

RAKENNUKSEN KELLUTTAMINEN VS. STUDIOON KELLUTTAMINEN – AKUSTIKON NÄKÖKULMA

Henri Penttinen¹, Henrik Möller¹, Timo Peltonen¹, Janne Riionheimo¹ ja Sakari Tervo¹

¹ Akukon Oy
Hiomotie 19
00380 Helsinki
henri.penttinen@akukon.com

Tiivistelmä

Akustikot suunnittelevat sekä rakennusten kellutuksia että studioiden kellutuksia asuinviihtyvyyden ja työolosuhteiden kannalta. Tässä artikkelissa esitellään studion ja rakennuksen kellutuksen suunnitteluun liittyviä periaatteita, eroja ja yhtäläisyyksiä. Kokonaisia rakennuksia pitää kelluttaa, kun maaliikenne aiheuttaa runkomelu- tai värinähaittaa rakennuksen käyttötarkoitukset huomioiden. Kokonaisen rakennuksen kelluttamiseen päädytään yleensä, kun viranomaisten asettamat ohjeet tai kaavavaatimus ylittyvät. Rakennuksen kelluttamisella halutaan välttää mm. unen keskeytyksistä aiheutuvat terveydelliset haitat lepotiloissa tai taata riittävän hyvät työskentelyolosuhteet. Studioita kelluttaessa pitää huomioida sekä studion aiheuttamat äänet naapureiden kannalta että studioon kantautuvat äänet. Studion aiheuttamien äänien vaimennuksia arvioidessa suunnittelua ohjaavat pääasiassa viranomaisten vaatimukset, kun taas studioon kantautuvia melutasoja arvioidessa käytetään laadullisia tavoitearvoja mm. standardeista.

1 JOHDANTO

Meluntorjunnan kannalta rakennusrunkoon kohdistuva meluntorjunta on haastavaa suunnittelua. Meluntorjunnan onnistuminen on rakennuksen tai huonetilojen käyttöönoton, asuinviihtyvyyden ja työolosuhteiden kannalta erittäin tärkeää. Torjuntaratkaisuna päädytään usein vaimentamaan runkoääntä jousimaisilla vaimentimilla. Jouset asennetaan vaimennettavan massan alle ja tätä toimenpidettä kutsutaan usein *kelluttamiseksi*.

Melua voi kytkeytyä rakennusrunkoon useita reittejä pitkin, ja melun lähteen tyyppejä on useita. Rungossa kulkevalle melulle on tyypillistä, että varsinkin pienet taajuudet vaimenevat hitaasti etäisyyden funktiona verrattuna ilmaäänien vaimenemiseen. Esimerkiksi studiotiloissa melu voi kytkeytyä kaiuttimien tai soitinten tuottamasta ilmaäänestä rakennusrunkoon ja kuulua rakennuksen meluherkkiin tiloihin, kuten asuntoihin. Maaliikenteen aiheuttama runkomelu puolestaan kytkeytyy rakennusrunkoon maaperän ja rakennuksen perustusten kautta.

Runkomelun torjunta on kaikissa tapauksissa oleellinen osa rakennuksen meluntorjunnan suunnittelua, ja ratkaisuperiaatteet ovat melulähteestä riippumatta hyvin samankaltaisia.



© 2021 Henri Penttinen, Henrik Möller, Timo Peltonen, Janne Riionheimo ja Sakari Tervo. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

2 MÄÄRÄYKSET, VAATIMUKSET JA STANDARDIT

Ympäristöministeriön asetukset ja ohjeet sekä kaavamääräykset ohjaavat rakennushankkeeseen ryhtyvää [1]. Asuintilojen ohjearvot on esitetty rakennuksen ääniympäristöasetuksen 796/2017 soveltamisohjeessa [1]. Maaliikenteen runkomelua tarkastellaan käyttäen tilastollista tunnuslukua L_{pm} , joka kuvaa raideliikenteestä sisätiloihin kantautuvia hetkellisiä runkomelutasoja. Avoradalla kulkevan raideliikenteen aiheuttaman runkomelun ei tulisi asuintiloissa ylittää 35 dB; tunnelissa kulkevan raideliikenteen osalta ohjearvo on 30 dB. Rakennuksen ääniympäristöohjeessa annetaan lisäksi ohjearvot taloteknisten laitteiden runkomelulle [1]. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen toimenpideraja taloteknisten laitteiden melun enimmäistasoille L_{AFmax} on 33 dB [2].

Studioon kantautuvien äänien osalta voidaan soveltaa kuunteluhuoneiden standardia [3], jossa on esitetty sekä taustameluun että huoneakustiikkaan liittyviä vaatimuksia. Tämän artikkelin kannalta olennaisia ovat taustamelutason vaatimukset, jotka ilmaistaan NR-lukuina, jotka voidaan ilmaista myös tavanomaisia äänitasoarvoja käyttäen. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa pientaajuusmelun toimenpideraja on $L_{Aeq} \leq 25$ dB. Pientaajuusmelulle on myös terssikaistakohtaiset vaatimukset. [2]

3 KELLUTUSTEN SUUNNITTELU JA PERIAATTEET

Tavoitteena kaikessa meluntorjunnassa on, että häiriöäänät ja värähtelyt saadaan vaimennettua tilan käyttötarkoitukseen nähden sopivalle tasolle.

Torjuntatarpeen määrittelyssä akustikko laatii liikenteen tärinä- ja runkomeluselvityksen tai studion rakennusakustisen selvityksen, jossa tunnistetaan torjuntatarpeet ja esitetään niiden laajuus ja laatu. Vaimennustarvetta voidaan kummassakin tapauksessa arvioida laskennallisesti tai mittauksin.

Melutason arvioinnissa voidaan soveltaa raideliikenteen mallinnusmenetelmiä erityisesti ennen uuden radan rakentamista, alueen kaavaselvityksen yhteydessä tai kohteen rakennuslupavaiheessa. Alustavan laskennallisen selvityksen antamaa arviota voidaan tarkentaa myös mittauksin. Raideliikenteen aiheuttamaa runkomelua mitataan tulevan rakennuksen alueen maaperästä tai olemassa olevista rakennuksista.

Studioiden ja tarkkaamoiden tapauksessa herätteiden tasot ja spektrit ovat usein hallittavissa ja hyvin tiedossa. Suurin osa suunnittelusta voidaan tehdä studioiden tapauksessa suunnittelupöydällä. Kun studiota rakennetaan olemassa olevaan kohteeseen, nykyisten rakenteiden ilmajäänieristysmittauksilla voidaan määrittellä vaimennustarpeet tarkemmin ja saadaan arvio sivutiesiirtymien vaikutuksista.

Torjuntatarve määritellään kantautuvan melutason, sen spektrin ja kohteen tavoitetason erotuksen avulla. Lisäksi huomioidaan melun esiintymisen ajankohdat sekä esiintymistiheys.

Raideliikenteen runkomelua mitataan ja arvioidaan taajuuskaistalla 16...500 Hz, ja vaimennustarve määritellään terssikohtaisesti. Raideliikenteen runkomelun torjuntatarve ΔL on tyypillisesti 10...20 dB ja se kohdistuu yleensä taajuuskaistoille 50...250 Hz.

Studioiden kelluttamisen yhteydessä esiintyvät vaimennustarpeet voivat pienten taajuuksien osalta olla samaa luokkaa kuin raideliikenteen tapauksessa, mutta ilmajäänieristykseen

liittyvät vaimennustarpeet yksittäisille rakenteille voivat olla selvästi suurempia; luokkaa $D_{nTw} > 60...70$ dB. Imaäänieristyksen tapauksessa tarkasteltava taajuusalue on standardista riippuen välillä 50...100 Hz – 5 kHz.

Taulukkoon 1 on koottu tyypillisiä herätetasoja ja vaimennustarpeita liittyen studiotiloihin, tarkkaamoihin ja raideliikenteeseen. Vaimennustarpeen ollessa suuri, tarkentavat mittaukset auttavat riskien hallinnassa.

Taulukko 1. Lähtötasot ja vaimennustarpeet eri tiloille radan tai studion vieressä asunto.

	Lähtötaso		Vaimennustarve	
	L_A	$L_{pZ,50Hz}$	D_{nTw}	$\Delta L_{50-250 Hz}$
Tarkkaamo, normaali	80...85 dB	95...100 dB	60...70 dB	40...50 dB
Tarkkaamo, elokuvamiksaus	80...90 dB	100...115 dB	65...80 dB	50...60 dB
EDM studio	80...100 dB	100...115 dB	65...80 dB	50...60 dB
Studion soittotila	95...105 dB	100...110 dB	65...80 dB	50...60 dB
Tavarajuna (10 m, kallioperustus)	45...55 dB	-	-	10...20 dB
Raitiovaunu (10 m, kallioperustus)	20...45 dB	-	-	5...10 dB

3.3 Rakennusten kelluttaminen

Rakennuksen kelluttaminen toteutetaan sen perustuksissa vaakasuuntaisena erotuskaistana. Joustava vaimennin katkaisee maaperästä rakennusrunkoon etenevän värähtelyherätteen mekaanisen kytkeytymisreitit. Vaakasuuntainen vaimennin etenee perustuksissa tyypillisesti yhdessä tasossa alemman ja ylemmän perustuslinjan eli nk. kaksoisanturan välissä. Rakennusrunkoon liittyvät talotekniikan läpiviennit toteutetaan joustavasti. Lisäksi pintamaata pitkin etenevää herätettä vaimennetaan pystysuuntaisilla vaimentimilla radan ja rakennuksen välissä. Perustuksen halkaisun ja irrotuksen jälkeen rakentaminen jatkuu normaalisti. Periaatekuva rakennuksen perustusten irrotuksesta esitetty kuvassa 1a ja toteutus vaakasuuntaisesta vaimentimesta kuvissa 2a ja 2b.

Kun koko rakennus kellutetaan, maaperästä kytkeytyvä runkomelun kytkeytyminen saadaan torjuttua kaikissa sen tiloissa. Vaihtoehtoisesti rakennuksen sisään voidaan toteuttaa yksittäisiä huone huoneessa -ratkaisuja, tai huomioida runkomelu tilojen sijoittelussa.

3.4 Studion kelluttaminen

Studioihin liittyvät meluntorjuntavaatimukset ovat usein niin suuria, että suunnitellun äänieristyksen saavuttaminen vaatii massiivirakenteen lisäksi huone huoneessa -ratkaisun. Tällöin kaikki huoneen pinnat toteutetaan kaksoisrakenteella, joka kelluu tai on kokonaan irti ympäröivistä rakenteista. Joissakin tapauksissa riittävä äänieristys saavutetaan yhden tai kahden pinnan vaimennuksella, mutta tämä riippuu herätteen tyypistä ja spektristä. Periaatekuva studion kellutuksesta on esitetty kuvassa 1b ja toteutus kuvissa 3a ja 3b.

Kelluva lattiarakenne toteutetaan joustavan 10...200 mm vaimentimen päälle yhtenäisenä 50...200 mm massakerroksena, joka on aina reunoiltaan irti rakennuksen rungosta.

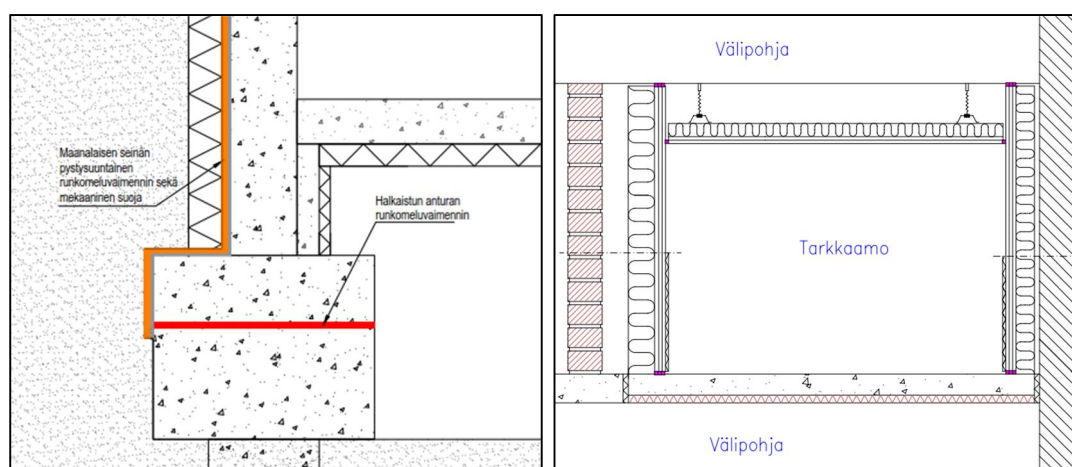
Edullisin ja yksinkertaisin kellutus rakenne on kuiva lattialevyrakenne, joka lepää oikein mitoitettuna joustavan villakerroksen päällä. Jos melun torjuntatarve on suuri, vaimennus voidaan toteuttaa kelluttamalla betonilattia elastomer-vaimentimilla tai teräsjousilla.

Väliseinät toteutetaan usein kelluvan lattian päälle, jolloin seinärakenteen perustukset on kellutettu samalla vaimentimella kuin lattia. Seinät lisäävät kelluvaan lattiaan kohdistuvaa kuormaa, jolloin saavutettavaa vaimennusta saadaan hieman parannettua. Seinien

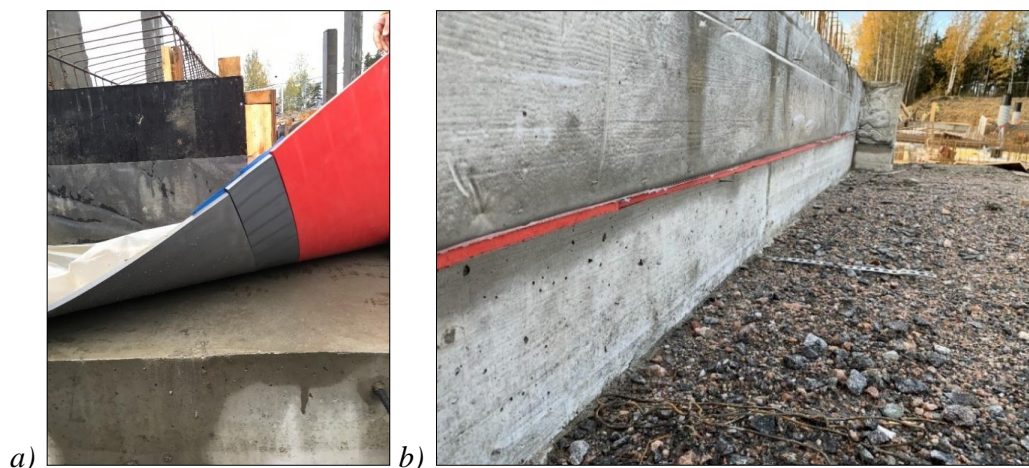
kaksoisrakente voidaan asentaa joustavasti myös kantavalle välipohjalle, jolloin saavutettava vaimennus ei ole yhtä suuri kuin kellutetun lattian päälle asennettaessa.

Seinärakenteiden kiinnitykset ja tuennat toteutetaan joustavasti tärinäeristimillä. Ilmaäänieristyskannalta seinä- ja kattorakenteissa on oltava riittävän suuri ilmaväli viereisiin rakenteisiin, jotta saavutetaan tarvittava ilmaäänieristys.

Ääntä eristävä alakatto voidaan toteuttaa kipsilevyrakenteella, joka on kiinnitetty joustavilla kannakkeilla ylempään välipohjaan. Äänieristysalakatto on tiivis, reunoiltaan irti muista pystysuuntaisista rakenteista ja sen läpiviennit toteutetaan joustavasti. Onnistuneessa mitoituksessa vaimentimien kellutustaaajuus on mitoitettu riittävän alas, kipsilevyjen massa on sopiva ja villoitettu ilmaväli on riittävän suuri. Talotekniikkaa voidaan tarvittaessa asentaa katon ja holvin väliin, jos ilmaväli on riittävän suuri.



Kuva 1. a) Rakennuksen kelluttamisen ja b) studion huone huoneessa -ratkaisun periaatteet.



Kuva 2. a) Runkomeluvaimentimien alapuolinen sileähkö antura, kahden runkomeluvaimennintyyppin raja ja liitosteippi sekä b) onnistunut runkomeluvaimentimen asennus kaksoisanturan väliin, jossa vaimenninmatto näkyvissä.



Kuva 3. Kuvia kellutetun studiolattian toteutuksesta a) ennen lattian asennusta ja b) lattian asennuksen jälkeen.

3.3 Mitoituksen optimointi ja mitoituksessa huomioitava

Rakenteiden kellutukseen liittyvät fysikaaliset periaatteet ovat samat sekä kokonaisen rakennusrungon että yksittäisten studiotilojen osalta. Lattioiden ja rakennuksen kellutuksessa riittävän matala kellutustaajuus on merkittävä kriteeri mitoituksessa. Laskenta voidaan aloittaa massa-jousi-mallilla

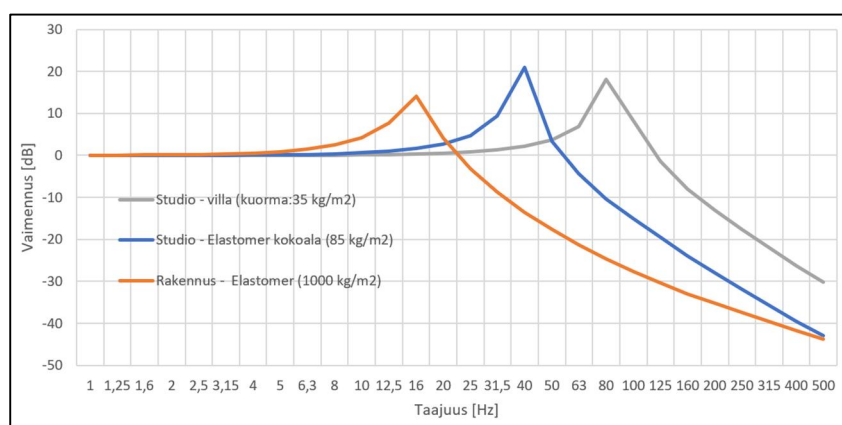
$$H = \sqrt{\frac{1 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \quad (1)$$

jossa η on mekaaninen häviökerroin, $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$, k on jousivakio ja m on massa. Kuvassa 4 on esitetty tyypillisille massoille (35, 85 ja 1000 kg /m²) ja jousivakioille (elastomer: 5 MN/m³ ja villa: 10 MN/m³) siirtofunktiot, joissa kellutustaajuudet $f_0 = 15$ Hz, 42 Hz ja 80 Hz. Mikäli jousi on liian jäykkä (10 MN/m³) suhteessa massaan (35 kg/m²), kellutuksen tuottama vaimennus alkaa siirtofunktion avulla tulkittuna vasta > 100 Hz kohdalla. Kellutustaajuudella $f_0 = 15$ Hz vaimennus alkaa vastaavasti kuuloalueen alarajalla 20 Hz tienoilla.

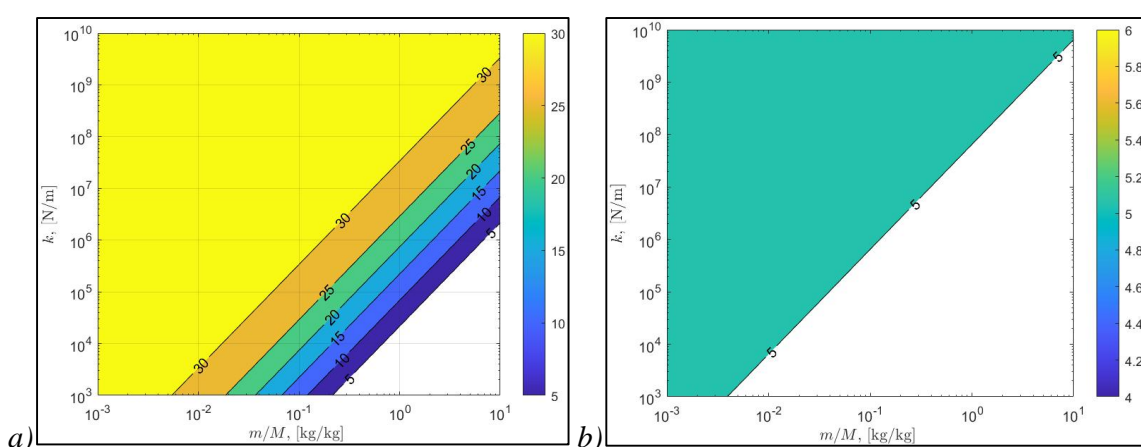
Joustavan alapuolisen laatan vaikutusta saavutettavaan vaimennukseen voidaan arvioida laskemalla lisäyshäviö IL alustan äärellisen massan ja vaimentimen siirtofunktion H avulla [4]

$$IL = -20 \log_{10}(H) - 10 \log_{10} \left(1 + \frac{(\omega m)^2}{64 M k_m}\right), \quad (2)$$

jossa M on kantavan rakenteen massa ja k_m on taivutusjäykkyys. Kuvassa 5 on esitetty saavutettava lisäyshäviö $\Delta IL_{16-250 \text{ Hz}}$ massasuhteen m/M ja taivutusjäykkyyden k_m funktiona, kun kellutustaajuus f_0 on 15 Hz ja 80 Hz. Laskennassa on oletettu, että herätetaso on vakio taajuuskaistalla 16...250 Hz. Pienillä taajuuksilla suurin saavutettava lisäyshäviö on 30 dB, kun $f_0 = 15$ Hz. Vastaavasti kun f_0 on 80 Hz, suurin odotettavissa oleva lisäyshäviö on 5 dB ja jos alapuolisen rakenteen massa on samaa suuruusluokkaa kellutetun massan kanssa, lisäyshäviö on 0 dB.



Kuva 4. Tyypillisiä siirtofunktioita $H(f)$ eri massoilla ja joustavilla materiaaleilla.



Kuva 5. Saavutettavat lisäyshäviöt IL (50...250 Hz) kun a) $f_0 = 15$ Hz ja b) $f_0 = 80$ Hz.

4 TOTEUTUKSESSA HUOMIOITAVAA

Äänisilloilla viitataan ei-haluttuihin mekaanisiin kytköksiin kellutetun rakenteen ja muun rakennusrungon välillä. Tyypillisesti äänisiltojen riskikohdat tunnistetaan suunnitteluvaiheessa ja työmaan aikaiset malliasennukset auttavat välttämään äänisiltoja.

Rakennuksen kellutuksessa tulisi lisäksi huomioida materiaalin sijoittelu, sillä vaimennusmateriaali voi vaihtua lyhyelläkin matkalla talon perustuksissa. Läpivienneissä tulisi aina käyttää joustavia liitoksia, kun tekniikka kulkee kelluttamattomalta alueelta kellutetulle. Mikäli käytetään elastomeerejä, asennusalustan tulee olla riittävän tasainen ja valujen yhteydessä tulee kiinnittää huomiota siihen, että valut eivät pääse kytkemään kellutettua osaa.

Studioiden kellutuksessa tulee myös kiinnittää huomiota materiaalin sijoitteluun, läpivienteihin ja äänisiltojen syntymisen estämiseen. Myös rakenteiden kosteustekninen toimivuus on varmistettava.

VIITTEET

- [1] Ympäristöministeriö. *Ääniympäristö-Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä*. 2018.
- [2] Valvira. Ohje 8/2016. *Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa II*. 2016.
- [3] ITU-R BS.1116-1 *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems*.
- [4] J.H. Rindel, *Sound Insulation in Buildings*, CRC Press, FL, USA, 2018