

TIELIIKENNEMELUN SPEKTRIPAINOTUSERMI YLIKOROSTAA PIENTAAJUISEN MELUN OSUUTTA

Valtteri Hongisto, Vesa Koskinen

Työterveyslaitos, sisäympäristölaboratorio
Lemminkäisenkatu 14-18 B, 20520 Turku
valtteri.hongisto@ttl.fi

1 TAUSTA JA TAVOITE

Julkisivurakenteen (seinä, ikkuna, lasitus, ovi, läpivientielementti) ilmajääneristysluvun ilmoitusarvona käytetään Euroopassa yleisesti ISO 717-1 mukaan määritettävää ilmoitusarvoa $R_w(C; C_{tr})$, missä R_w on ilmajääneristysluku ja C_{tr} on tieliikennemelun spektripainotusermi [1]. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki erään julkisivurakenteen ilmajääneristävyuden testituloksesta. Ilmajääneristyskyky tieliikennemelua vastaan ilmoitetaan summana R_w+C_{tr} .

C_{tr} :n määrittämisessä käytetään ISO 717-1 mukaista tieliikennemelun standardispektriä. Tieliikennemelu aiheutuu kuitenkin kolmesta pääasiallisesta lähteestä: moottori, renkaat ja virtaus. Moottorin osuus melusta on 100 % liikenteen seistessä. Nopeuden kasvaessa rengasmelun osuus kokonaismelusta kasvaa ja moottorimelun osuuden vähentyessä. Kaikkein suurimmilla nopeuksilla virtausmelu dominoi. Julkisivun ääneneristystarve tieliikennemelua vastaan mitoitetaan kuitenkin Suomessa A-painotetun keskitason ja rakenteen R_w+C_{tr} avulla [2] huolimatta melun tai rakenteen ilmajääneristävyuden todellisesta taajuusriippuvuudesta.

Tavoitteena oli selvittää, miten hyvin rakenteen R_w+C_{tr} arvo edustaa ilmajääneristävyyttä erilaisilla liikennenopeuksilla ja miten taajuusalueen laajentaminen nykyisin käytössä olevalta taajuusalueelta 100-3150 Hz alueelle 50-5000 Hz vaikuttaisi asiaan. Tutkimuksen avulla luodaan tietopohjaa sille, miten ilmajääneristysluvut tulisi tulevaisuudessa määrittää ja miten julkisivujen ääneneristykseen mitoitaminen tulisi tehdä, jos halutaan edelleen käyttää ääneneristykseen yksiluarvoja.

2 MENETELMÄT

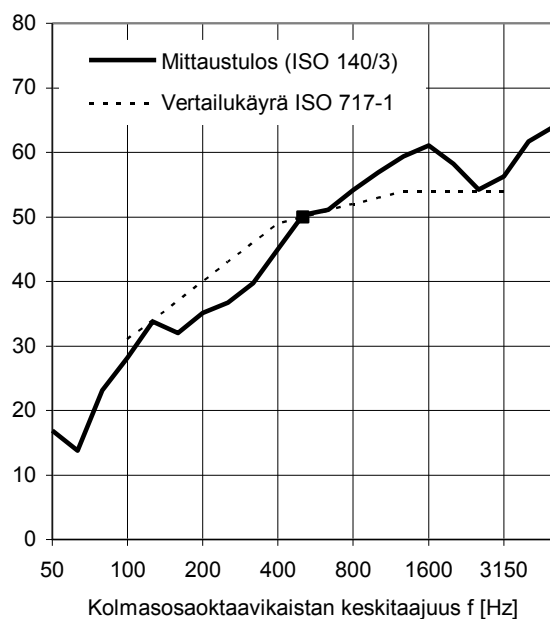
2.1 Taajuusjakauman määrittäminen

Tässä esitettävät taajuusjakaumat perustuvat viitteeseen [4]. Taajuusjakauma määritettiin kenttämittauksin Turussa Helsingintien varrella kolmella eri liikennenopeusvyöhykkeellä: 1. 80 km/h, 2. 60 km/h ja 3. valoristeys, alle 50 km/h. Melun spektri määritettiin vähintään 5 minuutin kestoisilla mittauksilla. Näiltä ajoilta laskettiin aina erikseen liikennemäärät. Taajuusanalyysi tehtiin taajuusalueella 20 – 20 000 Hz (B&K 2260). Mittauksia tehtiin kullakin nopeudella vähintään 10 eri vuorokauden aikaan, jolloin liikennemäärien vaihtelut ja tästä aiheutuvat melutasot vaihtelut saatiin tarkasteluun mukaan. Ennen spektrien keskiarvottamista melutasot

normalisoitiin vakioliikennemäärälle. Mittauskorkeus oli 1.5 m ja mittapisteen etäisyydet tielinjaan huomioitiin normeeraamalla tulokset vakioetäisyyteen 20 m. Laskennasta karsittiin pois mittausspektrit, joiden aikana havaittiin selkeä häiriö, kuten juna, lintu tai lentokone.

Ilmaääneneristävyyden mittaustulos (ISO 140-3):

f (Hz)	R (dB)	R (dB)
50	16.9	
63	13.8	16.5
80	23.1	
100	28.2	
125	33.8	30.7
160	32.0	
200	35.1	
250	36.7	36.8
315	39.7	
400	45.0	
500	50.3	47.9
630	51.1	
800	54.1	
1000	56.9	56.3
1250	59.4	
1600	61.1	
2000	58.2	56.9
2500	54.2	
3150	56.3	
4000	61.7	59.4
5000	64.0	

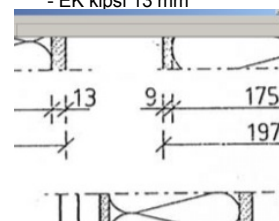


Ilmoitusarvot (ISO 717-1):

R_w	50 dB
C	-2 dB
$C_{100-5000}$	-1 dB
$C_{50-3150}$	-5 dB
$C_{50-5000}$	-4 dB
C_{tr}	-7 dB
$C_{tr,100-5000}$	-7 dB
$C_{tr,50-3150}$	-16 dB
$C_{tr,50-5000}$	-16 dB

Rakenne ulkoa sisälle:

- teräsprofiili 20 mm
- ilmarako 25 mm
- tuulensuojakipsi 9 mm
- termoranka 175 mm k600 ja mineraalivillatäyte 175 mm
- EK kipsi 13 mm



Kuva 1. Eräälle julkisivuseinärakenteelle määritetty testitulos ISO 140-3 mukaan [3].

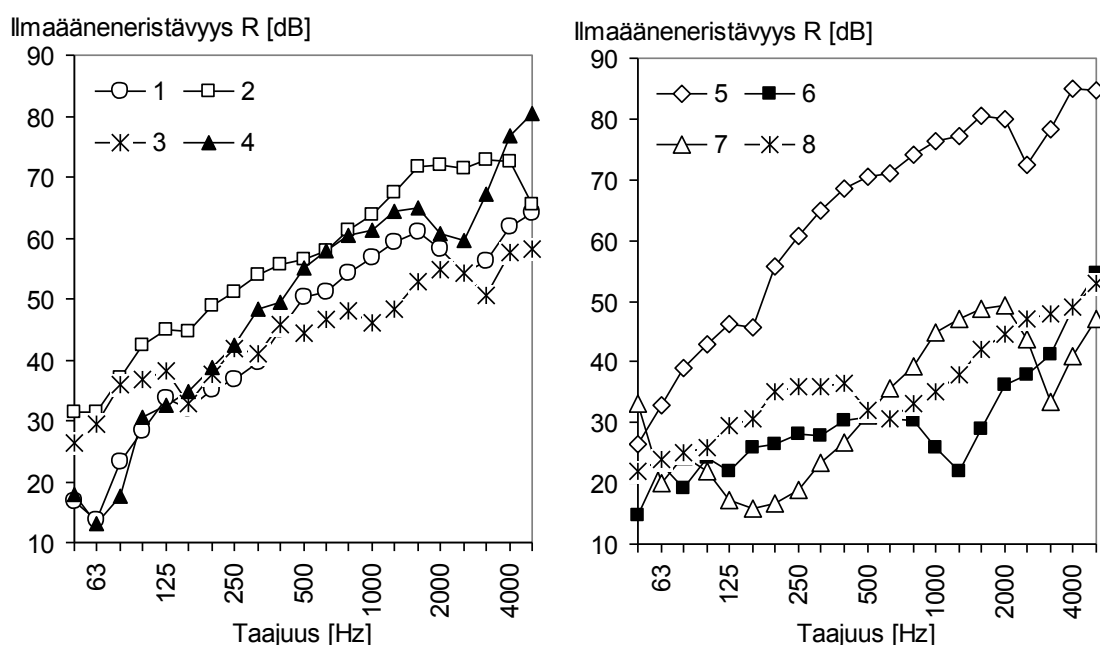
Liikennevirtaa laskettiin manuaalisesti kappalelaskureilla. Ajoneuvojen lukumäärä laskettiin ajosuunnittain 5 – 40 min pituisilta jaksoilta kirjaten kertymä pääsääntöisesti 5 min välein ylös. Lisäksi laskettiin raskaan liikenteen kokonaismäärä. Liikennevirran nopeutta arvioitiin sekä nopeusrajoitusten mukaan että navigaattorin nopeusnäytöstä tutkijan ajaessa virran mukana. Todelliset liikennenopeudet vastasivat hyvin nopeusrajoitusten mukaisia lukemia. Joutsenpuistossa (50 km/h) liikennenopeudet vaihtelivat liikennevaloista johtuen eniten, mutta eivät yleensä ylittäneet 50 km/h mittauspisteen kohdalla. Mittauspisteissä saatujen spektrien vertailemiseksi tasot normeerattiin vakioliikennemäärälle ja vakioetäisyydelle (20 m) tien lähimmästä reunaviivasta. Raskaan kaluston osuus liikenteestä oli keskimäärin 4.5 %. Raskaan kaluston määrän vaihtelulla 3-6 % ei ollut sanottavaa merkitystä spektreihin.

2.2 Julkisivurakenteet

Spektripainotustermit määritettiin 8 julkisivurakenteelle (taulukko 1, kuva 2), jotka on mitattu laboratoriossa. Otos on edustava käyttötarkoituksen, pintamassan vaihtelun, paksuuden ja ääneneristykseen taajuuskäyttötymisen osalta. Analyysin pohjalta voidaan tehdä johtopäätöksiä spektripainotustermin määrittämenetelmän luotettavuudesta eri nopeusalueilla.

Taulukko 1. Tutkitut julkisivurakenteet ja niiden standardin mukaiset äänieristysarvot.

Nro	Kuvaus	Paksuus	Massa	R_w+C_{tr}	R_w	C_{tr}	$C_{tr,50-5000}$
		[mm]	[kg/m ²]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	Teräsrankaseinä, peltiverhous	230	36	43	50	-7	-16
2	Teräsrankaseinä, tiiliverhous	300	140	56	61	-5	-11
3	Äänieristysikkuna 6-172-4-12-4	210	35	44	48	-4	-5
4	Puurankaseinä	245	58	46	54	-8	-21
5	Kytkemätön kaksoisseinä	250	60	59	69	-10	-20
6	Sandwichrakenne	200	26	27	31	-4	-4
7	Eristelasi 4-16-4-16-4	44	30	27	32	-5	-5
8	Parvekeovi	73	40	30	32	-2	-3



Kuva 2. Rakenteiden 1-8 terssikaista-arvot.

2.3 Spektripainotustermien laskenta

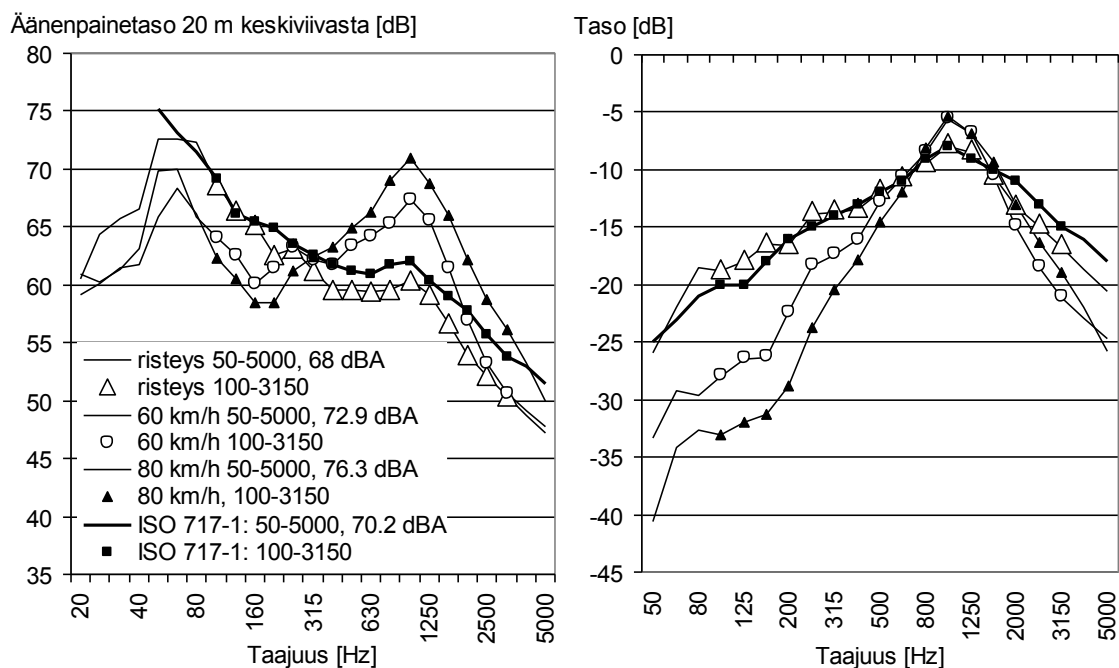
Standardin mukaiset spektripainotustermit $C_{tr,100-3150}$ (standardissa pelkkä C_{tr}) ja $C_{tr,50,5000}$ määritetään ISO 717-1 standardin mukaan käyttäen kuvan 4 esittämiä A-painotettuja ja kokonaistasoon 0 dB normalisoituja spektrejä. Tässä tutkimuksessa määritettiin ensin lineaariset liikennemeluspektit 3 eri nopeudella luvun 2.1 mukaisesti. Näiden pohjalta määritettiin A-painotetut ja tasoon 0 dB normalisoidut spektrit. Tämän jälkeen spektrien avulla määritettiin spektripainotustermit kullakin nopeudella 8:lle luvun 2.2 rakenteelle.

3 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

3.1 Tieliikennemelun spektri

Kuvassa 4a on esitetty tieliikennemelun mitatut spektrit 3 eri nopeudella alueella 20-5000 Hz sekä ISO 717-1 standardin mukainen spektri alueella 50-5000 Hz. Tieliikennemelun on hyvin vähäistä kaistoilla 20-40 Hz. Tämän perusteella alle 50 Hz tieliikennemelua vastaan ei ole perusteita esittää ääneneristysvaatimuksia. Standardisoitu spektri on yhteneväinen hitaalle liikenteelle mitatun spektrin (50 km/h) kanssa. Nopeuksilla 60 ja 80 km/h standardisoitu spektri korostaa pientaajuuksien merkitystä ja aliarvioi rengasmelun (1000 Hz) merkitystä merkittävästi.

Kuvassa 4b on esitetty samat spektrit A-painotettuna ja normalisoituna kokonaistasoon 0 dB, jolloin terssiarvoja voidaan soveltaa rakenteiden spektripainotustermien laskemiseen. Kaikilla nopeuksilla rengasmelu (1000 Hz) on merkittävimmissä roolissa. Pientaajuisen melun (alle 200 Hz) merkitys A-painotetun kokonaisäänitason kannalta on merkittävin pienillä nopeuksilla. Pientaajuisen melun taso on erittäin alhainen nopeuksilla 60 ja 80 km/h.



Kuva 3. a) Lineaariset tieliikennemelun spektrit normalisoituna liikennemäärään 1000 ajoneuvoa tunnissa. b) A-painotetut liikennemeluspektrit normalisoituna kokonaistasoon 0 dB. Jälkimmäisiä käytetään spektripainotustermien C_{tr} laskennassa.

3.2 Spektripainotustermit

Taulukossa 2 on esitetty standardin mukaisen spektrin ja eri nopeuksilla mitattujen spektrien mukaan määritetyt C_{tr} -arvot taajuusalueilla 100-3150 Hz ja 50-5000 Hz. Taulukkoon 3 on laskettu erotus standardin mukaiseen C_{tr} arvoon nähden. Mitä

suurempia arvot ovat, sitä enemmän standardin mukainen C_{tr} -arvo aliarvioi rakenteen ääneneristyskykyä kyseistä tieliikennemelua vastaan.

Nopeudella 50 km/h määritetty C_{tr} on likipitään sama kuin standardin mukainen C_{tr} . Ero on keskimäärin 1 dB. Standardispektri edustaa siis hyvin 50 km/h kaupunkiliikenteen spektriä.

Nopeudella 60 km/h määritetty C_{tr} oli keskimäärin 4 dB korkeampi kuin standardin mukainen C_{tr} . Nopeudella 60 km/h määritetty $C_{tr,50-5000}$ oli keskimäärin 5 dB korkeampi kuin standardin mukainen $C_{tr,50-5000}$. Nopeudella 80 km/h määritetty C_{tr} oli keskimäärin 7 dB korkeampi kuin standardin mukainen C_{tr} . Nopeudella 80 km/h määritetty $C_{tr,50-5000}$ oli keskimäärin 8 dB korkeampi kuin standardin mukainen $C_{tr,50-5000}$. Standardin mukainen C_{tr} siis aliarvioi merkittävästi rakenteiden ääneneristystä nopeuksilla, jotka ovat suurempia kuin 50 km/h. Aliarvio kasvaa nopeuden kasvaessa, koska pientaajuinen melun suhteellinen osuus pienenee.

Taulukko 2. Standardispektrillä (ISO 717-1) ja eri nopeuksilla mitattujen spektrien avulla lasketut C_{tr} -arvot 8 tutkitulle julkisivurakenteelle.

Spektripainotustermit		100-3150 Hz				50-5000 Hz			
Rakenne	ISO 717-1	50 km/h	60 km/h	80 km/h	ISO 717-1	50 km/h	60 km/h	80 km/h	
1	-7	-8	-2	2	-16	-17	-9	-4	
2	-5	-7	-2	1	-11	-12	-5	-2	
3	-4	-4	-2	-1	-5	-6	-2	-1	
4	-8	-10	-2	2	-21	-22	-14	-9	
5	-10	-12	-3	1	-20	-20	-12	-7	
6	-4	-4	-5	-5	-4	-5	-5	-5	
7	-5	-6	0	4	-5	-6	0	4	
8	-2	-3	-2	-2	-3	-4	-2	-2	

Taulukko 3. Taulukosta 2 laskettu erotus standardin mukaiseen C_{tr} -arvoon nähden.

Erotus ISO 717-1 nähden		100-3150 Hz			50-5000 Hz		
Rakenne	50 km/h	60 km/h	80 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	
1	-1	5	9	-1	7	12	
2	-1	4	6	-1	6	10	
3	-1	2	3	-1	3	4	
4	-1	6	10	-1	7	12	
5	-2	7	11	0	8	13	
6	-1	-1	-1	0	-1	-1	
7	-1	5	9	-1	5	9	
8	0	0	1	0	1	1	

Rakenteet eroavat toisistaan merkittävästi sen suhteen, miten paljon C_{tr} eri nopeuksilla poikkeaa standardin mukaisesta C_{tr} arvosta. Taajuusalueella 100-3150 Hz suurin virhe tapahtui rakenteilla 4 ja 5, joilla ero oli jopa 10-11 dB. Näillä rakenteilla pientaajuinen ääneneristys oli suhteellisen pieni verrattuna taajuuskeskiarvoon. Sen sijaan rakenteilla 6 ja 8 ero oli pieni. Näillä rakenteilla ääneneristys oli huono ja äänieristyksessä esiintyi voimakas resonanssi suurilla taajuuksilla, jolloin pientaajuinen ääneneristys ei ollut taajuuskeskiarvoon nähden alhainen. Rakenteet 6 ja 8 edustavat erittäin huonosti ääntä eristävää rakennetta, joita ei käytetä kohteissa, joissa on korkea ääneneristystarve. Näin

ollen standardin mukainen C_{tr} aliarvioi merkitsevästi rakenteiden todellista ääneneristävyttä tieliikennemelua vastaan, kun nopeus on 60 tai 80 km/h.

4 TULOSTEN KÄYTÄNNÖN MERKITYS

ISO 717-1 mukainen tieliikennemeluspektri kuvaa vain kaupunkikeskustan liikennettä, jolloin nopeus on alle 50 km/h. Suuremmilla nopeuksilla se yliarvioi 63 – 250 Hz melun osuutta 5 dB ja 50 Hz melun osuutta liki 10 dB. Alle 50 Hz:n taajuuksia ei ole tarpeen huomioida ulkovaippon ääneneristyslaskelmissa lainkaan, koska melua on vähän.

Koska julkisivurakenteiden äänieristysvaatimukset esitetään R_w+C_{tr} arvona, ovat vaatimukset nopeusalueilla 60 km/h ja 80 km/h todelliseen tarpeeseen nähden jopa 10 dB ylimitoitettuja. Tämä tarkoittaa sitä, että julkisivurakenteisiin investoidaan todellista tarvetta enemmän alueilla yli 50 km/h. Vaatimuksen kasvaessa pientaajuuksilla 5 dB:llä pitää massa kaksinkertaistaa, mikä väistämättä kohottaa rakennusosien kustannuksia.

Spektripainotustermiä C_{tr} tarvitsisi soveltaa todellisuudessa vain nopeusalueilla 0-50 km/h. Nopeuksilla 60-80 km/h riittäisi käyttää pelkkää R_w -arvoa kun kuvataan rakenteiden ääneneristyskykyä tieliikennemelua vastaan. Spektripainotusterman $C_{tr,50-5000}$ käyttöönottoa ei voida mitenkään perustella, koska se entisestään pahentaisi nykytilannetta ja korostaisi tarpeettomasti pientaajuisen melun roolia. Pientaajuisen melun ääneneristävyden laboratoriomittauksiin liittyy myös suuria epävarmuuksia. [5]

ISO 717-1 standardia tulisi jatkossa kehittää vastaamaan paremmin eri nopeudella eteneviä liikennemeluspektrejä. Pientaajuisen spektripainotusterman käyttöönottoa Suomessa ei voida perustella kovin hyvin tämän tutkimuksen nojalla. Ennemminkin tutkimus puoltaa sitä, että spektripainotustermeistä pitäisi luopua ja laskenta pitäisi tehdä esimerkiksi oktaaveittain.

KIITOKSET

Tutkimus toteutettiin LFN hankkeessa, jonka rahoitti Tekes ja 4 yritystä.

VIITTEET

1. ISO 717-1:1996. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Genève, International Organization for Standardization.
2. SIPARI P, SAARINEN A, Rakennuksen julkisivun ääneneristävyden mitoittaminen, Ym-päristöopas 108, Ympäristöministeriö, Helsinki 2003.
3. ISO 140-3:1995. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. Genève, International Organization for Standardization.
4. KOSKINEN V, HONGISTO V, Tieliikennemelun taajuusjakauma, Työterveyslaitos, 2009.
5. VIRJONEN P, KERÄNEN J, HONGISTO V, Ilmääneneristävyden laboratoriotestaus pientaajuuksilla - intensiteetti- vai painomenetelmä? Akustiikkapäivät 2011, Tampere 11-12.5.2011, Suomen Akustinen Seura ry, Espoo.