

PUURAKENTEISTEN OPPILAITOSTEN AKUSTIIKKASUUNNITTELUN ERITYISPIIRTEITÄ

Pekka Latvanne¹, Antti Mikkilä²

¹ A-Insinöörit
Bertel Jungin aukio 9
02600 ESPOO
etu.suku@ains.fi

² A-Insinöörit
Puutarhakatu 10
33210 TAMPERE
etu.suku@ains.fi

Tiivistelmä

Valtakunnallisten puurakentamisen edistämishelmien ansiosta puu on saavuttanut jalansijaa julkisten rakennusten, erityisesti opetusrakennusten, rakennusmateriaalina. Suomalainen teollinen puurakentaminen on yhä kehitysvaiheessa, minkä vuoksi rakennusten suunnitteluprosessiin liittyy usein uusien rakenneratkaisuiden kehittämistä ja ideointia. Kehitystyö edellyttää akustiikkasuunnittelulta kykyä arvioida eri suunnitteluratkaisuiden vaikutusta esimerkiksi ääneneristävyyteen. Tällainen suunnittelutehtävä on yleensä vaativaa, sillä rakenteiden ääneneristävyyden arvioinnissa ei voida hyödyntää vakiintuneita massiivirakenteiden laskentamenetelmiä tai mittaustuloksia. Puurakenteiden suunnittelu eroaa massiivirakenteista myös siinä, että kantokykyvaatimusten sijaan puurakenteiden dimensiot määräytyvät usein ääneneristys-, värähtely- tai palonkestovaatimusten perusteella. Ääneneristävyyden laskentamallien avulla voidaan optimoida puurakenteita ja saavuttaa rakennushankkeen kannalta merkittäviä kustannussäästöjä. Tässä artikkelissa esitellään puurakenteisen opetusrakennuksen akustiikkasuunnitteluprosessia A-Insinöörien akustiikkasuunnittelun suunnitteluohjeiden kautta. Artikkelissa esitetään erilaisia puurakenteisten opetusrakennuksen rakennejärjestelmiä, käsitellään niiden vaikutusta akustiikkasuunnitteluun sekä luodaan katsaus myös puurakenteiden opetusrakennuksen huoneakustiikan suunnitteluun.

1 JOHDANTO

Opetustilojen ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen siten, että niissä saavutetaan toimintaa vastaava riittävän hyvä ääniympäristö [1]. Opetustiloissa tulee olla puheenerotettavuuden kannalta riittävän hyvät ääniolosuhteet oppimisen mahdollistamiseksi. Opetustilojen välisen ääneneristävyyden tulee olla riittävä työrauhan saavuttamiseksi ja jotta muista tiloista kantautuvat häiriöäännet eivät haittaisi



© 2021 Pekka Latvanne, Antti Mikkilä. 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.

keskittymistä [2]. Avoimissa opetustiloissa hyvät ääniolosuhteet saavutetaan riittävällä huoneakustisella vaimennuksella ja peiteäänijärjestelmällä [3].

Opetusrakennusten arkkitehtisuunnittelun tavoitteet nivoutuvat akustiikkasuunnittelun tavoin tilojen toiminnallisiin tavoitteisiin. Rakennusmateriaalista riippumatta tilojen tulee mahdollistaa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä oppimisympäristö. Puurakenteisille opetusrakennuksille on ominaista puun käyttö sisustuselementtinä ja puupintoja pyritään jättämään näkyviin mahdollisimman paljon. Esimerkiksi Lempäälän Kanavan koulun aulatiloiissa hirsirakenteet näkyvät sisäverhouspintoina (kuva 1).



Kuva 1. Hirsipintaa Lempäälän Kanavan koulun aulatiloiissa. Kuva: A-Insinöörien kuva-arkisto.

Suomalainen teollinen puurakentaminen on yhä kehitysvaiheessa, minkä vuoksi rakennusten suunnitteluprosessiin liittyy usein uusien rakenneratkaisuiden kehittämistä ja ideointia. Kehitystyö edellyttää akustiikkasuunnittelulta kykyä arvioida eri suunnitteluratkaisuiden vaikutusta ääniolosuhteisiin. A-Insinööreillä on kehitetty työkaluja puurakenteiden ääneneristävyyden laskennalliseen arviointiin. Parametristen ja numeeristen laskentamenetelmien hyödyntäminen merkitsee säästöjä sekä ajankäytössä että kustannuksissa, kun erilaisia rakennevaihtoehtoja voidaan tarkastella nopeasti ja tehokkaasti sekä sulkea pois epäedullisia ratkaisuja hankkeen varhaisessa vaiheessa [4–9].

2 RUNKOJÄRJESTELMÄT

Puurakennushankkeissa akustiikkasuunnittelijan rooli ja asiantuntemus korostuvat hankkeen suunnittelun alkuvaiheessa, kun valitaan kohteen runkojärjestelmä ja rakennetyypit. Tyypillisiä puurakennuksen runkojärjestelmiä ovat ranka-, massiivipuu-, hirsi- tai pilari-palkki-runko [10–11]. Puurakentamisessa pyritään korkeaan esivalmistusasteeseen ja sen myötä lyhyempään rakennusaikaan tontilla. Korkea esivalmistusaste tarkoittaa käytännössä rankarakenteiden elementointia ja suurikokoisia CLT-levyjä, jolloin rakenteet voivat jatkua yhtenäisenä usean tilan välillä. CLT- ja rankarunkoisissa rakennuksissa väli-

seinät voivat toimia kantavina sekä jäykistävinä rakenteina. Kuvassa 2 on esitetty Päiväkoti Hopealaakson CLT-rungon pystytys: CLT-elementit ovat betonirakenteisiin verrattuna kevyitä, minkä ansiosta elementtien nosto oli mahdollista tehdä kevyellä ajoneuvonosturilla.



Kuva 2. Päiväkoti Hopealaakson kantavan CLT-rungon pystytys käynnissä. Kuva: Oy Rakennuspartio.

Viime vuosina markkinoilla ovat yleistyneet myös erilaiset hybridirakenteet, kuten puu-betoni-liittorakenteet. Tällaisissa rakenteissa pyritään hyödyntämään kunkin rakennusmateriaalin parhaat ominaisuudet. Puurakenteita voidaan hyödyntää myös esimerkiksi vain ei-kantavina ulkoseinäinä, jolloin rakennuksen kantava runko voidaan toteuttaa betoni- tai puurakenteisena. Rakennusmateriaalien yhdistämistä tukevat myös Ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerisuositukset, jotka ohjaavat uusiutuvan ja kierätetyn rakennusmateriaalin käyttöön julkisessa rakentamisessa [12].

3 RAKENNETYYPI

Opetusrakennusten suunnittelussa akustiikkasuunnittelijan tehtäviin kuuluu rakennesuunnittelijan avustaminen rakennetyyppien laadinnassa [13]. Rakennetyyppien dimensiot eivät useinkaan määräydy lujustechnisten vaatimusten perusteella vaan mitoittavaksi tulee rakenteen ääneneristävyys, palonkesto tai vaakarakenteiden tapauksessa värähtely ja sallittu taipuma [14].

Levymäinen puukerros on ilmapääneneristävydeltään noin 15 dB heikompi kuin paksuudeltaan vastaava betonikerros. Saavutettavaan ääneneristävyyteen vaikuttaa myös rakenteen koinsidenssin rajataajuus, joka on riippuvainen rakenteen massasta ja jäykkyydestä. Puulevyrakenteilla tämä rajataajuus osuu yleensä rakennusakustiikan kannalta kiinnostavan taajuusalueen keskivaiheille, mikä heikentää ääneneristävyyttä [10–11]. CLT-rakenteiden osalta tämä tarkoittaa, että ne joudutaan usein verhoamaan levyverhouksella ääneneristävyyden parantamiseksi. Kun kevyitä väliseiniä käytetään rakennuksen kantavina tai jäykistävinä rakenteina, käytetään rakenteessa puurankoja ja -levyjä sekä usein tavanomaista tiheämpää kiinnikejakoa. Nämä tekijät voivat heikentää väliseinän ilmapääneneristävyyttä verrattuna tavanomaiseen vastaavan paksuiseen teräsrankaväliseinään.

Puurakenteiden ääneneristävyksien arviointi on pitkään perustunut laboratorioissa tai koerakennuksissa tehtäviin akustisiin mittauksiin [15–18]. Viime vuosina menetelmät

ilma- ja askelääneneristävyyden tarkastelemiseen laskennallisesti ovat kehittyneet nopeasti. Esimerkiksi uusien rakenteiden tuotekehityksessä kannattaa käyttää numeerisia menetelmiä. Suunnittelutarkoituksiin parametrinen menetelmien tarkkuustaso on yleensä riittävä. [4–9, 19]

3 RAKENTEIDEN LIITOKSET

Puurakennuksessa runkojärjestelmällä on merkittävä vaikutus rakenteelliseen sivutiesiirtymään ja täten tilojen välillä saavutettavaan ääneneristävyyteen. Puurakenteiden liitoksissa tapahtuvien häviöiden laskentaan ei toistaiseksi ole standardoitua tai muuta yleisesti hyväksyttyä menetelmää. Betonirakenteilla liitosten ääneneristävyys perustuu liitosten jäykkyyteen ja liittyvien rakennusosien massaan. Puurakennusten rakenteiden liitosten suunnittelu on perustunut pitkälti asuntorakentamisen yhteydessä tehtyyn mittaus- ja kehitystyöhön. [10–11]

Asuinrakennukseen kehitetyt liitosratkaisut ovat osin ylimitoitettuja opetusrakennukseen, koska opetustilojen ääneneristysvaatimukset ovat pääsääntöisesti kevyempiä. Rakenteellisen sivutiesiirtymän vaikutusta ääneneristävyyteen voidaan arvioida laskennallisilla menetelmillä [8]. Toistaiseksi puurakentamisen liitosratkaisut eivät kuitenkaan ole vaikiintuneet, vaan rakenteellisen sivutiesiirtymän rajoittamiseksi tehtävien rakennekatkojen ja ääneneristysverhousten määritys tehdään tapauskohtaisesti.

3 HUONEAKUSTIIKKA

Opetusrakennuksissa tarkoituksenmukaiset huoneakustiset olosuhteet luovat edellytykset vaivattomalle kommunikaatiolle opettajan ja oppilaiden välillä. Opetusrakennusten suunnittelussa akustiikkasuunnittelijan tehtäviin kuuluu huoneakustisten vaatimusten määrittely sekä huoneakustisten rakenteiden ja materiaalien määrittely yhteistyössä arkkitehdin kanssa. [3, 13] Esimerkiksi Suomalais-venäläisen koulun aulatila seinien huoneakustiset verhoukset on asennettu harvapuuroimoituksen taakse. Aulassa pyrittiin jättämään näkyviin mahdollisimman paljon kantavia puurakenteita (kuva 3).



Kuva 3. Suomalais-venäläinen koulun aulatilassa on jätetty näkyviin mahdollisimman paljon puurunkorakenteita. Kuva: A-Insinöörien kuva-arkisto.

Tyypillisesti puurakennuksissa laajat puupinnat toimivat tärkeänä osana sisustusta. Puupohjaisia materiaaleja pyritään suosimaan myös muissa sisäverhouspinnoissa, kuten alakatoissa ja seinäverhouksissa. Käytännön ratkaisuja ovat erilaiset puukuitulevyt sekä rei'itetyt puulevyt ja -rimoitukset, joiden taustalle asennetaan ääntä absorboivaa materiaalia. Puupintojen käyttöä rajoittaa merkittävimmin julkisten tilojen pintamateriaalien pintaluokkavaatimukset. Palosuojaamattomien puurakenteiden pintaluokka on yleensä *D-s2-d2*, pois lukien puurutilärakenteet, joilla on heikompi pintaluokka. [20]

4 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Puurakentamista on edistetty erilaisten valtakunnallisten tukiohjelmien avulla jo useiden vuosien ajan, viimeisimpänä ympäristöministeriön Puurakentamisen ohjelma (2016-2022) ja nykyinen hallitusohjelma. Julkisen puurakentamisen kansallisiksi tavoitteiksi on asetettu, että vuonna 2025 opetusrakennuksista 65 % toteutettaisiin puurakenteisina. [21]

Rakennusten hiilijalanjäljelle asetetut tavoitteet ovat lisänneet ja tulevat lisäämään puun käyttöä opetusrakennusten rakennusmateriaalina. Rakennusten energiatehokkuuden parantua rakennusmateriaalin ja rakentamisvaiheen suhteellinen merkitys rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen kasvaa. Puurakenteilla voidaan pienentää näiden vaiheiden hiilijalanjälkeä. Ympäristöministeriön tavoitteena on, että rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ohjataan lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä. Rakennuksen ympäristövaikutuksia arvioidaan nykyään vapaaehtoisilla kaupallisilla ympäristöluokituksilla, kuten LEED-, BREEAM-, RTS- tai Joutsenmerkki-ympäristöluokitus. [22–23]

Puurakennusala elää voimakasta kasvun ja kehityksen kautta. A-Insinöörien akustiikka-suunnitteluyksikkö on vastannut puualan kehitystarpeeseen omalla kehitystyöllään. Puurakenteiden ääneneristävyyden arviointiin on nykyään käytettävissä eri tasoisia parametreja ja numeerisia menetelmiä. Sopiva menetelmä voidaan valita vaaditun tarkkuustason ja hankkeen luonteen mukaan. [4]. Puurakenteiden kilpailukykyä opetusrakennusten rakennusmateriaalina voidaan parantaa esimerkiksi nostamalla esivalmistusastetta ja vakiomalla ratkaisuja asuntorakentamisen tapaan.

VIITTEET

- [1] Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä.
- [2] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu: oppilaitokset, auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry RIL 243-2-2007.
- [3] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2019. Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus. 2019. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:28.
- [4] Kylliäinen, M. & Lietzén, J. & Kovalainen, V. 2021. Puurakenteiden ääneneristävyyden nykyaikaiset laskentamenetelmät. Rakennusfysiikka 2021. Tampere, 28.-30.10., Tampereen yliopisto ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- [5] Kovalainen, V. & Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2019. Kelluvien laattojen askeleeneneristävyyden analyttinen laskenta. Akustiikkapäivät 2019. Oulu, 28.–29.10., Akustinen Seura ry, s. 33–40.
- [6] Latvanne, P. 2015. Puuväli pohjien akustiset ominaisuudet ja laskentamallit. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.

- [7] Riitakangas, J. 2020. Ilmaääneneristävyyden parametrinen laskentamallin validointi. Insinööritoimisto. Kuopio, Savonia-ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan tutkinto-ohjelma.
- [8] Pura, M. 2021. Äänen rakenteelliset sivutiesiirtymät puurakennuksissa. Diplomityö, Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma.
- [9] Valjakka, S., Lietzén, J., Kylliäinen, M. & Pajunen, S. 2019. Lattianpäällysteen askelääneneristävyyden parannusvaikutus CLT-välipohjilla. Akustiikkapäivät 2019. Oulu, 28.–29.10., Akustinen Seura ry, s. 26–32.
- [10] Lahtela, T., Kylliäinen, M., Lietzén, J., Kovalainen, V. & Talus, L. 2021. Ääneneristys puutalossa. Helsinki, Puuinfo Oy.
- [11] Kylliäinen, M., Latvanne, P., Kuusinen, A., Kekki, T. 2017. Puukerrostalojen ääneneristys: Asiantuntijaselvitys. Joensuu. Karelia-ammattikorkeakoulu.
- [12] Kuittinen, M. & le Roux, S. 2017. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [13] Akustiikkasuunnittelun tehtäväluettelo AKU18, ohjekortti RT 103190. 2020. Rakennustieto Oy.
- [14] Keronen, A. (toim.). 1998. Puukerrostalot: rakenteet. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikan laboratorio, julkaisu 85.
- [15] Keronen, A. & Kylliäinen, M. 1996. A beam-to-column frame system from LVL. Proceedings of the first workshop "Timber frame housing in Europe – Current status and development". Stuttgart, October 3-4, COST Action E5: Timber frame building systems, s. 51-62.
- [16] Keronen, A. & Kylliäinen, M. 1997. Sound insulation of a wooden apartment building in full-scale testing. Viridi, K.S., Garas, F.K., Clarke, J.L. & Armer, G.S.T. (eds.). Structural Assessment: The role of large and full-scale testing. London, E & FN Spon, s. 326-333.
- [17] Keronen, A. and Kylliäinen, M. 1997. Sound insulating structures of beam-to-column framed wooden apartment buildings. Tampere, Tampere University of Technology, Laboratory of Structural Engineering, Publication 77.
- [18] Kylliäinen, M., Björman, J. & Hakkarainen, J. 2015. Akustisesti toimivan kustannustehokkaan puuvälipohjan kehittäminen. Rakennusfysiikka 2015. Tampere, 20.–22.10., Tampereen teknillinen yliopisto ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, s. 573–578.
- [19] Latvanne, P. & Kylliäinen, M. 2019. Puuvälipohjien askelääneneristävyyden laskennallinen arviointi. Puu. Nro 3, s. 42–50.
- [20] Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo. Helsinki, Puuinfo Oy.
- [21] Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet Puurakentamisen toimenpideohjelma 2016–2022. 2020. Ympäristöministeriö.
- [22] Vähähiilisen rakentamisen tiekartta, <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta> (viitattu 29.10.2021). Ympäristöministeriö.
- [23] Hakaste, H. & Kuittinen, M. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Bionova Oy.