietämyksen mukaan perusteltua päivittää ajan tasalle.

Päivitystarvetta korostaa myös se, että pohjoismainen ampumaratamelun laskentamalli (Nordtest 2002) yliennustaa I-äänitason leviämistä, eli laskentatulokset ovat systemaattisesti suurempia kuin mittaustulokset. Vika ei ole laskentamallissa, vaan siinä, että kun melu etenee kauemmaksi, I-taso käyttäytyy eri tavalla kuin muut tavaliset, energiapohjaiset äänitasot (esim. L_{AE} tai L_{AFmax}). Kuulohavainnot ja häiritsevyys sen sijaan ovat yhdenmukaisia energiapohjaisten tasojen kanssa.

Huippuäänitasoja L_{peak} ei ole otettu mukaan arviointiin viimeisten vuosikymmenten vaikutustutkimuksissa.

7.3

Ampumameluun tehtävät korjaukset

Jos ampumamelua halutaan verrata muihin, tavallisimpiin ympäristömelun lajeihin ja erityisesti jos halutaan käyttää samaa arviointisuuretta ja samaa ohjearvon lukuarvoa, tulee ampumamelun tasoon tehdä korjauksia. Lukuisissa tutkimuksissa on osoitettu, että kun käytetään samaa arviointisuuretta, ampumamelun häiritsevyys on suurempi kuin liikennemelulla. Jos taas käytetään eri melutasosuuretta tai vain eri ohjearvon lukuarvoa, mitään impulssikorjaustakaan ei tarvita.

Impulssikorjaus

Kevyiden aseiden melun impulssikorjaus on vakiintunut. Standardissa ISO 1996-1 annetun korjauksen lukuarvo 12 dB perustuu ensisijaisesti Vosin synteisiin eri vaikutustutkimusten tuloksista (1995). Korjaus lisätään ulkona mitattavaan melutasoon, kun arvioidaan häiritsevyyttä sisällä eli kun kyseessä on tavallisin ympäristömelun arviointitilanne.

Kun melukin mitataan sisällä, kevyiden aseiden korjauksen tulisi olla lähempänä arvoa 10 dB (Schomer & Wagner 1995). Tämä on myös linjassa Asumisterveysohjeen ampumamelun 10 dB korjauksen kanssa, koska sen mukaiset mittaukset tehdään sisällä.

Kokonaisuutena ampumamelun impulssikorjaus on tutkimuskirjallisuudessa vaihdellut välillä 8–20 dB. Aseen tyyppin ja kaliiperin on havaittu vaikuttavan korjaukseen; yleensä raskaille aseille on määritetty muutamia desibelejä suurempia korjauksia kuin kevyille.

Keskiraskaille aseille (kaliiperi n. 25–30 mm) saadut korjaukset ovat välillä 13–16 dB ja raskaille aseille 15–20 dB (Schomer & Wagner 1995, Hirsch 1998).

Puolustusvoimien suositusarvo-ohjeessa raskaiden aseiden impulssikorjaus on määritetty pelkästään impulssien impulssimaisuuden eli niiden muodon perusteella. Korjaukseksi saatiin keskimäärin 9 dB. Aseen kaliiperi tai räjähteen tyyppi sekä etäisyys aseesta vaikuttivat jossakin määrin korjauksen arvoon (Puolustusvoimat 2005).

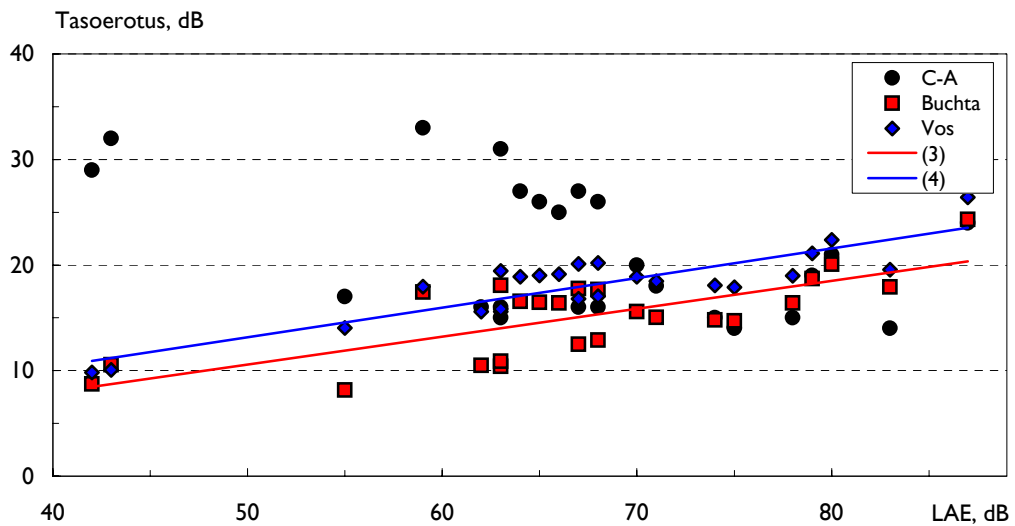
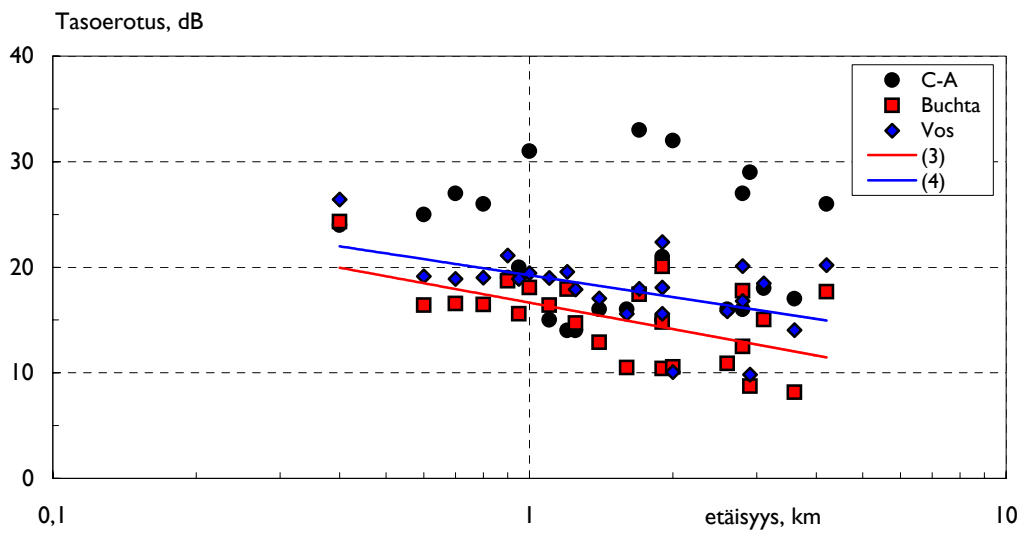
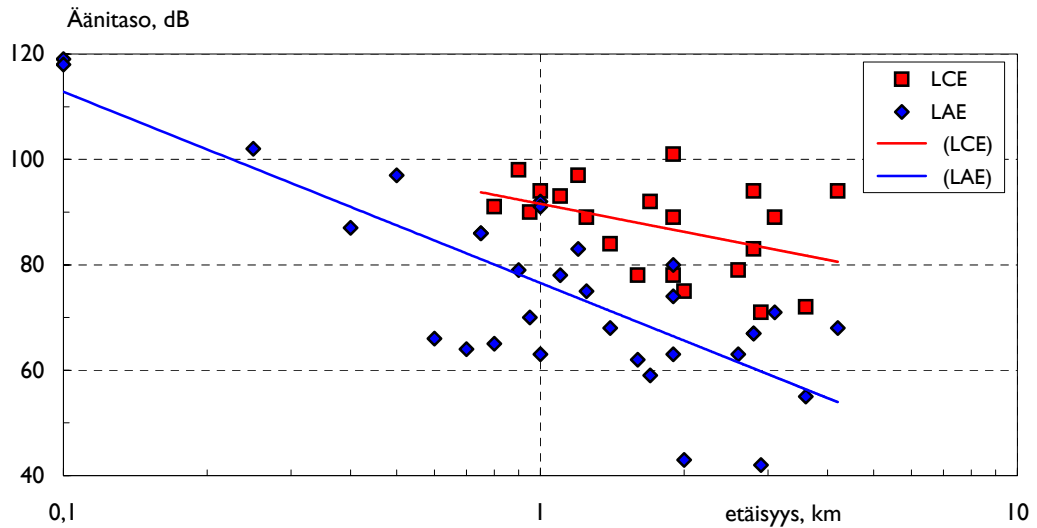
Ensisilmäyksellä tutkimuksista saatavan ja puolustusvoimien ehdottaman korjauksen välinen ero vaikuttaa suurehkolta. On kuitenkin huomattava, että keskeisissä tutkimuksissa on lähdetty siitä, että altistus arvioidaan pitkältä, tyypillisesti koko vuoden ajalta, vaikka toimintaa ei esiintyisikään läheskään kaikkina arkipäivinä.

Keskiäänitason laskenta-ajaksi on mainittu $52 \text{ (viikkoa)} \times 5 \text{ (arkipäivää)} = 260$ päivää (Buchta & Vos 1998). Puolustusvoimien korjauksen yhteydessä ei ole erityisesti mainittu mitään tiettyä keskiäänitason laskenta-aikaa; käytännössä lienee ajateltu lyhyempää, esimerkiksi aktiivisen harjoitusviikon pituista aikaa. Tämä ero kaventaa impulssikorjausten tehollista eroa selvästi, mahdollisesti kompensoi sen kokonaankin.

Kuvassa 16 esitetään alustava esimerkki impulssikorjauksen määrittämisestä standardin ISO 1996-1:n mukaisesti eli käyttäen Buchtan ja Vosin yhtälöitä (3) ja (4). Mittausdata, jonka pohjalle määrittäminen tehdään, on joukko puolustusvoimien räjäytysmittauksia.

Vuorokaudenajan korjaus

Yleisesti yöaikaisen (klo 22–7) melun korjauksen tulisi olla 10 dB ja iltana-aikaan (klo 19–22) voitaisiin käyttää 5 dB korjausta (Schomer 1985). Useissa maissa (mm. Ruotsi, Norja, Itävalta, Hollanti) sovelletaankin yöajan melulle 10 dB pienempiä ohjearvoja (taulukko 3).



Kuva 16. Esimerkki raskaiden aseiden tai räjäytysten impulssikorjauksen määrittämisestä ISO 1996-1:n liitteen B mukaisesti, käyttäen Buchtan ja Vosin yhtälöitä (3) ja (4).
 (ylä) Mittausdata, joille korjaus määritetään: joukko 1 kg TNT-räjäytysten mittauksia.
 (keski) C- ja A-altistustasojen erotus sekä impulssikorjaukset etäisyyden funktiona.
 (ala) C- ja A-altistustasojen erotus sekä impulssikorjaukset A-äänialtistustason L_{AE} funktiona.

Yöaikaisen melun suurempi häiritsevyys on otettu huomioon ympäristömelun yleisissä yöajan ohjearvoissa, joissa melutaso on päivän ohjearvoa 5 tai 10 dB pienempi (VNp 993/1992, Asumisterveysohje 2003). Tämä ei kuitenkaan koske ampumamellua, joille ohjearvot on annettu pelkästään päiväsaikaan (VNp 53/1997).

Suomessa ampumatoiminta tapahtuu pääasiassa päiväsaikaan ja arkipäivinä. Joillakin siviiliradoilla ammutaan kuitenkin myös iltaisin ja viikonloppuisin. Näinä aikoina esiintyvälle melulle voitaisiin harkita samoja korjauksia kuin muuallakin on käytössä, esimerkiksi ilta ja lauantai 5 dB sekä sunnuntai 10 dB.

7.3.3

Räminäkorjaus

Räminän aiheuttamasta lisäkorjauksesta häiritsevyyteen on olemassa niukasti tietoa. Schomerin tutkimuksissa ei ole suoranaisesti päästy tasokorjauksiin asti, mutta tutkimustuloksista voidaan tehdä joitakin päätelmiä.

Kun raskaan aseiden tai räjähdysten aiheuttama melutaso on suhteellisen alhainen, mutta kuitenkin niin voimakas, että räminää esiintyy, räminäkorjauksen suuruus olisi lievän räminän esiintyessä n. 12 dB ja kun räminä on voimakasta n. 20 dB (Schomer & Neathammer 1987). Jos taas melutasokin kasvaa, räminäkorjauksen arvon tulisi pienentyä. Voimakasäänisellä impulssilla räminän häiritsevyysskorjaus olisi vain noin 6 dB (Schomer & Averbuch 1989).

Mikäli raskaiden aseiden melun enimmäisarvoa mitataan C-äänialtistustasona L_{CE} , ei räminäkorjausta välttämättä tarvitsisi tehdä, koska C-painotus ei vaimenna spektrin pienitaajuisia osuuksia. Tällöin määritettävänä olisikin vain sellainen ohjearvolle sopiva lukuarvo, joka sisältäisi myös räminän esiintymisriskin osuuden. C-painotetuilla äänitasoilla ohjearvohan on joka tapauksessa erisuuri kuin muilla ympäristömelun lajeilla.

8 Päätelmät

8.1

Häiritsevyystekijät

Ampumamelu on muuta ympäristömelua häiritsevämpää silloin, kun niitä arvioidaan tavallisia äänitasosuureita käyttäen. Häiritsevyyden aiheuttaa laukausäänten suuri impulssimaisuus eli äänen äkillisyys ja lyhytaikaisuus.

Ampumamelun kokonaishäiritsevyyteen vaikuttaa yksittäisten laukausten äänekyyden (äänenvoimakkuuden, äänitasojen) ohella useita muitakin tekijöitä. Lisäksi tulisi ottaa huomioon laukausten lukumäärä, melun spektri (pienitaajisuus, joka liittyy läheisesti aseiden kaliperiin), esiintymisajankohta (päivä, ilta, yö, viikonloppu) sekä havainnointiympäristön akustiset ominaisuudet. Mikäli melua arvioidaan rakennuksen sisällä, häiritsevyyteen vaikuttavat myös rakennuksen julkisivun äänieristävyys sekä melun ohella mahdollisesti esiintyvän räminän vaikutukset. Lisäksi melun esiintymishetkellä tapahtuva toiminta ja yksilölliset tekijät, kuten meluherkkyys voivat vaikuttaa siihen, miten ampumamelu koetaan.

Raskaiden aseiden melu eroaa kevyiden aseiden melusta spektrin pienitaajisuuden takia. Yksilölliset erot pienitaajuisen melun aistimisessa ja häiritsevyydessä ovat suuria. Sisätiloissa melun pienitaajisuus voi vielä korostua. Rakennusten äänieristys on yleensä pienillä taajuuksilla heikko.

Keskeisiä tekijöitä pienitaajuisen melun häiritsevyydessä näyttäisivät olevan ihmisen kuulokyky (äänekkyys), muu taustamelu ja melun aiheuttaman tärinän seurannaisvaikutukset. Pienitaajuinen melu voi häiritä erityisesti, jos samalla syntyy räminää, mikä lisää huomattavasti melun epämiellyttävyyttä. Räminän vaikutus häiritsevyyteen tulisi ottaa nykyistä paremmin huomioon, kun tarkastellaan häiritsevyyttä sisätiloissa. Arviointi on kuitenkin ongelmallista, koska useat vaikeasti hallittavat tekijät vaikuttavat tärinän ja räminän ilmenemiseen.

8.2

Mittaussuureet ja korjaukset

Ampumamelun vaikutustutkimusten määrää voidaan pitää vähäisenä, mutta viimeaikaisten tutkimusten tulokset ovat yhdenmukaisia. Tutkimusten mukaan kevyiden aseiden melun haittojen kuvaamiseen parhaiten sopiva äänitasosuure olisi A-keskiäänitaso L_{Aeq} . Nykytiedon mukaan se on myös sopivin äänitasosuure raskaiden aseiden melulle yleensä.

Raskaille aseille ja räjäytyksille C-äänialtistustaso L_{CE} tarjoaa olennaista lisätietoa kahdessa suhteessa. Sen avulla voidaan muodostaa impulssikorjaus, joka ottaa huomioon raskaiden aseiden melun pienitaajisuuden ja jonka arvo voi olla muuttuva.

Mikäli melun ohella voi esiintyä myös räminää, on C-äänialtistustaso sellaisenaan sopiva arviointisuure.

Pohjoismaissa Norjaa lukuun ottamatta käytetään kevyiden aseiden melun arvioimiseen edelleen pelkästään AI-enimmäisäänitasoa $L_{A,max}$ vaikka sen on osoitettu olevan sekä äänekkyyisaistimuksen perusteella että käytännön mittausteknisistä ja mallilaskentaan liittyvistä syistä tarkoitukseen huonosti sopiva. Saksassa on vuonna 1998 ja Norjassa vuonna 2005 siirrytty käyttämään A-keskiäänitasoa $L_{A,eq}$ kevyiden aseiden melun ohjearvoissa. Muiden maiden säännöksiin ei viime vuosien aikana ole tullut muutoksia kevyiden aseiden mittaussuureiden osalta.

Raskaiden aseiden osalta useissa maissa melun arviointiin käytetään A- tai C-äänialtistustasoa ja -keskiäänitasoa.

Vaikutustutkimusten mukaan ampumamelu on A-keskiäänitasona $L_{A,eq}$ arvioituna noin 10–16 dB muita tavallisia ympäristömelun lajeja häiritsevämpää. Jos ampumamelun häiritsevyyttä halutaan verrata muun ympäristömelun häiritsevyyteen ja käyttää sille ympäristömelun yleisiä ohjearvoja, ampumamelun keskiäänitasoon täytyy lisätä vastaava impulssikorjaus.

Impulssikorjauksen suhteen tilanne voidaan katsoa kevyiden aseiden melun osalta ratkenneeksi. Raskaiden aseiden melun impulssikorjaus riippuu aseiden tyypistä ja kaaliiperista sekä lievästi laukausäänen absoluuttisesta voimakkuudesta (eli käytännössä etäisyydestä); tilanne on vielä jossakin määrin epäselvä.

- Kevyiden aseiden melun korjauksen arvoksi on vakiintunut 12 dB.
- Tutkimuskirjallisuudesta saatava raskaiden aseiden korjaus, yleensä noin 13–18 dB, on selvästi suurempi kuin puolustusvoimien suositusarvojen korjaus 9 dB.

Jälkimmäisen tapauksen eron yhtenä selityksenä on, että impulssikorjaukset on määritelty eri tavoin: tutkimuskirjallisuudessa häiritsevyyden nojalla, mutta puolustusvoimien ohjeissa impulssien fysikaalisten parametrien perusteella. Toinen asiaan vaikuttava seikka on keskiäänitason laskenta-aika. Tutkimuksissa on yleensä oletettu, että käytetään koko vuoden kestoja, mikä lieventää eroa.

Muulloin kuin arkisin päiväaikaan esiintyvälle ampumamelulle voidaan käyttää esiintymisajankohtaan liittyviä korjauksia. Ne voivat lukuarvoiltaan olla samoja kuin muullakin ympäristömelulla. Yöllä korjaus melutasoon voi olla 10 dB ja illalla 5 dB.

Räminän aiheuttamasta häiritsevyyden kasvusta ja tälle ilmiölle sopivasta mahdollisesta lisäkorjauksesta tarvittaisiin vielä runsaasti lisätietoa. Alustavasti näyttäisi siltä, että C-äänialtistustaso olisi ehkä sellaisenaankin kelvollinen arviointisuure. Tähän käyttötarkoitukseen sopiva ohjearvon lukuarvo on kuitenkin yleensäkin vielä hämärän peitossa, ja lisäksi Suomen oloihin sopiva käytäntö tuskin on suoraan tuotavissa muualta erilaisten rakennustapojen vuoksi.

8.3

Johtopäätökset ja suosituksia

Kevyiden aseiden melun haittoja arvioidaan tällä hetkellä enimmäisäänitasoa käyttäen, mikä ei vastaa nykyistä tietämystä ampumamelun akustisten ominaisuuksien ja sen häiritsevyyden välisestä riippuvuudesta. Tällä perusteella olisi suositeltavaa ryhtyä valmistelemaan kevyiden aseiden ampumaratamelun ohjearvojen uusimista.

Raskaiden aseiden osalta tämä kirjallisuusselvitys tukee puolustusvoimien suositusarvo-ohjeessa tehtyä häiritsevyyttä vastaavien äänitasosuureiden valintaa (huippuäänitasoa $L_{C,peak}$ lukuun ottamatta). Impulssikorjausten lukuarvot kaipaavat kuitenkin lisäselvityksiä.

Tämän selvityksen perusteella jatkossa olisi tarpeen:

- Laatia tarkennettu ehdotus raskaiden aseiden melun impulssikorjaukseksi.
- Täydentää tietoja, jotka koskevat pienitaajuisen melun aiheuttaman tärinän ja räminän häiritsevyyttä ja mahdollisia lisäkorjaustarpeita äänitasoon (seuraamalla edelleen kansainvälistä tutkimuskirjallisuutta).
- Järjestää kotimaisia kokeita räminän esiintymisestä ja häiritsevyydestä.

Uusi korjausehdokas (tai uudet -ehdokkaat) raskaiden aseiden melulle voitaisiin muodostaa seuraavasti. Puolustusvoimien suositusarvo-ohjeen liitteessä 4 kuvassa 6 on nähtävillä suuri määrä mittaustietoja A- ja C-äänialtistustasosta huipputason funktiona. Jos sama tai vastaava aineisto voitaisiin, samoin kuin kuvan 16 esimerkissä, piirtää huipputason sijasta A-äänialtistustason ja etäisyyden funktiona, voitaisiin muodostaa standardin ISO 1996-1 liitteen B mukaiset estimaatit impulssikorjaukselle.

- Arntzen E (1984). Annoyance caused by shooting noise. Report based on investigations in the Nordic Countries. Oslo 1984. 32 s.
- Benton S (1991). An investigation into the self-generation of annoyance responses to low level frequency noise. *J Low Freq Noise Vib* 10(1991)2, 59–62.
- Berglund B & Lindvall T (1995). *Community noise*. Document prepared for the World Health Organization. Archives of the Center for Sensory Research, vol 2, issue 1. Stockholm University and Karolinska Institute, Tukholma 1995. 180 s + liitt 2 s.
- Berglund B, Lindvall T & Schwela D (1999). *Guidelines for community noise*. World Health Organization, Geneve 1999.
- Brüel P V (1975). *Måler vi støj korrekt?* Brüel & Kjær, Nærum 1975. 43 s.
- Buchta E (1990). A Field survey on annoyance caused by sounds from small firearms. *J Acoust Soc Am* 88(1990)3, 1459–1467.
- Buchta E (1996). Annoyance caused by shooting noise — Determination of the penalty for various weapon calibres. *Proc Inter-noise 96*, Liverpool 1996, 2495–2500.
- Buchta E & Vos J (1998). A field survey on the annoyance caused by sounds from large firearms and road traffic. *J Acoust Soc Am* 104(1998)5, 2890–2902.
- Bullen R B & Hede A J (1984). Community reaction to impulsive noise. *Proc Inter-noise 84*, Honolulu 1984, 937–940.
- Bullen R B, Hede A J & Job R F S (1991). Community reaction to noise from artillery range. *Noise Control Eng J* 37(1991)3, 115–128.
- Desarnaulds V, Monay G & Favager D (1998). Shooting noise regulation review of various national practices. *Proc Inter-noise 98*, Christchurch 1998,
- DIN 45 680** (1997). Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft + Beiblatt: Hinweise zur Beurteilung bei Gewerblichen Anlagen, *Deutsches Institut für Normung*, Berliini 1997.
- Fidell S, Silvati L & Pearsons K (2002). Relative rates of growth of annoyance of impulsive and non-impulsive noises. *J Acoust Soc Am* 111(2002)1, 576–585.
- Findeis H & Peters E (2004). Disturbing effects of low frequency sound immissions and vibrations in residential buildings. *Noise Health* 6(2004)23, 29–35.
- Franssen E A M, van Dongen J E F, Ruysbroek J M H, Vos H & Stellato R (2004). Hinder door milieufactoren en de beoordeling van de leefomgeving in Nederland. Inventarisatie Verstoringen 2003. *RIVM Rapport 815120001*, 2004. 102 s. [Noise annoyance and perceived environmental quality. Inventory 2003. Hollanniksi.]
- Frost F P (1983). The effect of variation in the microstructure of individual low frequency thresholds and loudness functions on noise control criteria. *Proc Inter-noise 83*, Edinburgh 1983, 831–834.
- Försvarsmakten (1995). Redovisning av regeringsuppdrag — Utarbete nya riktlinjer för skottbuller från artilleri och andra tunga vapen. Försvarsdepartementet, Högkvarteret. Försvarsmakten, Tukholma 1995. 15 s. + liittet.
- Gjestland T (2006) (toim.). Low frequency sound insulation in buildings. *SINTEF report 90E243*, Trondheim 2006.
- Griefen B, Bröde P & Schauwarzenau (1993). The equivalent sound pressure level — A reliable predictor for human responses to impulse noise? *Appl Acoust* 38(1993), 1–13.
- Heinonen-Guzejev M & Vuorinen H (2001). Meluherkkyys sekä liikennemelun raportointi ja häiritsevyyys. *Suomen ympäristö 471*, Ympäristöministeriö, Helsinki 2001.
- Hirsch K W (1996). The influence of receiver height on sound levels from sound sources in large distances. *Proc Inter-noise 96*, Liverpool 1996, 633–639.
- Hirsch K W (1998). Prediction of the difference between CSEL and ASEL of blast sounds for purposes of predicting annoyance. *Proc 15th ICA*, Seattle 1998, 457–458.
- IEC 61672-1** (2002). Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications. *International Electrotechnical Commission*, Geneve 2002.
- ISO 226** (2003). Normal equal-loudness level contours. *International Organization for Standardization*, Geneve 2003.
- ISO 1996-1** (2003). Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures. *International Organization for Standardization*, Geneve 2003.
- ISO 1996-2** (1987). Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2. Acquisition of data pertinent to land use. *International Organization for Standardization*, Geneve 1987.
- Jacobsen J & Plovsing B (1996). Combined assessment of noise from shooting and training areas. *Proc Inter-noise 96*. Liverpool 1996, 2443–2446.
- Jauhiainen T, Vuorinen H, Heinonen-Guzejev M & Paikkala S-L (1997). Ympäristömelun vaikutukset. *Suomen ympäristö 94*, Ympäristöministeriö, Helsinki 1997.

- Jauhiainen T, Vuorinen H & Heinonen-Guzejev M (2007). Ympäristömelun vaikutukset. *Suomen ympäristö 000*, Ympäristöministeriö, Helsinki 2007.
- Kjellberg A & Goldstein M (1985). Loudness assessment of band noise of varying bandwidth and spectral shape. An evaluation of various frequency weighting networks. *J Low Freq Noise Vib* 4(1985), 12–26.
- Kurki T, Spoo H, Malmivuo M, Petäjä S & Leinonen J (2004). Kunnossapitourakoiden toimivuusvaatimukset. *VTT Tiedotteita 2268*, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Espoo 2004.
- Kuwano S & Namba S (1996). Evaluation of aircraft noise. Effects of number of flyovers. *Environmental International* 22(1996), 131–144.
- Lahti T (1979). Impulssimelun mittausten perusteita. *Työterveyslaitoksen tutkimuksia 156*. Helsinki 1979. 114 s + liitt 16 s.
- Lahti T (1995). Akustinen mittaustekniikka. Teknillinen Korkeakoulu, *Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio 38*. Espoo 1995. 152 s.
- Lahti T (2003). Ympäristömelun arviointi ja torjunta. *Ympäristöopas 101*, Ympäristöministeriö, Helsinki 2003. 125 s.
- Leatherwood J, Sullivan B, Shepherd K & McCurdy D (2002). Summary of recent NASA studies of human response to sonic booms. *J Acoust Soc Am* 111(2002)1, 586–598.
- Levein B & Åhrlin U (1988). Annoyance caused by shooting range noise. *J Sound Vib* 127(1988) 3, 589–592.
- Liikonen L & Leppänen P (2005). Altistuminen ympäristömelulle Suomessa, tilannekatsaus 2005. *Suomen ympäristö 809*, Ympäristöministeriö, Helsinki 2005.
- Looten A (1992). Criticism of the Leq as an index for aircraft noise and other discontinuous noise sources. *Proc Inter-noise 92*, Toronto 1992, 1003–1006.
- Luz G (2001). Using 115 dB peak as a predictor of complaints about heavy weapons. Abstract. *International military noise conference*. Baltimore 2001.
- Machida N (1994). Thresholds of sensation and effects on human body of impulsive low frequency sound. *Proc Inter-noise 94*, Yokohama 1994, 1113–1116.
- Masaoka K, Ono K & Komiyama S (2001). A measurement of equal loudness level contours for tone burst. Technical report. *Acoust Sci Tech* 22(2001)1, 35–39.
- Markula T (2006). *Propagation, measurement and assessment of shooting noise*. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto, Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio, Espoo 2006.
- McCurdy D A, Brown S A & Hilliard R D (2004). Subjective response of people to simulated sonic booms in their homes. *J Acoust Soc Am* 116(2004)3, 1573–1584.
- Meloni T & Rosenheck A (1995). Choice of frequency weighting for the evaluation of weapon noise. *J Acoust Soc Am* 97(1995)6, 3636–3641.
- Miedema H M E & Vos H (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 104(1998)6, 3432–3445.
- Miljøstyrelsen (1997). Orientering om lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø. *Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9/1997*. Kööpenhamina 1997.
- Miller G A (1948). Perception of short bursts of noise. *J Acoust Soc Am* 20(1948), 160.
- Möller H & Andersen J (1983). Loudness of infrasound. *Proc Inter-noise 83*, Edinburgh 1983, 815–818.
- Namba S & Kuwano S (1997). Temporal factors of hearing in noise research. *Contributions to Psychological Acoustics*, 7th Oldenburg symposium on Psychological Acoustics 1997, 465–482.
- NATO (2000). The effects of noise from weapons and sonic booms, and the impact on humans, wildlife, domestic animals and structures. Committee on the challenges of modern society. *North Atlantic Treaty Organization (NATO), Report 241*, 2000. 102 s.
- Naturvårdsverket (2003). Branschfakta: skjutbanor finkalibriskt skytte. *Naturvårdsverket, utgåva 4*, Tukholma 2003.
- NRC (1981). *Assessment of Community response to high-energy impulsive sounds*. Report of WG 84, Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics (CHABA). National Research Council, National Academy of Science, Washington DC 1981.
- NRC (1996). *Community response to high-energy impulsive sound: An assessment of the field since 1981*. Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics (CHABA). National Research Council, National Academy of Science, Washington DC 1996.
- NSG (1999). NSG-richtlijn laagfrequent geluid. *Nederlandse Stichting Geluidhinder*, Delft 1999.
- NT ACOU 099 (2002). Shooting ranges. Prediction of noise. *Nordtest*, Espoo 2002.
- Okada K (1986). Field survey and reduction techniques for low frequency and infrasound from dirrerent facilities. *Proc Inter-noise 86*, Cambridge (USA) 1986, 787–792.
- Otten H, Schulte W & von Eiff A (1990). Traffic noise, blood pressure and other risk factors. The Bonn traffic noise study. Teoksessa: Berglund B & Lindvall T (toim), *Noise as a public health problem 1990:4*, 327–225.
- Passchier-Veermeer W & Passchier W F (2000). Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives* 108(2000), suppl. 1.
- Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Waszkowska M & Sliwinska-Kowalska M (2003). Assessment of annoyance from low frequency and broadband noises. *Int J Occup Med Environ Health* 16(2003)4, 337–343.
- Pesonen K (2005). Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita. *Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2005: 14*. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2005. 174 s.

- Pedersen O J, Lyregaard P E & Poulsen T (1977). The round robin test on evaluation of loudness level of impulsive noise. Working document of study group 'B', "Loudness of impulsive sounds". *International Organization for Standardization ISO/TC 43/SC 1/SG 'B'/N23*, 1977.
- Poulsen T (1981). Loudness of tone pulses in a free field. *J Acoust Soc Am* **69**(1981)6, 1786–1790.
- Puolustusvoimat (2005). *Raskaiden aseiden ja räjähteiden aiheuttaman ympäristömelun arviointi*. Puolustusvoimien ohje. Puolustusvoimat, Helsinki 2005. 47 s.
- Pääkkönen R (1988). Low frequency high level noise impulses near weapons and explosions. *J Low Freq Noise Vib* **7**(1988)2, 42–49.
- Pääkkönen R (1991). Low-frequency noise impulses from explosions. *J Low Freq Noise Vib* **10** (1991)3, 78–82.
- Pääkkönen R, Anttonen H & Niskanen J (1991). Noise control of military shooting ranges for rifles. *Appl Acoust* **32**(1991), 49–60.
- Pääkkönen R (1994). Noise attenuation of structures against impulses from large calibre weapons or explosions. Tampereen aluetyöterveyslaitos 1994.
- T-1442**. Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging. *Miljøverndepartementet*, Oslo 2005.
- Rylander R & Lundquist B (1996). Annoyance caused by noise from heavy weapon shooting ranges. *J Sound Vib* **192**(1996)1, 199–206.
- Rylander R, Åhrlin U & Lundquist B (1994). Störningar av buller från skjutfält för tunga vapen. Samband mellan exponering och störning. *Institutionen för miljömedicin, Rapport 1*. Göteborgs universitet, 1994. 35 s.
- Schomer P D (1985). Assessment of community response to impulsive noise. *J Acoust Soc Am* **77** (1985)2, 520–535.
- Schomer P D & Neathammer R D (1987). The role of helicopter noise-induced vibration and rattle in human response. *J Acoust Soc Am* **81**(1987)4, 966–975.
- Schomer P D (1989). On a theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations — High-amplitude impulse-noise environments. *J Acoust Soc Am* **86** (1989)2, 835–836.
- Schomer P D & Averbuch A (1989). Indoor human response to blast sounds that generate rattles. *J Acoust Soc Am* **86** (1989)2, 665–673.
- Schomer P D & Hoover B (1989). A-weighting — It does not work indoors for helicopter or large gun noises with low frequencies and large amplitudes. *Proc Inter-noise 89*, Newport Beach 1989, 853–858.
- Schomer P D (1991). Decibel annoyance reduction of low-frequency blast attenuation windows. *J Acoust Soc Am* **89**(1991)4, 1708–1713.
- Schomer P D (1994). New descriptor for high-energy impulsive sounds. *Noise Control Eng J* **42** (1994)5, 179–191.
- Schomer P D & Wagner L R (1995). Human and community response to military sounds — Part 2: Results from field-laboratory tests of sounds of small arms, 25 mm cannons, helicopters and blasts. *Noise Control Eng J* **43**(1995)1, 1–13.
- Schomer P D & Sias J W (1996). A comparative study of human response to blast noise and sonic booms. *Proc Inter-noise 96*, Liverpool 1996, 2489–2496.
- Schomer P D, Sias J W & Maglieri D (1997). A comparative study of human response, indoors, to blast noise and sonic booms. *Noise Control Eng J* **45**(1997)4, 169–182.
- Schomer P D (2000). Loudness-level weighting for environmental noise assessment. *Acustica - Acta Acustica* **86**(2000), 49–61.
- Schomer P D (2001). Use of new ISO 226 equal loudness contours as a filter to assess noise annoyance. *Proc Inter-noise 2001*, Haag, 1811–1816.
- Schomer P D, Suzuki Y & Saito F (2001). Evaluation of loudness-level weightings for assessing the annoyance of environmental noise. *J Acoust Soc Am* **110**(2001)5, 2390–2397.
- Smooenburg G (1981). Evaluation of impulse noise, in particular shooting noise, with regard annoyance. *Proc Inter-noise 81*, Amsterdam 1981, 779–782.
- Socialstyrelsen (2005). Buller inomhus. *Socialstyrelsen SOSFS 2005:6*, Tukholma 2005.
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus (2003). Asumisterveysohje. *Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, oppaita 2003:1*, Helsinki 2003. 93 s.
- Survo K & Hänninen O, Altistuminen ympäristömelulle Suomessa. Esiselvitys. *Suomen ympäristö* **241**, Pohjois-Savon ympäristökeskus, Kuopio 1998. 40 s.
- Tokita Y & Nakamura S (1984). Frequency weighting characteristics for evaluation of low frequency sound. *Proc Inter-noise 84*, San Francisco 1984, 917–920.
- USACHPPM (2005). Operational noise manual. *An orientation for Department of Defence facilities*. U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine. Aberdeen Proving Ground, Maryland 2005.
- VNP **993/1992**. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. *Suomen säädöskokoelma* 993/92.
- VNP **1404/1993**. Valtioneuvoston päätös työntekijäin suojelusta työssä esiintyvän melun aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. *Suomen säädöskokoelma* 1404/93.
- VNP **53/1997**. Valtioneuvoston päätös ampumaratojen aiheuttaman melutason ohjearvoista. *Suomen säädöskokoelma* 53/97.
- Vos J (1990). On the level-dependent penalty for impulse sound. *J Acoust Soc Am* **88**(1990), 883–893.
- Vos J (1995). A review of research on the annoyance caused by impulse sounds produced by small firearms. *Proc Inter-noise 95*, Newport Beach 1995, 875–878.
- Vos J (1996a). Startle response to shooting sounds. *Proc Inter-noise 96*, Liverpool 1996, 1255–1260.

- Vos J (1996b). Annoyance caused by impulse sounds produced by small, medium-large, and large firearms. *Proc Inter-noise 96*, Liverpool 1996, 2231–2236.
- Vos J & Buchta E (2000). Quantification of context effects in the determination of source-specific annoyance rating for shooting and road-traffic sounds. *Proc Inter-noise 2000*, Nizza, 1597–1602.
- Vos J (2001a). Criteria for the audibility of shooting sounds. *Proc Inter-noise 2001*, Haag, 1499–1054.
- Vos J (2001b). On the annoyance caused by impulse sounds produced by small, medium-large, and large firearms. *J Acoust Soc Am* **109**(2001)1, 244–253.
- Vos J (2003). A- and C-weighted sound levels as predictors of the annoyance caused by shooting sounds, for various façade attenuation types. *J Acoust Soc Am* **113**(2003)1, 336–347.
- Vos J & Geurtsen F (2003). On the assessment of shooting sounds: Loudness-level weightings versus A- and C-weighted sound exposure levels (L). *J Acoust Soc Am* **114**(2003)4, 1729–1732.
- Yamada S (1982). Research on concrete examples of low frequency noise problems. *Proc Inter-noise 82*, San Francisco 1982, 601–604.
- Ympäristöministeriö (1995). Ympäristömelun mittaaminen. *Ympäristönsuojeluosasto, Ohje 1:1995*, Ympäristöministeriö, Helsinki 1995. 81 s.
- Ympäristöministeriö (1999). Ampumaratamelun mittaaminen. *Ympäristöopas 61*, Ympäristöministeriö, Helsinki 1999. 41 s.
- Ympäristöministeriö (2003). Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. *Ympäristöopas 108*, Ympäristöministeriö, Helsinki 2003. 37 s.
- Zwislocki J J (1969). Temporal summation of loudness: An analysis. *J Acoust Soc Am* (1969) 431–441.

KUVAILELEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto			Julkaisu-aika Marraskuu 2007
Tekijä(t)	Jaana Jokitulppo, Tapio Lahti, Timo Markula			
Julkaisun nimi	Ampumamelun arviointi. Kirjallisuusselvitys			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 39/2007			
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan sekä kevyiden että raskaiden aseiden ampumamelun vaikutusten arviointia ampumaratojen ja -alueiden ympäristössä. Pääpaino on ampumamelun arviointiin käytettävissä tunnusluvuissa sekä melun aiheuttamassa häiritsevyydessä.</p> <p>Ampumamelu koetaan helposti muuta ympäristömelua häiritsevämpänä. Vaikutustutkimusten mukaan ampumamelu on A-keskiäänitasona, L_{Aeq}, arvioituna noin 10-18 dB muita, yleisempiä ympäristömelun lajeja häiritsevämpää. Häiritsevyyden aiheuttaa laukausäänten äkillisyys ja lyhytaikaisuus. Häiritsevyyteen vaikuttavat äänitason ohella myös laukausten lukumäärä, spektri ja vuorokaudenaika. Lisäksi kuunteluympäristön akustiset ominaisuudet (rakennusten äänieristys), melun esiintymishetkellä tapahtuva toiminta, yksilölliset tekijät, kuten meluherkkyys, ja melun ohella mahdollisesti esiintyvä räminä voivat vaikuttaa ampumamelun kokemiseen.</p> <p>Raskaiden aseiden melu eroaa kevyiden aseiden melusta spektrin pienitaajuisuuden takia. Sisätiloissa melun pienitaajuisuus voi korostua. Rakennusten äänieristys on yleensä pienillä taajuuksilla heikko. Pienitaajuinen melu voi häiritä erityisesti, jos se aiheuttaa räminää, mikä lisää huomattavasti melun epämiellyttävyyttä.</p> <p>Uusimpien tutkimusten mukaan kevyiden aseiden melun haittojen kuvaamiseen parhaiten sopiva äänitasosuure olisi A-keskiäänitaso L_{Aeq}. Sitä pidetään myös käyttökelpoisimpana äänitasosuureena raskaiden aseiden melulle. Raskaille aseille C-äänialtistustaso L_{CE} tarjoaa olennaista lisätietoa spektrin pienitaajuisuudesta sekä tilanteessa, jossa melun ohella voi esiintyä myös räminää.</p>			
Asiasanat	Ampumamelu, melun vaikutukset, melun tunnusluvut			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö ja Pääesikunta, Logistiikkaosasto			
	ISBN 978-952-11-2880-6 (nid.)	ISBN 978-952-11-2881-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkoj.)
	Sivuja 69	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 EDITA puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380, sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2007			

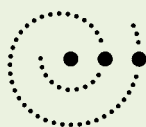
PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Miljövårdsavdelningen	Datum November 2007		
Författare	Jaana Jokitulppo, Tapio Lahti, Timo Markula			
Publikationens titel	Ampumamelun arviointi. Kirjallisuusselvitys (Uppskattning av skjutbuller. Litteraturutredning)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 39/2007			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig (på finska) på internet: www.environment.fi/publications			
Sammandrag	<p>I litteraturutredningen presenteras en uppskattning om inverkan av skjutbuller från både lätta och tunga vapen i omgivningen av skjutbanor och –områden. Huvudvikten är på bullermått som används för uppskattning av skjutbullret samt störningen förorsakad av bullret.</p> <p>Skjutbullret upplevs i allmänhet som mer störande än annat omgivningsbuller. Enligt undersökningar om inverkan av skjutbuller är det, uppskattat med den ekvivalenta A-ljudnivån L_{Aeq}, ca. 10–18 dB, mer störande än andra, mer allmänna typer av omgivningsbuller. Skottbullrets kortvarighet och plötsliga natur förklarar störningen. Utöver ljudnivån inverkar också antalet skott, spektret och tiden på dygnet på hur störande skottbullret upplevs. Ytterligare kan bedömningen av bullret påverkas av de akustiska egenskaperna (byggnadens ljudisolering) där bullret uppfattas, verksamhet som pågår då bullret förekommer, individuella faktorer såsom bullerkänslighet samt skrammel som eventuellt förekommer som en följd av bullret.</p> <p>Bullret från tunga vapen skiljer sig från lätta vapens buller på grund av dess lågfrekventa karaktär. Inomhus kan bullrets lågfrekventa karaktär förstärkas. Byggnadernas ljudisolering är vanligen svag vid låga frekvenser. Det lågfrekventa bullret kan vara speciellt störande om det förorsakar skrammel, som avsevärt bidrar till att bullret upplevs som obehagligt.</p> <p>Enligt de nyaste undersökningarna skulle den lämpligaste ljudnivåstorheten för att beskriva skadeverkningar förorsakade av buller från lätta vapen vara den ekvivalenta A-ljudnivån L_{Aeq}. Den anses också vara det mest användbara ljudnivåmättet för buller från tunga vapen. Den C-vägda ljudexponeringsnivån L_{CE} ger väsentlig tilläggsinformation om bullerspektrrets lågfrekventa karaktär när det gäller tunga vapen, och vid situationer där det utöver buller också kan uppstå skrammel.</p>			
Nyckelord	Skjutbuller, bullrets effekter, bullermått			
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet och Huvudstaben , logistikavdelningen			
	ISBN 978-952-11-2880-6 (htf)	ISBN 978-952-11-2881-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 69	Språk Finska	Offentlighet offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, Kundservice, PB 800, FI-00043 EDITA tel. +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380, e-mail: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
Förläggare	Miljöministeriet			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsinki 2007			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Environmental Protection Department		<i>Date</i> November 2007	
<i>Author(s)</i>	Jaana Jokitulppo, Tapio Lahti, Timo Markula			
<i>Title of publication</i>	Ampumamelun arviointi. Kirjallisuusselvitys (Assessment of shooting noise. Survey of the Literature)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 39/2007			
<i>Theme of publication</i>	Environmental Protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available (in Finnish) on the Internet: www.environment.fi/publications			
<i>Abstract</i>	<p>The publication presents a survey of the literature on evaluating the effects of shooting noise in the vicinity of shooting ranges and areas, from both small and large calibre weapons. The emphasis is on the indicators used for the assessment of shooting noise and the annoyance caused by the noise.</p> <p>Shooting noise is usually perceived as being more annoying than other environmental noise. According to the research on effects, shooting noise is approximately 10 dB to 18 dB more annoying than other more common types of environmental noise, when assessed using the equivalent 'A' sound level L_{Aeq}. The annoyance is caused by the suddenness and short duration of shooting sounds. Together with the sound level, the degree of annoyance depends on the number of rounds, the spectrum and the time of the day. In addition, the following aspects may affect how shooting noise is experienced: the acoustical characteristics of the exposure environment (sound insulation of buildings), the activity taking place during the occurrence of the noise, individual factors such as sensitivity to noise, and the possible rattle produced together with the noise.</p> <p>The noise of heavy weapons differs from that of light weapons due to the low-frequency content of the spectrum. Indoors, the low-frequency characteristic may become emphasised. The sound insulation of buildings is usually weak at low frequencies. Low-frequency noise may be especially disturbing if it causes a rattle, which increases considerably the unpleasantness of the noise.</p> <p>According to the latest research, the sound-level quantity best suited to the description of the adverse effects of the noise from light weapons would be the equivalent 'A' sound level L_{Aeq}. It is also considered to be the most suitable sound-level quantity for the noise of heavy weapons. For heavy weapons, the C-weighted sound-exposure level L_{CE} offers essential additional information on the low-frequency content of the spectrum and also for situations where rattles are produced in addition to noise.</p>			
<i>Keywords</i>	Shooting noise, noise effects, noise indicators			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment and Defence Command, Logistic Division			
	ISBN 978-952-11-2880-6 (pbk.)	ISBN 978-952-11-2881-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 69	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> For public use	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd. P.O. Box 800, FI-00043 EDITA tel. +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380, e-mail: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
<i>Financier of publication</i>	Ministry of The Environment			
<i>Printing place and year</i>	Edita Ltd, Helsinki 2007			

Kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan sekä kevyiden että raskaiden aseiden ampumamelun vaikutusten arviointia ampumaratojen ja -alueiden ympäristössä. Pääpaino on ampumamelun arviointiin käytävissä tunnusluvuissa sekä melun aiheuttamassa häiritsevyydessä.



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Myynti: Edita Publishing Oy
PL 800, 00043 EDITA
Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380
Edita-kirjakauppa Helsingissä:
Antinkatu 1, puh. 020 450 2566

ISBN 978-952-11-2880-6 (nid.)

ISBN 978-952-11-2881-3 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)