

KELLUVAN LATTIAN VÄRÄHTELY RUNKOMELUALUEELLA

Pekka Taina, Tommi Saviluoto

Helimäki Akustikot Oy
Tempelikatu 6 B
00100 HELSINKI
etunimi.sukunimi@helimaki.fi

Tiivistelmä

Maaliikenteen runkomelualueella liikennöinti aiheuttaa maaperän värähtelyä, joka siirtyy perustusten kautta rakennukseen. Rakenneosien värähtely säteilee huoneen pinnoista edeten ilmassa äänenä aistittavina paineaaltona. Rakenteet voimistavat niihin kohdistuvaa värähtelyä herätteen osuessa niiden ominaistajuuksille, ja asuinrakentamisessa käytettävien tyyppillisten kelluvien lattiarakenteiden alimmat ominaistajudet ovat usein runkomeluhäritteen kannalta merkittävällä taajuusalueella.

Tässä selvityksessä pyrittiin selvittämään mittauksin kelluvan lattiarakenteen värähtelykäyttäytymistä runkomeluhäritteellä. Mittaukset suoritettiin kiihtyvyyssantureilla kantavasta ontelolaatta-alapohjasta, sekä kantavan alapohjan päälle tehdystä kelluvasta lattiarakenteesta. Herätteenä mittauksissa toimi raideliikenne. Mitattu kelluva rakenne värähteli huomattavasti kantavaa alapohjarakennetta voimakkaammin runkomelun kannalta merkittävällä taajuusalueella. Runkomelun kannalta merkittävän taajuusalueen tunteminen on tärkeää, mikäli kelluvaa lattiarakennetta käytetään runkomelualueelle sijoituvassa rakennuksessa.

1 JOHDANTO

Maaliikenteen liikennöinnistä aiheutuu maapohjan värähtelyä, joka siirtyy rakennukseen ja muuttuu siellä ääneksi. Heräte syntyy kahden pinnan kosketuksessa, esimerkiksi junan pyörän kosketus kiskoon. Värähtely siirtyy väylän alusrakenteiden kautta maaperään, josta se edelleen kytkeytyy rakennuksen perustuksiin. Rakennuksessa rakenneosien värähtely säteilee huoneen pinnoista edeten ilmassa paineaaltona ja se voidaan aistia äänenä. Maaliikenteen runkomelun arviointiin on Suomessa julkaistu ohje vuonna 2009 [1].

Rakennuksessa havaittavaan runkomelutasoon vaikuttavat värähtelyn aiheuttaja, siirtotien ominaisuudet sekä rakennuksen ominaisuudet. Rakenteiden resonanssi voi voimistaa runkomelua. Oikein mitoitetuilla, kantavien rakenteiden päälle tehtävillä lisäverhouksilla voidaan myös alentaa tilassa saavutettavia runkomelutasoja. Lisäverhouksia ovat esimerkiksi kelluvat lattiat ja ääntä eristävät alaslasketut katot.

Kelluvia lattioita voidaan käyttää rakennuksissa esimerkiksi lattialämmityksen takia, rakenteen keventämiseksi, korkojen takia tai parantamaan tilojen välistä askelääneneristystä. Suunnittelussa huomioidaan yleensä vain askeläänieräite, tai joissain tapauksissa pyörivien laitteiden tuottama värähtely. Runkomelualueella akustisena herätteenä toimii lisäksi myös maaliikenteen aiheuttama rakenteiden värähtely.

2 RAKENTEIDEN VÄRÄHTELY JA RUNKOMELU

2.1 Rakenteen värähtelyn synnyttämä ääniteho

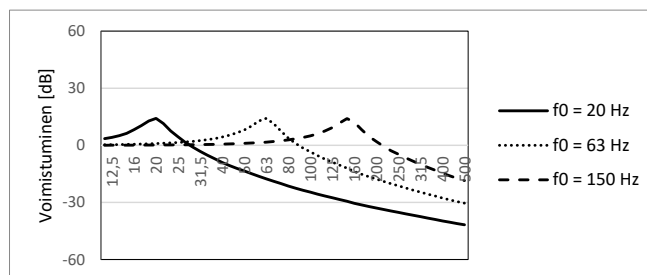
Rakenteiden ja rakenneosien värähdellessä niiden pinnat säteilevät ääntä. Huonetilaan syntyvä äänitaso riippuu pinnoista säteilevästä äänitehosta sekä tilan huoneakustisista ominaisuuksista. Pinnoista säteilevä ääniteho riippuu pinnan koosta, värähtelynopeudesta ja säteilysuhteesta σ [2].

$$\sigma = \frac{P}{\rho c S \langle v^2 \rangle}. \quad (1)$$

Kaavassa P on värähtelevän äänilähteen säteilemä ääniteho, ρ on ilman tiheys, c on äänen nopeus ilmassa, S on äänilähteen pinta-ala ja $\langle v^2 \rangle$ on nopeuden neliön aikakeskiarvon pinta-alakeskiarvo.

2.2 Kelluva lattia jousi-massajärjestelmänä

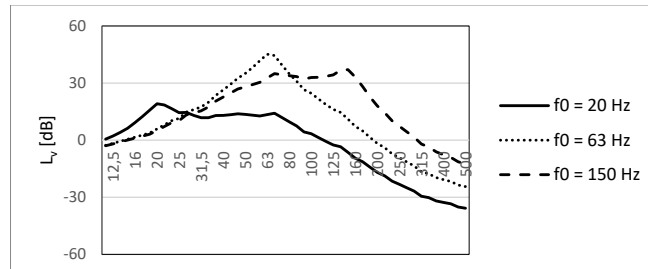
Yksinkertaistettuna kelluvaa lattiaa voidaan esimerkiksi kuvata jousi-massajärjestelmänä, jossa massa (lattialaatta) lepää jousen (alusmateriaali) päällä. Järjestelmällä on ominaistajuus f_0 , jonka ympäristössä se vahvistaa siihen syötettävää värähtelyä. Syötettävän värähtelyn taajuuden ollessa $\sqrt{2}$ kertaa ominaistajuutta suurempi, järjestelmä vaimentaa värähtelyä.



Kuva 1. Värähtelyn voimistuminen yksinkertaisessa jousi-massajärjestelmässä. Vaimenusalue $f > \sqrt{2} f_0$.

Laajakaistaisen herätteen tapauksessa järjestelmä vahvistaa värähtelyn pienitaajuisia komponentteja samalla kun suuremmilla taajuuksilla värähtely vaimenee. Akustisilta ominaisuuksiltaan hyvin mitoitettu kelluva lattia vaimentaa herätteen merkittäviä komponentteja koko kuuloalueella. Usein kelluvan lattian resonanssitaajuus on kuitenkin 50...100 Hz alueella. Koska runkomelualueella värähtelyherätteen merkittävät komponentit ovat usein myös kyseisellä taajuusalueella, voi kelluva lattiarakenne värähdellä kantavaa rakennetta voimakkaammin ja siten voimistaa tilassa havaittavaa runkomelutasoa.

Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaisen jousi-massajärjestelmän vaste kolmessa eri tapauksessa. Herätteenä on käytetty tyypillistä laajakaistaista runkomelun värähtelyä, jonka merkittävin taajuusalue on 63 Hz terssikaistalla. Järjestelmän ominaistajuus vaihtelee (20 Hz, 63 Hz ja 160 Hz).

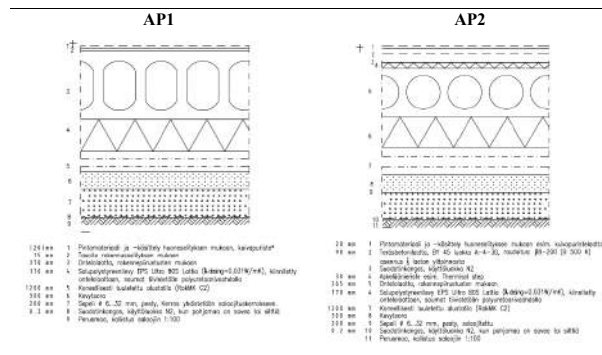


Kuva 2. Erilaisien jousi-massajärjestelmien vaste identtisellä laajakaistaisella herätteellä.

3 TUTKIMUSKOHDE

Kelluvan lattian käyttäytymistä runkomeluberätteellä tutkittiin erään uudisrakennushankkeen yhteydessä. Tutkimuksen kohteena oli betonirakenteinen paaluperusteinen asuinkeuhkorostalo, jossa oli tuulettuva alapohja. Kohde suunniteltiin lähelle vilkkaasti liikennöityä junarataa.

Runkorakenteiden ominaistajuuksia tarkasteltiin suunnitteluvaiheessa laskennallisilla menetelmillä [3, 4]. Kohteen alapohjarakenteina oli suunnitelmassa 370 mm ontelolaattarakenne (AP1), sekä 265 mm ontelolaatta + pintabetoni 120 mm, jota rakentamisen aikana kevennettiin korvaamalla osa betonista 30 mm EPS-kerroksella (AP2). Kyseisen kelluvan lattiarakenteen alinta ominaistajuutta arvioitiin laskennallisella menetelmällä [5].



Kuva 3. Alapohjarakenteet AP1 (vasemmalla) ja AP2 (oikealla).

4 MITTAUKSET

4.1 Mittausolosuhteet

Rakentamisen ollessa runkovaiheessa, kelluvan lattiarakenteen värähtelytekniistä toimintaa suhteessa ontelolaatta-alapohjaan tutkittiin mittaamalla rakenteiden värähtelyä kiihtyvyyssantureilla. Värähtelymittaukset suoritettiin rakennuksen alimmassa asuinkeuhkorokossa,

yhden asunnon makuuhuoneessa ja olohuoneessa lattioiden pinnasta. Asunnon makuuhuoneen lattiarakenne oli AP2 ja olohuoneen AP1. Mittauspisteet sijaitsivat samassa kerroksessa muutaman metrin päässä toisistaan, yhtä suurella etäisyydellä junaradasta. Anturit asennettiin keskelle huonetilaa.

Varsinaiset runkomelumittaukset suoritettiin äänitasomittauksena tarkkuusäänitasomittarilla asunnon makuuhuoneessa. Mittaukset suoritettiin runkomelun mittausohjeen [1] mukaisesti keskellä huonetilaa. Makuuhuoneen seinärakenteista kolme oli betonirakenteisia ja yksi kipsilevyrakenteinen. Mittaushuoneet aukesivat pois päin radasta ja ilmaäänien eteneminen oli estetty tehokkaasti tilapäisillä rakenteilla. Mittausten aikana työmaa hiljennettiin ja taustäänitaso $L_{A,eq}$ mittausten aikana oli noin 20 dB.

4.2 Ominaisaajuuksien kokeellinen määrittäminen

Kahdesta alapohjarakenteesta AP1 ja AP2 määritettiin alimmat ominaisaajuudet kokeellisesti ns. Heel-drop-menetelmällä [3]. Mittauksilla määritetyt sekä etukäteen laskennallisesti arvioitujen rakenteiden alimmat ominaisaajuudet on esitetty taulukossa 1.

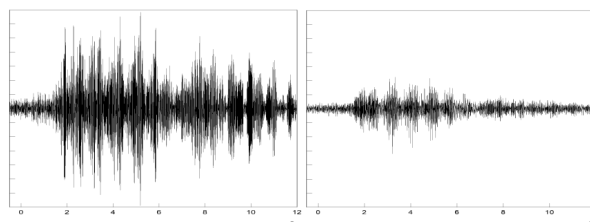
Taulukko 1. Alapohjarakenteiden laskennalliset ja mitatut merkittävät ominaisaajuudet.

Alapohjarakenne	Laskettu alin ominaisaajuus	Mittauksin määritetyt alimmat ominaisaajuudet
AP1	26 Hz	40 Hz, 47 Hz
AP2	42...49 Hz	45 Hz, 60 Hz, 75 Hz, 90 Hz

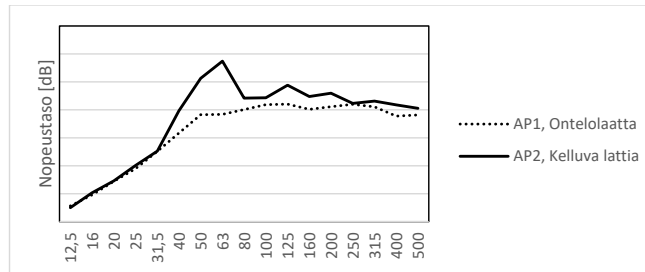
Laskennallisesti molempien rakenteiden ominaisaajuudet arvioitiin pienemmiksi kuin mittauksin. AP2 tapauksessa alin ominaisaajuus ei kuitenkaan ollut merkittävin, vaan rakenne värähteli annetulla herätteellä huomattavasti voimakkaammin määritellyillä suuremmilla ominaisaajuuksilla. Yleisesti mittauksissa havaittiin, että käyttäen Heel-drop herätettä, kelluva massaltaan pienempi lattiarakenne AP2 värähtelee huomattavan paljon suuremmalla amplitudilla verrattuna ontelolaattaan AP1, erityisesti runkomelun kannalta merkityksellisellä taajuuksialueella.

4.3 Rautatieliikenteen värähtelymittaukset

Myös junien ohitusten aiheuttamaa värähtelyä mitattiin lattioiden pinnasta. Kuvassa 4 on esitetty yhden junan ohituksen aikana mitattu nopeussignaali mitattuna eri alapohjarakenteiden pinnoista. Kuvassa 5 on esitetty eri alapohjarakenteiden pinnoista mitattujen A-painotettujen nopeustasojen keskiarvojen spektrit.



Kuva 4. Yhden junan ohituksen aiheuttamat nopeussignaalit [mm/s] aikatasossa mitattuna eri alapohjarakenteiden pinnasta. Vasemmalla alapohja AP2, oikealla alapohja AP1. Kuvaa-ajien akselien skaalat on samat.

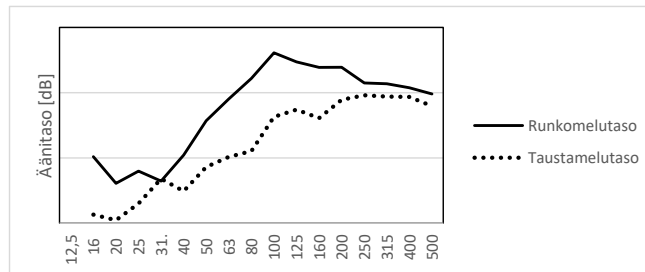


Kuva 5. Eri alapohjarakenteiden pinnoista mitatut A-painotettujen nopeustasojen keskiarvojen spektrit.

Kelluvan rakenteen AP2 pinnasta mitatut nopeustasot olivat huomattavasti suurempia kuin ontelolaatan AP1 pinnasta mitatut. Lisäksi kuvasta 5 voidaan havaita selvä korostuma 63 Hz terssikaistalla kelluvan laatan pinnasta mitatuissa nopeustasoissa. Erot eri rakenteiden pinnoista mitatuissa nopeustasoissa noudattelevat Heel-drop-menetelmällä tehdyissä mitauksissa tehtyjä havaintoja.

4.4 Äänitasomittaukset

Äänitason mittaustuloksista laskettiin tilastollinen runkomelutaso L_{prm} [1]. Tulos täytti sille asetetun vaatimuksen, mutta se voitiin kuitenkin erotella mittaustuloksista erittäin pienen taustamelutason vuoksi. Kuvassa 6 on esitetty tyypillisen junan ohituksen tuottaman runkomelun spektri.



Kuva 6. Mitatun tyypillisen junan ohituksen aiheuttaman runkomelun spektri A-painotettuna.

Äänitasomittauksen perusteella runkomelun merkittävin terssikaista oli 100 Hz. Värähtelymittauksissa havaittua selvää korostumaa 50...63 Hz kaistoilla ei voitu erottaa selvästi äänitasomittauksissa.

5 HAVAINTOJA JA POHDINTAA

Raideliikenteen aiheuttaman värähtelyn mittauksissa kelluvasta lattiarakenteesta (AP2) mitatut värähtelyn nopeustasot olivat huomattavasti ontelolaatasta (AP1) mitattuja suurempia erityisesti 50...63 Hz terssikaistoilla. Rakenteista mitattujen nopeustasojen välinen ero

noudatteli Heel-drop-mittauksissa tehtyjä havaintoja. Kelluvan laatan säteilyosuus tutkitavalla taajuusalueella poikkeaa oletettavasti ontelolaatan säteilyosuudesta, joten pintojen säteilemän äänitehon ero ei ole yhtä suuri kuin nopeustasojen ero [2, 6]. Säteilyosuus eroa ei tutkittu.

Rakenteesta AP2 mitatun värähtelyn spektri ei suoraan vastaa samassa huonetilassa mitatun äänitason spektriä. Tämä voi johtua mm. tilan huoneakustisista ominaisuuksista, kelluvan laatan säteilyosuudesta ja tilan muiden pintojen säteilemästä äänestä.

Kelluva lattia voi vaikuttaa runkomelutasoihin joko nostavasti tai alentavasti ja siten runkomeluhäritteen merkittävän taajuusalueen tunteminen on tärkeää rakenteiden mitoituksen kannalta. Alapohjasta säteilevän äänitehon lisäksi tilan äänitasoon vaikuttavat muiden pintojen säteilemä ääniteho sekä tilan huoneakustiset ominaisuudet.

VIITTEET

- [1] Talja, A. ja Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, Esi-selvitys, VTT tiedotteita 2468. 56+11 s.
- [2] Cremer, L., Heckl, M. ja Petersson B.A.T. 2005. Structure-borne-sound. Structural vibrations and sound radiation at audio frequencies 3rd edition. 607 s.
- [3] Talja, A., Toratti, T. ja Järvinen, E. 2002. Lattioiden värähtelyt, suunnittelu ja kokeellinen arviointi, VTT tiedotteita 2124. 50+12 s.
- [4] Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. ja Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT tiedotteita 2425. 95+69 s.
- [5] EN 12354-2:2000. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms. European Committee for standardization. 15+18 s.
- [6] Hentinen, M., Hynnä, P., Lahti, T., Nevala, K., Vähänikkilä, A., Järviluoma, M. 2002. Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työkaluissa. Laskentaperiaatteita ja käyttöesimerkkejä. VTT tiedotteita 2160. 118+164 s.