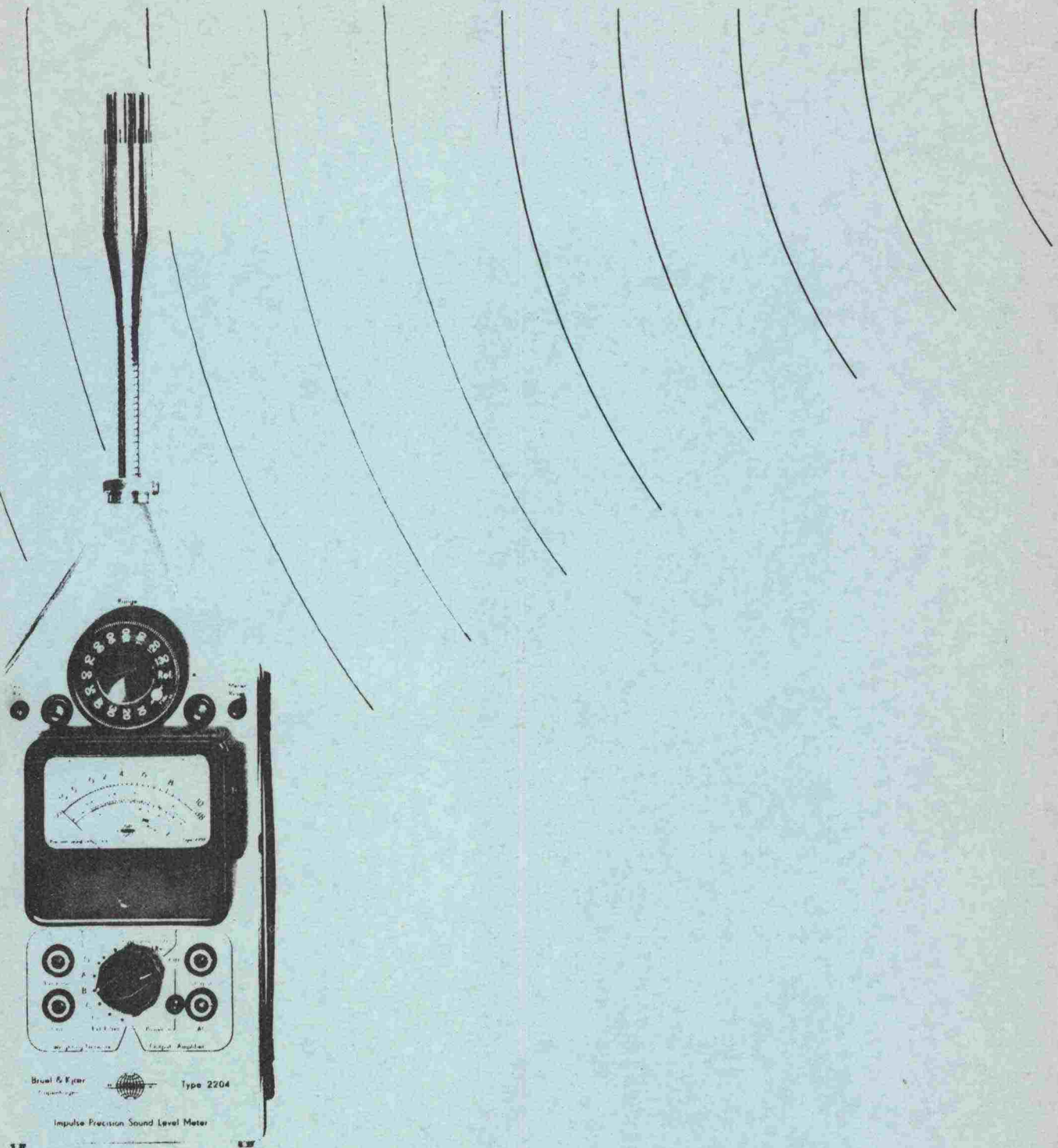


Va



# LIIKENTEEN MELU JA TIESUUNNITTELU TUTKIMUS v. 1971

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS

TIESUUNNITTELUOSASTON TUTKIMUKSIA

TVH 2.392

HELSINKI 15. 3. 1972

18572 / 1

VII B

08  
TIE  
LIIKENTEEN





LIIKENTEEN MELU JA TIESUUNNITTELU

TUTKIMUS v. 1971

Dipl.ins. Unto Miettinen

Tiesuunnitteluosaston teknillistaloudellinen toimisto

Tie- ja vesirakennushallitus

Helsinki 15.3.1972

LIIVINKIRJASTO

1900

18572

18572



## ALKUSANAT

Ympäristön suojaaminen liikenteen melun aiheuttamilta haitoilta on eräs tavoite, johon nykyään pyritään sekä maankäytön että liikenteen suunnittelussa. Toisaalta on todettava, että liikennemelua ja sen torjuntakeinoja on toistaiseksi tutkittu suhteellisen vähän.

Jäljempänä oleva liikennemelun teoriaa ja liikennemelun torjuntakeinoja käsittelevä suppeahko selvitys on laadittu tvh:n toimeksiannosta yleisten teiden suunnittelua koskevien normaalimääräysten ja ohjeiden laatimista silmälläpitäen. Selvityksen laatimisessa on asiantuntijana toiminut dipl.ins. Unto Miettinen. Työtä on johtanut tvh:n edustajana dipl.ins. Teppo Miikkulainen.

Selvityksen loppuosassa esitetyt suositukset ovat selvityksen laatijoiden omakohtaisiin käsityksiin perustuvia.

Jaostopäällikkö Kirill Härkönen

## Sisällysluettelo

0.	Johdanto	1
1.	Ääniopin perusteita	2
1.1	Ääni aaltoliikkeenä	2
1.2	Äänen etenemistavat	2
1.3	Äänitekniikan peruskäsitteitä	3
1.4	Äänentason geometrinen aleneminen	4
1.5	Ihmisen kuulon ominaisuuksia	5
2.	Katsaus tieliikenteen melua koskevaan kirjallisuuteen, ohjeisiin ja määräyksiin	6
2.1	Tieteellisestä kirjallisuudesta	6
2.11	Kirjallisuuden hajanaisuus	6
2.12	Kirjallisuuden luokittelu	6
2.13	Kokeelliset tutkimukset	7
2.14	Melutyöryhmien raportit	8
2.15	Kirjallisuustutkimukset	9
2.16	Meluntorjunnan oppikirjat	10
2.2	Suunnitteluohjeista	10
2.3	Moottoriajoneuvojen melumääräyksistä	11
2.31	Ajoneuvojen käyttöä ja rakennetta koskevat säännökset	11
2.32	Melurajat	12
2.33	Melun mittaaminen tyyppikatsastuksen yhteydessä	13
2.34	Määräyksissä ja valvonnassa ilmeneviä puutteita	14
3.	Tieliikenteen melun mittaamisesta ja häiritsevyyden arvioimisesta	16
3.1	Mittausten tarkoitus	16
3.2	Mittausmenetelmät ja -laitteistot	16
3.3	Mittausvälineiden ominaisuuksia	19
3.31	Painottavat suodattimet	19
3.32	Kädessä pidettävän melumittarin etuja ja haittoja	20
3.33	Melumittarin lisälaitteita	21
3.34	Meluannosmittari	22
3.4	Meluisuusluvut	23
3.41	Melutasot $L_{10}$ ja $L_{50}$	23
3.42	Meluisuusluvut $L_{eq}$ , $L_e$ ja $L_{NP}$	24
3.43	Meluisuusluku TNI	24
3.5	Melun haitallisuus ihmisen terveydelle	25
3.6	Melurajat	25
4.	Tieliikenteen melun vaikuttavista tekijöistä	27
4.0	Moottoriajoneuvon dominoiva melunlähde	27
4.1	Moottoriajoneuvon melun suuntajakautuma	28
4.2	Nopeuden vaikutus	29



4.3	Ajoradan kulutuskerroksen vaikutus	37
4.4	Ajokelin ja nastarenkaiden käytön vaikutus	40
4.5	Ajoradan pituuskaltevuuden vaikutus	42
4.6	Liikennemäärän vaikutus melutasoon	44
4.7	Ääntä läpäisemättömän esteen varjovaikutus	48
4.8	Lisävaimenemiset	51
4.9	Melun heijastumisen merkitys	55
4.10	Terässillan vaikutus	56
4.11	Raskaan ja kevyen auton melujen ero	58
4.12	Yhteenveto liikenteen meluun vaikuttavista tekijöistä	59
5.	Liikenteen melun huomioon ottaminen liikenne- ja tiesuunnittelussa	61
5.1	Meluttomuus suunnittelun tavoitteena	61
5.2	Liikenteen melun huomioon ottaminen suunnittelu- prosessissa	62
5.3	Liikenteen melun huomioon ottaminen liikenne- väyliä sijoitettaessa	62
5.4	Liikenteen erottelun hyväksikäyttö	63
5.5	Tien sovittamisessa maastoon huomioon otettavia näkökohtia	64
5.6	Tien geometrisessa suunnittelussa huomioon otet- tavia näkökohtia	65
5.7	Rakennettavien meluesteiden hyväksikäyttö	66
5.8	Nopeusrajoitusten hyväksikäyttö	67
5.9	Tien melualueen määrittäminen	67
6.	Yhteenveto	76
Liite 1: Liikenteen melua koskevia tärkeimpiä käsitteitä		
Lähdekirjallisuus		



Moottoriajoneuvojen kehittyminen on palvellut ihmisten tarpeita tekemällä liikkumisen ja kuljetukset entistä helpommiksi, nopeammiksi, tehokkaammiksi ja taloudellisemmiksi. Liikenteen aiheuttama melua on pidetty väistämättömänä seurausilmiönä, jonka torjuntaan ei ole kiinnitetty erityisen suurta huomiota. Viime aikoina kuitenkin tehokas joukkotiedotustoiminta ja yleinen kiinnostus ympäristön kaikkiin saastumisilmiöihin on lisännyt mielenkiintoa erityisesti myös meluntorjuntaa kohtaan.

Autoteknikassa tapahtuneesta kehityksestä huolimatta ei ole varmaa, ovatko autot viime aikoina kehittyneet entistä hiljaisemmiksi ja tulevatko ne edelleen hiljenemään. Päinvastoin, raskaiden autojen osalta on olemassa selviä merkkejä siitä, että kehitys on kulke-massa meluttomuuden suhteen huonoon suuntaan.

Kun liikennemäärät edelleen kasvavat, on todennäköistä, että vaatimukset liikenteen melun torjumiseksi kaavoituksen, liikennesuunnittelun ja rakennustekniikan tarjoamin keinoin tulevat lisääntymään. Meluntorjunta ei kuitenkaan ole mahdollista, ellei liikenteen meluun vaikuttavia tekijöitä perusteellisesti selvitetä.

Liikenteen melua koskevat tutkimukset ovat kokeellisia, teoreettisia tai puhtaasti kirjallisuustutkimuksia. Melumittaukset voivat tapahtua ajoneuvoissa, liikenneväylien varsilla, koeradoilla tai akustisten pienoismallien äärellä. Toisaalta melututkimus käsittää lääketieteellisiä ja psykologisia määrittelyksiä laboratorio-olosuhteissa ja haastatteluja taajamien asukkaiden keskuudessa.

Liikenteen meluun kohdistuvaa tutkimusta on harjoitettu viime vuosina monissa eri maissa. Tutkimusten tuloksista on laadittu yhteenve-toja sekä suosituksia melua vähentäviksi toimenpiteiksi. Pohjois-maisen rakennusmääräyskomitean puitteissa Suomikin on ollut mukana kansainvälisiin melunormeihin tähtäävässä yhteistyössä. Yhdyskuntasuunnittelijoita ja tienrakentajia velvoittavia melunormeja ei kuitenkaan toistaiseksi ole olemassa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on

- esitellä liikenteen melua koskevaa kirjallisuutta
- selostaa meluopin äänitekniillisiä perusteita
- käsitellä melun mittaamista ja häiritsevyyden arvioimista
- tarkastella liikenteen melun riippuvuutta eri tekijöistä
- verrata kesällä 1971 tehtyjen melumittausten tuloksia kirjallisuudesta saataviin tietoihin
- tehdä johtopäätöksiä eräiden tieliikenteen meluun vaikuttavien tekijöiden merkityksestä Suomen maanteilla vallitsevissa olosuhteissa
- tehdä tarkastelun tulosten perusteella ehdotuksia liikenteen melun vähentämiseksi



Havaintojen melko pienen lukumäärän takia melumittausten tuloksiin perustuvia johtopäätöksiä on pidettävä eräiltä osin vain suuntaa antavina.

## 1. Ääniopin perusteita \*

### 1.1 Ääni aaltoliikkeenä

Ääni on kimmoisessa väliaineessa etenevä mekaaninen värähdysliike. Kun kyseinen väliaine on ilmaa, puhutaan ilmaäänestä. Toisaalta ääni voi edetä kiinteissä aineissa esim. maassa, jolloin ilmiötä sanotaan runkoääneksi tai tärinäksi. Seuraavassa kuitenkin tarkastellaan vain liikenteen aiheuttamaa ilmaääntä. Tärinää, jonka merkitys liikennemelun ollessa kyseessä on yleensä vähäisempi, ei tässä yhteydessä käsitellä.

Ilmaaäni on pitkittäistä aaltoliikettä. Äänen etenemisnopeus eli äänennopeus (m/s) on

$$v = fl \quad (1)$$

$f$  on äänen taajuus eli värähdysten lukumäärä aikayksikössä Yksikköä 1/s kutsutaan hertziksi (Hz)

$l$  on aallonpituus (m)

Kun äänennopeuden ilmassa tiedetään olevan likimain vakio,  $v = 340$  m/s, yhtälö (1) osoittaa äänen taajuuden ja aallonpituuden riippuvuuden toisistaan.

### 1.2 Äänen etenemistavat

Meluntorjunnan kannalta äänen etenemisessä voidaan havaita seuraavia piirteitä:

- 1) Ääni etenee suoraviivaisesti kuten valo.
- 2) Ääni heijastuu kiinteästä esteestä. Ilmiön voidaan ajatella tapahtuvan samalla tavoin kuin kimmoisan pallon takaisin ponnahtaminen vaikkapa pöydän pinnasta.
- 3) Ääni imeytyy kiinteisiin esteisiin kuten lämpösäteily.
- 4) Ääni kiertää esteiden taakse kuin kaasu.

Äänen vertaaminen kaasuun on myös sikäli paikallaan, että ääni läpäisee esteitä, esim. rakennusten seiniä, hyvinkin pieniä rakoja käyttäen. Kun ääni on todellisuudessaakin kaasussa havaittavia painepoikkeamia, on luonnollista, että äänen purkautuminen tapahtuu kaikenlaisten reikien läpi. Reikien ja rakojen voidaan todeta suorastaan imevän ääntä.

\* Tässä luvussa ja myöhemminkin esille tulevat ääni- ja meluopin käsitteiden määritelmät on koottu julkaisun loppuun liitteeksi 1.



Silloin, kun säteily ei etene suoraviivaisesti, ilmiötä sanotaan taipumiseksi. Äänen taipumisen seurauksena voidaan todeta, että vaikka nurkan taakse ei, nähdä nurkan takaa tulevia ääniä kuitenkin kuullaan. Tarkkaan ottaen valokin taipuu, mutta äänellä taipuminen on paljon voimakkaampaa.

Taipumisen merkitys on sitä suurempi mitä matalataajuisemmasta äänestä on kysymys. Toisaalta taipumisen voidaan sanoa riippuvan äänen kohtaaman esteen mitoista. Este aiheuttaa taakseen äänivarjon, mikäli esteen äänen etenemistä vastaan kohtisuoran poikkileikkauksen pienin läpimitta on suuri verrattuna äänen aallonpituuteen. Käytännössä tämän sanotaan merkitsevän sitä, että kyseisen esteen mitan on oltava vähintään aallonpituuden suuruinen tai ainakin neljäsosa siitä.

Samoin kuin taipuminen, eräät muutkin äänen käyttäytymiseen liittyvät ilmiöt riippuvat taajuudesta. Tällaisia ilmiöitä ovat heijastuminen ja absorboituminen. Rosoinen pinta imee enemmän korkeita kuin matalia ääniä.

Kun liikenteen melu on ääntä, joka sisältää taajuudeltaan erilaisia komponentteja, edellä esitetty merkitsee seuraavaa:

- 1) Liikenneväylän varteen rakennettu aita tai seinämä ei täysin estä melun leviämistä väylän sivuille. Ellei este ole täysin tiivis, varjovaikutus on hyvin vähäinen. Reiätömän esteen tehokkuus riippuu äänen etenemissuuntaa vastaan kohtisuorassa olevien mittojen suuruudesta.
- 2) Este vaikuttaa melun taajuusjakautumaan siten, että korkeat taajuudet tulevat torjutuiksi tehokkaammin kuin matalat taajuudet.

### 1.3 Ääniteknikan peruskäsitteitä

Äänivärähtely havaitaan ilmassa pieninä painevaihteluina. Staattisesta ilmanpaineesta määritettyjen painepoikkeamien tehollista eli ns. neliöllistä keskiarvoa kutsutaan äänenpaineeksi. Tavallisesti äänen voimakkuutta ei kuitenkaan ilmoiteta suoraan äänenpaineen vaan äänenpaineen  $p$  ja tietyn vertailupaineen  $p_0$  suhteen avulla. Tämän suhdeluvun kymmenkantaisesta logaritmisesta saadaan äänen painetaso  $L_p$  seuraavasti:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}, \text{ kun } p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2. \quad (2)$$

Jos äänenpaineen asemesta tarkastellaan äänen intensiteettiä, saadaan intensiteettitaso  $L_I$ :

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}, \text{ kun } I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2. \quad (3)$$

Määritelmiensä mukaan painetaso ja intensiteettitaso ovat paljaita lukuja. Kummankin yksikköä kuitenkin kutsutaan yleisesti desibeliksi (dB).



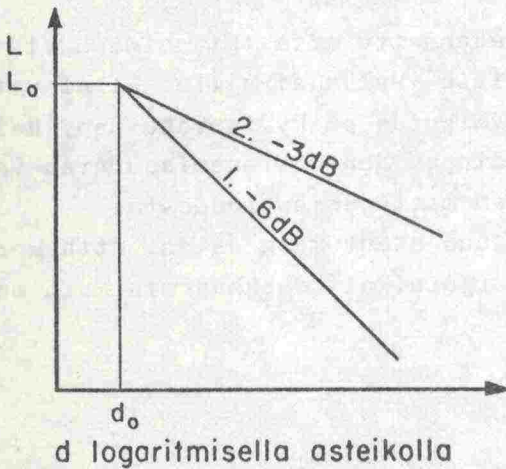
Yhtälöiden (2) ja (3) määrittelemien suureiden lukuarvot vastaavat toisiaan. Sekä lukua  $L_p$  että  $L_I$  kutsutaan useimmiten lyhyesti äänentasoksi. Eroa käsitteiden "äänin painetaso" ja "äänin intensiteettitaso" välillä ei yleensä tarvitse tehdä.

#### 1.4 Äänentason geometrinen aleneminen

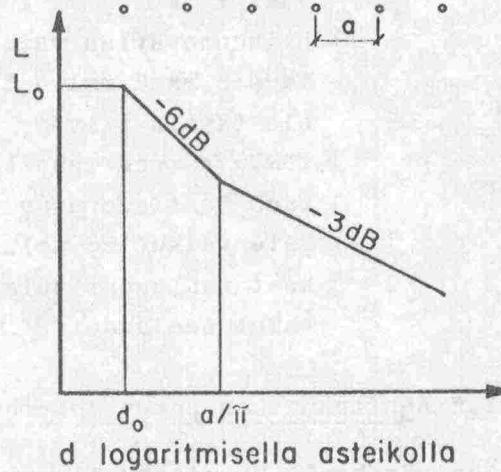
Äänilähteen toimiessa avoimessa ilmatilassa lähteen ympärille syntyvää äänikenttää kutsutaan vapaaksi äänikentäksi. Vapaassa äänikentässä energiatiheys pienenee etäisyyden lähteestä kasvaessa. Energiatiheyden alenemisnopeus riippuu lähteen säteilyominaisuuksista ja lähteen geometrisesta muodosta. Jos energiatiheyden asemesta tarkastellaan äänentasoa, vapaassa äänikentässä puhutaan äänentason geometrisesta alenemisesta.

Kuva 1 esittää geometrinen etäisyysalenuksesta eräissä liikenteen meiluun liittyvissä tapauksissa. Tapauksissa B, C ja D todellisuudessa käyräviivainen kuvaaja on korvattu käyrää sivuavalla murtoviivalla.

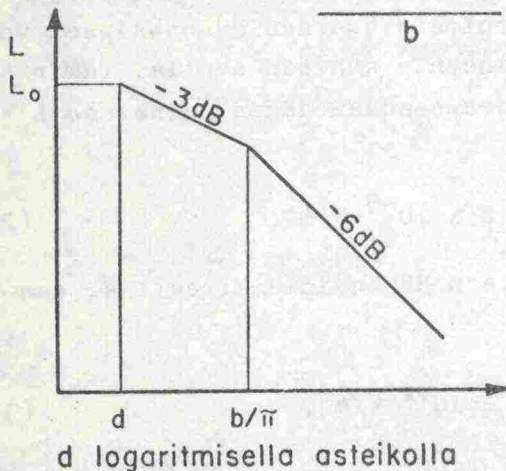
- (A) 1. Äänilähteen ollessa pistemäinen  
2. Äänilähteen ollessa suora viiva



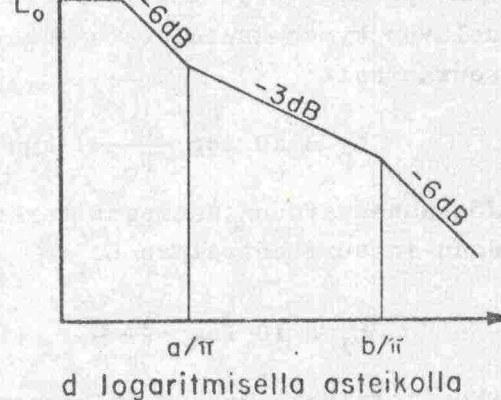
- (B) Äänilähteen ollessa pistejoukko samalla suoralla



- (C) Äänilähteen ollessa janamainen



- (D) Äänilähteen ollessa juna, jonka pituus on  $b$  ja lyhin akseliväli  $a$



Kuva 1. Äänentason geometrinen aleneminen etäisyyden  $d$  funktiona - etäisyyden kaksinkertaistumisen vaikutuksena ilmaistuna /ORE/



Äänilähdettä sanotaan pistemäiseksi silloin, kun se säteilee äänienergiaa yhtäläisesti kaikkiin suuntiin. Tällöin äänenpaine alenee kääntäen verrannollisena lähteen ja havaintopaikan väliseen etäisyyteen ja intensiteetti kääntäen verrannollisena kysäisen etäisyyden neliöön, jolloin äänentaso alenee 6 dB aina etäisyyden kaksinkertaistuessa.

Äänilähteen ollessa viivamainen äänen intensiteetti alenee kääntäen verrannollisena etäisyyteen, jolloin etäisyyden kaksinkertaistuminen merkitsee äänentasossa 3 dB:n suuruisia vähennystä.

Äänilähteen muodon ja äänentason geometrisen alenemisen välisellä riippuvuudella on merkitystä erityisesti liikenteen melun leviämisen kannalta. Moottoriajoneuvoa voidaan usein pitää pistemäisenä äänilähteenä. Ajoneuvojono vastaa kaukaa tarkasteltuna viivamaista äänilähdettä. Näiden ääritapausten lisäksi voidaan erottaa erilaisia pistemäisten ja viivamaisten tai janamaisten äänilähteiden yhdistelmiä.

### 1.5 Ihmisen kuulon ominaisuuksia

Värähdystaajuudet, jotka ihminen kokee äänivärähtelynä, ovat likimain välillä 20...17 000 Hz. Myös näiden kuulorajojen välisellä alueella kuuloaistin herkkyys on värähdystaajuudesta riippuva. Herkimmin havaitaan äänet, joiden taajuus on välillä 1000...4000 Hz. Kuuloalueen alkupään taajuuksia eli hyvin matalia taajuuksia kuullaan kaikkein huonoiten.

Paitsi värähdystaajuudesta äänen kuuluvuus luonnollisesti riippuu värähdysten voimakkuudesta, amplitudista. Yhtälössä (2)  $p_0$  merkitsee juuri ja juuri kuultavan 1000 Hz äänen painetta. Jos yhtälöön sijoitetaan  $p = p_0$ , painetaso saa arvon  $L_p = 0$  dB. Tätä arvoa kutsutaan kuulokynnykseksi. Muilla taajuuksilla kuulokynnyksen desibelimäärä on yleensä nolasta poikkeava johtuen kuulon erilaisesta herkkyydestä eri korkuisiin ääniin nähden.

Kipukynnykseksi kutsutaan puhtaan kuuloaistimuksen aiheuttavan äänen voimakkuuden ylärajaa. Äänen taajuus vaikuttaa myös kipukynnykseen. Keskimäärin kipukynnys on noin 130 dB.



## 2. Katsaus tieliikenteen melua koskevaan kirjallisuuteen, ohjeisiin ja määräyksiin

### 2.1 Tieteellisestä kirjallisuudesta

#### 2.11 Kirjallisuuden hajanaisuus

Liikenteen melu on ääntä, jonka syntymistä ja ominaisuuksia voidaan selittää fysiikan erään haaran, ääniopin eli akustiikan apuneuvoja hyväksi käyttäen. Toisaalta tieliikenteen melu ensisijaisen lähteittensä, moottoriajoneuvojen, osalta on konetekniikkaa sivuava asia. Liikennevirran aiheuttaman jatkuvan melun ominaisuudet taas riippuvat välittömästi liikennevirran ominaisuuksista, joita selitetään liikennevirtateorian ja todennäköisyyslaskennan avulla.

Vaikutuksiltaan liikenteen melu on saaste, joka vähentää elinympäristömme viihtyisyyttä. Melu pyrkii horjuttamaan sitä tasapainotilaa, joksi ihmisen terveys määritellään. Tässä mielessä liikenteen melu on myös lääketieteellinen ongelma.

Meluntorjunta on toimintaa, jonka tarkoituksena on melun haittojen vähentäminen äänentasa alentamalla, melun ominaisuuksia muuttamalla tai muulla tavoin. Tieliikenteen melun osalta torjuntakeinot liittyvät autotekniikkaan, tie- ja liikennesuunnitteluun, rakennustekniikkaan, maankäytön suunnitteluun, lainsäädäntöön jne.

On syytä olettaa, että tieliikenteen melu tulee saamaan osakseen entistä enemmän huomiota myös lakitieteellisenä ongelmana. Melu on haitta, joka aiheuttaa uusien teiden varteen jäävien taholta tienpitäjään kohdistuvia korvausvaatimuksia.

Edellä olevan perusteella voidaan todeta, että liikenteen melu on varsin monien eri tieteiden tutkimuskohteena. Aiheen poikkitieteellisyysden vuoksi liikenteen melua käsittelevä kirjallisuus on hyvin hajanaista. Tieliikenteen melua tarkastellaan

- akustiikan
- autotekniikan
- lääketieteen
- psykologian ja sosiologian
- yhdyskuntasuunnittelun
- tie- ja rakennustekniikan

oppikirjoissa, tutkimusjulkaisuissa ja aikakauslehdissä.

#### 2.12 Kirjallisuuden luokittelu

Liikenteen aiheuttama melu on tutkimuskohteena nuori. Ensimmäiset merkittävät tarkastelut lienee tehty Yhdysvalloissa noin v.1930. Pohjoismaissa melua käsittelevää kirjallisuutta on ilmestynyt suunnilleen vuodesta 1960 lähtien.



Liikenteen melua koskeva kirjallisuus on pääasiassa melun ominaisuuksia ja melun ihmiselle aiheuttamia haittoja kuvailevaa. Meluntorjuntakeinot ovat saaneet vähemmän huomiota osakseen. Erityisenä puutteena lienee pidettävä sitä, että liikenteen melun torjunnan taloudelliset vaikutukset ovat enimmäkseen jääneet lyhyiden mainintojen varaan.

Olemassa oleva merkittävä melukirjallisuus voidaan luokitella seuraavasti:

- 1) Perustavaa laatua olevat kokeelliset tutkimukset
- 2) Melutyöryhmien raportit
- 3) Laajat kirjallisuusselvitykset
- 4) Meluntorjunnan oppi- ja käsikirjat

Tähän mennessä liikenteen melua on käsitelty jo tuhansissa tieteellisiksi katsottavissa julkaisuissa. Siitä huolimatta ei ole vielä edes lueteltu kaikkia niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat liikenteen aiheuttaman melun määrään ja melusta häiriintymiseen. Toisena esimerkkinä kirjallisten tietojen puutteellisuuksista voidaan mainita, ettei mikään liikenneväylän melualueen mitoitusmenetelmä ota huomioon kaikkia oleellisiakaan tekijöitä, jotka mitoitukseen aivan ilmeisesti vaikuttaisivat.

### 2.13 Kokeelliset tutkimukset

Tie- tai katuliikenteen melua käsittelevät kokeelliset tutkimukset voivat sisältää:

- a) tietyn alueen melutilanteen kartoituksia käsittäen melumittauksia ja/tai ihmisten haastatteluja
- b) valituilla koehenkilöillä suoritettuja lääketieteellisiä tai psykologisia kokeita
- c) liikenteen meluun vaikuttavia tekijöitä selvittäviä mittauksia

Tietekniikassa helpoimmin käytäntöön sovellettavia lienevät ryhmään c) kuuluvat tutkimukset.

Useissa tapauksissa kokeellisilla tuloksilla on myös vankka teoreettinen pohja. Esimerkkeinä tällaisista selvityksistä tulkoon mainituksi seuraavat kaksi:

Rathe, E.J.: Über den Lärm des Strassenverkehrs. *Acustica* (1966) 17(7), 268-277

Johnson, D.R., Saunders, E.G.: The evaluation of noise from freely flowing road traffic. *Journal of sound and vibration* (1968) 7(2), 287-309.



Näissä tarkastellaan pistemäisiksi oletettujen keskenään samanlais-  
ten ajoneuvojen muodostaman liikennevirran aiheuttamaa melua.

Suomessa liikenteen melun kokeellinen tutkimus on ollut vähäistä.  
Melumittauksia on suoritettu lähinnä vain teknillisten oppilaitosten  
ja korkeakoulujen oppilastöinä. Helsingin kaupungin kaupunkisuunnit-  
teluviraston toimesta on tehty ns. kantakaupungin melutilanteen  
kartoitus sekä joitakin erillistekijöitä koskevia mittauksia. Sel-  
vitysten tulokset on julkaistu raportissa:

Katuliikenteen melu. Liikennesuunnitteluosaston julkaisu n:o 2/72.  
Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto.

Lisää kokeellisia tutkimuksia mainitaan tämän julkaisun lopussa  
olevassa lähdeluettelossa.

#### 2.14 Melutyöryhmien raportit

Työryhmien toiminnan tuloksena syntyneet laajat meluselvitykset  
ovat siinä mielessä parhaita, että niissä meluongelmaa on usein  
tarkasteltu eri alojen asiantuntemusta hyväksi käyttäen. Ongelman  
poikkitieteellisyys tulee selvästi esille. Lisäksi työryhmien  
kannanotot sisältävät arvioita melun merkityksestä muihin ympä-  
ristötekijöihin verrattuna.

Erilaisia liikenteen meluja käsittelevänä ja varsin perustavaa  
laatua olevana selvityksenä on syytä mainita ns. Wilsonin komitean  
mietintö:

Noise. Final report from the Committee on the Problem of Noise.  
HMSO, London 1963.

Pohjoismaissa liikenteen melun aiheuttamia ongelmia on selvitelty  
suunnilleen vuodesta 1960 saakka Pohjoismaisen rakennusmääräysko-  
mitean (NKB) toimesta. Komitean, jossa Suomikin on edustettuna,  
alainen melutyöryhmä on laatinut tähän mennessä ainakin kolme ra-  
porttia. Vuonna 1963 ilmestyi "Støj og byplan", jossa mm. arvioi-  
tiin meluongelman merkitystä. Tätä seurasi kolme vuotta myöhemmin  
"Støj og byplan, praktiske anvisninger", joka suomennettiin ja  
julkaistiin rakennushallituksen tiedotuksena 2:68 nimellä "Melu  
ja kaavoitus". Sen jälkeen NKB:n melutyöryhmä on kehitellyt melun-  
torjuntaohjeita edelleen ja julkaisi vuonna 1971 uuden "Støj og  
byplan, praktiske anvisninger". Muuttumattomasta nimestään huoli-  
matta raportti sisältää entisestä poikkeavan laskutavan tien melu-  
alueen määrittämiseksi.

Uusin Pohjoismaisen rakennusmääräyskomitean meluraportti on suo-  
mennettu ja julkaistaneen vuoden 1972 kuluessa nimellä "Liikenteen  
melun huomioon ottaminen kaavoituksessa".



Wilsonin komitean mietinnön ohella Englannissa on julkaistu muitakin merkittäviä meluselvityksiä. Tieliikenteen melusta vuonna 1970 tiedetyt tosiasiat on luettavissa julkaisusta

A review of road traffic noise. Road Research Laboratory, Report LR 357, 1970

Jo tunnettujen seikkojen ohella julkaisussa kerrotaan merkittävistä tekeillä olevista tutkimuksista ja mainitaan useita jäljellä olevia tutkimuskohteita.

Tuloksekasta kansainvälistä yhteistyötä liikenteen melun torjunnan alalla on harjoitettu mm. OECD:n puitteissa. Järjestön jäsenmaille lähettämä raportti:

Urban traffic noise, Strategy for an improved environment. Organisation for Economic Cooperation and Development, RC 70 (9),

sisältää valtion viranomaisille osoitettuja toimenpide-ehdotuksia liikenteen melun vähentämiseksi. Eräät ehdotukset ovat sellaisia, että ne tulisi ottaa huomioon nimenomaan tienpitäjän toiminnassa.

Meluraportteja on laadittu viime vuosina myös kotimaassa. Helsingin ilma- ja melutoimikunta sai vuoden 1969 lopussa valmiiksi selvitöksensä:

Osamietintö I, melu. Helsinki 19.12.1969.

Tieliikenteen melun osalta tarkastelu kohdistuu melun lähteisiin, melun vaikutuksiin ja moottoriajoneuvoja koskevaan lainsäädäntöön. Lisäksi raporttiin sisältyy meluntorjuntaan tähtäviä suosituksia.

## 2.15 Kirjallisuustutkimukset

Suuret nykyaikaiset kirjastot tarjoavat neljä eritasoista tietolähdettä henkilöille, jotka haluavat paneutua tiettyyn kysymykseen kirjallisen informaation avulla. Kirjastoissa on

- a) kyseistä aihetta käsitteleviä kirjoja ja kirjoituksia
- b) kyseistä aihetta tai sitä laajempaa opinalaa käsitteleviä kirjallisuusluetteloja
- c) aiheeseen liittyvää tieteenhaaraa palvelevia referaatti- ja indeksijulkaisuja
- d) automaattista tietojen käsittelyä hyväksi käytävä informaatiopalvelu

Käytännön suunnittelussa ja rakennustyössä riittänee kuitenkin tyyppiä a) olevien julkaisujen hyväksi käyttö.



Tieliikenteen meluun liittyviä kysymyksiä selvittelevistä, laajaan lähdekirjallisuuteen perustuvista tutkimuksista mittavimpiin kuuluvat seuraavat kaksi julkaisua:

Ingemansson, S., Ljunggren, S.: Bullerproblem vid trafikleder. Byggnadsforskningen, Rapport R20:1970.

Schreiber, L.: Lärmschutz im Städtebau. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1971.

Myös Suomessa on julkaistu laajahko kirjallisuustutkimus:

Miettinen, U.: Johdatus liikenteen melun huomioon ottamiseen kaavoituksessa. Diplomityö, TKK, Helsinki 1971.

## 2.16 Meluntorjunnan oppikirjat

Liikenteen melua koskevan tutkimuksen oltua vielä 1950-luvullakin vähäistä ja kun oppikirjat harvoin sisältävät uusinta tietoa, on luonnollista, että tieliikenteen melu on uusimmissakin oppikirjoissa melko vähässä määrin esillä. Suomessa julkaistuista oppikirjoista kuitenkin ansaitsee maininnan

Halme, A.: Rakennus- ja huoneakustiikka. TKY:n moniste n:o 256, Otaniemi 1970.

## 2.2 Suunnitteluohjeista

Yksityiskohtaisia, lakisääteisiä, tienpitäjää tai kaavoittajaa velvoittavia määräyksiä tieliikenteen melun torjumiseksi ei liene missään maassa. Olemassa olevat suunnitteluohjeet ovat yksityis-henkilöiden ja yhteisöjen laatimia suosituksia. Tällaisia suosituksia sisältyy mm. edellä mainittuihin OECD:n, Pohjoismaisen rakennusmääräyskomitean sekä Helsingin ilma- ja melutoimikunnan raporteihin.

Sikäli kuin tiemelun torjuntaa käsitteleviä normeja tullaan julkaisemaan, niiden tulee ilmeisesti sisältää kannanotto seuraavaan kahteen kysymykseen:

- 1) Kuinka alhaiseen melutasoon pyritään, eli mikä on suunnittelun ohjeeksi asetettava meluraja
- 2) Mitkä ovat ne keinot ja ratkaisut, joilla tähän tavoitteeseen päästään

Olemassa olevista suunnitteluohjeista molempiin kysymyksiin pyrkivät antamaan vastauksen Pohjoismaisen rakennusmääräyskomitean meluraportti sekä

DDR-Standard TGL 10687. Schallschutz, Städtebauliche Planung Projektierung, Blatt 2, Blatt 5. Berlin.



Eri maissa julkaistuihin suosituksiin ja ohjeisiin tullaan viittaamaan myös jäljempänä seuraavissa luvuissa.

### 2.3 Moottoriajoneuvojen melumääräyksistä

#### 2.31 Ajoneuvojen käyttöä ja rakennetta koskevat säännökset

Tieliikennelain (As.kok. 143/57) 2 §:ssä kielletään tiellä kulkevaa kohtuuttomasti häiritsemästä muita, jotka asuvat tai oleskelevat tien varrella.

Moottoriajoneuvoasetuksen (330/57) 37:§:ssä määrätään, että autoa on siten käsiteltävä, ettei sen moottorista ja muista laitteista aiheudu voimakkaampaa tai häiritsevämpää ääntä kuin mikä auton säännönmukaisesta, huolellisesta käytöstä välttämättömästi johtuu, eikä muunlaistakaan haittaa kuljetettaville tai auton läheisyydessä oleville.

Samana asetuksen 45 §:ssä rajoitetaan moottoripyörällä ajoa seuraavasti: Käytettäessä moottoripyörää klo 20.00 ja klo 6.00 välisenä aikana on huolehdittava, että moottoria ei tarpeettomasti käytetä tyhjänä pyörän seisoessa paikallaan, paitsi pakollisen liikenneesteen kestäessä. Kierrosluku on tällöinkin pidettävä mahdollisimman alhaisena. Ajettaessa on vältettävä aiheetonta kiihdyttämistä, pienellä vaihteella ajamista ja tarpeettoman suurta nopeutta. Ilmeisesti tarpeeton ajo moottoripyörällä on mainittuna aikana kokonaan kielletty.

Äänimerkin käytöstä on määräyksiä tieliikenneasetuksessa (331/57). Tiheään asutulla alueella äänimerkin käyttäminen on kielletty, paitsi milloin se on tarpeen ilmeisen vaaran välttämiseksi (19 §). Poikkeuksen muodostavat kiireellisessä tehtävässä ajavat hälytysajoneuvot (8 §).

Moottoriajoneuvoasetuksen 12 §:n mukaan autossa on oltava tehokas äänenvaimentaja. Auton rakenteen tulee muutenkin olla sellainen, ettei sen käytöstä aiheudu melua, joka on sopivin teknillisin keinoin vältettävissä.

Kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön päätöksen moottoriajoneuvoasetuksen täytäntöönpanosta (392/57) mukaan imu- ja pako kaasujen ääni ei saa häiritsevässä määrässä ylittää muuta auton säännönmukaisesta käytöstä johtuvaa ääntä (5 §). Jarruista todetaan, etteivät ne toimiessaan saa antaa häiritsevää ääntä (4 §).



## 2.32 Melurajat

Moottoriajoneuvoja koskevat yksityiskohtaiset melurajat sisältyvät moottoriajoneuvoasetukseen ja sen täytäntöönpanosta annettuun ao. ministeriön päätökseen.

Taulukko 1. Moottoriajoneuvon suurin sallittu äänenvoimakkuus (DIN-fonia) 7 metrin päästä mitattuna kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön päätöksen (As.kok. 392/57, 5 §, 16 § ja 34 §) mukaan.

Moottorin ääni henkilö- ja pakettiautoilla	85
" " muilla autoilla	90
Moottorin ääni moottoripolkupyörällä ja muulla enintään 50 kg painavalla moottoripyörällä	75
" " muulla kaksitahtisella moottoripyörällä	82
" " muulla nelitahtisella moottoripyörällä	84
Auton äänimerkinantolaitteen ääni	95

Liikenneministeriön päätöksessä moottoriajoneuvoasetuksen täytäntöönpanosta annetun kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön päätöksen muuttamisesta annetut uudet melumääräykset esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Moottoriajoneuvon suurin sallittu melutaso (dBA) 7,5 metrin päästä mitattuna liikenneministeriön päätöksen (As.kok. 438/70, 5 §, 16 § ja 34 §) mukaan.

Henkilöauto	84
Muu auto, jonka suurin sallittu kokonaispaino on enintään 3 500 kg	85
" " , jonka suurin sallittu kokonaispaino on enemmän kuin 3 500 kg	89
Kuorma-, linja- tai erikoisauto, jonka moottorin teho on suurempi kuin 200 DIN-hevosvoimaa	92
Moottoripyörä, jossa on enintään 50 cm <sup>3</sup> :n 2- tai 4-tahtimoottori	75
" " " yli 50 cm <sup>3</sup> :n, mutta enintään 125 cm <sup>3</sup> :n 2- tai 4-tahtinen moottori	82
" " " yli 125 cm <sup>3</sup> :n 2-tahtimoottori	84
" " " yli 125 cm <sup>3</sup> :n, mutta enintään 500 cm <sup>3</sup> :n 4-tahtimoottori	86

Auton äänimerkinantolaitteen aiheuttama melutaso 7 metrin päässä auton edessä mitattuna ei saa alittaa arvoa 93 eikä ylittää arvoa 104 dBA.



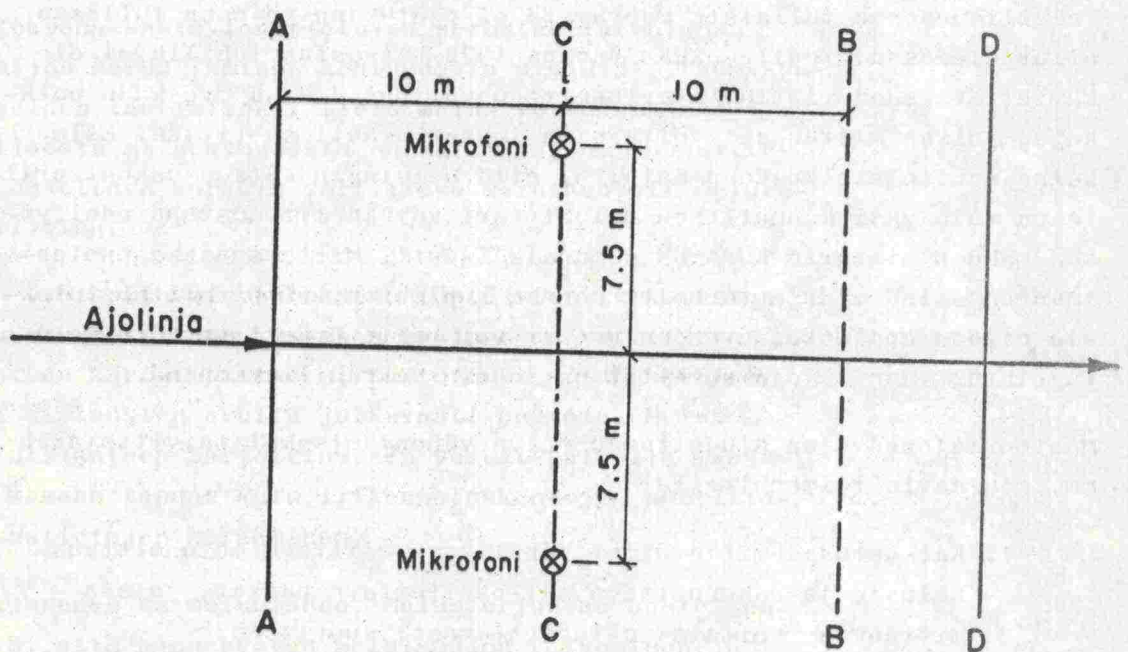
Nämä uudet melumääräykset koskevat vain 1 päivän tammikuuta 1971 jälkeen tyyppikatsastettavia ajoneuvoja. Aikaisemmin hyväksytyjä ajoneuvoja saa edelleen käyttää liikenteessä.

Suomen määräykset ovat vähäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta samat kuin Euroopan talousyhteisön (EEC) suosittamat.

### 2.33 Melun mittaaminen tyyppikatsastuksen yhteydessä

Vuodelta 1957 olevan kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön päätöksen mukaan melun mittaus tapahtui tarkastettavan auton ollessa paikallaan, moottori käynnissä ja kaasua auki. Nykyinen mittaus-tapa on kansainvälisen suosituksen (ISO R 362) mukainen.

Mittauspaikka valitaan siten, että ajoneuvosta lähtevä melu pääsee leviämään puolipallon muotoisena aaltorintamana. Mittauksen aikana koeajoneuvo liikkuu kuivalla ja tasaisella asfalttipäällysteellä. Mittausjärjestelyä esittää kuva 2.



Kuva 2. Moottoriajoneuvon melun mittaaminen tyyppikatsastuksen yhteydessä

Ajoneuvo lähestyy leikkausta A-A tasaisella nopeudella. Nopeus määräytyy vaihteiden lukumäärän ja moottorin kierrosluvun mukaan. Jos ajoneuvossa on vähintään viisi vaihdetta, ajetaan kolmosvaihteella, muuten kakkosella. Moottori käy kierrosluvulla  $3/4$  maksimista. Jos tämä merkitsisi suurempaa nopeutta kuin 50 km/h, vähennetään kierroksia niin paljon, että nopeudeksi tulee 50 km/h. Kun ajoneuvon etupää leikkaa suoraa A-A, kaasua avataan suurimmalleen ja pidetään siinä asennossa kunnes ajoneuvon takapäähän on ylittä-



nyt suoran B-B. Melumittarin suurin näyttämä merkitään muistiin. Mittaus suoritetaan kolmesti. Ajoneuvon kummaltakin puolen lasketaan kolmen lukeman keskiarvo.

#### 2.34 Määräyksissä ja valvonnassa ilmeneviä puutteita

Voimassa olevat melurajat koskevat vain tyyppikatsastettavia moottoriajoneuvoja. Melumittaus suoritetaan vain silloin, kun esim. autojen maahantuoja alkaa markkinoida entisestä poikkeavalla tyyppimerkinnällä varustettua autoa. Pelkästään vuosimallin vaihtuminen ei aiheuta tyyppikatsastuspakkoa.

Melumääräykset ovat olleet Suomessa voimassa noin 15 vuoden ajan. Todellisuudessa ne ovat jääneet lähes kuolleeksi kirjaimeksi. Moottoripyöriä lukuunottamatta melumittauksia ei ole juuri suoritettu.

1.1.1971 voimaan tulleessa liikenneministeriön päätöksessä todetaan, että melumittaus suoritetaan siten "kuin siitä erikseen määrätään". Todellisuudessa tällaista määräystä ei päätöksen voimaan tullessa ollut olemassa. Edelleenkin vuonna 1972 katsastusmiehillä ei ole käytettävissään riittäviä melumittausvälineitä eikä myöskään paikkoja, joissa mittaukset voitaisiin luotettavasti suorittaa. Esimerkkeinä puutteista voidaan mainita, että Helsingin katsastuskonttorilla on vain yksi kunnollinen melumittari vaikka mittauspaikka edellyttää kahden mittarin käyttöä samanaikaisesti. Mittauspaikka puolestaan on siinä määrin tarkoitukseensa sopimaton, ettei mittaus tuloksia niiden epäluotettavuuden vuoksi voi välittömästi verrata melurajoihin, vaan rajoja sovelletaan jonkin verran lievempinä.

Moottoriajoneuvojen aiheuttaman melun vähentämiseksi tarvittaisiin mm. seuraavia toimenpiteitä:

1. Katsastusasemille olisi hankittava riittävä melumittauskalusto ja rakennettava tai osoitettava paikat, joissa mittaukset voitaisiin luotettavasti suorittaa.
2. Moottoriajoneuvoja koskevaa lainsäädäntöä olisi kehitettävä siten, että melun mittaus tulisi tyyppikatsastuksen lisäksi pakolliseksi
  - ensikatsastuksessa
  - uusintakatsastuksissa ainakin joka toinen vuosi
3. Poliisille olisi hankittava melumittareita ja annettava niiden käyttöön tarvittava opastus sekä määräys melumittausten suorittamiseksi muun tiellä tapahtuvan moottoriajoneuvojen valvonnan ohella.

Nykyisen moottoriajoneuvokannan meluominaisuuksien selvittämiseksi olisi lisäksi suoritettava tutkimus, jossa todettaisiin mm.

- kunkin ajoneuvolajin melutaso ja sen vaihtelut ajoneuvosta ja tilanteesta riippuen
- niiden ajoneuvojen määrä, jotka eivät mahdu nykyisiin tyyppikatsastuksen yhteydessä sovellettaviin melurajoihin
- meluisuudessa tapahtuva muutos moottoriajoneuvon iän tai ajokilometrimäärän kasvaessa
- auto- tai moottoripyörämerkkien väliset meluerot.

Edellä ehdotetut toimenpiteet eivät liity tiesuunnitteluun ja -rakentamiseen. Ne ovat kuitenkin eräs liikenteen melun torjunnan perusedellytyksistä. Meluongelman ratkaisemiseen tienpitäjän käytössä olevat keinot eivät yksinään riitä.



### 3. Tieliikenteen melun mittaamisesta ja häiritsevyyden arvioimisesta

#### 3.1 Mittausten tarkoitus

Meluntorjuntaa ajatellen on syytä tietää, mitkä tekijät liikenteen meluun vaikuttavat ja kuinka suuri eri tekijöiden vaikutus kulloinkin on. Tässä mielessä tutkimuksen kohteena voivat olla esimerkiksi liikennemäärän, liikenteen koostumuksen ja ajonopeuden vaikutukset. Tien suunnittelua ajatellen voidaan tutkia tien pituuskaltevuuden, kaarteiden, risteyksien, päällysteen ym. vaikutusta melutasoon. Myös luonnollisten ja rakennettujen esteiden vaikutus melun etene- miseen selviää parhaiten mittaamalla. Paitsi täysmittakaavaisina, tutkimuksia voidaan suorittaa pienoismallien avulla. Ulkomailla näin on eräissä tapauksissa meneteltykin.

Toinen melumittausten tarkoitus on melun voimakkuuden ja häiritse- vyyden välisen riippuvuuden selvittäminen. Tällöin mittausten ohel- la suoritetaan käyttäytymistieteellistä tutkimusta, joka tapahtuu joko laboratorio-olosuhteissa tai yhdyskunnan asukkaiden keskuudessa, esimerkiksi kodeissa, haastattelumenetelmää käyttäen. Mittausten ja haastattelujen tuloksena saatavien tietojen perusteella voidaan harkita, kuinka paljon melua ihmiset kohtuudella sietävät. Yhdyskun- tasuunnittelun ohjeiden laatimiseksi tieto melun voimakkuuden ja häiritsevyyden välisestä riippuvuudesta on välttämätön. Suunnitte- lijoiden tiedossa on oltava korkein sallittava melutaso eli melura- ja, jota ei pidä ylittää.

Edellä mainittujen yleispäteviin tuloksiin tähtäävien tutkimusten lisäksi melumittauksia tarvitaan kussakin taajamassa vallitsevan nykyisen melutilanteen kartoittamiseen. Kartoituksen tapahduttua tilannetta pitäisi mittausten avulla jatkuvasti seurata. Melun mittaaminen ja melutilanteen kartoittaminen voivat palvella taaja- mien suunnittelua samaan tapaan kuin liikennelaskentojen suoritta- minen ja onnettomuustietojen kerääminen.

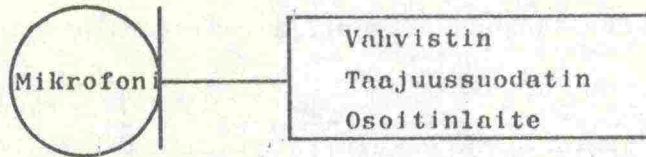
Jokainen moottoriajoneuvo on melunlähde. Meluntorjuntaa ajatellen tämä merkitsee sitä, että ajoneuvojen meluisuuden valvominen ja rajoittaminen ovat tehokkaita torjuntakeinoja. Valvontaa suoritta- vat katsastus- ja poliisiviranomaiset. Liikenneministeriön päätök- sessä moottoriajoneuvoasetuksen täytäntöönpanosta mainittujen ajo- neuvokohtaisten melurajojen kiristyessä valvontamittausten tarve kasvaa.

#### 3.2 Mittausmenetelmät ja -laitteistot

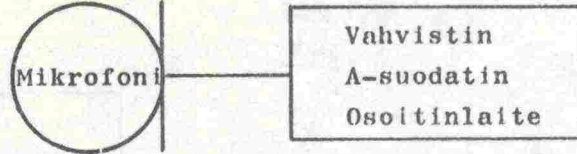
Melun mittaamiseen käytettävä kalusto riippuu kulloinkin saatavissa olevista välineistä ja mittausten tarkoituksesta:



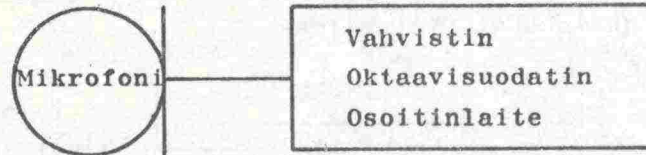
- A. Äänentason mittaus kädessä pidettävällä äänentason mittarilla



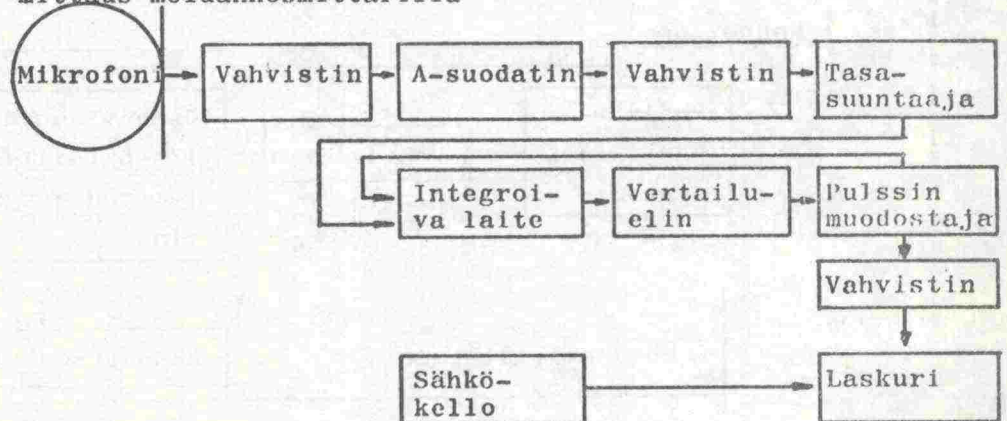
- B. Melutason mittaus kädessä pidettävällä äänentason mittarilla



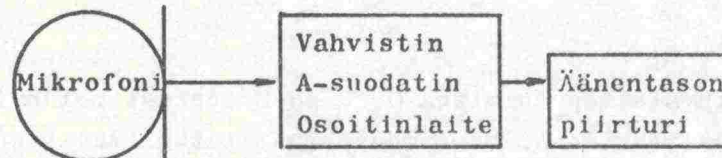
- C. Oktaavianalyysi kädessä pidettävällä äänentason mittarilla



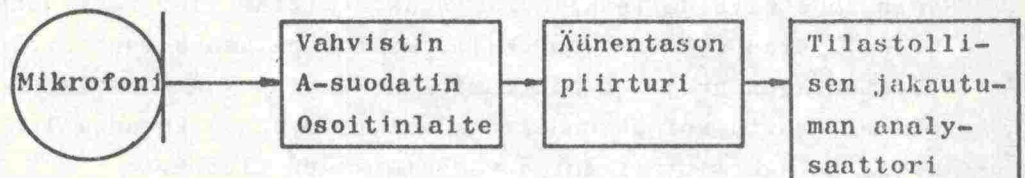
- D. Melun keskimääräistä intensiteettiä vastaavan melutason mittaus meluannosmittarilla



- E. Automaattinen melutason mittaus- ja rekisteröinti

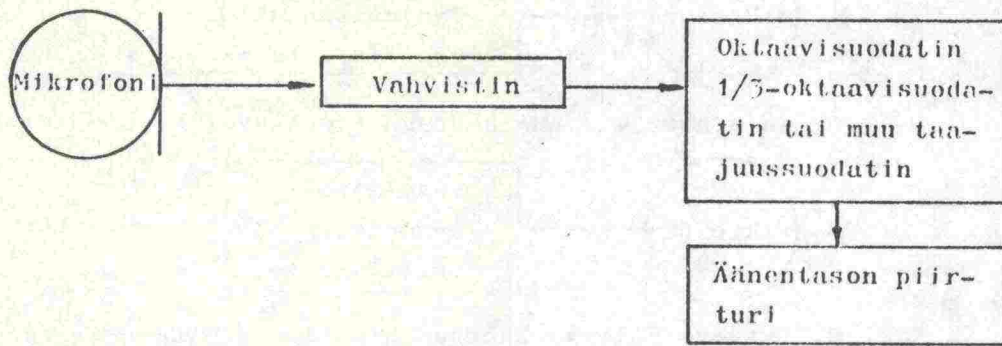


- F. Automaattinen melutason mittaus, rekisteröinti ja tilastollisen jakautuman analysointi

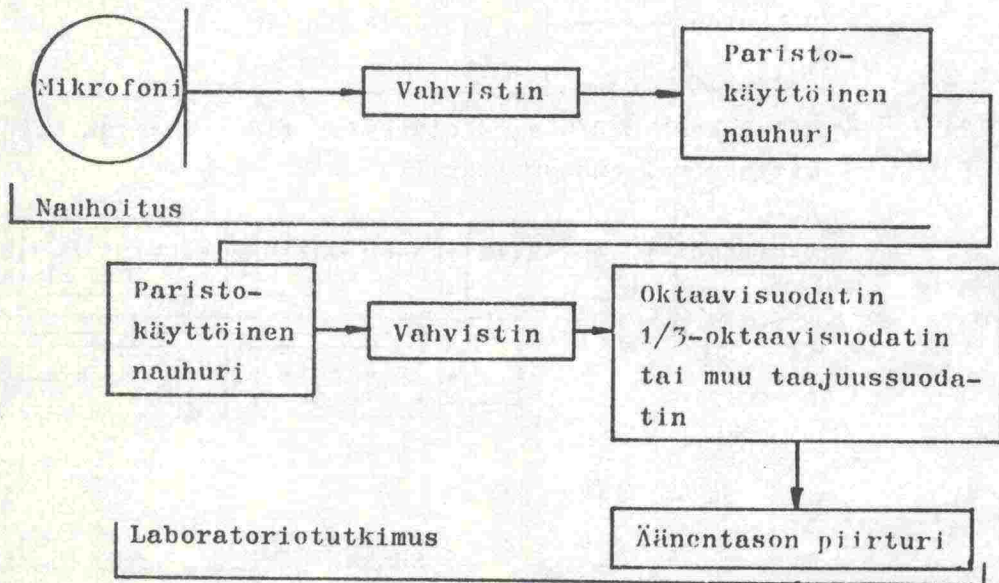




## G. Automaattinen taajuusanalyysi ja rekisteröinti



## H. Nauhoitus ja laboratoriotutkimus



Edellä luetelluista menetelmistä C, G ja H sopivat melun taajuusjakautuman määrittämiseen. Muut menetelmät tarkoittavat kokonaisäänentason mittaamista.

Toistaiseksi maassamme lienee mitattu liikenteen melua enimmäkseen vain kädessä pidettävällä äänentason mittarilla. Laite onkin sopiva hetkellisten melutasojen, esim. mittauspaikan sivuuttavien yksittäisten ajoneuvojen aiheuttamien meluhuippujen voimakkuuden mittaamiseen. Mutta voimakkuudeltaan vaihtelevan jatkuvan melun arvioimiseksi pelkkä mittari antaa vähänlaisesti tietoa.

Liikenteen aiheuttaman jatkuvan melun mittaamiseen sopivia vaihtoehtoja ovat lähinnä D, E, F ja H. Näistä kuitenkin H on monimutkainen, kallis ja ehkä tarpeettoman tarkkakin menetelmä.

Taulukko 3. Melunmittauslaitteistojen eräiden ominaisuuksien vertailu (Paremmuusjärjestys on osoitettu numeroilla 1...4)

Arvioitava ominaisuus	Laite tai laitteisto			
	B	D	E	F
	Kädessäpidettävä melumittari	Meluannosmittari	Mittari ja piirturi	Mittari, piirturi ja las-kuri
Laitteen mittauksen tarkkuus sinänsä	Kaikki yhtä tarkkoja			
Tieto melun häiritsevyydestä	4.	3.	2.	1.
Mittauksien käsittelynopeus	3.	1.	4.	2.
Laitteiston siirrettävyys	1.	2.	3.	4.
Laitteiston hankintahinta	Pienin	Toiseksi pienin	Kolman-niksi pienin	Suurin

Parhailta vaihtoehdoilta näyttävät meluannosmittari sekä melumittarin, piirturin ja tilastollisen jakautuma-analysoijan käsittävä laitteisto.

Mikäli melun taajuusjakautuma halutaan todeta, riittänee menetelmä C.

Eräitä melunmittausvälineitä tarkastellaan seuraavassa hiukan lähemmin.

### 3.3 Mittausvälineiden ominaisuuksia

#### 3.31 Painottavat suodattimet

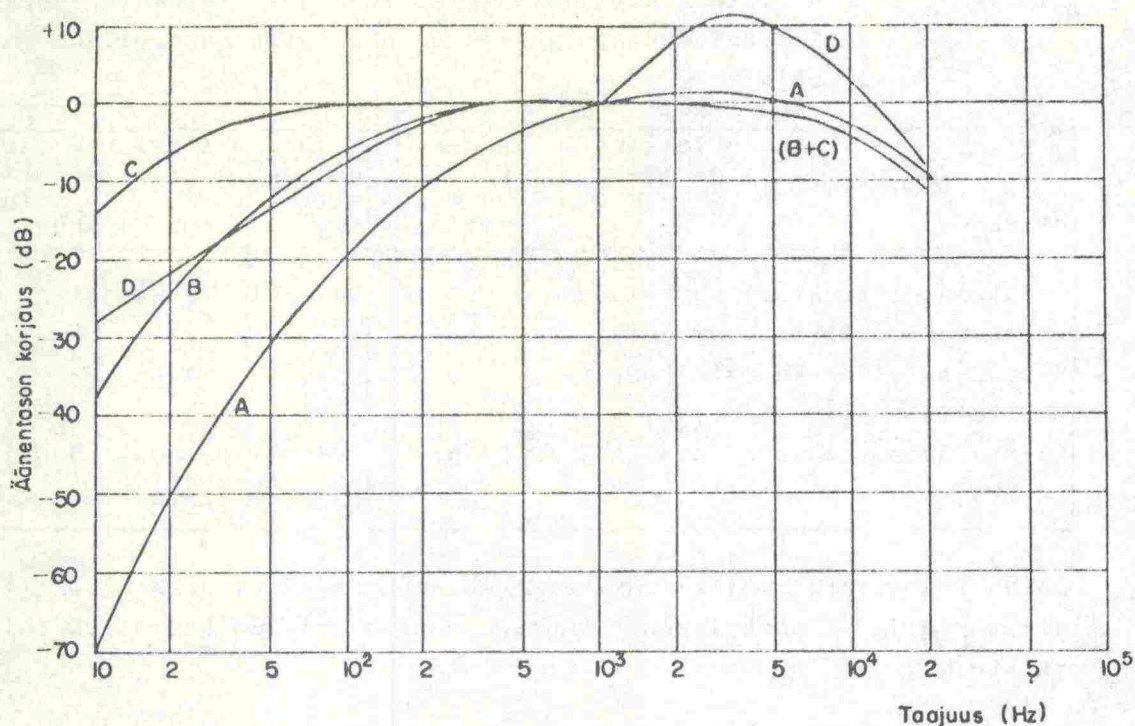
Melun mittaaminen perustuu äänenpaineen toteamiseen. Mittari ilmaisee äänen painetasoa desibeleinä. Jos mitään korvan erilaisen herkkyyden eritaajuisiin ääniin nähden huomioon otettavaa korjausta ei tehdä, mittauksista sanotaan lineaarisiksi. Lineaarinen desibelilukema kuitenkin kuvaa liikenteen melun häiritsevyyttä huonosti.

Korvan herkkyyden huomioon ottamiseksi tarvittavien äänentaso- ja korjausten eri taajuuksilla tulisi riippua myös äänentasosta. Äänenpaineen mittareissa korjaukset kuitenkin ovat äänentasosta riippumattomat (Kuva 3).

A-painotettu desibelimäärä ilmaisee melun voimakkuuden häiritsevyyden kannalta melko hyvin. Erään tutkimuksen mukaan Zwickerin esittämällä laskennallisella menetelmällä määritetty melun voimakkuus kuvaa häiritsevyyttä kaikkein parhaiten /Lavender/. Paremmuus A-painotettuun melutasoon nähden ei kuitenkaan ole suuri. Mittauksien ja melun häiritsevyyden välisen suuren korrelaation ja mittauksen yksinkertaisuuden vuoksi melun voimakkuuden ilmaiseminen A-desibeleinä on liikenteen melun kyseessä ollen nykyään ylivoimaisesti eniten käytetty tapa.

Desibeli-A:ta, -B:tä ja C:tä käytetään pääasiassa muun kuin tieliikenteen melun yhteydessä.





Kuva 3. Kansainvälisen sähkökomission (IEC) suosittamat äänentasonkorjaukset /Ingemansson ja Ljunggren/.

A-suodatinta käyttäen mitatun äänentason, jota seuraavassa yleensä kutsutaan melutasoksi, mittayksiköksi merkitään usein dB (A). Tässä raportissa käytetään yksinkertaisuuden vuoksi merkintää dBA.

### 3.32 Kädessä pidettävän melumittarin etuja ja haittoja

Kädessä pidettävän melumittarin etuja:

- Monimutkaisempiin laitteisiin verrattuna laitteen hankinta- ja käyttökustannukset jäävät pieniksi.
- Mittaria on helppo siirrellä paikasta toiseen. Pienimmät tyypit ovat taskukokoisia. Tämän julkaisun kansikuvan esittämän mittarin paino on muutamia kiloja.
- Ainakin eräisiin malleihin on mahdollisuus hankkia mittarin käyttömahdollisuuksia aivan ratkaisevasti enentäviä lisälaitteita.

Mittarin puutteellisuksia liikenteen melun mittaamisen kannalta:

- Mittarilla voidaan todeta lähinnä vain melutaso tietyllä hetkellä tai esim. yksittäisen ajoneuvon aiheuttaman melu- huipun voimakkuus. Sen sijaan melutason jatkuvaan mittaamiseen ja liikenteen melun häiritsevyyden kannalta tärkeiden melun keskimääräistä intensiteettiä vastaavan melutason sekä hajonnan määrittämiseen laite sopii huonosti.

- Mittarin ulostulodynamiikka-alue on 50 dBA, jota lienee pidettävä riittävänä, mutta lukema-asteikon laajuus on kerrallaan vain 20 dBA. Liikenteen melua mitattaessa lukema-alueita joudutaan vähän väliä vaihtamaan. Vaihdon aikana mittaria ei voida lukea eikä lukemaa voida ottaa myöskään heti vaihdon jälkeen, ennen kuin osoittimen heilahtelu rauhoittuu melutason vaihteluita noudattavaksi. Sen jälkeenkään melutason vaihteluita ei täysin pystytä seuraamaan
- Mittarin käyttömahdollisuuksien enentämiseksi ja liikenteen melun mittaamiseen sopivuuden parantamiseksi tarvittavien lisälaitteiden hankintakustannukset ovat usein suuremmat kuin itse mittarin hankintahinta.

### 3.33 Melumittarin lisälaitteita

- 0) Kantolaukku, kolmijalka, tuulisuoja, suuntavaikutuksen poistaja (random incidence corrector)

#### 1) Jatkojohto

Jos liikenteen melua halutaan mitata korkealla maanpinnan yläpuolella tai muussa sellaisessa kohdassa, jonne mittarin käyttäjän on vaikea sijoittua, ongelma voidaan ratkaista siten, että mikrofoni sijoitetaan haluttuun kohtaan, mittaria luetaan helpommin tavoitettavissa olevassa paikassa ja yhteys mikrofonin ja mittarin välillä järjestetään jatkojohtolla.

#### 2) Oktaavisuodattimet

Kädessä pidettävässä melumittarissa sisäänrakennettuna olevilla suodattimilla A, B, C ja D pyritään saamaan mittaustuloksen ja ihmisen kuulon havaitseman melun voimakkuuden välinen vastaavuus mahdollisimman hyväksi.

Mikäli melusta halutaan kokonaismelutason asemesta tai, kuten useammin lienee asianlaita, kokonaismelutason lisäksi määrittää taajuusjakautuma, on käytettävä yksinkertaisen melumittarin ulkopuolisia taajuussuodattimia. Yleensä tällöin tyydytään määrittämään melutaso oktaavin levyisin taajuuskaistoin.

#### 3) Ulkoilmamikrofoni

Itse melumittarin suojana on tiivis metallikuori, joka suojaa mittaria kosteutta vastaan. Mittareissa käytettävät kondensaattorimikrofonit sen sijaan eivät siedä vettä. Näin ollen ulkona joka säässä tapahtuvat mittaukset edellyttävät erityisen ulkoilmamikrofonin käyttöä. Ulkoilmamikrofonissa on ainakin seuraavat osat

- mikrofoni
- tuulisuoja
- sadesuojus ja
- etuvahvistin



#### 4) Äänentason piirturi

Melutason vaihtelu ajan funktiona saadaan parhaiten selville siten, että melutaso jatkuvasti rekisteröidään erityisen piirturin avulla. Piirturia voidaan käyttää etenkin laboratorio-olosuhteissa nauhurilla talletettua melua analysoitaessa. Liikenteen melun kyseessä ollen ja jos rekisteröitävänä on kokonaisen vuorokauden melukäyrä, lience edullisempaa piirtää melukäyrä jo mittauspaikalla, jolloin nauhurin käytöstä kokonaan vältytään.

#### 5) Tilastollisen jakautuman analysaattori

Piirturin ohella melun rekisteröintilaitte on laskuri, joka toteaa lyhyin aikavälein melutason korkeuden ja sijoittaa havainnon johonkin kahdestatoista viiden desibelin laajuisesta luokasta. Eri luokkiin sijoittuvien havaintojen lukumäärien perusteella voidaan piirtää melutason jakautumaa osoittava käyrä sekä melutason pysyvyyskäyrä. Nämä helpottavat melun häiritsevyyden arvioimista.

#### 6) Nauhuri

Jos ulkopuolista melua halutaan tutkia laboratorio-olosuhteissa, menetellään siten, että melu nauhoitetaan mittauspaikalla ja melun analysointi suoritetaan laboratoriossa jälkikäteen esim. äänentason piirturia, oktaavisuodattimia ja tilastollisen jakautuman analysaattoria hyväksi käyttäen.

Nauhurille asetettavista vaatimuksista tärkeitä ovat riittävän laaja dynamiikka-alue sekä hyvä taajuustoisto. Viime mainitun vuoksi nauhuria on melua talletettaessa pyöritettävä suurimmalla tai ainakin varsin suurella nopeudella.

Melututkimuksiin sopivan nauhurin hankintahinta muodostuu hyvän taajuustoiston vaatimuksen vuoksi huomattavan suureksi.

### 3.34 Meluannosmittari

Uutta tekniikkaa melunmittauksessa ja erityisesti melun keskimääräistä intensiteettiä vastaavan melutason eli  $Q$ -arvon määrittämisessä edustaa kannettava meluannosmittari (bullerdosimeter). Tämän Chalmersin teknillisessä korkeakoulussa Göteborgissa kehitetyn laitteen toimintatapa on lyhyesti esitettynä seuraava:

Mikrofoni muuttaa äänivärähtelyt sähkövärähtelyiksi, jotka johdetaan vahvistimeen. Tämän jälkeen tapahtuu tavanomainen painottava suodatus  $A$ -suodattimella. Uuden vahvistuksen jälkeen sähkövärähtely johdetaan tasasuuntaajaan, jonka jälkeen seuraa värähtelyn integrointi. Kun ajan suhteen laskettava integraali on saavuttanut tietyn vakioarvon, syntyy laskuriin menevä pulssi ja integrointi alkaa alusta. Koko mittausaikana kertyneiden pulssien lukumäärän ja mittausajan pituuden perusteella  $Q$ -arvo voidaan katsoa suoraan laitteen päällä olevasta diagrammista.



Laitteen hyvänä puolena on pidettävä mittaustuloksen selkeyttä ja yksikäsitteisyyttä. Sikäli kuin melun häiritsevyys yleensä voidaan arvioida melun keskimääräistä intensiteettiä vastaavan melutason avulla, melun häiritsevyydestä arvion saaminen on yksinkertaista.

Meluannosmittarin huonona puolena on pidettävä sitä, ettei melutason lyhytaikaisia vaihteluita voida todeta. Mutta jos melun häiritsevyyttä arvioidaan koko päivän tai esim. yöajan meluisimman puolen tunnin melutason perusteella, mainittu haitta ei tule esille.

### 3.4 Meluisuusluvut

Melun ollessa voimakkuudeltaan vaihtelevaa yhdellä hetkellä vallitsevan melutason tietäminen ei anna riittävää pohjaa häiritsevyyden arvioimiselle. Hetkellisen melutason asemasta onkin tarkasteltava jotain vertailusuuretta, jonka arvo kuvaa melun voimakkuutta kulloinkin riittävän pitkältä ajalta ja joka korreloi mahdollisimman hyvin melun aiheuttaman häiriintymisen kanssa. Tällaisesta vertailusuureesta käytetään seuraavassa myös nimeä meluisuusluku.

Meluisuusluvuksi on olemassa useita ehdotuksia. Yleisesti voidaan sanoa, että vertailuluvun on perustuttava johonkin seuraavista

- 1) huippumelutaso
- 2) keskitaso
- 3) keskihajonta tai jokin muu vaihtelua kuvaava luku tai
- 4) kaksittais- tai kolmittaiskombinaatio edellisistä.

#### 3.41 Melutasot $L_{10}$ ja $L_{50}$

Meluisuusluvuista yksinkertaisimpia on  $L_{10}$  eli melutaso, joka ylittää 10 % ajasta. Määrittelytapa on selkeä ja lukuarvon toteaminen mittausten avulla yksinkertainen tehtävä, ainakin mikäli tilastollisen jakautuman analysointori on käytettävissä.

$L_{10}$  korreloi varsin hyvin melun häiritsevyyden kanssa.

Erään ehdotuksen mukaan  $L_{10}$  olisi määritettävä ajalta klo 06-24 /OECD/. Ottaen kuitenkin huomioon, että toisinaan melun häiritsevyys määräytyy lähinnä yöajan perusteella, ehdotettu menettely ei liene aina sopiva.

Melutason tilastollinen keskiarvo  $L_{50}$  on joissain tutkimuksissa osoittautunut huonoksi melun häiritsevyyden mitaksi verrattuna jäljempänä mainittaviin meluisuuslukuihin Q-arvo ja TNI. Mutta OECD:n meluraportin mukaan ranskalaiset tutkijat ovat päätyneet suositteluun nimienomaan  $L_{50}$ :n käyttöä. Silloin kun melutaso on normaalisti



Jakautunut ja vaihtelut ovat pienet,  $L_{50}$  epäilemättä onkin yhtä hyvä mitta kuin  $L_{10}$ . Jos sen sijaan melun vaihtelut ovat suuret, meluhiiput eivät saa  $L_{50}$ :ssa riittävää painoa.

### 3.42 Meluisuusluvut $L_{eq}$ , $\bar{L}_e$ ja $L_{NP}$

$L_{eq}$  on melun keskimääräistä intensiteettiä vastaava melutaso, jonka lauseke voidaan ilmaista mm. seuraavassa muodossa:

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 L(t)} dt \right), \text{ kun} \quad (4)$$

$L$  on melutaso ja  $t$  aika.

Ruotsissa keskimääräistä intensiteettiä vastaavasta melutasosta käytetään nimiä  $Q$ -arvo ( $Q$ -värde) ja efektiivinen keskiarvo (effektivt medelvärde  $L_{eff}$ ).

$Q$ -arvo on eräs parhaista meluisuusluvuista. Se ottaa implisiittisesti huomioon myös meluhiiput, muttei kuitenkaan varsinaisesti hajontaa.

Saksassa on ehdotettu meluisuusluvuksi lauseketta

$$\bar{L}_e = \bar{L}_{50} + 0,01 (\Delta \bar{L})^2, \text{ kun} \quad (5)$$

$$\Delta \bar{L} = L_5 - L_{95} \text{ /OECD 1971/} \quad (6)$$

Mikäli melutaso noudattaa normaalijakautumaa,  $L_{eq}$  ja  $\bar{L}_e$  ovat käytännössä yhden desibelin tarkkuudella samansuuruiset.

Uusimpia ja melun tilastollisen luonteen sekä hajonnan häiritsevyyttä lisäävän vaikutuksen parhaiten huomioon ottavia meluisuuslukuja on meluisuustaso  $L_{NP}$  (Noise Pollution Level):

$$L_{NP} = L_{eq} + 2,56 \sigma \quad (7)$$

Jos on kyseessä normaalijakautuma ja  $L_{10} - L_{90} = d$ , niin  $L_{NP} = L_{eq} + d$ . Toisaalta voidaan todeta yhteys

$$L_{NP} = L_{50} + d + \frac{d^2}{60} \text{ /GLC/} \quad (8)$$

### 3.43 Meluisuusluku TNI

$L_{NP}$ :n ohella melutason vaihtelujen merkitystä eniten korostava vertailuluku lienee TNI (Traffic Noise Index).

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (9)$$

Tutkimuksissa TNI:n on havaittu korreloivan melun häiritsevyyden kanssa suunnilleen yhtä hyvin tai hiukan paremmin kuin  $Q$ -arvon.

Tilastollisen jakautuman analysointia käytettäessä myöskään määrittelytapa ei vaikeuta TNI:n käyttöä.

### 3.5 Melun haitallisuus ihmisen terveydelle

Terveys ei tarkoita vain taudin tai sairauden puuttumista vaan täydellistä fyysistä, psyykkistä ja sosiaalista hyvinvoinnin tilaa (WHO). Tämän määritelmän perusteella arvioituna mikä tahansa melu on terveydelle haitallinen.

Liikenteen melu lienee harvoin riittävän voimakasta aiheuttaakseen kuulovaurion. Pidetäänhän melua yleensä kuulolle vaarallisena vasta kun 85 dBA ylitetään yhtämittaisesti useiden tuntien ajan päivittäin. Työpaikkameluna liikenteen melu voi olla tässäkin suhteessa vaarallista.

Erityisesti liikenteen melun haittoina voidaan mainita seuraavat ilmiöt /OECD 1971/:

- 1) Melu tuntuu häiritsevän
- 2) Viestintä vaikeutuu
- 3) Suorituskyky laskee
- 4) Uni häiriytyy
- 5) Melu aiheuttaa stressiä.

Edellä mainitut psyykkiset vaikutukset voivat alkaa melutason ylittäessä 30 dBA. Fyysisiä muutoksia: muutoksia sydämen toiminnassa, ihon verenkierrossa ja lihasjännityksessä aiheuttaa yleensä 65 dBA ylittävä melu.

### 3.6 Melurajat

Liikenteen melun korkeinta sallittua voimakkuutta on vaikea määritellä. Kuulovauriorajaa ei voida yleisesti soveltaa. Melua on tarkasteltava lähinnä oleskelun, asumisen, työskentelyn jne. miellyttävyyteen ja viihtyisyyteen vaikuttavana tekijänä, jolloin melun subjektiivinen häiritsevyys on ratkaiseva. Toisaalta rajat kuitenkin esim. yöaikaa koskien voivat melko tarkasti määräytyä kokeellisesti todettavissa olevan unen häiriintymisen perusteella. Voitaneen sanoa, että unen häiriintymisen mahdollisuus asettaa yölliselle melulle jokseenkin ehdottoman ylärajan. Minkä verran tästä poiketaan alaspäin suunnitteluohteja laadittaessa, jää harkinnan varaan.

Ehdotuksia melurajoiksi on vielä enemmän kuin ehdotuksia meluisuusluvuiksi. Eräät pyrkivät rajoittamaan ulkona havaittavaa, toiset rakennusten sisäpuolella vallitsevaa melutasoa.



Taulukko 4. Planverketin ehdottamat liikenteen melurajat (dBA)

Huonetila	Asuinhuone (ikkunat kiinni)		Asuntoon liittyvä ulkoih- huone. Lähin vir- kistysalue	Työpaikat Asunon keittiö ym.	Opetusti- lat ja kokous- huoneis- tot	Sairaalat	
	Päivä	Yö				Päivä	Yö
Melun häiritse- vyyden arvioin- tiperuste	subjektiivinen häi- ritsevyys	unen häiriin- tyminen	keskuste- lun häi- riintymi- nen	subjektiivinen häiritse- vyys	viestim- än vai- kentumi- nen	subjektiivinen häi- ritsevyys	unen häi- riintymi- nen
Meluisuuden mitta	efektiivinen kes- kiarvo $L_{eff}$		efektiivinen keskiarvo ajalta 6-18 $L_{eff}$			efektiivinen keskiarvo $L_{eff}$	
	ajalta 6-18	ajalta 23-6				ajalta 6-18	ajalta 23-6
Raja, jota ei saa ylittää	45	35	60	50	40	40	35
Suosittelava raja, joka saadaan ylit- tää erityisis- tä syistä	35	25	50	40	35	35	30

Parhaimpia meluehdotuksia lienee taulukossa 4 esitetty ruotsalainen ehdotus. Siinä asuntoja koskevat lukuarvot on annettu sisällä sallittavina enimmäismelutasoina. Ulkopuolisiin arvoihin päästäisiin lisäämällä suunnilleen 25 dBA, joka on tavallisen kiinni olevan kaksinkertaisen ikkunan ääneneristävyys.



#### 4. Tieliikenteen meluun vaikuttavista tekijöistä

##### 4.0 Moottoriajoneuvon dominoiva melunlähde

Moottoriajoneuvon pääasiallisin melunlähde on moottori apulaitteinen. Muita tärkeitä melunaiheuttajia ovat voimansiirtolaitteisto, renkaat ja jarrut /Priede/. Liikenteen melua kokonaisuudessaan tarkasteltaessa kuitenkin useimmiten riittää, kun ajoneuvon melu jaeetaan vauhtimeluksi ja moottorin ääneksi. Vauhtimelulla tarkoitetaan sellaista melua, jonka liikkuva ajoneuvo aiheuttaa, vaikka vaihde olisi vapaalla ja moottori sammutettuna.

Tässä tutkimuksessa dominoivaksi sanotaan sellaista osamelua, jonka osuus koko melusta on vähintään puolet. Tällöin kokonaismelutason ja dominoivasta osamelusta aiheutuvan melutason erotus on enintään 3 dBA.

Kumpi kulloinkin vallitsee eli dominoi, vaihtimelu vai moottorin ääni, riippuu ajoneuvolajista, ajoneuvon kuormituksesta ja nopeudesta sekä ajoneuvon ulkopuolisista tekijöistä. Yleensä katsotaan, että raskailla autoilla: kuorma-autoilla ja linja-autoilla sekä lisäksi moottoripyörillä moottorin ääni dominoi. Kevyiden autojen osalta käsitys vallitsevasta melunlähteestä sen sijaan vaihtelee. Kuivalalla sileällä päällysteellä, tasaisella kohtuullisella nopeudella ja suurimmalla vaihteella ajettaessa moottori saattaa lisätä melua hyvin vähän, esim. 1-2 dBA /Rathe/. Mutta pienillä vaihteilla ajettaessa moottorin melun osuus on yleensä suurempi.

Meluntorjunnan kannalta kysymys dominoivasta melunlähteestä on varsin tärkeä. Jos moottorin ääni on vallitseva, liikenteen melun lisääntyminen on mahdollista kokonaan pysäyttää ajoneuvojen voimanlähteissä tapahtuvilla muutoksilla. Jos sen sijaan ajoäänet dominoivat, melun vähentäminen liikennettä tai esim. ajonopeutta rajoittamatta on vaikeaa.

Tämän tutkimuksen yhteydessä Espoossa Hagalundin tiellä järjestetyssä kokeessa pyrittiin toteamaan henkilöauton dominoiva melunlähde. Mittauspaikalla oli uusi sileä asfalttipäällyste. Pituuskaltevuus oli likimain nolla. Ajokeli oli kuiva. Koeajo suoritettiin molempiin suuntiin kahteen kertaan nopeuksilla 50 ja 70 km/h, ensin moottori tasaisesti suurimmalla vaihteella vetäen ja toiseksi kytkin pohjassa moottori sammutettuna. Koeautona oli Datsun 1300 varustettuna uusilla kesärenkailla. Meluhuippu todettiin kädessä pidettävällä melumittarilla asennossa "Hold". Etäisyys oli toiseen suuntaan ajettaessa 7.5 m ja vastakkaiseen suuntaan ajettaessa 13.8 m.

Varmojen havaintojen osalta tulokset esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Tasaisella nopeudella ajavan ja vapaasti samalla nopeudella rullaavan henkilöauton aiheuttamien meluhuippujen erotus kesällä 1971 järjestetyssä kokeessa.

Nopeus (km/h)	50	70
Erotus (dBA)	1.6, 1.0, 1.3, 1.3	< 4.4; 4.6



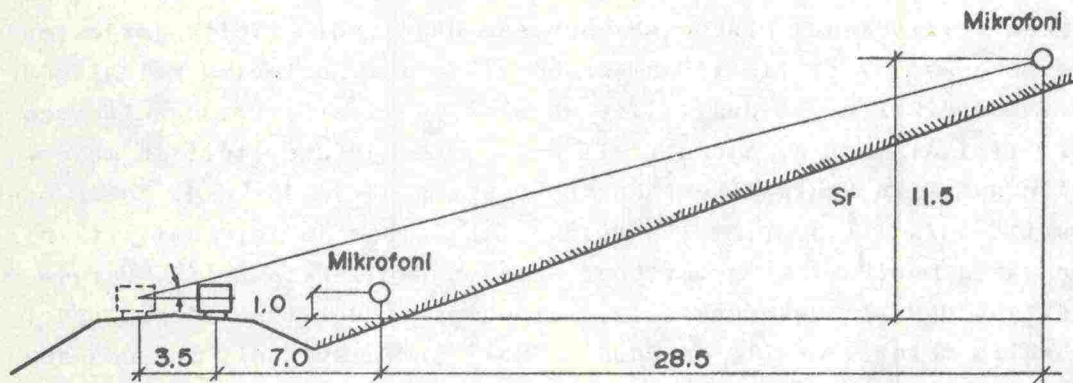
Näyttää siltä, että tasaisella nopeudella 50 km/h kyseisellä henkilöautolla vauhtimelu dominoi. Suuremmalla nopeudella 70 km/h moottorin ääni dominoi.

#### 4.1 Moottoriajoneuvon melun suuntajakautuma

Kohdassa 1.4 on todettu, että moottoriajoneuvoa voidaan usein tarkastella yhtenä pistemäisenä äänilähteenä. Toisaalta kuitenkin juuri edellä todettiin, että autosta löytyy useita eri melunlähteitä, joiden voimakkuus toisiinsa verrattuna vaihtelee. Näin ollen pistemäisyyttä on pidettävä karkeana yksinkertaistuksena jota ei aina voida soveltaa. Lisäksi on otettava huomioon, ettei moottoriajoneuvon aiheuttama ääni pääse leviämään täysin vapaasti, vaan ajorata rajoittaa äänikentän ensinnäkin puolipallon muotoiseksi ja toiseksi yhdessä väylän ympäristön kanssa muutenkin vaikuttaa äänikentän ominaisuuksiin.

Äänilähteen suuntaavuudella tarkoitetaan vapaassa äänikentässä lähteen pääakselin tietyssä pisteessä havaittavan äänenpaineen ja kyseisen pisteen kautta kulkevaksi ajatellulla äänilähdekeskeisellä pallopinnalla vallitsevan keskimääräisen äänenpaineen suhdetta /IEC/. Suuntajakautumalla puolestaan tarkoitetaan seuraavassa äänentason korkeutta äänilähdekeskeisen ympyränkehän eri pisteissä äänilähteen kautta kulkevassa tasossa. Jakautuman aiheuttajana on lähteen suuntaavuuden lisäksi ajorata ja sen ympäristö.

Liikenteen melun torjunnan kannalta moottoriajoneuvon aiheuttaman äänen suuntajakauamalla lienee merkitystä lähinnä vain ajoneuvon pituusakselia vastaan kohtisuorassa pystytasossa havaittavan jakauman osalta. Tämän tutkimuksen yhteydessä kyseistä jakaumaa pyrittiin selvittämään kuvan 4 mukaisin mittausjärjestelyin.



Kuva 4. Moottoriajoneuvon melun suuntajakautuman pystytasossa toteamiseksi järjestetty koetilanne.



Kummankin mikrofonin kautta mitattiin samojen yksinäisten autojen aiheuttamat meluhuiput. Kun havaituista melutasoeroista vähennettiin äänentason geometrisen alenemisen osuus, saatiin taulukossa 6 esitetty desibelimäärät.

Taulukko 6. Yksinäisen ajoneuvon melutaso (dBA) 15<sup>o</sup>:n kulmassa vaakatasosta ylöspäin verrattuna melutasoon ajoneuvon korkeudella yhtä kaukana ajoneuvosta. Ensimmäiset lukuarvot koskevat lähemmällä ajokaistalla liikkuvia, suluissa olevat arvot kauemmalla ajokaistalla liikkuvia ajoneuvoja. Luku n on havaintojen lukumäärä.

Ajoneuvotyyppi	n	Pienin arvo	Suurin arvo	Keskiarvo
Kevyt auto	40(18)	1 (0)	5 (3,4)	2 (1)
Raskas auto	19(22)	0 (0)	6 (3,4)	2 (1)

Näyttää siltä, että auton melu on 15<sup>o</sup>:n kulmassa vaakatasoon nähden voimakkaampi kuin suoraan sivulla. Ero on kuitenkin melko vähäinen, eikä mittausten tulosta voine yleistää koskemaan sellaista tapausta, jossa maanpinta on vaakasuora ja suuntajakauma todetaan eri korkeuksille asetetuilla mikrofoneilla.

Rathen asfaltti- ja betonipäällysteiden yläpuolella suorittamien mitausten mukaan henkilöauton aiheuttama melutaso on 0...45<sup>o</sup> kulmissa vaakatasoon nähden suunnasta jokseenkin riippumaton. Suuremmilla kulmilla melutaso alenee siten, että auton yläpuolella se on noin 6 dBA alempi kuin sivuilla yhtä kaukana autosta.

Suurilla etäisyyksillä melutason jakauma korkeussuunnassa määräytynee käytännöllisesti katsoen kokonaan maanpinnan peitteisyydestä aiheutuvan absorption perusteella. Tällöin melutaso 10:n metrin korkeudella saattaa olla esim. 7 dBA korkeampi kuin 1 metrin korkeudella /NKB/.

#### 4.2 Nopeuden vaikutus

##### a) Yksinäisen ajoneuvon aiheuttamaan melutasoon

Melun kannalta on otettava huomioon kaksi tärkeää nopeussuuretta: moottorin kierrosluku ja ajonopeus. Edellinen määrää moottorin äänen voimakkuuden. Jälkimmäisestä riippuu vauhtimelu.

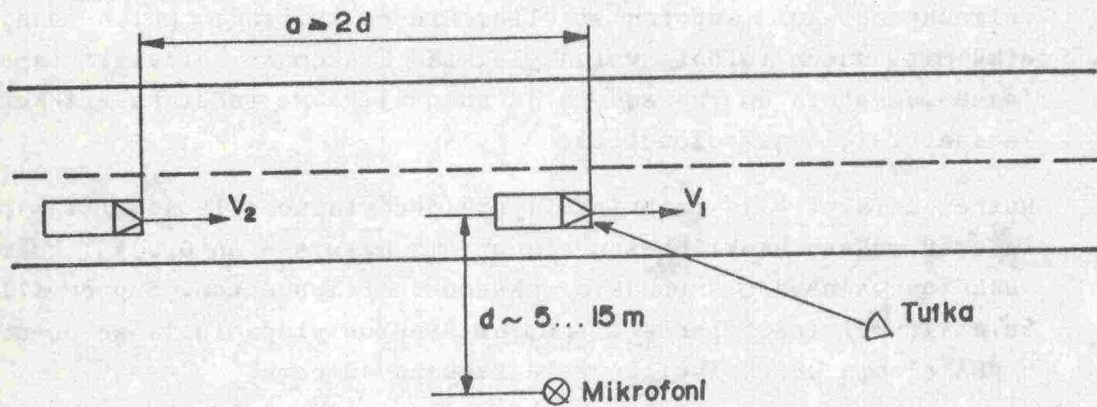
Taulukon 5 luvut viittaavat siihen, että moottorin ääni kasvaa nopeuden mukana nopeammin kuin vauhtimelu. Ja näin asian on yleensä havaittu olevankin. Moottorin aiheuttaman melun intensiteetti on verrannollinen kierrosluvun johonkin potenssiin väliltä kolme ja viisi /Priede/. Vauhtimelu kasvaa yleensä hieman hitaammin.



Edellä mainitussa Hagalundin tiellä järjestetyssä koeajossa tasaisen ajonopeuden kasvaminen vaikutti seuraavasti: Nopeudella 70 km/h meluhuippu oli toiseen suuntaan ajettaessa 5,1 dBA ja toiseen suuntaan ajettaessa 5,7 dBA voimakkaampi kuin nopeuden ollessa 50 km/h. Luvut merkitsevät melun intensiteetin verrannollisuutta nopeuden potenssiin 3,5 tai 3,9.

Tämän tutkimuksen yhteydessä ajoneuvon nopeuden vaikutusta tutkittiin perusteellisemminkin. Maanteillä mitattiin useissa pisteissä tarkkailukohtaan sivuuttavien yksittäisten ajoneuvojen aiheuttamien meluhuippujen voimakkuus sekä samanaikaisesti tutkalla ajoneuvon nopeus. Järjestelyä mittauspaikoilla esittää kuva 5.

Ajonopeuden ja huippumelutason käsittäviä havaintopareja otettiin kullakin mittauspaikalla kevyitä autoja koskien 100 kpl ja raskaita autoja koskien niin monta kuin saman ajan kuluessa saatiin.



Kuva 5. Järjestely mittauspaikalla todettaessa ajoneuvon nopeuden ja melutason välinen riippuvuus.

Ajonopeuden vaikutusta melutason voidaan kuvata esimerkiksi seuraavilla yhtälöillä:

$$L = 10 a \log v + b \quad (10)$$

$$L = c v + d \quad (11)$$

L merkitsee melutasoa (dBA)

v on ajonopeus (km/h)

a, b, c, d ovat vakioita

Yhtälö (10) merkitsee melun intensiteetin kasvua verrannollisena ajonopeuden a:nteen potenssiin. Seuraavassa nopeuden vaikutusta tarkastelemaan osaksi yhtälön (10) ja osaksi yhtälön (11) avulla. Lisäksi asiaa selvennetään esimerkillä, kuinka paljon melutasonousee, kun ajonopeus nousee arvosta 60 km/h arvoon 90 km/h.



Taulukko 7. Nopeuden vaikutus yksinäisen auton aiheuttamaan melutasoon syksyllä 1971 tehtyjen mittausten mukaan. (Taulukossa esitettävät luvut ovat yhtälöiden (10) ja (11) kertoimia)

Havainto- sarja n:o	Päällyste	Kevyet autot				Raskaat autot			
		Hav. kpl	Kerroin a	Kerroin c	60 90 km/h vastaava L(dBA)	Hav. kpl	Kerroin a	Kerroin c	60 90 km/h vastaava L(dBA)
1	Asfaltti	90		0,175	5,3	60		0,143	4,3
2	"	90		0,142	4,3	90		0,137	4,1
3	"	170		0,118	3,5	170		0,093	2,8
4	"	70		0,152	4,6	40		0,207	6,2
5, 6, 8	Asfaltti	300	2,77	0,135	4,9; 4,1	77	1,49	0,096	2,6; 2,9
7	Öljysora	100	2,31		4,1	59	4,12	0,264	7,3; 7,9
9	Sora	100	5,05	0,230	5,4; 6,9	16	2,23	0,208	3,9; 6,2
10	Betoni	101	2,76	0,152	4,9; 4,6	38	0,77	0,075	1,4; 2,2

Taulukon 7. lähtötietoina olevista mittauksista sarjat 1, 2, 3 ja 4 on saatu vaihtelevissa keliolosuhteissa vuoden 1971 alkupuolella. Muut mittaukset on suoritettu kuivalla kesäkelillä.

Sarjoissa 5...10 nopeuden ja melutason välinen riippuvuus on todettu kevyiden autojen osalta erittäin merkitseväksi. Raskaiden autojen osalta riippuvuus on erittäin merkitsevä öljysoralla ja merkitsevä soralla. Sen sijaan asfaltilla ja betonilla raskaita autoja koskevat riippuvuudet sarjoissa 5, 6, 8 ja 10 eivät ole tilastollisesti edes melkein merkitseviä.

Jos yhtälöön (10) sijoitetaan taulukosta 7 laskettu keskimääräinen a:n arvo, saadaan yhtälöt (10 k) ja (10 r).

$$\text{Kevyt auto: } L = 27,2 \log v + b_k \quad (10 \text{ k})$$

$$\text{Raskas auto: } L = 24,0 \log v + b_r \quad (10 \text{ r})$$

Mutta tällöin raskaita autoja koskevassa yhtälössä on mukana myös niiden havaintosarjojen vaikutus, joilla tilastollinen merkitsevyys puuttuu. Jos yhtälö (10 r) lasketaan vain tilastollisesti merkitsevistä havaintosarjoista 7 ja 9, raskaan auton melutasoa öljysora- ja sorapäällysteellä osoittaa yhtälö (10 r')

$$L = 31,8 \log v + b_r' \quad (10 \text{ r}')$$

Vakion b suuruus riippuu mm. tarkasteluetäisyydestä sekä keliolosuhteista. Näiden vaikutusta tarkastellaan myöhemmin.

Kertoimien c osaltavoidaan verrata sarjoja 1...4 muihin sarjoihin. Nopeuden vaikutus näyttää olevan samantapainen erilaisissa keliolosuhteissa. Toisaalta on todettava, että mittaustulosten hajonta on varsin suuri jo samanlaisissakin olosuhteissa. Tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin näyttää siltä, että moottoriajoneuvon aiheuttaman melun intensiteetti on verrannollinen likimain nopeuden kolmanteen potenssiin.



Nopeuden vaikutus ilmaistaan usein siten, että ilmoitetaan kuinka paljon melutaso nousee tasaisen ajonopeuden kaksinkertaistuuessa. Yhtälön (10) mukaan myös taulukossa 7 sarjoille 5...10 ilmoitetut kertoimet voidaan muuntaa tähän muotoon. Taulukkoon 8 on edellä mainittujen tulosten lisäksi kerätty kirjallisuudesta saatavia tietoja ajoneuvon nopeuden vaikutuksesta sekä kertoimen avulla että nopeuden kahdentumisen vaikutuksena ilmaistuna.

Taulukko 8. Ajonopeuden vaikutus moottoriajoneuvon aiheuttamaan melutasoon.

Tutkimus ja olo-suhteet	Ajoneuvolaji ja havaintojen määrä	Kerroin a	Nopeuden kahdentumisen vaikutus (dBA)
Grutzmacher 1959 - rullien päällä ajo	2-taht.mp 4-taht.mp	3.7 2	11 6
Rathe 1966 (Vauhtimelu)			
- kuiva asfaltti	4 ha á 4 ajoa	2.7...4	8...12
- kuiva betoni	"	4	12
- märkä asfaltti	"	2	6
- märkä betoni	"	2	6
Priede 1967	ka, bens. ka, diesel	4.5...5 3	13.5...15 9
Johnson ja Saunders 1967	suuri määrä eril.ajon.	4	12
Waters 1969			
eri vaihteilla	1500 cm <sup>3</sup> ha	3.6...5.3	10.7...15.9
"	9.5 ton ka	2.4...4.2	7.2...12.6
suurimmalla vaihteella	1500 cm <sup>3</sup> ha	3.6...3.9	10.7...11.7
"	9.5 ton ka	2.4...3.7	7.2...11.0
OECD 1970	suuri määrä ha	2.3...3.3	7...10
RRL 1970	30 pientä ha	5.7	11
nopeus 60 km/h	6 ka	5	9
" 60 "	6 ka	5.8	17,4
TVH 1971	n. 600 ha	2.3...3.1	6.9...9.3
kuiva kesäkeli	n. 200 ka	0.8...4.1	2.4...12.3

Taulukon 8 perusteella tarkasteltuna tämän tutkimuksen yhteydessä suoritetuissa mittauksissa saadut tulokset ovat varsin hyvin yhtäpitäviä muualla saatujen tulosten kanssa. Moottoriajoneuvon aiheut-



taman melun intensiteetti näyttää useimpien tutkimusten mukaan olevan verrannollinen johonkin ajonopeuden potenssiin väliltä 2...4. Ruotsalaisten Ingemanssonin ym. kehittämässä melualueen mitoitusmenetelmässä.

Ruotsalaisen Ingemanssonin ym. kehittämässä melualueen mitoitusmenetelmässä oletetaan, että yksinäisen ajoneuvon aiheuttaman melun intensiteetti on suoraan verrannollinen ajoneuvon nopeuden neljänteen potenssiin.

Nopeuden vaikutukseen eri olosuhteissa palataan vielä myöhemmin kuvien 9 ja 10 yhteydessä.

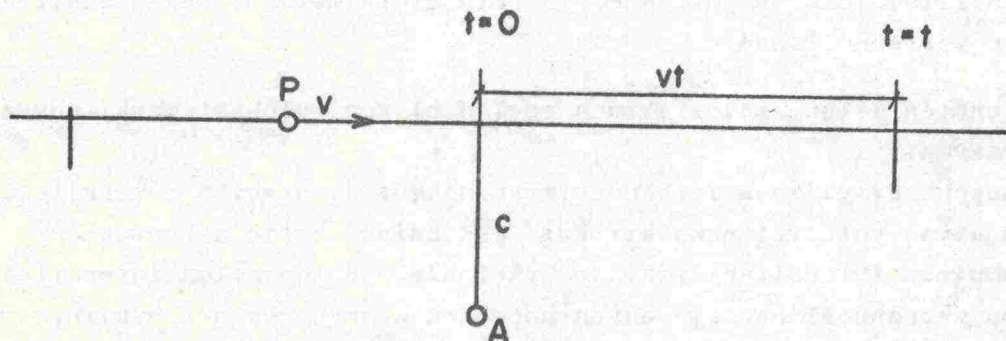
b) Nopeuden vaikutus liikennevirran aiheuttamaan melutasoon

Monet liikenteen meluun vaikuttavat tekijät ovat sellaisia, että ne tuntuvat samalla tavalla yhden ajoneuvon kuin koko liikennevirrankin aiheuttamassa melussa. Nopeuden vaikutus ei kuitenkaan ole tällainen.

Tarkasteltaessa ajonopeuden vaikutusta liikennevirran aiheuttamaan meluun on otettava huomioon seuraavat näkökohdat

- 1) Melutasossa voidaan erottaa pysyvyydeltään ja määrittelytavaltaan erilaisia huipputasoja, keskitasoja ja taustamelun tasoja.
- 2) Nopeuden vaikutus eri pysyvyytetasoihin on erilainen
- 3) Nopeuksien jakautuma olisi otettava huomioon.

Liikennevirran aiheuttamat meluhiiput ovat useimmiten peräisin havaitsijan sivuuttavista meluisimmista ajoneuvoista siten, että kukin huippu on yhden ajoneuvon aiheuttama. Tällöin nopeuden vaikutus huippumelutasoon on edellä kohdassa a) kuvatun kaltainen. Mutta silloin kun liikennevirran aiheuttamalla melutasolla tarkoitetaan esim.  $Q$ -arvoa, nopeuden vaikutus ei ole aivan yhtä ilmeinen, kuten seuraava kuvaan 6 liittyvä tarkastelu osoittaa.



Kuva 6. Tarkasteltava tilanne, kun pistemäinen äänlähde sivuuttaa paikallaan pysyvän havaitsijan.



Pistemäinen äänilähde, jonka nopeus on vakio  $v$ , liikkuu suoraa rataa pitkin ja sivuuttaa havaitsijan A etäisyydeltä  $c$  hetkellä  $t=0$ . Lähteen ääniteho  $P$  on verrannollinen nopeuden  $v$  a:n teon potenssiin eli  $P = kv^a$ , kun  $k$  on vakio. Tällöin A:n havaitsema äänen intensiteetti hetkellä  $t$  voidaan ilmaista yhtälöllä (12)

$$I(t) = \frac{P}{4\pi(c^2 + v^2t^2)} = \frac{kv^a}{4\pi v^2 \left(\frac{c^2}{v^2} + t^2\right)} \quad (12)$$

Äänen keskimääräinen intensiteetti saa arvon

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{kv^a dt}{4\pi v^2 \left(\frac{c^2}{v^2} + t^2\right)} \\ &= \frac{kv^{a-1}}{4\pi cT} \left| \arctan \frac{v}{c} t \right|_0^T \\ &= \frac{kv^{a-1} \arctan \frac{vT}{c}}{4\pi cT} \end{aligned} \quad (13)$$

Jos aika  $T$  on hyvin lyhyt,  $\frac{vT}{c}$  on pieni ja  $\arctan \frac{vT}{c} \sim \frac{vT}{c}$

Tällöin

$$I = \frac{kv^a}{4\pi c^2} \quad (14)$$

eli äänen keskimääräinen intensiteetti riippuu nopeudesta samalla tavalla kuin intensiteetin huippuarvokin.

Jos taas  $c$  on paljon pienempi kuin äänilähteen ajassa  $T$  kulkema matka  $vT$ , todetaan, että  $\arctan \frac{vT}{c} \sim \frac{\pi}{2}$

Silloin

$$I = \frac{kv^{a-1}}{8cT} \quad (15)$$

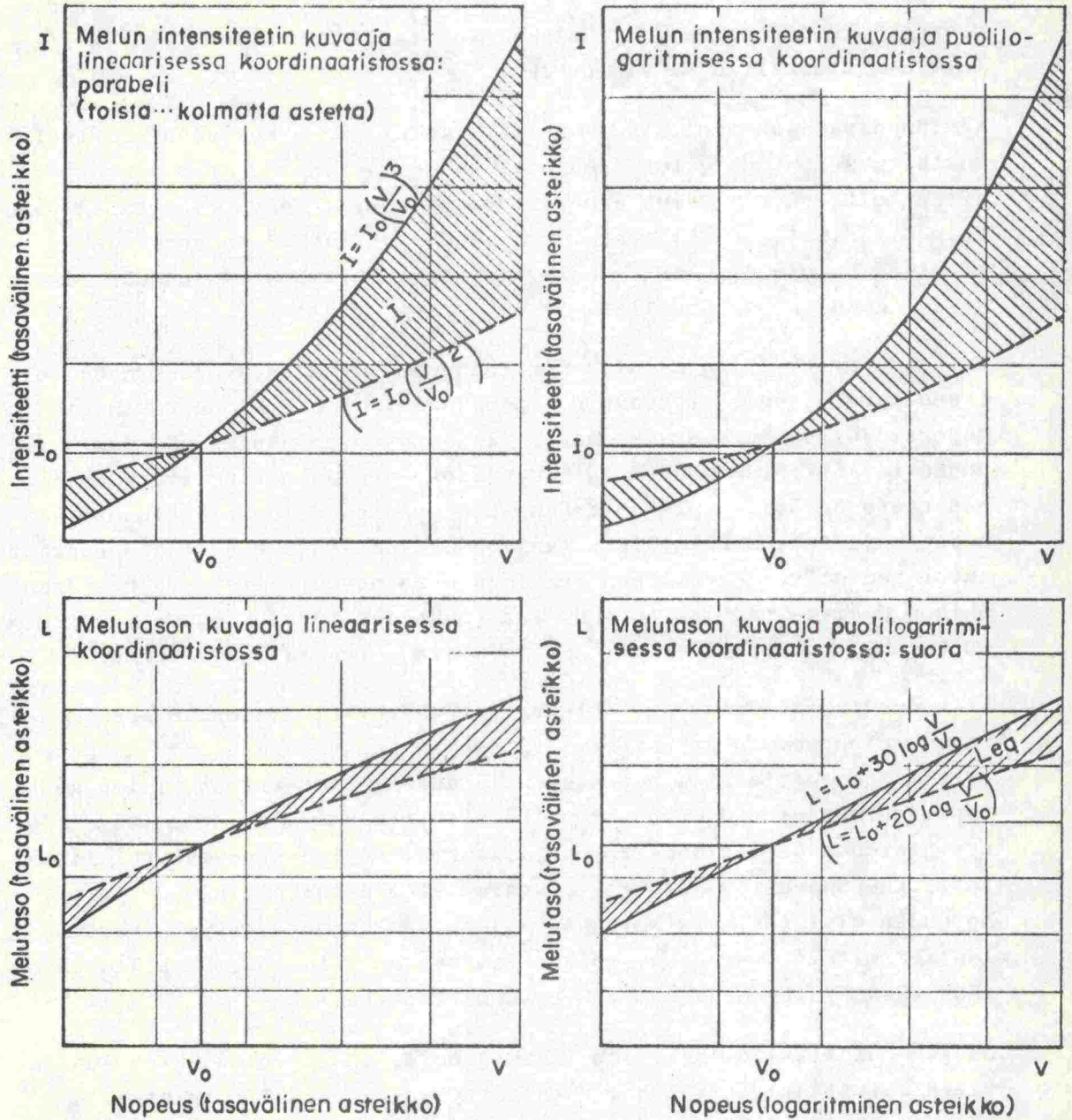
eli äänen keskimääräinen intensiteetti on verrannollinen nopeuden potenssiin, joka on yhtä alempi, kuin mihin meluhuipun intensiteetti on verrannollinen.

Liikenteen meluun sovellettuna edellä olevat tulokset merkitsevät seuraavaa:

Ajonopeus ei vaikuta liikennevirran aiheuttaman melun intensiteettiin aivan yhtä voimakkaasti kuin yksinäisen auton aiheuttaman meluhuipun intensiteettiin. Jos yksinäisen auton melun intensiteetti on verrannollinen ajoneuvon nopeuden kolmanteen potenssiin, liikennevirran aiheuttaman melun intensiteetti on verrannollinen ajonopeuden johonkin potenssiin väliltä kaksi ja kolme. Q-arvoon

ajonopeuden kaksinkertaistuminen aiheuttaa tällöin vähintään 6 dBA:n ja enintään 9 dBA:n lisäyksen havaitsijan sijainnista riippuen.

Edellä esitettyjä tuloksia nopeuden vaikutuksesta liikenteen meluun voidaan havainnollistaa kuvan 7 avulla.



Kuva 7. Periaatteellinen kuva ajonopeuden vaikutuksesta liikenteen meluun



Yhtälöiden (14) ja (15) paikkansa pitävyys voidaan todeta myös kokeellisesti saaduista tuloksista. Ingemanssonin ja Ljunggrenin teoksen "Bullerproblem vid trafikleder" alkuun liitettyssä yhteenvedossa todetaan seuraavaa: "Sekallikenteessä (vid blandad trafik) yksinäisen ajoneuvon äänentaso kasvaa keskimäärin 12 dB nopeuden kaksinkertaistuksessa." "Q-arvo (äänentason efektiivinen keskiarvo) kasvaa suoran tien varressa 9 dB ajoneuvojen nopeuden kaksinkertaistuksessa." Näiden tulosten todetaan myös tulleen eri puolilla suoriteilla mittauksilla vahvistetuiksi.

Käytännössä ajoneuvot eivät ole yhtä meluisia. Äänentason määritelmästä taas johtuu, että liikennevirran aiheuttama Q-arvo määräytyy siten, että eniten melua aiheuttavat ajoneuvot saavat suuremman painon kuin hiljaiset. Jos liikennevirta muodostuu raskaista autoista ja keveistä autoista, Q-arvo määräytyy useinkin lähes yksinomaan raskaiden autojen perusteella.

Eri ajoneuvotyyppien meluisuus riippuu paitsi ajoneuvojen rakenteellisesta meluisuudesta myöskin nopeusjakautumista. Ajoneuvokohtaisten nopeusrajoitusten seurauksena raskaiden autojen nopeus jää usein huomattavasti pienemmäksi kuin kevyiden autojen nopeus. Tällainen nopeusero on omiaan pienentämään autotyyppien melueroa. Alueellisen nopeusrajoituksen mukaisissa taajama-olosuhteissa sen sijaan raskaat autot saavat rakenteellisen meluisuutensa perusteella varsin suuren painon Q-arvoa määriteltäessä. Jos raskaiden autojen osuus kadulla on esim. 20 %, kevyiden autojen melu ei Q-arvossa juuri tunnu.

Liikennevirran aiheuttama melutaso ei määräytyisi suoraan keskimääräisen ajonopeuden perusteella siinäkin tapauksessa, että ajoneuvot olisivat identtisiä ja nopeuksien jakautuma symmetrinen tietyn keskinopeuden suhteen. Q-arvon kannalta mitoitettavana olisi pidettävä tiettyä pistenopeuksien keskiarvon ja suurimman pistenopeuden välille sijoittuvaa nopeutta, jota ei toistaiseksi ole tarkemmin määritetty. Nopeuden oletetusta vaikutuksesta ja nopeuksien pysyvyyskäyrästä lähtien mitoitettava nopeus voitaisiin tarkasti laskea. Laskelma jätetään tässä yhteydessä kuitenkin suorittamatta.

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi on nopeuden vaikutuksen suhteen vielä mainittava, että edellä esitetty koskee samalla vaihteella ajoa ja käytännössä nimenomaan sitä, että kaikki ajoneuvot ajavat suurimmalla vaihteella. Pienemmillä vaihteilla ajettaessa melutaso on samalla nopeudella korkeampi kuin suurimmalla vaihteella. Näin ollen liikennevirran aiheuttamaa melua tarkasteltaessa on erikseen otettava huomioon sellaiset liikenneväylät ja väylien kohdat, joissa ajonopeus on alhainen, esim. alle 50 km/h, tai joissa tapahtuu suuria nopeuden muutoksia. Myös ajoradan pituuskaltevuuden vaikutukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

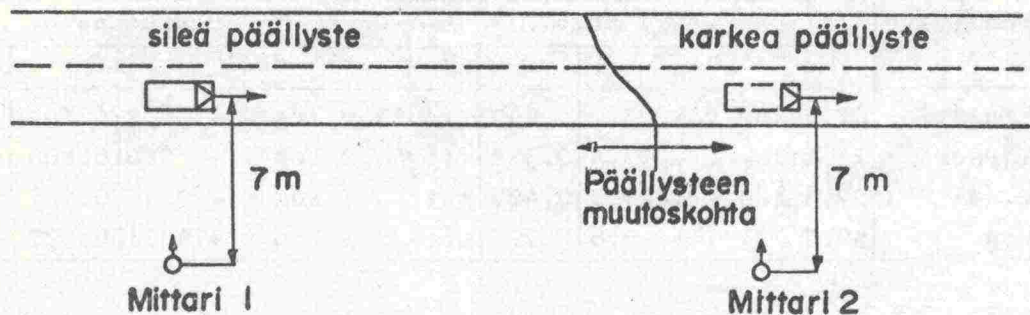


#### 4.3 Ajoradan kulutuskerroksen vaikutus

Ajoradan ominaisuudet vaikuttavat ajettaessa käytettäviin nopeuksiin ja sitä kautta myös melutasoon. Tämän lisäksi samallakin nopeudella ajettaessa melutaso vaihtelee ajoradan tasaisuuden ja karkeuden mukaan. Epätasaisuudet lisäävät jousituksen antamaa ääntä ja korin värähtelyjä. Karkeus puolestaan lisää rengasääniä. Seuraavassa tarkastellaan lähinnä karkeuden vaikutusta.

##### a) Asfaltin karkeuden vaikutus

Valtatie 1:n varrella Vihdissä suoritettiin kuvan 8 mukainen mittaus.



Kuva 8. Päällysteen karkeuden vaikutuksen mittaaminen

Paikalla oli nopeusrajoitus 50 km/h. Yksinäisen ajoneuvon aiheuttama melutaso mitattiin päällysteen muutoskohdan molemmiin puolin. Todellisia ajonopeuksia ei mitattu. Oletettiin vain, että kunkin ajoneuvon nopeus pysyi riittävän hyvin vakiona päällysteen muutoskohdan ylityksessä. Havaintopareja saatiin keveitä autoja koskien 28 kpl ja raskaita autoja koskien 14 kpl. Tulokset esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Karkealla ja sileällä asfaltilla mitattujen melutasojen erotus (dBA).

Ajoneuvotyyppi	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	10	0	5.2
Raskas auto	4	-2	1.0

Tulosten perusteella päällysteen karkeus näyttää selvästi vaikuttavan autojen aiheuttamaan meluun. Sen sijaan raskaiden autojen melu ei ainakaan pienillä nopeuksilla riipu yhtä voimakkaasti päällysteen laadusta. Syynä lienee se, että melun ollessa peräisin miltei yksinomaan moottorista vauhtimelun voimakkuuden muuttuminen ei kokonaismelutasossa paljon näy. Tosin tuloksiin saattoi vaikuttaa myös se,



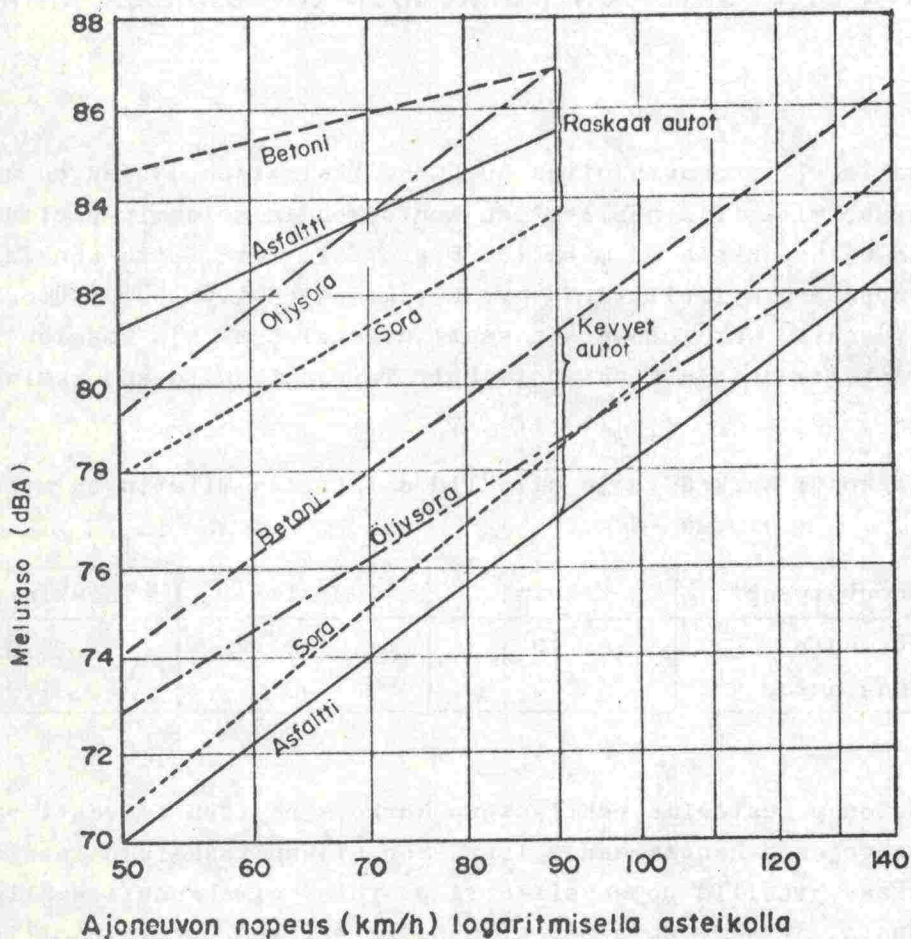
että mittaukset suoritettiin tienkohdassa, jossa oli nopeusrajoitus 50 km/h. Suuremmilla nopeuksilla päällysteen karkeuden vaikutus olisi voinut tulla paremmin esille myös raskaiden autojen melussa.

b) Eri päällystelajien vaikutus

Kesällä 1971 kuivalla kelillä eri päällystetyypeillä nopeuden ja melutason välillä todetut riippuvuudet on esitetty taulukossa 10 sekä kuvassa 9.

Taulukko 10. Yksinäisen auton aiheuttama melutaso (dBA) nopeuden  $v$  (km/h) funktiona 7,5 m päässä ajolinjasta mitattuna, korrelaatiokertoimet  $r$  ja  $t$ -testillä todettu tilastollinen merkitsevyys  $t$ . (0 ei merkitsevyyttä,  $tt$  merkitsevä,  $ttt$  erittäin merkitsevä).

Päällyste	Kevyt auto			Raskas auto		
	dBA	$r$	$t$	dBA	$r$	$t$
Asfaltti	$27.7 \log v + 23.0$	0.659	ttt	$14.9 \log v + 56.2$	0.187	0
Öljysora	$23.1 \log v + 33.4$	0.382	ttt	$41.2 \log v + 7.0$	0.800	ttt
Betoni	$27.6 \log v + 27,2$	0.427	ttt	$7.7 \log v + 71.6$	0.168	0
Sora	$30.5 \log v + 18.6$	0.722	ttt	$22.3 \log v + 40.1$	0.597	tt



Kuva 9. Melutason riippuvuus nopeudesta eri päällysteillä



Kuvassa 9 eräät suorat leikkaavat toisensa. Kevyiden autojen osalta tällaisia ovat melutasoa öljysora- ja sorapäällysteillä kuvaavat suorat. Suorien huomattava erisuuntaisuus aiheutunee kuitenkin vain havaintomäärien pienuudesta ja mittaustulosten suuresta hajonnasta.

Jos kevyiden autojen melutasoa eri päällysteillä kuvaavat suorat käännetään kunkin oman havaintojoukon painopisteen kautta kulkeviksi yhdensuuntaisiksi suoriksi siten, että kulmakertoimeksi tulee 28, suorille saadaan seuraavat yhtälöt:

$$\text{Asfaltilla} \quad L = 28 \log v + 22,3 \quad (16)$$

$$\text{Öljysoralla} \quad L = 28 \log v + 24,1 \quad (17)$$

$$\text{Soralla} \quad L = 28 \log v + 23,2 \quad (18)$$

$$\text{Betonilla} \quad L = 28 \log v + 26,3 \quad (19)$$

Yhtälöiden (16)...(19) perusteella näyttää siltä, että kevyt auto liikkuu äänettömimmin asfaltilla. Soralla ulkopuolinen melutaso on keskimäärin noin yhtä desibeliä korkeampi. Betonilla melutaso on asfalttiin verrattuna noin neljä desibeliä korkeampi. Erot eivät ole suuret, mutta jos melualueen mitoitus tapahtuu Q-arvon perusteella, betonitie saattaa vaatia noin kaksinkertaisen melualueen asfalttietehen verrattuna.

Raskailla autoilla suorien yhdensuuntaistaminen johtaa yhtälöihin (16 r)...(19 r).

$$\text{Asfaltilla} \quad L = 28 \log v + 31,6 \quad (16 \text{ r})$$

$$\text{Öljysoralla} \quad L = 28 \log v + 30,3 \quad (17 \text{ r})$$

$$\text{Soralla} \quad L = 28 \log v + 29,9 \quad (18 \text{ r})$$

$$\text{Betonilla} \quad L = 28 \log v + 35,5 \quad (19 \text{ r})$$

Myös kuorma-autolla ajo näyttää olevan äänekkäintä betonipäällysteellä. Mutta on todettava, että betonilla melumittauksia tehtiin vain yhdessä tienkohdassa ja että suuresta hajonnasta ja pienestä havaintomäärästä johtuen tulokset eivät ole asfaltin ja betonin osalta tiilastollisesti merkitseviä. Riippuvuuksien varmistamiseksi mittauksia olisi suoritettava lisää.

Muissa maissa suoritetuissa tutkimuksissa ajoradan päällysteen on todettu säätelevän melutasoa melko laajalla alueella. Erään amerikkalaisen tutkimuksen mukaan päällyste vaikuttaa henkilöautojen meluun seuraavasti /Williams/:

$$\text{avoimella asfaltilla} \quad L = 30 \log v + 28 \quad (20)$$

$$\text{moottoritien betoni-  
päällysteellä} \quad L = 30 \log v + 23 \quad (21)$$

$$\text{uudella asfaltilla} \quad L = 30 \log v + 18 \quad (22)$$

Mittausetäisyyttä ei ole ilmoitettu. Yhtälöiden mukaan asfalttipäällysteet joka tapauksessa poikkeaisivat toisistaan 10 dBA. Betonipäällyste olisi 5 dBA äänekkäämpi kuin uusi asfaltti.



Rathen tutkimuksessa kuiva betonipäällyste oli ainakin 5 dBA äinekkäämpi kuin asfaltti. OECD:n raportissa taas todetaan betonipäällysteen ja karkean asfaltin olevan yhtä meluisia, mutta hyvin sileän asfaltin olevan noin 5 dBA äänettömämpi.

Saksalainen normiehdotus DIN Entwurf 18005 (1968) suosittelee, että laskelmissa pidettäisiin lähtökohtana asfaltilla havaittavaa melutasoa. Muissa tapauksissa suoritettaisiin korjaus siten, että betonilla lisätermi olisi enintään 5 dBA ja kivipäällysteellä enintään 10 dBA.

Englannissa on kokeiltu betonipäällysteen karkeuttamista jyrsimällä pintaan poikkisuuntaisia 9 mm leveitä ja 3 mm syviä uria 28 mm välein. Tällaisen pinnan on kuitenkin havaittu aiheuttavan äänen taajuusjakautumaan nopeudesta riippuvaan kohtaan voimakkaan huipun. Melun häiritsevyyden on arvioitu kasvavan lähes kaksinkertaiseksi /Harland/.

#### 4.4 Ajokelin ja nastarenkaiden käytön vaikutus

Sääsuhteiden vaikutus liikenteen meluun esiintyy lähinnä ajoneuvon renkaiden ja tienpinnan välisen kosketuksen aiheuttaman äänen yhteydessä. Moottorin aikaansaamaan ääneen säätö ei luonnollisestikaan paljon vaikuta. Näin ollen raskaan auton melu on ajokelin vaihteluille vähemmän herkkä kuin kevyen auton melu.

Kuvassa 10 on samassa tienkohdassa eri olosuhteissa keväällä 1971 suoritettujen melumittausten perusteella lasketut regressiosuorat. Suorien yhtälöt esitetään taulukossa 11.

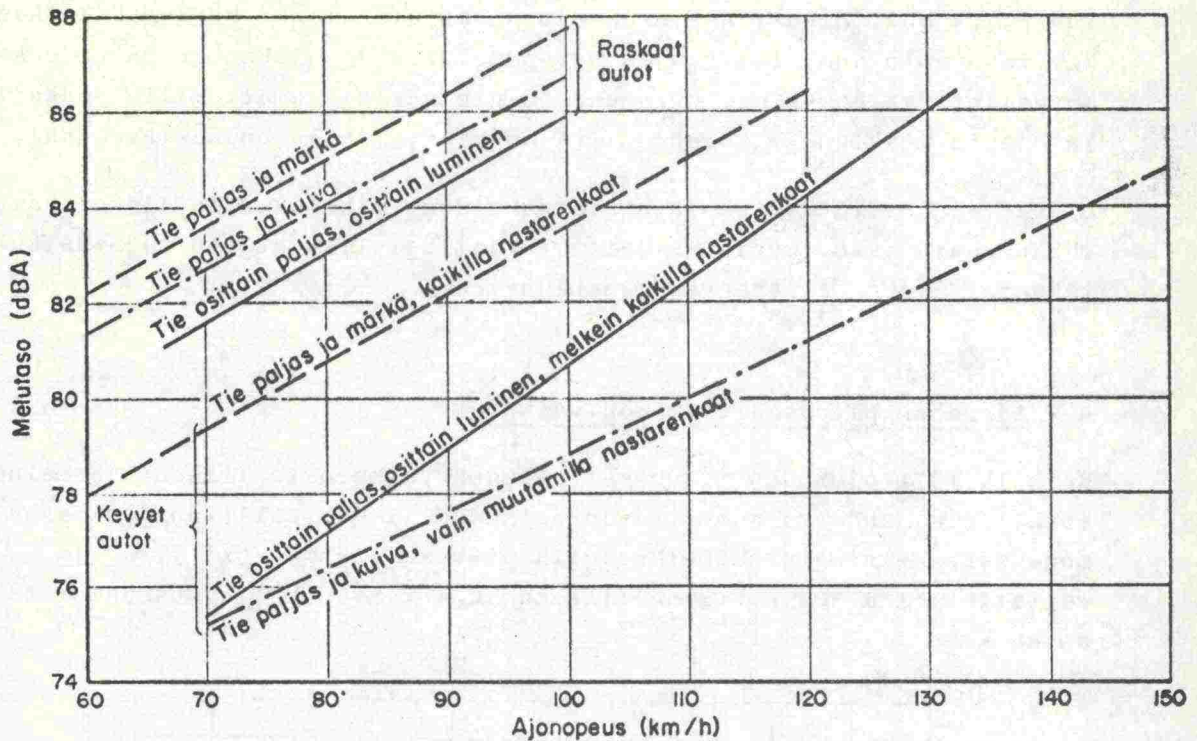
Taulukko 11. Eri olosuhteita vastaavat regressiosuorat yksinäisen auton 14 m päässä ajolinjasta aiheuttamalle melutasolle (dBA) ajonopeuden  $v$  (km/h) funktiona sekä havaintojen lukumäärät ( $n$ ).

Ajoneuvo- tyyppi	Tie osittain paljas, osittain luminen, melkein kaikissa kevyissä autoissa nastarenkaat	Tie paljas ja märkä, kaikissa kevyissä autoissa nastarenkaat	Tie paljas ja kuiva, vain muutamissa kevyissä autoissa nastarenkaat
Kevyt auto	$0,118v + 67,0(170)$	$0,175v + 63,2(90)$	$0,142v + 69,4(90)$
Raskas auto	$0,092v + 75,5(170)$	$0,143v + 71,6(60)$	$0,137v + 74,0(90)$

##### a) Ajokelin vaikutus

Tien pinnan märkyys lisää liikenteen melua. Keväällä 1971 suoritettujen mittausten perusteella kevyellä autolla ajo märällä ajoradalla aiheuttaa noin 3 tai 4 dBA voimakkaamman meluhuipun kuin kuivalla kelillä.





Kuva 10. Yksinäisen auton aiheuttama melutaso kestopäällystetyllä tiellä 14 m päässä ajoradasta.

Rathen suorittamissa mittauksissa melutaso oli sateesta märällä ajoradalla jopa 14 dBA korkeampi kuin kuivalla kelillä. Näin suurena vaikutus ilmeni kevyen auton melussa asfalttipäällysteellä. Betonipäällysteellä vastaava ero oli noin 8 dBA.

Todellisuudessa ajokelin vaikutus ei kuitenkaan ole aivan yksiselitteinen. Melutaso riippuu ajoradalla kullakin hetkellä olevan veden määrästä, joka puolestaan saattaa riippua mm.

sateen rankkuudesta  
 ajoradan päällysteestä  
 tien pinnan kaltevuussuhteista  
 liikennemäärästä  
 ilman suhteellisesta kosteudesta  
 lämpötilasta jne.

Tien pinnan märkyyden vaikutus liikenteen meluun vaihtelee tilanteesta riippuen esim. välillä 0...14 dBA.

#### b) Renkaiden nastoituksen vaikutus

Kuvasta 10 päätellen nastat näyttävät lisäävän kevyiden autojen melua vähintään 0...4 dBA. Kun mukana ei ole täysin kesäolosuhteita vastaavaa regressiosuoraa, nastojen vaikutusta ei voi arvioida tarkemmin.

Teknillisen korkeakoulun opiskelijoiden harjoitustyönä suorittamisessa melun mittauksissa nastojen on havaittu lisäävän liikenteen me-

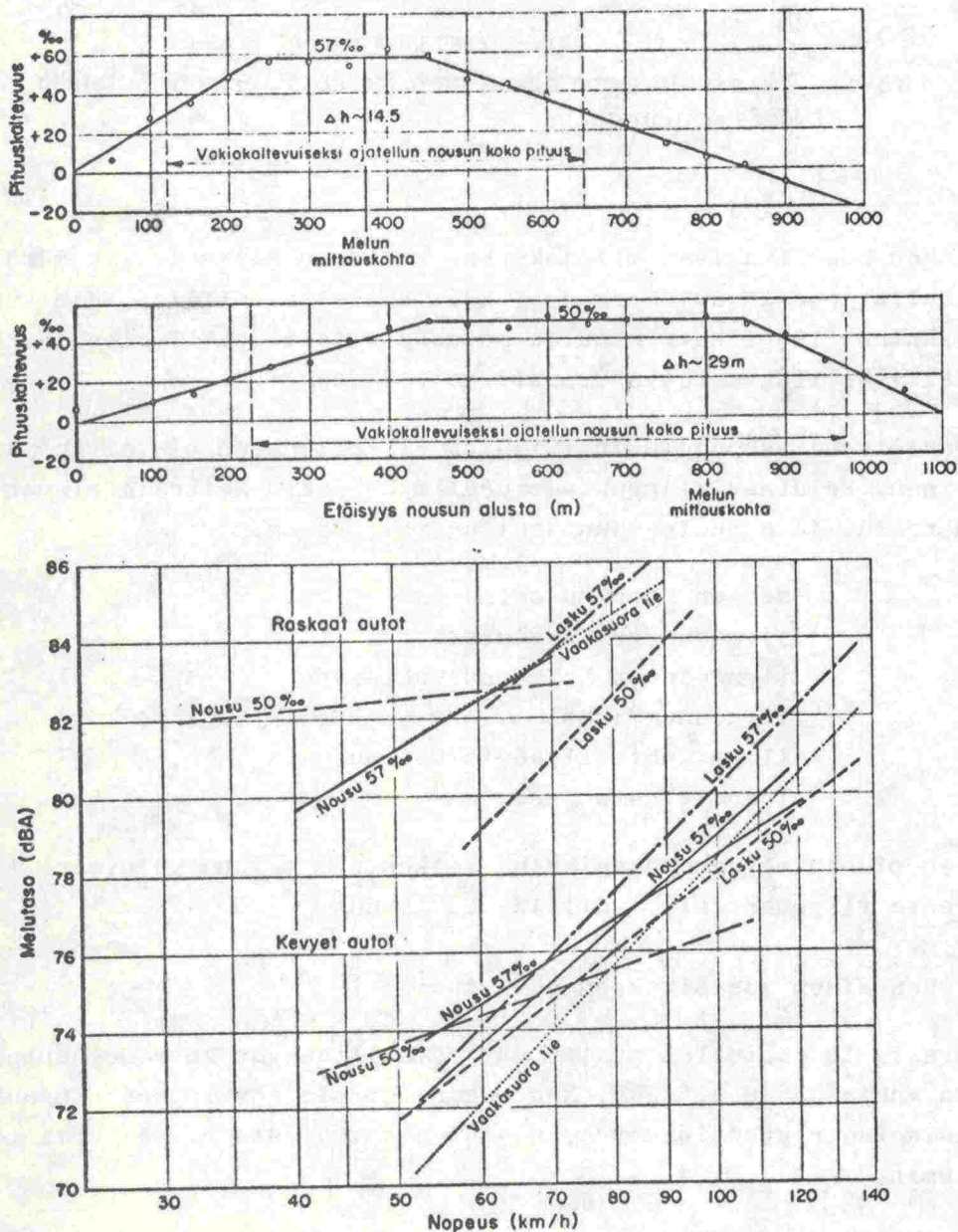


lua 2...4 dBA. Mikäli nastarenkaat eivät ole olleet käytössä kaikissa kevyissä autoissa, todettujen huippumelutasojen jakauman kuvaajassa on esiintynyt kaksi eri huippua: toinen nastoittamattomilla renkaila ajavia koskien ja toinen niitä koskien, joilla on nastarenkaat.

Ulkomaisia mittaustuloksia nastarenkaiden vaikutuksesta lienee vain vähän saatavissa. Ruotsalaiset tutkijat mainitsevat nastojen vaikutukseksi 5 dBA /Ingemansson ja Ljunggren/.

#### 4.5 Ajouradan pituuskaltevuuden vaikutus

Kesällä 1971 ajouradan pituuskaltevuuden vaikutusta liikenteen meluun tutkittiin kahdessa huomattavan pitkässä ja suhteellisen jyrkässä nousussa. Helsingin ohikulkutiellä pituuskaltevuus oli 57 ‰ ja valtatie 3:lla 50 ‰. Täydellisemmän käsityksen kaltevuussuhteista antaa kuva 11.



Kuva 11. Ajouradan pituuskaltevuus ja mittauspaikan sivuuttavan yksinäisen ajoneuvon aiheuttama melutaso 7.5 m päässä ajolinjasta kahdessa jyrkässä mäessä.



Samoissa kohdissa suoritettiin mittaukset sekä nousun että laskun vaikutusta koskien. Meluhuipun ohella mitattiin kunkin ajoneuvon nopeus melumittarin sivuutushetkellä. 7.5 m mittausetäisyyttä vastaaviksi muutetut tulokset on esitetty taulukossa 12 ja kuvassa 11.

Taulukko 12. Yksinäisen ajoneuvon aiheuttaman meluhuipun voimakkuusnopeuden ja pituuskaltevuuden funktiona sekä suorien laskemiseen käytettyjen havaintojen lukumäärä n.

Kaltevuus	Kevyt auto		Raskas auto	
	n	L (dBA)	n	L (dBA)
+57 ‰	31	17,0 log v + 44,4	16	16,0 log v + 54,0
"	65	24,0 log v + 30,9		
+50 ‰	120	9,2 log v + 58,0	16	2,5 log v + 78,2
-57 ‰	99	27,5 log v + 25,1	25	23,8 log v + 39,8
-50 ‰	79	21,0 log v + 36,0	15	27,9 log v + 29,5

Kun mittauksia tehtiin vain kahdessa mäessä, joiden pituuskaltevuudet olivat melkein yhtä suuret, kovin pitkälle menevien johtopäätösten yleispätevyydestä ei voine olla varma. Joitain päätelmiä pituuskaltevuuden vaikutuksesta voidaan kuitenkin tehdä.

Nousun vaikutus liikenteen meluun riippuu nousun jyrkkyydestä ja pituudesta sekä ajoneuvojen nopeudesta ennen nousua. Jos nousussa ei tarvitse vaihtaa pienemmälle, melutaso riippuu nopeudesta samalla tavalla kuin tasaisellakin. Näin voitaneen päätellä Helsingin ohikulkutiellä suoritettujen mittausten tuloksista. Jos taas nousu on niin pitkä, että sitä ei päästä ylös vaihtamatta pienemmälle, melutaso on huomattavasti korkeampi kuin vaakasuoralla tiellä tasaisella nopeudella ajettaessa.

Raskaiden autojen meluun pitkä nousu vaikuttaa enemmän kuin kevyiden. Jos nousu on riittävän pitkä, kaikki raskaat autot käyttävät korkeita moottorinkierroslukuja. Melutaso on tällöin korkea ja hetkellisestä nopeudesta lähes riippumaton.

Lasku ei näytä merkittävästi muuttavan kevyen auton nopeuden ja melutason välistä riippuvuutta. Raskaan auton kulku sen sijaan on pitkässä laskussa oleellisesti äänettömämpää kuin nousussa tai tasaisella nopeuden ollessa sama. Syynä on moottorin äänen hiljeneminen varsinkin vapaalla ajettaessa.

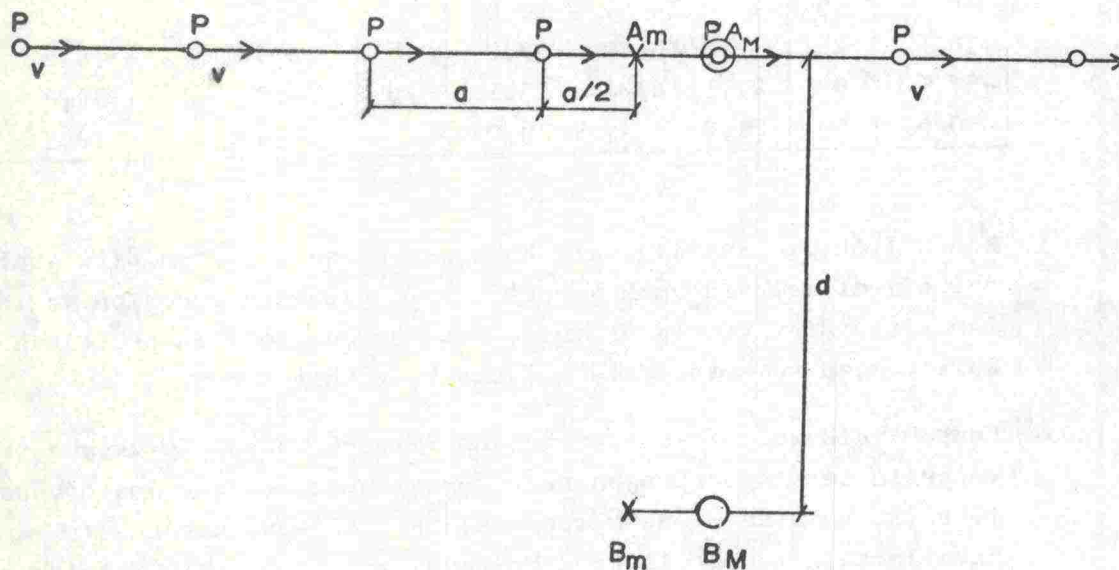
Eräissä ulkomailta suoritetuissa tutkimuksissa nousun on todettu nostavan raskaan auton melutasoa enintään 8 dBA /Johnson ja Saunders, RRL/. Tutkimustuloksista ei kuitenkaan yleensä käy ilmi miten nousun vaikutus on määriteltä. Eräissä tapauksissa näyttää siltä, että saman auton aiheuttama meluhuippu on mitattu vaakasuoralla tienkoddalla ja nousussa ottamatta huomioon nopeuden erilaisuutta. /Elvhammar ja Ingemansson, Nordqvist/. Joissakin tutkimuksissa taas tarkastelun kohteena on ollut sekaliikenne ja mittaukset ovat ilmei-



sesti koskeneet  $Q$ -arvoa tai jotain muuta keskimääräistä melutasoa /Johnson ja Saunders/.

#### 4.6 Liikennemäärän vaikutus melutasoon

Oletetaan, että liikennevirta muodostuu pistemäisistä melunlähteistä, jotka etenevät vakionopeudella  $v$ , yhtä suurin ajoneuvoetäisyyksin  $a$  ja joiden ääniteho on vakio  $P$ . Paikallaan pysyvän havaitsijan kannalta tilannetta esittää kuva 12.



Kuva 12. Liikennevirran yksinkertaistettu malli melun kannalta.

Tarkastellaan melutason  $L$  ääriarvoja a) melunlähteiden kanssa samalla suoralla olevan tarkastelijan A kannalta sekä b) mainitusta suorasta ajoneuvoetäisyyteen verrattuna kaukana, etäisyydellä  $d$  olevan tarkastelijan B kannalta.

a) Voidaan osoittaa, että melutason minimi saavutetaan tarkastelijan A ollessa kahden melunlähteen puolivälissä eli melunlähteisiin nähden kohdassa  $A_m$ . Jos nyt liikennemäärä  $M$  muuttuu arvosta  $M_0$  arvoon  $M_1$  ajonopeuden muuttumatta, ajoneuvoetäisyys muuttuu kääntäen verrannollisena liikennemäärään. Tällöin minimimelutaso  $L_{\min}$  noudattaa pistemäisen äänilähteen etäisyysalennemisen lakia ja alenee niin ollen 6 dBA liikennemäärän puoliintuessa ja vastaavasti kasvaa 6 dBA liikennemäärän kasvaessa kaksinkertaiseksi. Tällöin melutason muutos noudattaa yhtälöä (23)

$$\Delta L_{\min} = 20 \log \frac{M_1}{M_0} \quad (23)$$

Melutason maksimi taas saavutetaan havaitsijan ollessa mahdollisimman lähellä melunlähdeä eli melunlähteisiin nähden kohdassa  $A_M$ . Tällöin melutaso määräytyy kohdalla olevan melunlähteen mukaan eikä lainkaan riipu liikennemäärästä eli

$$\Delta L_{\max} = 0$$

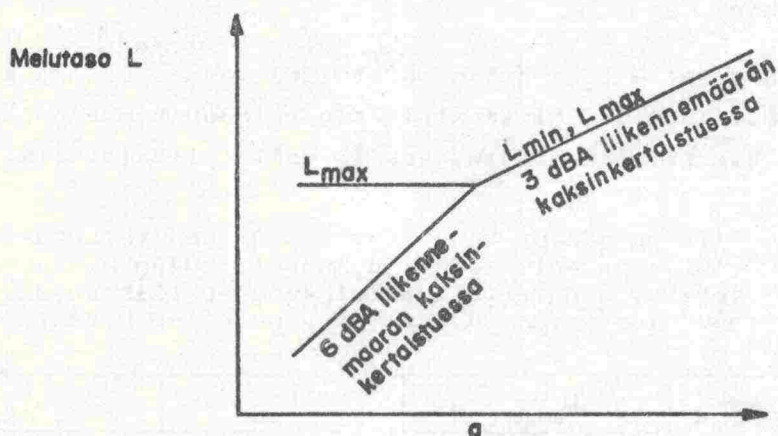
b) Melunlähteiden kautta kulkevasta suorasta matkan  $d$  päässä olevan havaitsijan B kannalta voidaan todeta seuraavaa: Melutason etäisyysaleneminen noudattaa likimain viivamaisen äänilähteen lakia. Riittävän kaukana oltaessa melutaso on tasainen huippujen hävitessä. Jos nyt liikennemäärä muuttuu ajonopeuden muuttumatta, viivamaiseksi ajatellun melunlähteen ääniteho muuttuu samassa suhteessa. Liikennemäärän puoliintuminen ja kaksinkertaisuusmerkitsevät 3 dBA:n suuruista muutosta, joten yleisemmin

$$\Delta L_{\min} = \Delta L_{\max} = 10 \log \frac{M_1}{M_0} \quad (25)$$

Erilaiset tarkasteluetaisyydet huomioon ottaen voidaan esittää

$$\Delta L_{\min} = 10 \log \frac{M_1}{M_b} \dots 20 \log \frac{M_1}{M_0} = (10 \dots 20) \log \frac{M_1}{M_0} \quad (26)$$

$$\Delta L_{\max} = 0 \dots 10 \log \frac{M_1}{M_0} \quad (27)$$



Tarkasteluetaisyys  $d$  logaritmisella asteikolla

Kuva 13. Periaatteellinen kuva liikennemäärän vaikutuksesta melutasoon.



Kuvan 13 suhteen on muistettava, ettei se esitä melutason muuttamista etäisyyden funktiona, vaan liikennemäärän vaikutusta melutasoon tarkasteluetäisyyden saadessa erilaisia arvoja ja toiseksi että todelliset käyräviivaiset kuvaajat on korvattu murtoviivoilla.

Ääriarvojen väliin sijoittuvat melutason pysyvyysarvot riippuvat kukin vähän eri tavalla liikennemäärästä. Silloin kun on kyse jostain keskiarvotyypistä melutasosta, esim.  $L_{50}$  tai Q-arvo, liikennemäärän vaikutusta voidaan arvioida riittävällä tarkkuudella olettamalla, että liikennemäärän kaksinkertaistuminen nostaa melutasoa aina 3 dBA. Tarkasteluetäisyyden ollessa suuri tämä pitää paikkansa tarkastikin.

Melumittauksilla liikennemäärän vaikutusta liikenteen meluun selvitettiin kesällä 1971 seuraavasti: Melutaso todettiin kolmen liikennemääriltään erilaisen kestopäällystetyn tien varrella. Kuvassa 14 suurinta liikennemäärää  $q = 1600$  ajon/h vastaava pysyvyyskäyrä on piirretty Jorvaksen tien varressa suoritetun mittauksen perusteella. Muut mittaukset tapahtuivat 2-kaistaisen tien varrella. Raskaiden ajoneuvojen osuus oli kaikissa mittauksissa noin 20 %. Myös ajoneuudet olivat eri mittauspaikeilla oletettavasti suunnilleen samat.

Kuten kuvasta 14 havaitaan, liikennemäärä vaikutti korkeimpiin melutasoihin varsin vähän. Jorvaksen tiellä, jossa liikennemäärä oli suurin, huiput jäivät jopa heikommiksi kuin kahdella muulla tiellä. Osaksi tämä on selitettävissä sillä, että kun mittaus tapahtui iltapäiväruuhkan aikaan, ajonopeuksien hajonta oli pieni eikä suuresta nopeudesta aiheutuvia voimakkaita meluhuippuja päässyt syntymään. Muilla teillä sen sijaan vapaat ajo-olosuhteet tarjosivat mahdollisuutta myös huippunopeuksiin ja siis myös voimakkaisiin meluhuippuihin.

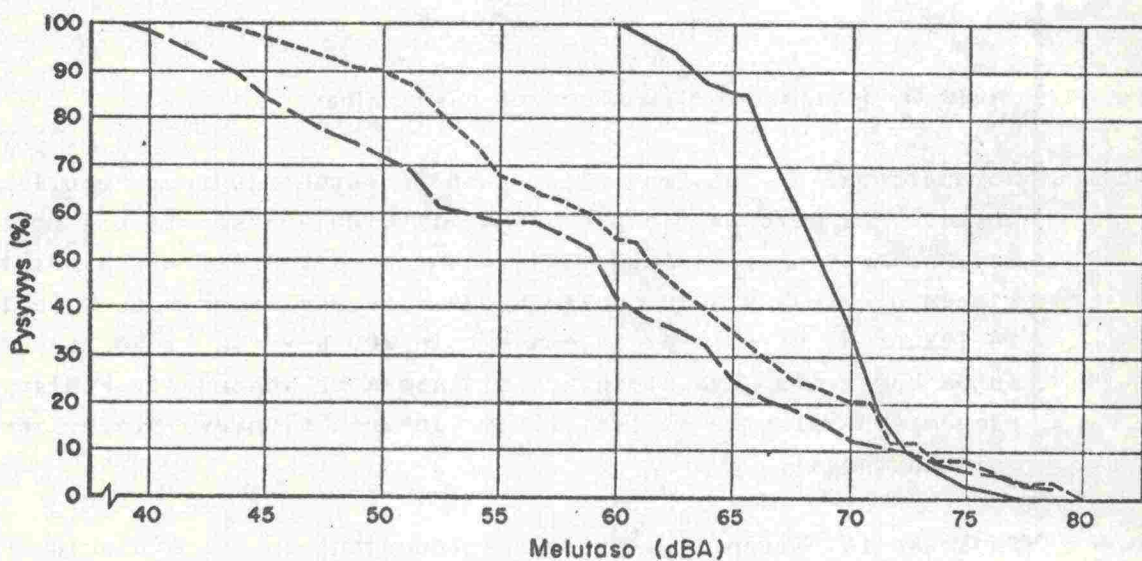
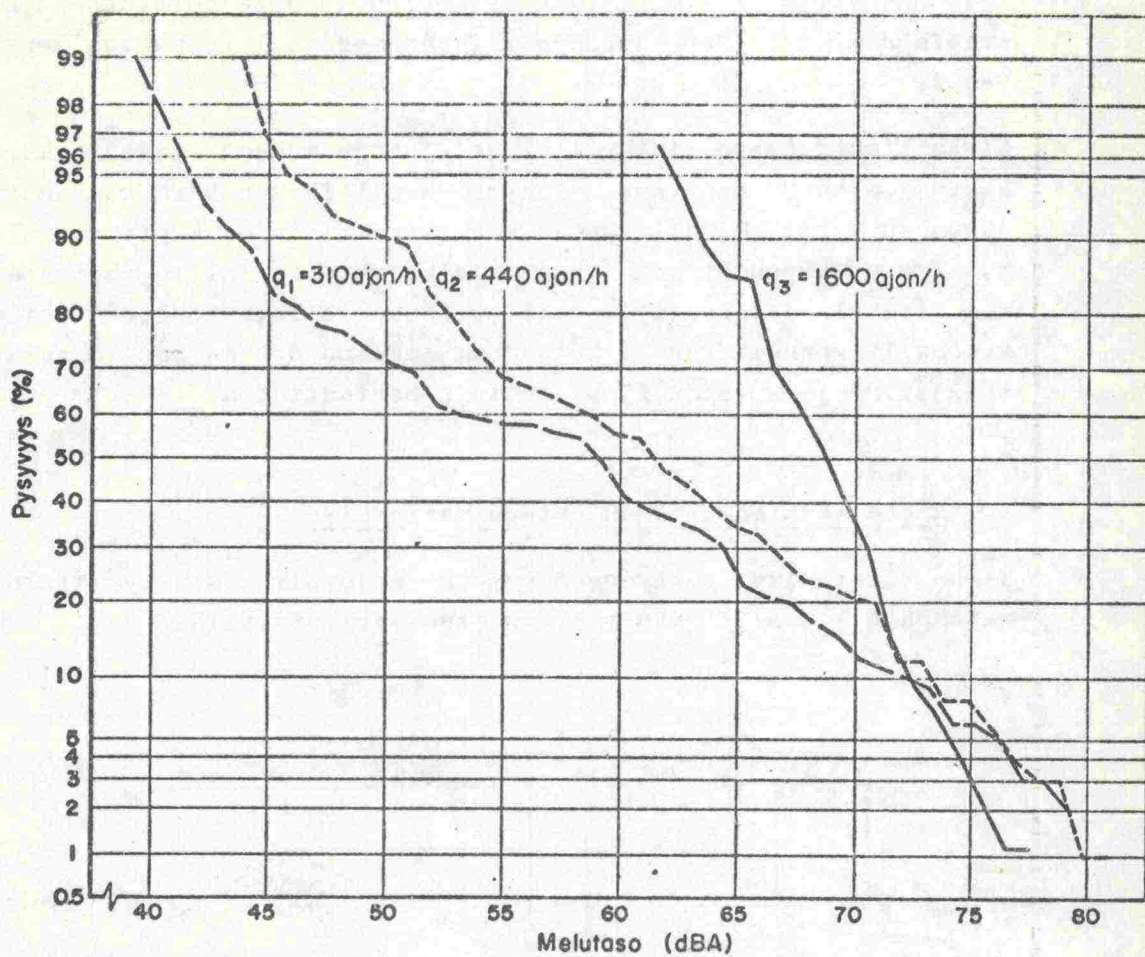
Jos ajatellaan, että  $L_{10}$  vastaa maksimimelutasoa,  $L_{50}$  keskimelutasoa ja  $L_{90}$  minimimelutasoa, mittaustuloksia voidaan verrata teoreettisesti laskettuihin arvoihin taulukossa 13 esitetyllä tavalla.

Taulukko 13. Liikennemäärän kaksinkertaistumisen vaikutus melutasoon (dBA) teoreettisesti ja suoritettujen mittausten perusteella, kun vertailumelutasona on liikennemäärää  $q_2 = 440$  ajon/h vastaava mitattu melutaso kuvasta 14.

Lähtökohta	$L_{min}$		$L_{50}$		$L_{max}$	
	Teor	Mit	Teor	Mit	Teor	Mit
$q_1 = 310$ ajon/h	n. 5	12,6	3	4,9	n. 1	2,2
$q_3 = 1600$ ajon/h	4,5	7,1	3	3,9	1,5	-0,5

Taulukon 13 mukaan liikennemäärän vaikutus olisi todellisuudessa suurempi kuin mitä teoreettiset laskelmat osoittavat. On kuitenkin otettava huomioon seuraavat suoritettujen mittausten virhelähteet:





Kuva 14. Kolmea eri liikennemäärää ja 15m mittausetäisyyttä vastaavat melutason pysyvyyskäyrät todennäköisyyspaperilla ja tasaväliseen koordinaatistoon piirrettyinä.

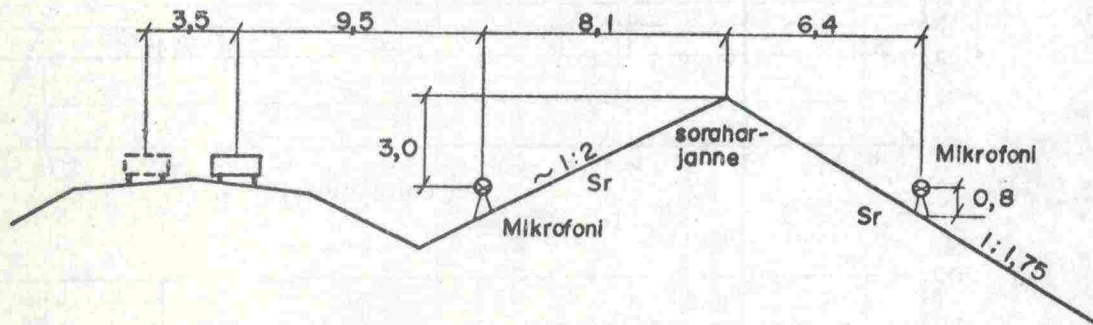


Ajonopeudet saattoivat olla eri teillä erilaiset. Jorvaksen tiellä liikennemäärä laskettiin vain lähemmältä ajoradalta, jota käyttävä liikenne varmasti aiheuttikin meluhuiput, mutta melutason minimiarvoihin myös toisen ajoradan liikenne saattoi vaikuttaa merkittävästi.

Kirjallisuudessa esiintyy tietoja, joiden mukaan liikennemäärän kasvun vaikutus melutasoon lakkaa, kun liikennemäärä kasvaa riittävän suureksi. Mikäli väylän kapasiteetti tulee käytetyksi loppuun ja ajonopeudet sen johdosta alenevat, mainittu väittämä saattaa pitääkin paikkansa. Todellisuudessa tällöin nopeuden vaikutus kumoo liikennemäärän vaikutuksen, joka noudattaa edellä yhtälöissä 23...27 ja kuvassa 13 esitettyjä periaatteita.

#### 4.7 Ääntä läpäisemättömän esteen varjoaikutus

Tämän tutkimuksen yhteydessä esteen varjoaikutusta pyrittiin selvittämään kuvan 15 mukaisella mittausjärjestelyllä.



Kuva 15. Maapadon varjoaikutuksen mittaaminen.

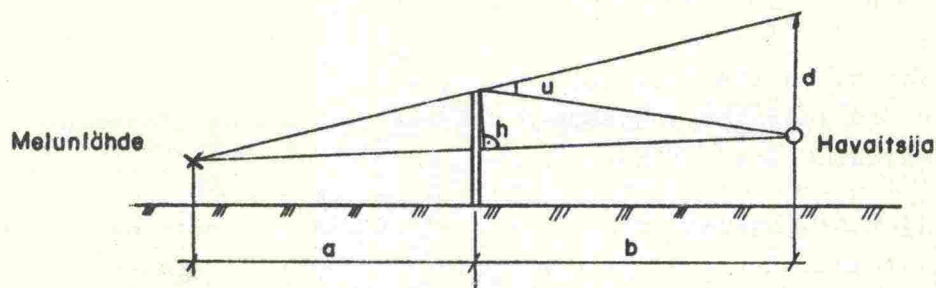
Soranottopaikan ja tien väliin jääneen soraharjanteen tehollinen korkeus eli korkeus tienpinnan ja mikrofoni tasosta oli noin 3 m. Soraharjanteen aiheuttama varjoaikutus määritettiin yksinäisten ajoneuvojen melusta kummankin ajokaistan osalta erikseen. Taulukon 14 lukuarvot perustuvat yhteensä noin 200 kevyttä ja 50 raskasta autoa koskeviin havaintoihin. Tuloksista on vähennetty etäisyysalennemisen vaikutus olettamalla yksinäinen ajoneuvo pistemäiseksi melunlähteeksi.

Taulukko 14. Kuvan 15 esittämän soraharjanteen varjoaikutus (dBA)  
a) lähemmältä kaistalta  
b) kauemmalta kaistalta tulevaan meluun nähden

Ajoneuvotyyppi	Suurin arvo		Pienin arvo		Keskiarvo	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)
Kevyt auto	22	21	7	10	15,7	14,7
Raskas auto	22	21	13	10	16,9	16,4

Havainnot osoittavat, että varjovaikutus on läheltä estettä tulevaan meluun nähden suurempi kuin kauempaa tulevaan ja että este tehoaa paremmin raskaiden autojen meluun. Molemmat tulokset saavat myös vahvistuksen ulkomaisesta kirjallisuudesta. Syy siihen, että eri melut eivät vaimene yhtä hyvin, on melun taajuusjakautumassa. Kun raskaan auton melu on keskimäärin korkeataajuisempaa kuin kevyen auton melu, varjovaikutus on raskaan auton meluun nähden suurempi.

Maapenkereen tai yleensä maanpinnalle pystytetyn jatkuvan meluesteen varjovaikutus riippuu kuvassa 16 esitetyistä suureista.



Kuva 16. Esteen varjovaikutuksen määrittämisessä tarvittavia suureita.

Varjovaikutuksen laskemiseksi tarvitaan etäisyydet  $a$  ja  $b$  sekä tehollinen korkeus  $h$  tai  $a$  ja  $b$  sekä korkeus  $d$  tai  $h$  ja kulma  $u$ . Lisäksi on tiedettävä kyseessä olevan melun aallonpituus.

Useita eri menetelmiä varjovaikutuksen määrittämiseksi esitellään mm. Ingemansson ja Ljunggrenin teoksessa "Bullerproblem vid trafikleder". Esittämättä kyseisiä diagrammeja seuraavassa todetaan, mihin tulokseen eräät menetelmät kuvan 15 esittämässä tapauksessa johtavat edellyttäen, että liikenteen melun aallonpituus  $l$  on 1,7 metriä.

1) Redfearnin mukaan:

a) Melun tullessa lähemmältä kaistalta

Esteen korkeus on yhtä suuri kuin 1,8 l.

$$u \sim \arctan \frac{3}{6,4} + \arctan \frac{3}{17,6} = 25^{\circ} + 9^{\circ} = 34^{\circ}$$

Varjovaikutus on n. 15 dBA

b) Melun tullessa kauemmalta kaistalta varjovaikutus on suunnilleen sama.

2) Auzou ja Lamure:

a) ja b) Varjovaikutus on n. 14 dBA

3) DIN 18005:

a) ja b) Varjovaikutus on n. 14 dBA



## 4) Kirchoffin diffraktioteoria:

a)  $a = 17,6 \text{ m}$

$b = 6,4 \text{ m}$

$d = 4,0 \text{ m}$

$l = 1,7$

$$\begin{aligned} \text{Diffraktioparametri } v &= d \left[ \frac{2a}{b(a+b)} \right]^{0.5} \\ &= 4 \sqrt{0,135} \\ &= 1,47 \end{aligned}$$

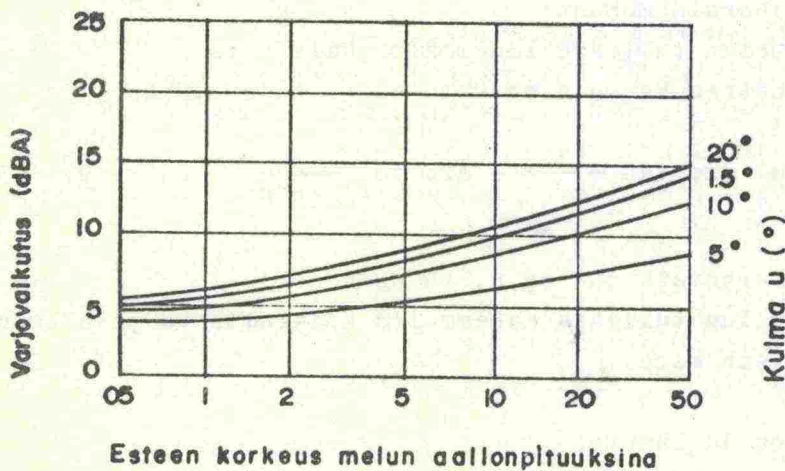
Varjovaikutus on n. 16,5 dBA.

b) Varjovaikutus on hieman pienempi.

Kaikki edellä mainitut laskumenetelmät näyttävät esimerkitapauksessa johtavan jokseenkin mitatun suuruiseen (taulukko 14) varjovaikutukseen.

Ajoradan melua vastaan suojaksi rakennetun maapenkereen, betoni-seinämän tai muun esteen varjovaikutus väylän varrella oleviin asuntoihin nähden on harvoin yhtä suuri kuin edellä tarkastellussa koetilanteessa. Tämä johtuu siitä, että meluesteen tehollinen korkeus ei usein ole kolmeakaan metriä ja että melulta suojattavat asunnot ovat tavallisesti jonkin matkan päässä esteestä. Käytännössä esiintyvät varjovaikutukset ovat yleensä alle 10 dBA, usein vain muutamia desibelejä. Melualueiden pienentämisen kannalta pig-nikin varjovaikutus on kuitenkin merkittävä. Este joka tapauksessa eliminoi meluhiippuja ja muuttaa melun taajuusjakautumaa mataliin taajuuksiin päin eli vähemmän häiritsevään suuntaan.

Käytännössä esiintyvät varjovaikutukset voitaneen useimmiten määrittää kuvassa 17 esitetyn Elvhammarin ja Ingemanssonin kokeisiin perustuvan käyrästä avulla.



Kuva 17. Empiirinen käyrästä esteen varjovai-  
kutuksen määrittämiseksi / Ingemansson  
ja Ljunggren.

#### 4.8 Lisävaimenemiset

Kohdassa 1.4 esitetyn äänentason geometrisen etäisyysalennuksen lisäksi tapahtuvaa ilman kitkasta, kasvillisuuden absorptiosta yms. tapaisista syistä aiheutuvaa äänentason alenemista kutsutaan yleensä lisävaimenemiseksi. Äänentason geometrisen etäisyysalennuksen johtuu äänienergian hajaantumisesta melunlähteen ympäristöön. Lisävaimeneminen sen sijaan merkitsee äänienergian muuttumista muuksi, lähinnä lämpöenergiaksi.

Lisävaimeneminen riippuu sekä äänen etenemistien ominaisuuksista että äänen ominaisuuksista. Korkeat taajuudet vaimenevat nopeammin kuin matalat taajuudet. Eri syistä tapahtuvien vaimenemisten suuruusluokka käy ilmi seuraavasta taulukosta:

Taulukko 15. Lisävaimennus (dBA/km) äänen taajuuden funktiona /ORE/.

Vaimennuksen aiheuttaja	Oktaavikaistan keskitajuus (Hz)								
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ilman absorptio	0,05	0,125	0,3	0,7	1,6	3,8	8,5	20	45
Sumu	6	8	10	13	16	20	25	30	40
Ruoho	5	7	10	14	20	28	40	56	80
Viljapelto, tiheät pensaas	17	25	35	50	70	100	140	200	280
Aluskasvillisuusdeltaan tiheä metsä	35	50	70	100	170	200	280	400	560

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin ainoastaan kasvillisuuden aiheuttamaa lisävaimenemista.

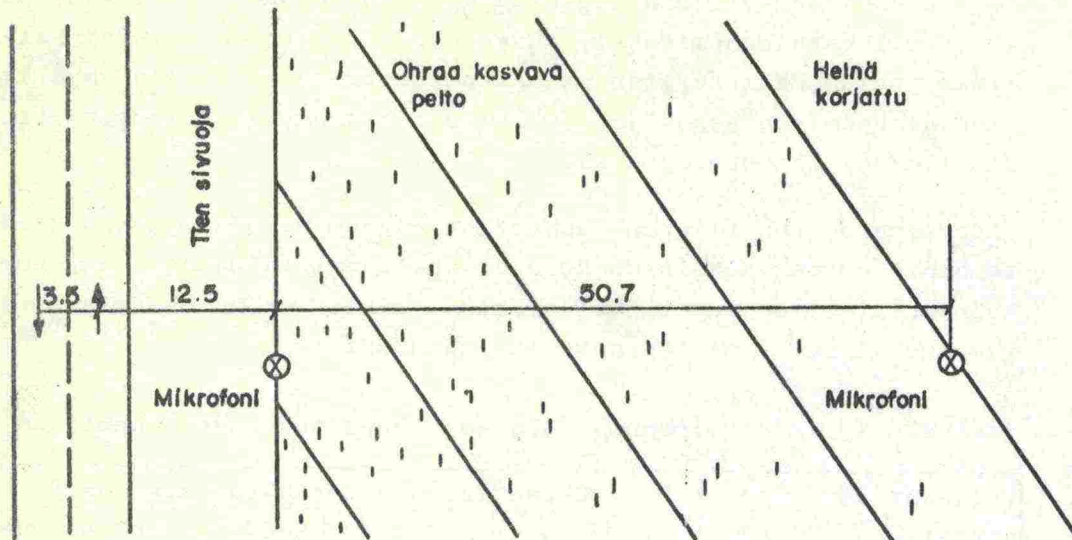
##### a) Pellon aiheuttama vaimeneminen

Viljapellon aiheuttamaa vaimenemista mitattaessa tilanne oli ensimmäisessä mittauksessa kuvan 18 mukainen. Viljankorret olivat noin 60 cm pitkiä. Mikrofonit olivat 50 cm tähkien yläpuolella. Melutasolukemat merkittiin muistiin yksinäisen ajoneuvon sivuuttaessa mittaustaikaa. Havaintopareja kertyi kevyitä autoja koskien 100 kpl ja raskaita autoja koskien 34 kpl. Tulokset on esitetty taulukossa 16:

Taulukko 16. Viljapellon aiheuttama vaimeneminen (dBA) 50 m:n matkalla

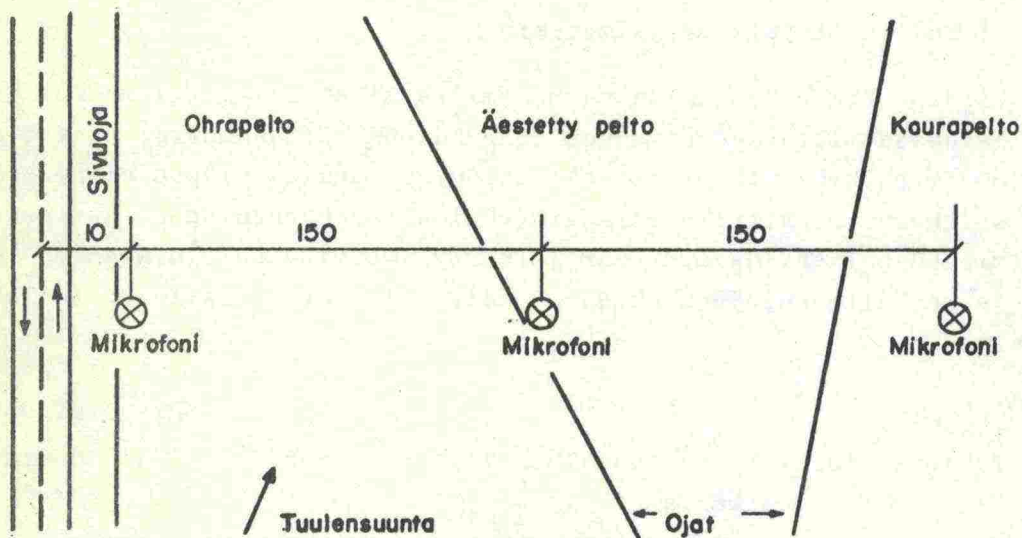
Ajoneuvotyyppi	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	5	-4	1,2
Raskas auto	7	1	3,1





Kuva 18. Viljapellon vaimennuksen mittaaminen (Imittaus)

Toisessa mittauksessa tilanne oli kuvan 19 mukainen. Samojen yksinäisten ajoneuvojen aiheuttamat meluhaiput mitattiin kolmelta eri etäisyydeltä (10, 150 ja 300) samanaikaisesti. Riittävän kaukana toisistaan olevista autoista saatiin havainnot 10 kevyttä ja 8 raskasta autoa. Tulokset on esitetty taulukossa 17.



Kuva 19. Pellon vaimennuksen mittaaminen. (II mittaus)

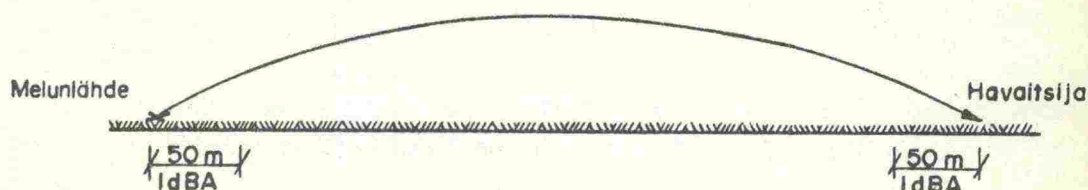
Taulukko 17. Pellon aiheuttama vaimeneminen (II mittaus)

Ajoneuvo- tyyppi	Vaimentava matka (m)	Havaittu vaimeneminen (dBA)		
		Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	150	4	-2	1,9
"	300	5	-1	1,2
Raskas auto	150	7	0	3,8
"	300	7	1	4,8

Taulukkoarvot osoittavat vain ääntason geometrisen alenemisen lisäksi tapahtuneen lisävaimenemisen. Taulukot 16 ja 17 viittaavat siihen, että raskaan auton melu vaimenee enemmän kuin kevyen auton. Syynä on taajuusjakautumien erilaisuus.

Molemmat taulukot yhdessä ja erityisesti taulukko 17 yksinään osoittaa, ettei pellon aiheuttama vaimeneminen ole suoraan verrannollinen äänen kulkemaan matkaan. 150 m vastaavat keskiarvot taulukossa 17 ovat vain vähän suuremmat kuin 50 m vastaavat arvot taulukossa 16 huolimatta vaimennusmatkojen suhteesta 3:1. Kevyiden autojen melu vaimeni taulukon 17 mukaan 300 m matkalla jopa vähemmän kuin 150 m matkalla. Ristiriitaiselta näyttävä tulos on kuitenkin täysin selitettävissä mittaustilanteen ja kuvassa 20 esitetyn äänen taipumisen avulla.

Raskaiden autojen melu vaimeni taulukon 17 mukaan 300 m matkalla enemmän kuin 150 m matkalla, vaikka kevyiden autojen melun osalta tilanne oli päinvastainen. Tämä on mahdollista, kun otetaan huomioon taajuusjakautumien erilaisuus ja ilman vaimennus. Välillä 150 ja 300 m tapahtunut yhden desibelin lisävaimeneminen lienee kokonaan ilman kitkan ansiota.



Kuva 20. Äänen taipuminen ääntä imevän maanpinnan lähelsyydessä /Wadmark/.

Ulkomailla suoritetuissa mittauksissa lisävaimenemisten on todettu vaihtelevan suuresti maan pintaa peittävstä kasvillisuudesta ja mittaustilanteesta riippuen. Taulukossa 18 on erään englantilaisen tutkimuksen tulokset.

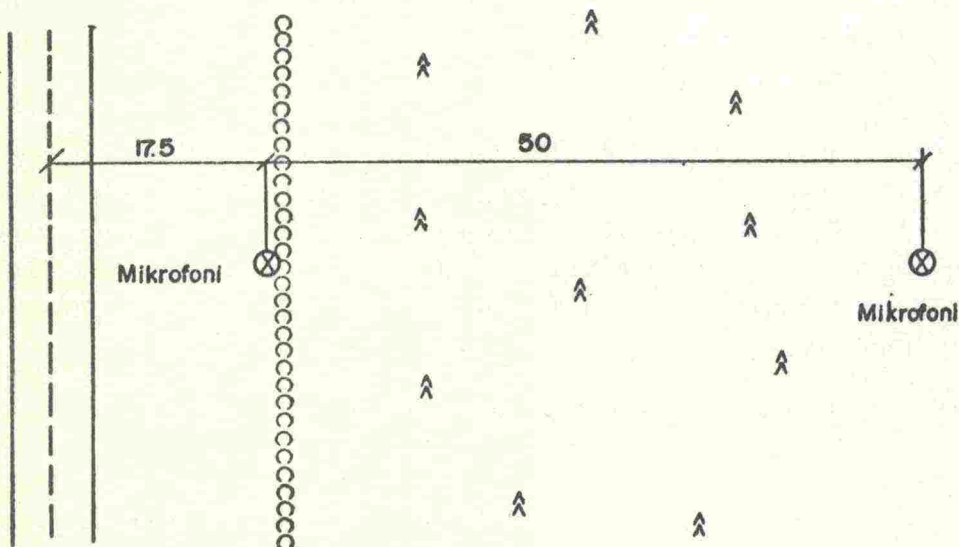


Taulukko 18. Maan absorptioon aiheuttama keskimääräinen lisävaimeneminen (dB/30 m) /Johnson ja Saunders/.

Maanpinnan ominaisuudet	Vaimeneminen
Lyhyt heinä, epätasainen maanpinta	1,0
Hyvin epätasainen maanpinta, 60...90 cm pitkiä heinän tai viljan korsia harvassa	2,0
Paksu aluskasvillisuus; täyskasvuinen tiheä viljapelto	5,0

## b) Metsän aiheuttama vaimeneminen

Mitattaessa metsän vaikutusta moottoriajoneuvojen melun leviämiseen tilanne oli samantapainen kuin pellon vaikutusta mitattaessa. Melunlähteitä lähempänä oleva mikrofoni sijaitsi tieaukean reunassa. Kauempi mikrofoni oli harvahkossa kuusimetsässä 50 m päässä edellisestä. Kummankin mikrofoniin korkeus maanpinnasta oli noin 1,5 m ja samalla ne sijaitsivat suunnilleen tienpinnan tasossa (kuva 21). Havaintopareja merkittiin muistiin kevyitä autoja koskien 87 kpl ja raskaita autoja koskien 17 kpl. Kokeessa havaittu lisävaimeneminen käy selville taulukosta 19.



Kuva 21. Metsän vaimennuksen mittaaminen

Taulukko 19. Metsän aiheuttama vaimeneminen (dBA) 50 m matkalla

Ajoneuvotyyppi	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	8	-2	1.9
Raskas auto	7	1	4.3

Tässäkin kokeessa raskaiden autojen melu vaimeni enemmän kuin kevyiden.

Jos taulukon 19 arvoja verrataan taulukoiden 16 ja 17 arvoihin, on todettava, ettei metsän vaimennus näytä olevan paljon suurempi

kuin pellonkaan. Varmaa kuitenkin on, että metsän aiheuttama vaimeneminen vaihtelee tapauksesta riippuen vielä enemmän kuin pellon. Tuuhea metsä saattaa olla erittäin tehokas este äänen etenemisen tiellä. Toisaalta pelkät puunrungot eivät mittaustarkkuuden puitteissa lainkaan vaikuta äänen etenemiseen.

Ulkomailla mitatut metsän aiheuttamat lisävaimenemiset vaihtelevat jokseenkin nolhasta suunnilleen kahteenkymmeneen desibeliin sataa metriä kohti riippuen äänen taajuudesta ja metsän laadusta. Esimerkkinä metsän laadun vaikutuksesta olkoon taulukko 20.

Taulukko 20. Metsän aiheuttama lisävaimeneminen (dB/90 m) äänen taajuuden ollessa 400...800 Hz /Meister ja Ruhrberg/.

Metsän laatu	Vaimeneminen
Mäntymetsä	8...11
Kuusimetsä	7,5
Tiheä lehtimetsä	13
Harva lehtimetsä	4

#### 4.9 Melun heijastumisen merkitys

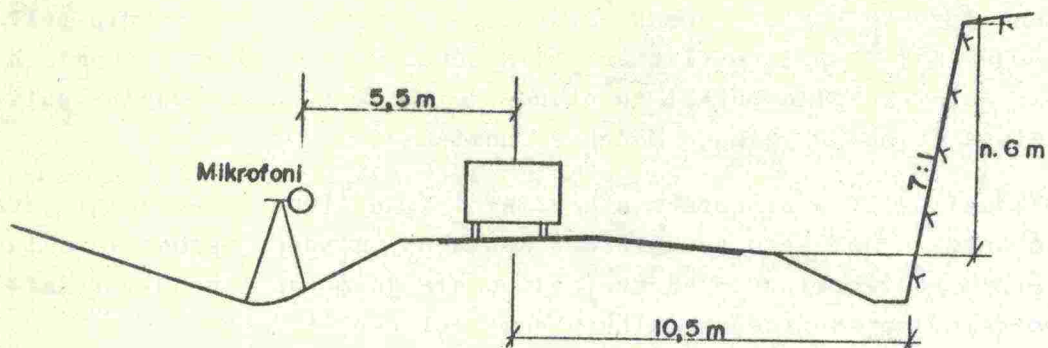
Kun ääni kohtaa mitoiltaan riittävän suuren, kovapintaisen esteen, tapahtuu äänen heijastumista. Heijastumisen äänentaso nostava vaikutus voidaan todeta mittaamalla äänenpaine samalla puolen estettä kuin mistä ääni tulee.

Teoreettisesti ajatellen tasomaisen ääniaaltorintaman heijastuminen täysin ääntä imeättömästä tasopinnasta nostaa äänentaso kolme desibeliä. Todellisuudessa kuitenkin melu ei yleensä esiinny tasoaaltona vaan esim. palloaaltona tai sylinteriaaltona. Lisäksi todelliset kahden aineen rajapinnat ovat yleensä jonkin verran ääntä imeviä. Näin ollen yhden tasopinnasta tapahtuvan heijastumisen vaikutus jäänee alle kolmen desibelin. Mutta mikäli tilanne on sellainen, että sama ääni voi heijastua kahden esteen välillä useita kertoja edestakaisin, äänentaso saattaa nousta kymmenenkin desibeliä. Tällainen tilanne esiintyy liikenneväylän sijaitessa kahden samansuuntaisen lähellä toisiaan olevan yhtenäisen rakennusrivin välissä. Myös tien leikkausluiskat, varsinkin jos kyseessä on kalliroleikkaus, sekä tukimuurit voivat aiheuttaa heijastumista.

Kesällä 1971 kalliroleikkauksen ääntäheijastava vaikutus pyrittiin toteamaan tilanteen ollessa kuvan 22 mukainen.

Toinen mittaus samojen ajoneuvojen melua koskien suoritettiin tien varressa vähän matkan päässä kalliroleikkauksesta kohdassa, jossa äänen leviäminen molemmin puolin tietä oli esteetön. Em. koejärjestelyn avulla todettu kalliroleikkauksen vaikutus 29 kevyen auton ja 9 raskaan auton meluun esitetään taulukossa 21.





Kuva 22. Yksinäisen ajoneuvon aiheuttaman meluhuipun mittaaminen kalliroleikkauksen kohdalla.

Taulukko 21. Yksinäisen auton kalliroleikkauksen kohdalla ja avoimella paikalla aiheuttamien meluhuippujen erotus (dBA).

Ajoneuvotyyppi	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	2	-3	-0,3
Raskas auto	3	-2	+0,9

Kalliroleikkauksella ei koetilanteessa ollut käytännöllisesti katsoen mitään vaikutusta. Jos mikrofoni olisi ollut niin ylhäällä että geometrisen heijastumisen edellytys "tulokulma ja heijastuskulma yhtä suuret" olisi ollut täytetty, kallion vaikutus olisi luultavasti havaittu. Mutta tällöinkin äänen heijastuminen olisi lisännyt melutasoa enintään kolmella desibelillä.

#### 4.10 Terässillan vaikutus

##### a) Sillan rakenneratkaisun vaikutus

Liikenne aiheuttaa ilmaäänien ohella myös tärinää. Tärinä puolestaan voi synnyttää ilmiötä. Tällainen ilmiö esiintyy erityisesti terässilltojen yhteydessä. Liikenteen aiheuttama melutaso on sivuilta avoimen sillan kohdalla mitattuna korkeampi kuin penkereellä olevan tieosuuden kohdalla yhtä kaukana ajoradasta. Melutason korkeus riippuu sillan rakenteellisista ratkaisuksista, staattisesta toimintatavasta ja siitä, onko meluntorjuntaan erityisesti kiinnitetty huomiota.

Sillan vaikutukseen lienee tähän mennessä kiinnitetty vakavaa huomiota lähinnä rautatiesilltojen yhteydessä. Kansainvälinen rautatieliitto on todennut, että sillalla kulkeva juna aiheuttaa useissa tapauksissa merkittävästi voimakkaamman meluhuipun kuin maanvaraisella raiteella kulkeva juna. 25 m etäisyydellä sillan vieressä mitatun meluhuipun ja 25 m päässä maanvaraisen raiteen keskilinjasta 1,6 m korkeudella maasta mitatun meluhuipun erotus vaihtelee siltatyyppistä riippuen taulukossa 22 esitetyllä tavalla.



Taulukko 22. Mitattuja arvoja koskien erilaisten siltöjen vaikutusta junan aiheuttaman meluhuipun voimakkuuteen /ORE/.

Siltatyyppi	dBÄ
1. Esijännitetty teräsbetoninen laattasilta, jonka päällä raiteen tukikerros (sora- tai sepelipatja)	-3,5 -1
2. Esijännitetty teräsbetoninen laattasilta ilman erityistä raiteen tukikerrosta (kiskot tukeutuvat välittömästi laattaan)	+5,5
3. Ortotrooppinen teräslevyrakenteinen laatikkopalkki-silta, jonka päällä raiteen tukikerros	+0 +2,5 +6,5
4. Ortotrooppinen teräslevyrakenteinen laatikkopalkki-silta ilman erityistä raiteen tukikerrosta	+8,5 +17
5. Yhtenäinen teräslaatta ilman erityistä raiteen tukikerrosta	+8 +10

Tuloksia ei voitane suoraan yleistää koskemaan myös tiesiltoja. Taulukko 22 kuitenkin vahvistaa käsitystä, jonka mukaan terässilta yleensä lisää liikenteen melua enemmän kuin betonisilta.

Kesällä 1971 teräsrakenteisen tiesillan vaikutus liikenteen meluun pyrittiin toteamaan Sääksmäen riippusillalla. Tarkoitus oli tutkia sillan vaikutusta sekä sillalta että sillan sivulta käsin.

Toisen melumittarin ollessa sillan jalkakäytävällä noin 1,2 korkeudella päällysteen pinnasta toisella mitattiin melua samalta korkeudelta maanpinnasta lukien ajoradan vieressä penkereellä vähän matkan päässä sillasta. Koska tiessä näytti olevan hieman pituuskaltevuutta siten, että sillan keskikohta oli korkeammalla, melumittaukset suoritettiin kumpaakin ajosuuntaa koskien erikseen. Samaa mittausetäisyyttä vastaviksi muutetut tulokset esitetään taulukossa 23.

Taulukko 23. Yksinäisen auton sillalla ja penkereellä aiheuttamien meluhuippujen erotus (dBÄ) kumpaakin ajosuuntaa koskien erikseen sekä havaintojen lukumäärä n.

Ajoneuvotyyppi	n	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kevyt auto	60(52)	5 (4)	-5 (-2)	-0,4 (+0,9)
Raskas auto	17(18)	6 (6)	0 (-3)	+1,3 (+0,5)

Sillan melua lisäävä vaikutus näyttää mittaustilanteessa olleen jokseenkin mitätön. Sillan ulkopuolelta mitattaessa vaikutus olisi todennäköisesti ollut selvästi havaittavissa. Poikkeuksellisen kovan tuulen vuoksi mittaus kuitenkin jäi sillä kertaa suorittamatta.

#### b) Liikuntasauaman peitelevyn vaikutus

Sääksmäen sillan Tampereen puoleisessa päässä todettiin ajorataa vastaan kohtisuorassa olevan peitelevyn kolahtavan melkoisesti joka kerran, kun auton pyörät ylittivät sen. Kolahduksien äänentaso todettiin 5 m päässä melunlähteestä melumittarilla kuvassa 3 esitettyjä painottavia suodattimia käyttäen.



Taulukko 24. Sääksmäen sillan liikuntasauaman peitelevyn kolahdus sil-  
lalta kúsin A-, B- ja D-suodatinta käyttäen mitattuna  
sekä havaintojen lukumäärä (n)

	Kevyt auto	Raskas auto
Maksimi dBA	97	98
dB	98	100
dB	102	107
Minimi dBA	88	97
dB	87	96
dB	97	105
KeskiarvodBA	92,5 (17)	97,7 (3)
dB	93,5 (8)	98 (2)
dB	98,9 (8)	106 (2)

Eri suodattimia käyttäen saatujen lukemien väliset erot ovat siinä määrin pienet, että kolahdus on syytä olettaa korkeataajuiseksi. Samaa ajatusta tukevat myös kuulohavainnot. Korkeataajuinen ja taajuuskaistaltaan kapea melu taas on tunnetusti häiritsevää. Vielä 100 m päässä peitelevyistä raskaan auton aiheuttama meluhuippu on noin 70 dBA. Jos paikalla on asuinrakennus, sisällä havaitaan noin 45 dBA:n melutaso ikkunoiden kiinni ollessa. Sääksmäen sillan ympäristössä kolahdukset eivät aiheuttane merkittävää haittaa. Jos sama melu esiintyisi jonkin taajamassa sijaitsevan risteyssillan yhteydessä, asiaan olisi syytä kiinnittää vakavaa huomiota.

#### 4.11 Raskaan ja kevyen auton melujen ero

Viimeisenä, muttei vähiten tärkeänä seikkana liikenteen melussa huomioon otettavista tekijöistä tulokoon vielä mainituksi raskaiden ja kevyiden ajoneuvojen aiheuttamien melujen välinen ero.

Kuten jo aikaisemmin on todettu, moottoripyörien sekä raskaiden autojen dominoiva melunlähde on yleensä moottori apulaitteineen. Kevyillä autoilla taas renkaan ja tienpinnan välisestä kosketuksesta syntyvät äänet ovat tasaisessa ajossa likimain yhtä voimakkaat kuin moottorin äänet. Jos henkilöautolla ajettaessa vaihde siirretään va-  
paalle ja moottori sammutetaan, melutaso alenee vain 1...5 dBA.

Raskaan ja kevyen auton aiheuttamien melujen erosta voidaan kuvien 9, 10 ja 11 perusteella todeta seuraavaa:

Kuivalla kesäkelillä raskas auto aiheuttaa vaakasuoralla tiellä keskimäärin noin 5...10 dBA voimakkaamman meluhuipun kuin samalla nopeudella ajava kevyt auto. Nousussa ero voi olla suurempikin. Laskussa ero näyttää olevan noin 6...8 dBA.



Tien ollessa märkä erö lienee samaa suuruusluokkaa. Mittauksia ei kuitenkaan märällä kesäkelillä suoritettu. Sen sijaan kevhällä, kun kevyissä autoissa oli nastarenkaat ja tienpinta oli märkä, raskaan ja samalla nopeudella ajavan kevyen auton aiheuttamien meluhuippujen ero näytti olevan pienimmillään ja suuruudeltaan 4 dBA.

Edellä mainittujen lukujen perusteella raskas auto vastaa melun kannalta keskimäärin vähintään 2,5 samalla nopeudella ajavaa kevyttä autoa. Kuivalla kesäkelillä ero on kuitenkin yleensä huomattavasti suurempi. Laskussa raskas auto vastaa noin 4...6 kevyttä autoa. Tasaisella kerroin on todennäköisesti hieman suurempi, kuitenkin yleensä enintään kymmenen. Nousussa sen sijaan raskaan auton melu saattaa vastata useiden kymmenien henkilöautojen melua. Jos yksinäisen auton aiheuttaman meluhuipun asemasta tarkastellaan vaikutusta Q-arvoon ottaen autojen todelliset nopeudet huomioon, on todettava, että pitkässä jyrkässä nousussa hitaasti liikkuva raskas auto saattaa aiheuttaa liikenteen melua yhtä paljon kuin sata kevyttä autoa.

Ajoradan ja ajokelin muutokset vaikuttavat raskaan auton meluun vähemmän kuin kevyen auton meluun. Syynä on ero dominoivassa melunlähteessä.

Kuten lisävaimenemisiä tarkastellaan kävi ilmi, raskaan auton melu on oleellisesti korkeataajuisempaa kuin kevyen auton melu. Tällä on tietty vaikutus melun käyttäytymiseen kaikenlaisten esteiden yhteydessä. Erot taajuusjakautumissa myös vaikeuttavat eri ajoneuvojen melujen vertaamista melun häiritsevyyttä arvioitaessa.

#### 4.12 Yhteenveto liikenteen meluun vaikuttavista tekijöistä

Liikenteen melu syntyy monen tekijän yhteisvaikutuksena. Kaikkia tekijöitä ei ole toistaiseksi selvitetty. Käsitykset tiedossa olevien tekijöiden vaikutuksesta vaihtelevat paitsi suoritettujen tutkimusten vähäisestä määrästä johtuen, myös siitä syystä, ettei eri tekijöiden vaikutuksia aina pystytä erottamaan toisistaan.

Muistisäännöksi kelpaavana karkeana yhteenvetona liikenteen meluun vaikuttavista tekijöistä voidaan esittää seuraava luettelo /Burt/.

10 dBA:n ero melutasossa ilmenee seuraavissa tapauksissa:

- 1) Verrattaessa keskenään melutasoa, jonka tietyissä olosuhteissa ajavien bensiinikäyttöisten henkilöautojen aiheuttamista meluhuippuista keskimäärin joka kymmenes ylittää ja melutasoa, jonka vastavasti joka kymmenes alittaa.

Yhtä suuret ajoneuvokohtaiset erot havaitaan verrattaessa dieselkäyttöisiä raskaita autoja keskenään tai moottoripyöriä keskenään,



- 2) verrattaessa dieselkäyttöisen raskaan auton aiheuttamaa keskimääräistä meluhuippua ja bensiinikäyttöisen kevyen auton aiheuttamaa keskimääräiseen meluhuippuun,
- 3) tasaisen ajonopeuden kaksinkertaistumisen vaikutuksena,
- 4) kiihdytyksen tai nousun vaikutuksena silloin, kun nopeudet ovat pienehköjä,
- 5) liikennemäärän kymmenkertaistumisen vaikutuksena silloin kun liikennemäärä on suuri,  
liikennemäärän kolminkertaistumisen vaikutuksena silloin, kun liikennemäärä on pieni,
- 6) tarkasteluetaisyyden kolminkertaistumisen vaikutuksena, kun kyseessä on melutaso  $L_{10}$ , joka ylitetään 10 % ajasta,  
etaisyyden kymmenkertaistumisen vaikutuksena, kun kyseessä on melutaso  $L_{90}$ , joka ylitetään 90 % ajasta,
- 7) 3 m korkean meluesteen varjovaikutuksena,
- 8) 50 m syvän havupuuvyöhykkeen aiheuttamana lisävaimenemisena,
- 9) kulutuskerroksen rakenteessa tapahtuvan suuren muutoksen vaikutuksena.

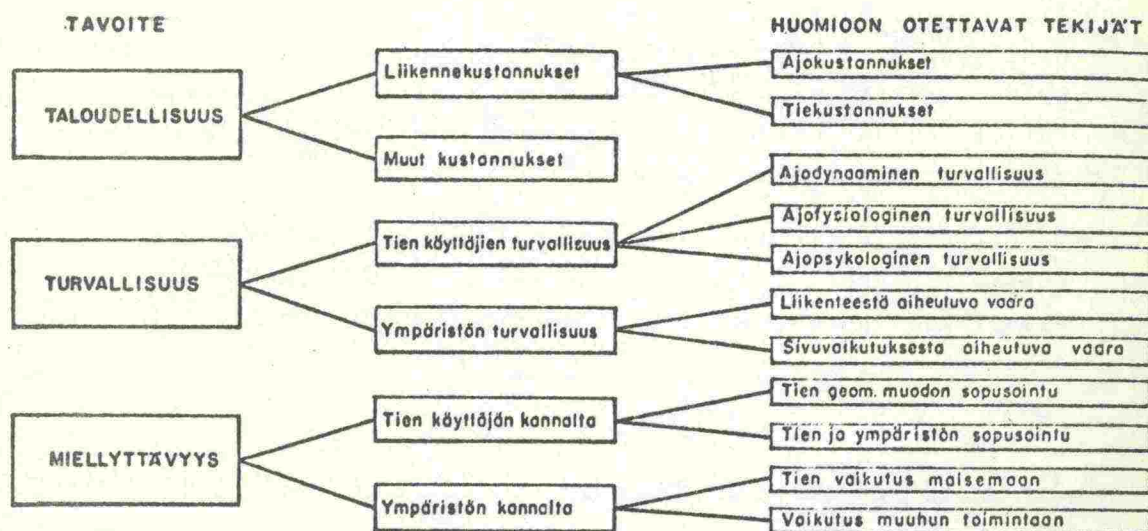
Edellä olevan luettelon suhteen on kuitenkin lisäksi muistettava, että tarkasteluetaisyyden suuruudella on useissa tapauksissa ratkaiseva vaikutus. Näin ollen kohdat 5)...8) pitävät paikkansa vain tietyillä edellytyksillä.

## 5. Liikenteen melun huomioon ottaminen liikenne- ja tiesuunnittelussa

### 5.1 Meluttomuus suunnittelun tavoitteena

Pääperiaatteena liikenteen suunnittelussa ja hoidossa sekä tiesuunnittelussa voidaan pitää pyrkimystä mahdollistaa ihmisten ja tavarain kuljetus paikasta toiseen mahdollisimman vähin kustannuksin. Kustannuksiksi on katsottava ei ainoastaan tiekustannukset ja liikennekustannukset vaan myös ympäristölle aiheutuvat haitat, kuten melu, ilman saastuminen jne. /Burt/.

Tie- ja vesirakennushallituksen julkaisussa "Suuntauksen suunnittelu, normiehdotuksen perusteet", vuodelta 1971, tien suunnittelun tavoitteet määritellään kuvassa 23 esitetyllä tavalla. Ympäristön turvallisuuden katsotaan riippuvan siitä, missä määrin ympäristölle aiheutuu vaaraa joko tiellä liikkuvista ajoneuvoista tai liikenteestä aiheutuvista sivuvaikutuksista. Tällaisina vaikutuksina mainitaan melu ja ilman saastuminen.



Kuva 23. Tien suunnittelun tavoitteet

Eri taholla esiin tuodut liikennesuunnittelun tavoitteiden määritelmät ovat erillaisia, mutta niillä on kuitenkin yhteisiä piirteitä: Yleensä pyritään taloudellisiin ratkaisuihin unohtamatta liikenteessä mukana olevien turvallisuutta sekä liikenteen aiheuttamia ympäristöhaittoja.

Suunnittelun tavoitteet tukevat osaksi toisiaan. Useissa tapauksissa voidaan osoittaa, että esim. pyrkimys meluttomuuteen edellyttää samoja suunnitteluperiaatteita kuin liikenneturvallisuuden tavoite. Meluntorjunnan ei myöskään tarvitse aina merkitä lisäkustannuksia suunnitelmia toteutettaessa. Mutta toisaalta voidaan todeta eräitä esim. liikenneturvallisuuden ja meluttomuuden osalta ristiriitaisia



seikkoja. Tällainen on mm. ajoneuvon renkaan ja tienpinnan välinen kitka. Riittävä kitka on liikenneturvallisuuden perusedellytyksiä. Meluntorjunnan kannalta sen sijaan sileät renkaat ja sileät päällysteet olisivat edullisimpia.

### 5.2 Liikenteen melun huomioonottaminen suunnitteluprosessissa

Liikennesuunnittelu on yhdyskuntasuunnittelun eräs osa-alue. Toinen tärkeä osa-alue on maankäytön suunnittelu. Näitä kahta osaa ei voitane yleensäkään täysin erottaa, mutta erityisesti liikenteen melun kysessä ollen on selvää, että meluntorjunta liittyy sekä liikennesuunnitteluun että maankäytön suunnitteluun.

Ihmisten liikennetarpeet on otettava maankäyttöä suunniteltaessa huomioon varaamalla riittävät liikenne- ja melualueet. Tämän lisäksi melu joudutaan usein ottamaan huomioon vielä melualueiden ulkopuolisesakin maankäytössä.

Liikenteen melu olisi yhdyskuntasuunnittelussa otettava huomioon valtakunnan suunnittelun tasolla ja kaikilla sitä alemmilla tasoilla aina asuntojen pohjaratkaisuihin ja rakenteiden mitoittamiseen saakka. Erityisesti liikennesuunnittelun ja väylien suunnittelun osalta melu tulisi ottaa huomioon tieverkkosuunnittelussa ja kaikissa sitä seuraavissa tiesuunnittelun vaiheissa kulutuskerroksen valinta mukaan lukien.

Seuraavassa pyritään esittämään joitain näkökohtia suunnittelun kuudessa tapahtuvien valintojen merkityksestä meluttomuuden kannalta. Suositukset perustuvat suurelta osin luvussa 4 esitettyihin tutkimustuloksiin.

### 5.3 Liikenteen melun huomioon ottaminen liikenneväyliä sijoitettaessa

Meluntorjunnan edistämiseksi maankäytön suunnittelulla on syytä pyrkiä siihen, että ulkopuolista melua aiheuttavat toiminnot keskitetään ja erotetaan melua huonosti sietävistä toiminnoista. Liikenneväylien sijoittamiseen sovellettuna tämä sääntö merkitsee mm. seuraavaa:

- Uudet, suuret liikenneväylät on johdettava mieluummin teollisuus- kuin asuntoalueiden halki. Asumisen ohella huonosti melua sietävänä toimintoina on pidettävä mm. ulkoilua, opetustoimintaa ja sairaalapalveluja. Monet kaupalliset palvelut sen sijaan ovat vähemmän melunarkoja ja voivat niin ollen sijaita liikenneväylien varrella.
- Liikenneväylien keskinäisessä sijainnissa on syytä pyrkiä joko siihen, että väylät ovat niin lähellä toisiaan, että niiden melualueet yhtyvät tai siihen että väylien väliin jää huomattavan laajat hiljaiset alueet. Jos esim. maantiellä ja rautatiellä on sama suunta, meluntorjunnan kannalta edullinen ratkaisu on tien ja radan sijoittaminen aivan vierekkäin. Vastaavasti jos ajatellaan moottoritien korvaamista kahdella erillisellä yksisuuntaisella tiellä, on todettava,



ettei ajoratojen sijoittaminen täysin erilleen toisistaan ole melualueen suuren leveyden vuoksi hyvä ratkaisu. Jos välitettävä liikennemäärä on sama, kaksi erillistä väylää vaatii yhteensä suuremman melualueen kuin yksi kaksiajoratainen väylä.

#### 5.4 Liikenteen erottelun hyväksikäyttö

##### a) Moottoriajoneuvoliikenteen erottelu

Meluisuuslukuja tarkasteltaessa todettiin, että niistä useimmat antavat suuren painon melutason vaihteluille. Jos melutason keskiarvo pysyy samana, häiritsevyys kasvaa hajonnan kasvaessa. Näin ollen liikennesuunnittelulla on pyrittävä pienentämään paitsi liikenteen melun keskimääräistä voimakkuutta erityisesti myös melutason hajontaa.

Koska jokainen tarkastelukohdan sivuuttava moottoriajoneuvo aiheuttaa oman meluhuippunsa, liikenteen aiheuttaman melutason hajonta ei voi olla nolla. Mutta se, että hajonta useinkin on varsin suuri, johtuu suurelta osin ajoneuvolajien moninaisuudesta ja nopeuksien vaihtelusta. Kuten luvusta 4 käy ilmi, raskas auto on lähes 10 dBA voimakkaampi melunlähde kuin kevyt auto. Nopeuden vaikutus taas on sellainen, että nopeudella 100 km/h aiheutettu meluhuippu on lähes 10 dBA voimakkaampi kuin nopeuden ollessa 50 km/h. Kun vielä otetaan huomioon, että äänentason määrittelytavan perusteella voimakkaimmat meluhiiput saavat keskimääräisessä melutasossa suuremman painon kuin hiljaisemmat hiiput, on selvää, että pyrkiminen homogeeniseen liikennevirtaan on meluntorjunnan kannalta ensiarvoisen tärkeä tavoite. On kuitenkin muistettava, ettei homogeenisuus merkitse melua ajatellen ainoastaan yhtä suuria nopeuksia vaan myös samantyyppisiä ajoneuvoja ja keskenään yhtä suuria ajoneuvoetäisyyksiä.

Moottoriteilläkin liikennevirta koostuu eri tyyppisistä ajoneuvoista. Jos ajo-olosuhteet ovat vapaat, henkilöautojen aiheuttamat meluhiiput ovat suuren nopeuden vuoksi voimakkaita. Raskailla autoilla sen sijaan on omat ajoneuvokohtaiset nopeusrajoituksensa myös moottoriteillä. Näin ollen ero kevyen ja raskaan auton melujen välillä pienenee. Liikenteen melun torjuntaa ajatellen vielä parempi tilanne voisi olla se, että raskailla autoilla olisi omat väylänsä ja kevyillä omansa. Tällaiseen järjestelyyn ei kuitenkaan liene mahdollisuutta, mutta taajamissa se voinee tulla kysymykseen.

##### b) Jalankulku- ja polkupyöräliikenteen erottaminen muusta liikenteestä

Jotta vältettäisiin jalankulkijain ja polkupyöräilijäin joutuminen konfliktitilanteisiin moottoriajoneuvoliikenteen kanssa, maankäytön ja liikennesuunnittelulla pyritään kokonaan erottamaan jalankulku- ja polkupyörävirrat muusta liikenteestä. Erottelu voi tapahtua järjestämällä erilliset kulkuväylät tai mahdollisesti kaksitasoratkaisuun sekä



ristellykohdissa liikennevaloin, ellei muuta mahdollisuutta ole käytettävissä.

Liikenteen melua voidaan pitää jalankulkijain ja moottoriajoneuvoliikenteen välisen konfliktin eräänä ilmentymänä. Kun henkilöautojenkin aiheuttamat meluhuiput ovat yleensä vähintään 70 dBA, on selvää, että jalankulkijat kokevat ajoradan vieressä kulkemisen epämiellyttäväksi. Liikenteen melu tuntuu häiritsevältä ja erityisesti, jos liikennemäärä on suuri, melu vaikeuttaa kulkemisen aikana keskustelua.

Jalankulun ja polkupyöräilyn miellyttävyyttä ajatellen liikenteen erottelu olisi toteutettava järjestämällä moottoriajoneuvoliikenteen väylistä erilliset kulkutiet jalankulkijoita ja polkupyöräilijöitä varten.

### 5.5 Tien sovittamisessa maastoon huomioon otettavia näkökohtia

Yleensä tietä maastoon sovitettaessa suunnitteluperusteina ovat teknillistäaloudellinen edullisuus, maankäyttötaloudelliset näkökohdat sekä ympäristön suojelulliset näkökohdat. Liikenteen melun huomioon ottaminen ei luonnollisestikaan oikeuta unohtamaan mainittuja seikkoja, mutta asettaa eräissä tapauksissa tiesuunnittelulle lisäehtoja. Tie on sijoitettava maastoon siten, että tien ja asutuksen tai muun melunkohteen väliin jää riittävä suojavyöhyke, jota tässä tutkimuksessa kutsutaan melualueeksi.

Tien sijoituessa lähelle asutusta maastossa olevia kiinteitä esteitä on käytettävä hyväksi siten, että niiden varjovaikutus suojaa asutusta liikenteen melulta. Esteinä tulevat kysymykseen maaston korkeat kohdat: mäet, kumpareet, harjut ja harjanteet.

Ellei muita luonnollisia esteitä ole, on kuitenkin syytä käyttää hyväksi kasvillisuuden ääntä vaimentava vaikutus. Onnistumisen ehtona on, että kasvit peittävät melunlähteen ja -kohteen välisen suoran näkyvyyden. Lisäksi on huomattava, että kasvillisuuden on oltava tuuheaa. Näin ollen lehtipuut ja pensaat eivät talvella vaimenna ääntä.

Kun luonnon välittömästi tarjoamat meluntorjuntakeinot eivät riitä, eräänä mahdollisuutena on harkittava tien sijoittamista asutuksen kohdalla leikkaukseen. Maanarvon huomioon ottaen tämä lienee taajamissa usein taloudellinenkin ratkaisu. Jos maasto on siinä määrin pienenpiirteistä, ettei tien tasausviiva voi noudattaa maanpinnan muotoja, vaan ajorata tulee välillä maanpintaan tai penkereelle, leikkauksista saaduista massoista voidaan rakentaa maapenkereet tien molemmin puolin niihin kohtiin, joissa leikkausta ei ole.

Maaleikkauksen aikaansaama varjovaikutus voidaan määrittää samalla tavoin kuin muunkin kiinteän esteen varjovaikutus, esim. kuvan 17 avulla. Samanaikaisesti varjovaikutuksen kanssa voidaan käyttää hyväksi myös kasvillisuuden vaimentavaa vaikutusta istuttamalla normaalikaltevuudessa oleviin maaleikkauksen luiskiini esim. pensaita. Jos taas



leikkausluiskat ovat tilanahtauden vuoksi pystysuorat ja tukimuurin varassa, huomio on kiinnitettävä mahdollisten edestakaisten heijastusten eliminoimiseen. Saksassa on kokciltu hyvällä menestyksellä seinämän rakentamista tien puoleiselta taholtaan avoimista betonisärmöistä, jotka on täytetty ääntäimevällä mineraalivillalla.

#### 5.6 Tien geometrisessa suunnittelussa huomioon otettavia näkökohtia

Liikenteen melua ajatellen tien geometrisen muodon kolmesta päämitoitustekijästä tärkein lienee tasausviiva. Poikkileikkauksella sekä tielinjalla on liikenteestä syntyvän melun määrään vähemmän vaikutusta.

Koko geometrisen suunnittelun vaikutus liikenteen meluun liittyy läheisesti ajonopeuden merkitykseen. Tien geometrisen muodon on oltava sellainen, ettei se aiheuta tarvetta voimakkaisiin nopeuden muutoksiin eikä houkuttele tarpeettoman suuriin nopeuksiin. Näin ollen mitoitussnopeudella ja tien geometrian tasaisuudella on merkitystä myös liikenteen melun torjunnassa.

Tielinjalla on melua lisäävä vaikutus siinä tapauksessa, että kaarteisiin tultaessa joudutaan voimakkaasti jarruttamaan ja kaarteiden jälkeen taas kiihdyttämään tai että kaarteissa helposti joudutaan sivuluisuun. Yleensä geometrialla kuitenkin lienee vaikutusta meluun lähinnä vain liittymien yhteydessä.

Hyvin pitkillä ja jyrkillä nousuilla on selvästi liikenteen melua lisäävä vaikutus. Mutta kuten kohdassa 4.5 kävi ilmi, vaikutus ilmenee lähinnä vain raskaiden autojen melussa. Henkilöautojen aiheuttama melutaso saattaa nousussa jopa alentua.

Pohjoismaisen rakennusmääräyskomitean (NKB) melutyöryhmä suosittelee nousun vaikutuksen huomioonottamiseksi laskutapaa, jonka mukaan raskaiden autojen määrää painotetaan kääntäen verrannollisena nousun vaikutuksesta alentuneeseen ajonopeuteen. Vaakasuoralla tiellä nopeuden oletetaan olevan 65 km/h. Esim. kahden prosentin nousussa nopeuden ajatellaan alenevan tasaisesti pituusyksikköä kohti siten, että 1800 m päässä nousun alusta saavutetaan vakionopeus 35 km/h. Viiden prosentin nousussa taas hidastumismatkaksi oletetaan 600 m ja loppunopeudeksi 17 km/h. Menetelmän periaate voidaan itse asiassa tulkita siten, että raskaan auton oletetaan nousun jyrkkyydestä riippumatta aiheuttavan vakiotasaisen meluhuipun, joka on yhtä voimakas kuin vaakasuoralla tiellä nopeuden ollessa 65 km/h, mutta huipun kestoajan kasvavan kääntäen verrannollisena todelliseen ajonopeuteen, jolloin melun Q-arvo kasvaa.

Pituuskaltevuuden merkityksen yhteydessä on taajamien osalta tärkeinä yksityiskohtina syytä mainita liittymien ja linja-autopysäkkien sijoitus. Liittymien kohdalla ajoradan pituuskaltevuudelle suositellaan pienehköjä arvoja mm. mahdollisen talviliukkauden haittojen välttämiseksi. Myös melun vuoksi jyrkässä nousussa oleva liittymä on haitallinen. Mutta yhtä vakava huomio tulisi kohdistaa linja-autopysäkkien



kohdalla sallittavaan pituuskaltevuuteen. Jotta pysäkiltä lähtevien autojen aiheuttamien meluhuippujen tasoa ja kestoaikaa voitaisiin pienentää, pituuskaltevuuksien enimmäisarvot olisi määrättävä vielä pienemmiksi kuin mitä esim. liukkaiden vaara edellyttää.

### 5.7 Rakennettavien melusteiden hyväksikäyttö

Kiinteälle melusteelle asetettavia vaatimuksia ovat

- 1) riittävän suuret mitat äänen kulkua vastaan kohtisuorissa suunnissa
- 2) kohtalainen ilmatiiveys tai riittävä kitka ilman läpikulkua ajatellen
- 3) riittävä lujuus omaa painoa, tuulikuormaa ja mahdollista lumi-kuormaa vastaan
- 4) sijainnin ja rakenteen hyväksyttävyys tienpitäjän kannalta
- 5) esteettinen ja muu hyväksyttävyys tienkäyttäjän kannalta
- 6) esteettinen ja muu hyväksyttävyys tien varrella asuvan ja yleensä ympäristön kannalta.

Kuten aikaisemmin on todettu, ääni kiertää myös esteiden taakse, mutta taipunut ääni on yleensä heikompi kuin mitä olisi suoraan tuleva. Kun kahden erisuuren äänentason yhteenlaskussa summa saa arvon, joka on useimmiten hyvin lähellä suurempaa yhteenlaskettavista, esteen toiminnan kannalta riittää, että suoraan läpi tulevan äänen taso on muutamia desibelejä alempi kuin esteen kiertävän äänen taso. Tämä merkitsee käytännössä sitä, että esteen on oltava jokseenkin ilmatiivis tai ainakin sellainen, ettei selviä reikiä ole, mutta toisaalta esteen ei tarvitse olla massiivinen. Seinämäisen esteen neliömetripainolle on esitetty vaatimukseksi vähintään  $5...15 \text{ kg/m}^2$  /RRL/. Tämä on samaa suuruusluokkaa kuin ikkunalasin neliömetripaino. Puolassa onkin ehdotettu, että tien ollessa sillalla melusteina toimivat umpikaiteet voitaisiin rakentaa lasista /Suchorzewski ym./. Toinen, myös maanpinnalla käyttökelpoinen estemateriaali lienee noin sentin paksuinen muovilevy, joka ei ole muodonmuutoksille yhtä arka kuin lasi.

Meluste on sitä tehokkaampi mitä lähempänä melunlähde se on. Välittömästi ajoradan vieressä olevan umpikaiteen käyttöä kuitenkin rajoittaa reunaesteen tien välikykyä vähentävä vaikutus, tien kunnossa- ja puhtaanapidon sekä lumenpoiston vaikeutuminen ja tiellä liikkujan havaintokentän rajoittuminen. Este saattaa vaikeuttaa suunnistautumista ja itsensä paikallistamista. Umpinainen este voidaan kokea epämiellyttäväksi.

Melusteelle asetettavista vaatimuksista korkeudelle ja tiiviydelle asetettava vaatimus on useissa tapauksissa ristiriidassa muiden vaatimusten kanssa. Esteet eivät ole niinkään tekninen ja akustinen ongelma kuin visuaalinen ongelma.

Esteen aiheuttaman varjovaikutuksen suuruus voidaan määrittää esim. kuvan 17 avulla, edellyttäen, että este on tien pituussuunnassa jat-

kuva. Jos näin ei ole, laskutoimitus on monimutkaisempi, mutta suoritettavissa mm. Ingemanssonin ja Ljunggrenin teoksessa esitetyllä tavalla.

### 5.8 Nopeusrajoitusten hyväksikäyttö

Tieverkon jäsentelyn perusteella väylille voidaan asettaa liikenne- ja nopeusrajoituksia. Olemassa olevilla teillä rajoitukset voivat olla tarpeen, jottei ympäristön sielokykyä ylitettäisi. Uusia teitä suunniteltaessa rajoituksilla voidaan mahdollisesti estää teiden melualueiden muodostuminen kohtuuttoman suuriksi.

Kuten aikaisemmin esitetystä käy ilmi, liikenteen melun vuoksi on syytä asettaa tavoitteiksi

- pieni tai kohtuullinen ajonopeus
- yhtä suuret ajoneuvoikohtaiset nopeudet ainakin mikäli on kyse samantyyppisistä ajoneuvoista ja
- tasainen nopeus siinä mielessä, ettei voimakkaita kiihdytyksiä esiinny.

Näitä tavoitteita edistää nopeudelle asetettavan ylärajan lisäksi myös alarajan asettaminen.

### 5.9 Tien melualueen määrittäminen

Tien melualue voidaan määritellä alueeksi, jolle liikenteen melun vuoksi ei voida sijoittaa melunarkoja toimintoja esim. asutusta, kouluja tai sairaaloita. Melualueen suuruus riippuu

- 1) liikenteen aiheuttaman melun määrään vaikuttavista tekijöistä, joista tärkeimpiä ovat:
  - liikennemäärä
  - liikenteen koostumus
  - ajonopeus
  - ajoradan pituuskaltevuus
  - ajoradan päällyste
- 2) siedettävän melun määrään vaikuttavista tekijöistä, joita ovat:
  - tienvarsialueiden maankäyttö
  - rakennustapa jne.
- 3) melun leviämismahdollisuuksiin vaikuttavista tekijöistä, joita ovat:
  - kiinteät esteet
  - kasvillisuus
  - heijastavat pinnat jne.

Melualue määräytyy aina hyvin monen tekijän perusteella. Eräät tekijät ovat vaikutukseltaan yleisesti tunnettuja ja otettavissa tiesuunnit-

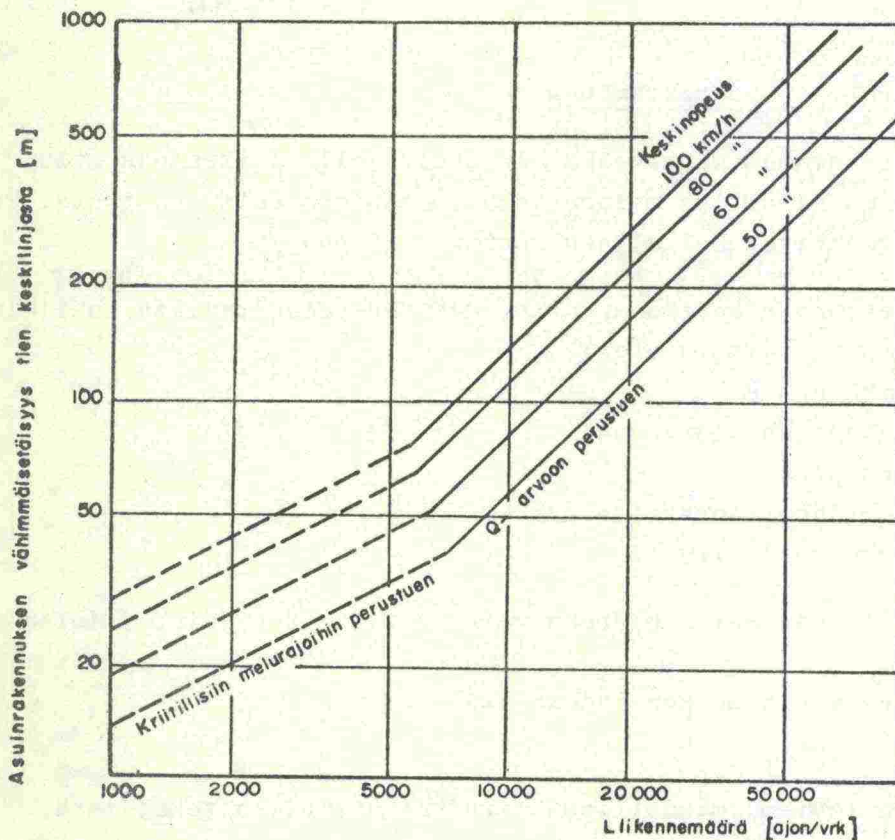


telussa huomioon, toiset tekijät taas saattavat olla paikallisia ja varsin vaikeasti arvioitavissa.

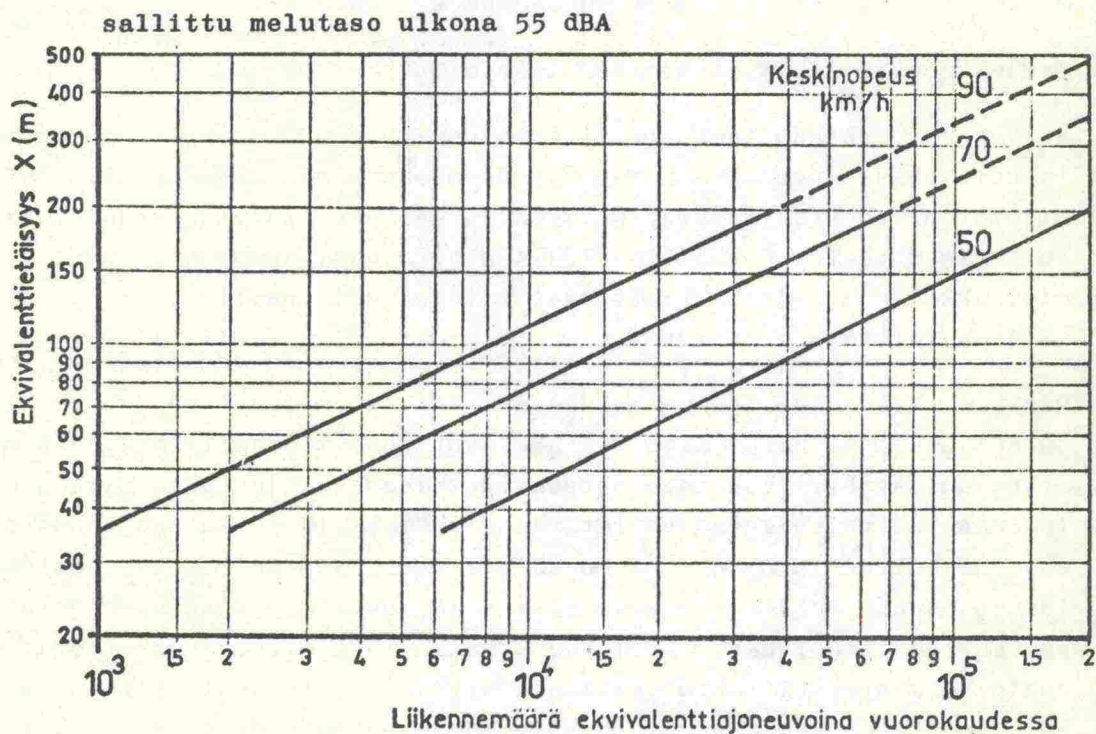
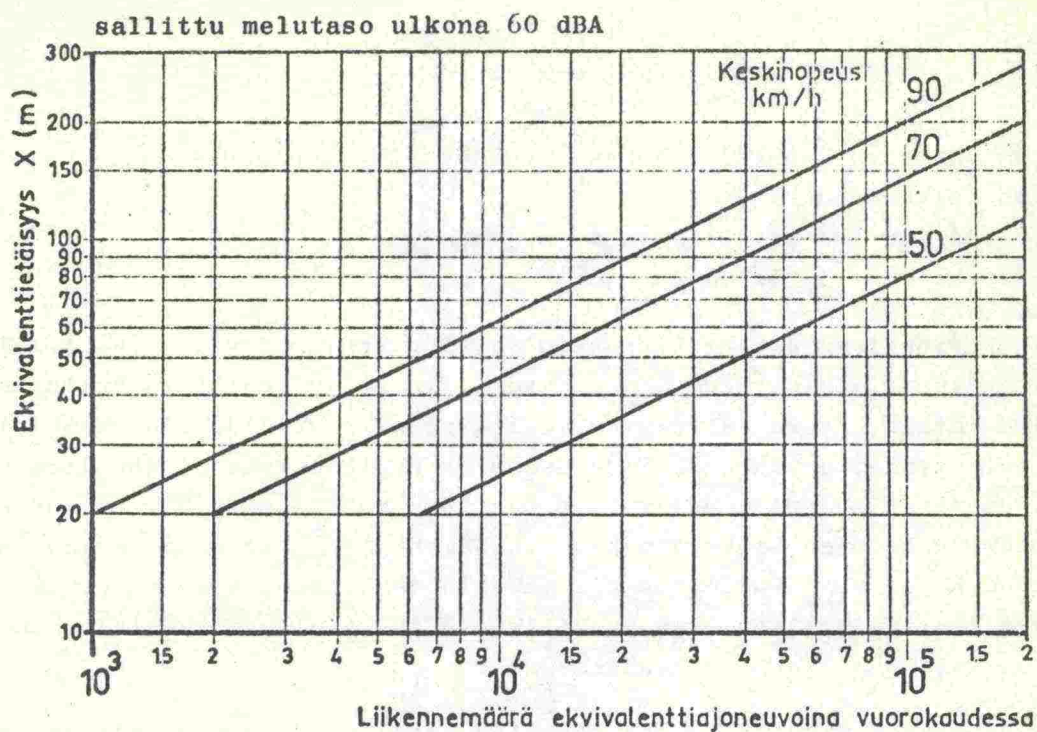
Aikaisemmin on jo käsitelty eräiden tärkeimpien muuttujien vaikutuksia toisistaan erillisinä. Seuraavassa tarkastellaan eräitä laskutapoja tarvittavan melualueen määrittämiseksi, kun tien liikennemäärä, liikenteen koostumus ja melun kannalta mitoittava tasainen ajonopeus tunnetaan.

#### a) Käyrästöjen käyttäminen tasaisessa maastossa

Yksinkertaisimmissa tien melualueen mitoitusmenetelmissä lähtöarvoiksi otetaan liikennemäärä, liikenteen koostumus ja ajonopeus. Mitoitusmenetelmiin sisältyy lisäksi olettamus yhden ajoneuvon aiheuttamasta melutasosta sekä suunnittelun ohjeeksi asetetusta melurajasta. Näihin lähtökohtiin perustuvat mm. ruotsalaisten Ingemanssonin ja muiden sekä Pohjoismaisen rakennusmääräyskomitean (NKB) melutyöryhmän laatimat käyrästöt tien melualueen mitoittamiseksi. (Kuvat 24 ja 25).



Kuva 24. Käyrästö tien melualueen määrittämiseksi /NKB 1970/



Kuva 25. Ingemanssonin käyrät tien melualueen määrittämiseksi /Ingemansson ja Ljunggren/



Ingemanssonin käyrästä käyttä edellyttää koko liikennemäärän muuttamista ekvivalenttiajoneuvoiksi vuorokaudessa. Laskukaava on seuraava:

$$M(\text{ekv.ajon./vrk}) = M_{\text{kev.}}(\text{kpl/vrk}) + k \cdot M_{\text{rask.}}(\text{kpl/vrk}) \quad (28)$$

$k$  on vastaavuuskerroin, jonka arvo käy ilmi taulukosta 25.

$M$  on liikennemäärä

kev. tarkoittaa henkilöautoja

rask. kuorma- ja linja-autoja

Yksikerroksisen asuinrakennuksen ja tien vähimmäisvälimatka ilmaistaan ekvivalenttietäisyytenä  $x_{\text{ekv}}$ . Kyseisellä etäisyydellä tarkoitetaan sitä matkaa, jonka päässä yksikaistaiseksi ajatellun tien keskiviivan olisi oltava, jotta todellisuudessa useampikaistaisen tien liikenne aiheuttaisi melurajan suuruisen  $Q$ -arvon. Kun tien poikkileikkausmitat ja eri kaistojen liikennemäärät tunnetaan,  $x_{\text{ekv}}$  voidaan laskea. Käytännössä on  $x_{\text{ekv}}$  kuitenkin riittävällä tarkkuudella sama kuin etäisyys kaksikaistaisen tien keskilinjan tai etäisyys kaksiajorataisen tien lähimmän ajoradan keskilinjan.

Syitä siihen miksi NKB:n käyrästä ja Ingemanssonin käyrästä johtavat erilaisiin tuloksiin mainitaan taulukossa 25.

Taulukkoon 25 liittyen voidaan todeta seuraavaa:

Keveyen auton aiheuttama oletettu meluhuippu on NKB:n ja Ingemanssonin laskutavoissa suunnilleen sama ja samansuuruinen kuin kesällä 1971 mitatut arvot keskimäärin. Kuvissa 24 ja 25 esitetyt käyrästä eivät kuitenkaan edellytä päällystelajia otettavaksi huomioon. Suoritetut mittaukset sen sijaan viittaavat siihen, että päällysteellä on selvästi havaittava merkitys.

Raskaan auton aiheuttaman meluhuipun osalta on todettava, että eri julkaisuissa mainitut arvot vaihtelevat huomattavasti. NKB:n suuret arvot on esitetty huomioon ottaen raskaiden autojen mahdollinen muuttuminen tulevaisuudessa entistä äänekkäämmiksi. Tällainen ennuste saattaa kuitenkin olla liian pessimistinen, kun se ei ota huomioon lainsäädännön tarjoamia mahdollisuuksia moottoriajoneuvojen meluisuuden rajoittamiseksi. Suomessa kesällä 1971 mitatut arvot ovat ainakin toistaiseksi NKB:n esittämiä arvoja oleellisesti pienempiä ja suunnilleen samansuuruisia kuin Ingemanssonin oletamat. Tosin on todettava, että kesällä 1971 suoritetuissa mittauksissa raskaita autoja koskevien havaintojen määrä jäi pieneksi.

Raskaan ja keveyen auton melujen välinen vastaavuuskerroin vaihtelee suuresti tietolähteestä ja tarkasteltavasta ajonopeudesta riippuen. Ingemanssonin esittämät  $k$ -arvot näyttävät olevan suurempia kuin mitä hänen esittämistään meluhuippujen voimakkuuksista on laskettavissa.

Taulukko 25. Pohjoismaisten melualueen määrittämismenetelmien eräiden lähtötietojen ja tämän tutkimuksen yhteydessä kesällä 1971 suoritettujen melumittausten tulosten vertailu.

	NKB 1970	Ingemansson 1970	Tyh 1971
Yksinäisen auton aiheuttama 7,5 m päässä			
kev.auto nop. 50 km/h	72 dBA	71...74 dBA	70...73 <sup>1)</sup> dBA
" " 60 km/h	74 "	72,5...76 dBA	72...75
" " 70 km/h	76 "	74...78 dBA	74...77 "
" " 90 km/h	79 "	77...81 "	77...80 "
rask.auto " 50 km/h	87 "	77...79 "	
" " 60 km/h	87,5"	77,5...80,5 "	
" " 70 km/h	88 "	78...82	
" " 90 km/h	89 "	79...84	
Raskaan auton vastaavuuskerroin edellisen perusteella			
nopeudella 50 km/h	32	4 tai 3 (k=10)	
" 60 km/h	22	3 (k=5)	
" 70 km/h	16	2.5 (k=3)	
" 90 km/h	10	1,5 tai 2 (k=3)	
Maan vaimennus			
lyhyellä matkalla	0	3...4 dBA/100 m	viljapelto 4...5 dBA/50 m
pitkällä matkalla	0	"	viljapelto 4...5 dBA
Asuinhuoneen ikkunan ulkopuolella sallittava melutaso			
	59 dBA	55 tai 60 dBA	

1) Keskiarvot päällystelajista riippuen

Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettujen mittausten mukaan k-arvojen kuitenkin tulisi olla vielä suurempia. Kohdissa 4.4, 4.5 ja 4.11 esitetyn perusteella arvot  $k < 5$  olisivat paikallaan vain erityisissä keliolosuhteissa tai esim. suurissa alamäissä.

Toisaalta pohjoismaisen melutyöryhmän v.1970 julkaisemaan raporttiin perustuvat arvot  $k > 10$  eivät näytä olevan nykytilanteessa paikallaan. Sensijaan NKB:n uusimmassa raportissa, vuodelta 1971, mainittua vastaavuuskerrointa  $k = 10$  voidaan perustella sekä laskelmien helpottamisella että eri tahoilla suoritettujen mittausten tuloksilla.



NKB:n käyrästä käytettäessä raskaiden autojen osuutta liikennemäärästä ei lähemmin tarkastella. Käyrästä on laadittu olettaen raskaiden autojen osuudeksi 15 % ajoneuvoista.

Erilaisista laskuperusteista johtuen NKB:n ja Ingemanssonin käyrästä ovat käyttökelpoisia hieman eri tilanteissa. NKB:n käyrästä on voimassa seuraavilla ehdoilla:

- 1) Äänen kulkuun ei vaikuta maan vaimennus eli kun
  - melu leviää vesistön tai kovapintaisen tasaisen aukion yli tai
  - kysymys on monikerroksisen rakennuksen ja tien välisestä vähimmäisetäisyydestä
- 2) Raskaiden autojen osuus liikenteestä on noin 15 %.

Ingemanssonin käyrästä ovat voimassa, kun

- kasvillisuus vaimentaa melua 3...4 dBA/100 m
- Tällainen tapaus saattaa esiintyä yksikerroksisen rakennuksen ollessa pellon takana, tai mahdollisesti useamperroksisen talon ollessa harvahkon metsän suojassa.

Kumpikin laskutapa on siis oikeutettu ainoastaan tietyillä ehdoilla. NKB:n menetelmä on sikäli yleispätevämpi, että se antaa tulokset, joihin ei sisälly mitään lisävaimennuksen vaikutusta, jolloin vaimennus on kulloinkin otettavissa huomioon erillisinä korjauksina. Toisaalta liikenteen koostumusta koskeva oletus on huomattava rajoitus.

Edellä olevasta käy ilmi, ettei yleisesti hyväksyttyä tai hyväksyttävää melualueen mitoitusmenetelmää ole toistaiseksi olemassa. Menetelmät ovat perusteiltaan puutteellisia ja perustuvat eri suuriin arvoihin yksinäisen ajoneuvon aiheuttaman melun ja suunnittelun ohjeksi asetetun melurajan osalta. Lähtökohtia muuttamalla mitoituskäyrästä voidaan laatia yhä uusia. Esim. NKB:n melutyöryhmä onkin edellä mainittujen käyrästä lisäksi julkaissut vuonna 1971 uuden käyrästä, joka suuresti muistuttaa Ingemanssonin käyrästä, mutta perustuu kuitenkin eräiltä osin selvästi erilaisiin lähtökohtiin.

#### b) Ehdotus iteratiiviseksi ratkaisuksi

Melualueen leveyden määrittäminen käyrästä on nopeaa ja yksinkertaista. Seuraavassa esitettävä uusi melualueen mitoitusmenetelmä puolestaan on yleispätevämpi ja joustavampi tapa, joka tarjoaa mahdollisuuden käyttää hyväksi paikallisista olosuhteista olevat tiedot.



Tien melualueen määrittämistä voidaan verrata rakenteen mitoittamiseen. Rakennetta vastaa itse melualue, kuormitusta ajoneuvojen aiheuttama melu ja sallittuja jännityksiä sallittu melutaso eli meluraja. Kuten muussakin mitoitusastehtävässä, hyvä ratkaisu ei yleensä ole löydettävissä yhdellä laskutoimituksella, vaan kokeilemalla tai jollain ns. iteratiivisella menetelmällä.

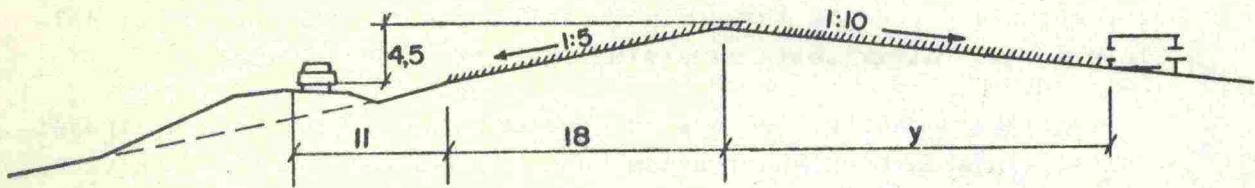
Jotta liikennemäärän, liikenteen koostumuksen ja ajonopeuden lisäksi voitaisiin samanaikaisesti ottaa huomioon ajoradan päällysteen vaikutus, pituuskaltevuuden vaikutus, mahdolliset lisävaimenemiset ja esteiden varjovaikutukset voidaan menetellä seuraavasti:

- 1) Määritetään kevyiden autojen sitä todennäköistä nopeutta, jonka 85 % autoista alittaa, eli nopeutta  $V_{85}$  vastaava meluhuippu 7,5 m päässä ajolinjasta ajoradan päällyste ja pituuskaltevuus huomioon ottaen.
- 2) Samoin määritetään raskaiden autojen mitoittava meluhuippu.
- 3) Lasketaan kevyen ja raskaan auton meluintensiteettien keskiarvoa vastaava keskimääräinen meluhuippu painottamalla intensiteettejä liikenteen koostumusta vastaavassa suhteessa.
- 4) Liikennemäärän ja koko liikennevirran keskinopeuden perusteella määritetään keskimääräinen ajoneuvoetäisyys.
- 5) Kuvan 1 B avulla määritetään äänentason geometrinen alenema esim. 100 m päässä ajoradan keskilinjasta.
- 6) Määritetään mahdollisesta kiinteästä esteestä aiheutuva varjovaikutus.
- 7) Määritetään lisävaimenemisten vaikutus.
- 8) Lasketaan kohdissa 5), 6) ja 7) saadut desibeli-määrät yhteen. Vähennetään summa kohdassa 3 lasketusta melutasosta.
- 9) Verrataan saatua melutasoa tavoitteena olevaan melurajaan. Jos meluraja ylitetään tai alitetaan, lasketaan melualueen uusi likiarvo olettaen, että melutason muutos noudattaa esim. kuvassa 1 B esitettyä periaatetta.
- 10) Toistetaan kohdat 5) ... 9) melualueen leveyden uutta likiarvoa käyttäen niin moneen kertaan, että valittu meluraja saavutetaan riittävällä tarkkuudella.

Esim. Määritä edellä selostetulla tavalla ja kuvia 1, 9 ja 17 hyväksi käyttäen pientalon pienin mahdollinen etäisyys kaksikaistaisen maantien keskilinjasta, kun

- rakennuksen ulkoseinää saa kuormittaa Q-arvo 55 dBA
- mitoittava liikennemäärä on 13000 ajon/vrk,
- raskaita autoja on 17 %,
- kevyiden  $v_{85} = 75$  km/h,
- raskaiden  $v_{85} = 70$  km/h,
- tie on vaakasuora ja päällystetty öljysoralla
- maanvaimennus on 3,5 dBA/100 m ja
- rakennuksen ja tien välillä on kuvan 26 mukainen harjanne.





Kuva 26. Eräs esimerkkitilanne

- 1) Kuvasta 9 kevyiden autojen mitoitettava  $L_k = 76,8$  dBA
- 2) Raskaiden autojen mitoitettava  $L_r = 83,6$  dBA
- 3) Koko liikennevirran keskimääräinen meluhuippu 7,5 m päässä ajolinjasta

$$\begin{aligned}
 L_{\text{mit}} &= 10 \log (0,83 \cdot 10^{7,68} + 0,17 \cdot 10^{8,36}) \\
 &= 10 \log [10^{7,68} (0,83 + 0,17 \cdot 10^{0,68})] \\
 &= 10 \log [10^{7,68} (0,83 + 0,81)] \\
 &= 10 \log [10^{7,68} \cdot 10^{0,22}] = 79,0 \text{ dBA}
 \end{aligned}$$

- 4) Liikennemäärää 13 000 ajon/vrk ja nopeutta 75 km/h vastaa keskimääräinen ajoneuvoetäisyys

$$a = \frac{75\,000 \cdot 24}{13\,000} \text{ m} = 139 \text{ m}$$

Tällöin  $\frac{a}{\pi} = \frac{139}{\pi} \sim 44$  m eli äänentason geometrisen alenemisen muutoskohta, kuvassa 1 B on 44 m:n päässä tien keskilinjasta.

Iteraatioprosessin ensimmäinen kierros: rakennuksen vähimmäisetäisyys 100 m

- 5) 100 m:n päässä keskilinjasta keskimääräinen meluhuippu on geometrisen alenemisen johdosta alentunut määrällä

$$\Delta L_g = 20 \log \frac{44}{7,5} + 10 \log \frac{100}{44} = 15,4 + 3,6 = 19 \text{ dBA}$$

- 6) Harjanteen huipun matala kasvillisuus mukaan lukien voidaan olettaa olevan ikkunaan nähden korkeudella

$$\Delta h = \frac{y}{10} - 0,5$$

Jos  $11 + 18 + y = 100$ , silloin  $y = 71$  ja kyseinen korkeus  $\Delta h = 6,6$  m. Esteen tehollinen korkeus tieltä tulevaa melua ajatellen olisi karkeasti ottaen  $h = 5$  m ja kuvassa 17 tarkoitettu kulma

$$u = \left( \frac{4,5}{29} + \frac{5}{71} \right) \frac{180^\circ}{\pi} = 12,9^\circ \sim 13^\circ$$

Tällöin varjovaikutus kuvasta 17 määritettynä on likimain  $\Delta L_v = 8$  dBA

7) Lisävaimenemisen vaikutus  $L_m = 3,5$  dBA

8) Melutaso 100 m päässä tien keskilinjasta on

$$L = 79 - (19 + 8 + 3,5) = 48,5 \text{ dBA} < 55 \text{ dBA}$$

9)  $55 - 48,5 = 6,5$  dBA. Melualueen leveys näyttää voitavan pienentää puoleen, joten

toisen kierroksen lähtöarvona olkoon 50 m

5)  $L_g = 15,4 + 10 \log \frac{50}{44} = 16$  dBA

6)  $h = \frac{21}{10} - 0,5 = 1,6$  m

$$h = 4,5 - (4,5 - 1,6) \frac{29}{50} = 2,8$$

$$u = \arctan \frac{4,5}{29} + \arctan \frac{1,6}{21} = 9^\circ + 4^\circ = 13^\circ$$

$$L_v = 6 \text{ dBA}$$

7)  $L_m = \frac{39}{100} \cdot 3,5 = 1,4$  dBA

8) Tällöin rakennukseen kohdistuu

$$L = 79 - (16 + 6 + 1,4) = 55,6 \text{ dBA}$$

9)  $55 - 55,6 = -0,6$  dBA. Alle 1 desibelin virhettä voi pitää jo niin pienenä, että iterointia lienee turha jatkaa. Kun meluraja kuitenkin tuli hieman ylitetyksi valittakoon lopulliseksi melualueen leveydeksi 50 m:n asemesta 55 m. Yhden metrin tarkkuuteen tuskin kannattaa pyrkiä.



## 6. Yhteenveto

Liikenteen melu voidaan määritellä liikenteen aiheuttamaksi haitalliseksi ääneksi. Liikenteen melussa on kysymys järjestelmästä, jonka muodostavat melun lähde, äänen etenemistie ja melun havaitsija. Melun lähteinä on pidettävä erillisiä liikennevälineitä tai liikennevirtaa yhdessä väylän kanssa.

Meluntorjunta on toimintaa, jolla pyritään melunlähteiden vaientamiseen, äänen etenemisen vaikeuttamiseen tai ihmisten melunsietokyvyn kohottamiseen.

Tie- ja katuliikenteen melu on ongelma, jonka kokevat taajamien ja tienvarsien asukkaat sekä jalankulkijat ja polkupyöräilijät joutuaan muun liikenteen kanssa samoille väylille. Näin ollen moottoriajoneuvoille tarkoitettut väylät on syytä pyrkiä sijoittamaan erilleen asuntoalueista sekä estää haja-asutuksen leviäminen teiden varsille. Asumattomilla alueilla tieliikenteen melun merkitys lienee vähäinen.

Liikenteen melu sisältää varsin paljon matalia taajuuksia. Kun matalataajuinen ääni pyrkii kiertämään esteen taakse, liikenteen melun leviämistä väylän ympäristöön ei voida käytännössä suojarakenteilla täysin torjua. Meluntorjunta onnistuu vain osittain. Korkeat taajuudet vaimenevat tavallisesti paremmin kuin matalat taajuudet. Ajoneuvotyyppien suhteen tämä merkitsee sitä, että raskaiden autojen melu vaimenee helpommin kuin kevyiden. Mutta joka tapauksessa raskaat autot sekä toisaalta moottoripyörät, jos niiden määrä on suuri, ovat pahimpia tieliikenteen melun aiheuttajia.

Liikenteen aiheuttaman melun määrään vaikuttavat monet eri tekijät, jotka voitaneen luokitella myös seuraavasti:

- liikennevälineiden ominaisuudet
- ajotavat
- ajoradan ominaisuudet
- liikenneväylän ympäristö
- liikennejärjestelyt ja
- liikennevirran ominaisuudet.

Liikenteen meluun voivat vaikuttaa ajoneuvojen valmistajat, omistajat ja kuljettajat, tienpitäjä, yhdyskuntasuunnittelijat sekä julkinen hallinto, joka asettaa edellä mainittujen toimintaa koskevia normeja ja valvoo niiden noudattamista.

Liikennesuunnittelijat voivat pyrkiä vähentämään liikenteen aiheuttamia meluhaittoja edistämällä liikennevirtojen homogeenisuutta. Melutomuutta edistäviä tavoitteita ovat ajoneuvon tasainen, pieni tai kohtuullinen ajonopeus, nopeuksien pieni hajonta, ajoneuvojen samantyyppisyys ja yhtä suuret ajoneuvoetäisyydet. Liikennesuunnittelussa kysymykseen tulevia meluntorjuntakeinoja ovat mm. tieverkon jäsentely ja liikenteen erottelu, nopeusrajoitukset nopeuden sekä ylä- että alarajaa tarkoittaen ja liikennerajoitukset.

Väyläkohtaisessa suunnittelussa on merkittävä tavoite tien standardin yhtenäisyys. Äkillisiä nopeuden muutoksia aiheuttavia ja suuriin nopeuksiin houkuttelevia tienkohtia on syytä välttää. Tien tasausta suunniteltaessa on merkitystä tasausviivan korkeudella luonnolliseen maanpintaan nähden ja ajoradan noususuhteilla. Pitkiä ja jyrkkiä nousuja on syytä välttää varsinkin raskaille autoille tarkoitetuilla väylillä.

Ajoradan sijoittamisella maanpinnan tasoon varmistetaan kasvillisuuden hyväksi käyttö melun leviämisen estämisessä ja äänen vaimentamisessa. Leikkauksen kohdalla taas luiskat toimivat kiinteinä esteinä, vaimentavat ääntä ja ohjaavat mahdollisesti heijastuvan äänienergian ylöspäin.

Tielinjan suunnittelulla on melun suhteen vähemmän merkitystä kuin tien sovittamisella maastoon ja tasauksen suunnittelulla.

Tien rakenteella on vaikutusta liikenteen meluun lähinnä vain päällysteen kulutuskerroksen osalta. Ajoradan pinnan karkeutta säätelämällä voidaan mahdollisesti vaikuttaa melutasoon yhtä suurena määrin kuin nopeutta voimakkaasti rajoittavilla toimenpiteillä. Nupu- tai muuta kiveystä lukuunottamatta eri päällystelajeista eniten melua aiheuttavaksi on osoittautunut betonipäällyste.

Liikenneväylän melualueen mitoitusten menetelmät ovat toistaiseksi sikäli kehittymättömiä, ettei läheskään kaikkia mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ole otettu huomioon. Käyrästöjä käytettäessä eräät lähtökohdat jäävät usein tarkistamatta, jolloin myöskään lopputuloksen oikeellisuudesta ei saada käsitystä.

Liikenteen melu on ilmiö, joka tulisi ottaa huomioon liikenne- ja tiesuunnittelun kaikissa vaiheissa. Tärkeää on, että suunnittelijat tiedostavat melun haitallisuuden. Mitään toteuttamiskelpoista kerta-toimenpiteenä tehtävää ratkaisua meluongelman poistamiseksi ei kuitenkaan ole nähtävissä. Liikenne- ja tiesuunnittelu tarjoaa eräitä mahdollisuuksia liikenteen melun vähentämiseksi. Niiden lisäksi tarvitaan toimenpiteitä liikennevälineiden valmistajien ja käyttäjien, yhdyskuntasuunnittelijoiden ja valtiovallan taholta. Tarvitaan laajaa tutkimus- ja valistustoimintaa sekä liikenteen kanssa tekemisiin joutuvien yhteistyötä.



Liikenteen melua koskevia tärkeimpiä käsitteitä

## dBA

Melutason yksikkö, kun kokonaismelutaso mitataan A-suodattimella varustetulla äänenpaineen mittarilla.

## Desibeli (dB)

Kymmenkantaisen logaritmijärjestelmän luvun  $10 \log \frac{A_1}{A_2}$  yksikkö, kun  $A_1$  ja  $A_2$  ovat tietyn suureen kaksi arvoa. dB on lähinnä selvennysmerkki.

## Äänentason geometrinen aleneminen

Äänentason aleneminen äänilähteestä mitatun etäisyyden funktiona sen johdosta, että äänienergia hajaantuu laajemmalle alueelle.

## Liikenteen melu

Liikennevälineiden synnyttämä melu melulähteiden ulkopuolella havaittuna.

## Lisävaimeneminen

Ilman kitkasta, kasvillisuudesta tai muusta sen tapaisesta syystä tapahtuva ilmaäänien vaimeneminen, joka on äänentason geometrisesta alenemisestä riippumaton.

 $L_{NP}$  (Noise Pollution Level), meluisuustaso

Eräs meluisuusluku:  $L_{NP} = L_{eq} + 2,56 \delta$ , kun  $L_{eq}$  on melun keski-intensiteettitaso ja  $\delta$  on melutason hajonta.

 $L_5$ 

Melutaso, joka ylitetään 5 % ajasta

 $L_{10}$ 

Melutaso, joka ylitetään 10 % ajasta.

 $L_{50}$ 

Melutason mediaani eli melutaso, joka ylitetään 50 % ajasta.

 $L_{90}$ 

Melutaso, joka ylitetään 90 % ajasta.

 $L_{95}$ 

Melutaso, joka ylitetään 95 % ajasta.

## Maanpinnan vaimennus

Maanpinnan suuntaisena etenevän äänen vaimeneminen sen johdosta, että maanpinta imee ääntä.

**Melu**

Ihmisen terveydelle haitallinen ääni.

**Melualue**

Liikenneväylän, lentokentän tai muun melunlähteen läheisyydessä oleva alue, jota melun johdosta ei voida käyttää asumiseen tai muuhun melunarkaan toimintaan.

**Melueste (Ks. Suojaeste)**

**Meluisuusluku**

Voimakkuudeltaan vaihtelevan melun häiritsevyyttä kuvaava suure

**Meluisuustaso (Ks.  $L_{NP}$ )**

**Melunkohde**

Ihminen, joka melun havaitsee tai alue, rakennus tai muu tila jonne melun tunkeutuminen ei ole suotava.

**Melunlähde**

Melua synnyttävä esine tai toiminta.

**Meluraja**

Suunnitteluohjeksi asetettu melun voimakkuuden yläraja

**Melutaso**

Melun voimakkuus A-suodattimella varustetulla äänenpaineen mittarilla todettuna.

**Melutason pysyvyyskäyrä**

Havaintoajalta piirretty melutason tilastollisen jakauman summafunktion kuvaaja.

**Q-arvo**

Melun keski-intensiteettitaso (Sama kuin  $L_{eq}$ )

**Suojaeste(tai melueste)**

Melunlähteen ja melunkohteen välillä oleva melun etenemistä rajoittava rakennus, laite tai muu esine.

**Suojaesteen varjovaikutus**

Suojaesteen aiheuttama alenema äänentasossa.



### Taajuus

Värähdysten lukumäärä aikayksikössä. Taajuuden yksikköä 1/s kutsutaan hertziksi (Hz)

### Taajuusjakautuma

Äänentason esitys taajuuskaistoittain

### Taajuuskaista

Taajuusalue, jonka rajataajuudet ovat tunnetut.

### Taajuussuodatin

Äänenpaineen mittauksessa käytettävä laite, jonka avulla voidaan valita mittauksen kohteeksi haluttu taajuuskaista.

### TNI (Traffic Noise Index)

Eräs meluisuusluku:  $TNI = 4 (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$ .

### Ulkopuolinen melu

Melu, joka melunlähteestä havaittsijaan edetessään on kulkenut ulkoilmassa.

### Verhoaminen

Häiriöäänten aiheuttama halutun äänen kuulokynnyksen nousu.

### Äänen absorptio

Äänienergian väheneminen energian muuttuessa toiseen muotoon.

### Äänen intensiteetti

Äänen etenemissuuntaa vastaan kohtisuoran pinta-ala-yksikön läpi aikayksikössä kulkevan äänienergian määrä.

### Äänen intensiteettitaso $L_I$ (kts. äänentaso)

### Äänen painetaso $L_p$ (kts. äänentaso)

### Äänen vaimeneminen

Äänentason aleneminen sen johdosta, että äänienergiaa muuttuu muuksi energiaksi lähinnä lämmöksi.

### Ääneneristävyys

Rakennusosan laboratoriossa mitattu ilmaääneneristys

### Äänenpaine

Äänikentän tietyssä pisteessä havaittavan äänivärähtelystä aiheutuvan ilmanpaineen poikkeaman neliöllinen eli ns. efektiivinen keskiarvo.

### Äänentaso

Äänen painetaso tai äänen intensiteettitaso.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}, \text{ kun } I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \text{ tai}$$

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}, \text{ kun } P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

### Ääni

Kimmoisessa väliaineessa etenevä mekaaninen värähdysliike, joka saa aikaan kuuloaistimuksen.

### Äänilähde

Äänienergiaa säteilevä esine.



### Lähdekirjallisuus

Tekstissä olevat merkinnät "/tekijä tai lyhennys tekijän nimestä/" viittaavat eräisiin luvussa 2 mainittuihin tai seuraavassa luettelossa oleviin teoksiin.

- Burt, M.E.: Aspects of highway design and traffic management. Journal of sound and vibration (1970) 15 (1), 13-24
- Elvhammar, H.,  
Ingemansson, S.: Bullerproblem vid trafikleder. Rapport från byggforskningen 7/65, Stockholm 1965. 12 s.
- GLC (Greater London Council): Urban design bulletin 1, traffic noise, major urban roads. Publication No. 7168 0311, London 1970
- Harland, D.G.: Noise research and the Road Research Laboratory. Traffic engineering & control 12(3), London 1970.
- IEC (International Electrical Commission): Groupe 08 - Electroacoustique
- Lampio, E.: Sähköakustiikka. Teknillisen korkeakoulun Ylioppilaskunta, moniste n:o 255, Otaniemi 1969.
- Lavender, D.C.: Interpretation of noise measurements. Journal of sound and vibration (1971) 15 (1), 1-9.
- NKB (Den Nordiske Komité for Bygningsbestemmelser): Støj og byplan, praktiske anvisninger. Maj 1970
- NKB: Støj og byplan, praktiske anvisninger. NKB-skrift nr. 17, Maj 1971
- Nordqvist, S.: Blir buller ljud på 100 m avstånd? Svenska Vägföreningens tidskrift 46 (5), 197-202, Stockholm 1959.
- OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development): Urban traffic noise, Strategy for an improved environment. August 1970
- OECD: Road Research Group T6, Scientific evaluation of the effects of roads and traffic on the environment in urban areas. RR/T6/L/466, Paris 1971

ORE (Office for Research and Experiments of the International Union of Railways):

Question D 105, Noise abatement on bridges. Interim report No 1, Noise development in steel railway bridges. Utrecht, October 1966.

ORE:

Question E 82, Noise abatement, Report 3, Propagation of noise by railway traffic. E 82 /RP 3/ E. Utrecht, April 1969.

Præde T.:

Trafikbuller - dess uppkomst och bemästrande Internationella luftförenings- och bullerbekämpningsmässan. 1-7 september 1971 Jönköping.

RRL (Road Research Laboratory):

A Review of road traffic noise. RRL Report LR 357, Crownthorne, Berkshire 1970.

Suchorzewski, W.,  
Dzieran, W.,  
Tomaszewski, L.:

V.2. The problem of noise in towns caused by traffic. PIARC, XIV World Congress-Prague 1971

Suomalainen, O.:

Melu- saasteista salakavalin. Valtakunnansuunnittelu-Asuntopolitiikka 1, Helsinki 1971

Williams, T.E.H.:

Highway engineering and the influence of geometric design characteristics on noise. Journal of sound and vibration (1971) 15 (1), 17-22