
This is an electronic reprint of the original article.
This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Lestinen, Sami; Kilpeläinen, Simo; Valkonen, Maria; Kosonen, Risto; Jokisalo, Juha
Tilojen käytön ulkopuolisen ajan ilmanvaihdon vaikutus sisäilman laatuun koulu- ja päiväkotirakennuksissa

Published in:
Sisäilmastoseminaari : verkkoseminaari 9.3.2021

Julkaistu: 01/01/2021

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Please cite the original version:
Lestinen, S., Kilpeläinen, S., Valkonen, M., Kosonen, R., & Jokisalo, J. (2021). Tilojen käytön ulkopuolisen ajan ilmanvaihdon vaikutus sisäilman laatuun koulu- ja päiväkotirakennuksissa. teoksessa *Sisäilmastoseminaari : verkkoseminaari 9.3.2021* (Sivut 107-112). (Sisäilmayhdistys raportti; Nro 39). SIY Sisäilmatieto Oy.

This material is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of the repository collections is not permitted, except that material may be duplicated by you for your research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered, whether for sale or otherwise to anyone who is not an authorised user.

TILOJEN KÄYTÖN ULKOPUOLISEN AJAN ILMANVAIHDON VAIKUTUS SISÄILMAN LAATUUN KOULU- JA PÄIVÄKOTIRAKENNUKSISSA

Sami Lestinen¹, Simo Kilpeläinen¹, Maria Valkonen², Risto Kosonen^{1,3} ja Juha Jokisalo¹

¹ Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Konetekniikan laitos

² Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos, Terveysturvaajat -osasto

³ College of Urban Construction, Nanjing Tech University, Nanjing, China

TIIVISTELMÄ

Työsuojelurahaston rahoittamassa tutkimuksessa tarkasteltiin yöilmanvaihdon vaikutusta sisäilman laatuun julkisissa rakennuksissa, joissa ei ole yöaikaista käyttöä. Ilmanvaihto toimi 2 viikkoa samoilla asetuksilla kolmella eri käyttötavalla: ilmanvaihto sammutettiin yöksi, ilmanvaihto oli jatkuvasti käynnissä ja yöilmanvaihto oli jaksottaisesti käytössä. Koko tutkimuksen ajan päivällä oli normaali ilmanvaihto. Tuloksissa keskimääräinen TVOC-pitoisuus oli arkiamuaisin samalla tasolla kaikilla ilmanvaihdon käyttötavoilla. Mikrobpitoisuuksiin tai mikrobinäytteiden sisäilma/ulkoilma-suhteeseen ei käyttötavalla ollut vaikutusta. Tulosten mukaan jatkuva yöilmanvaihto ei vaikuta merkittävästi palvelurakennusten biologisiin ja kemiallisiin epäpuhtauksiin.

JOHDANTO

Ilmanvaihdon tehtävä on tuoda puhdasta ilmaa hengitysvyöhykkeelle ja poistaa rakennuksessa syntyviä epäpuhtauksia. Koulujen ja päiväkotien sisäilman laadun ongelmat ovat olleet viime aikoina julkisuudessa esillä. Tämä on johtanut eräissä tapauksissa siihen, että ilmanvaihtokoneita käytetään jatkuvasti, jotta sisäilmaongelmia ei pääsisi syntymään. Koneiden jatkuva käyttö ei kuitenkaan ole edellytys hyvälle sisäilmalle. Esimerkiksi eurooppalainen standardi EN 15251:2007 /1/ suosittelee vaihtamaan tilan sisäilman kahdesti ennen käyttöjakson alkua. Vastaavasti yleisesti käynnistetään ilmanvaihto 2 tuntia ennen tilojen käyttöä ja sammutetaan 2 tuntia tilojen käytön jälkeen /2/. Edellä mainittujen ohjeiden ensisijainen tavoite on taata terveelliset sisäilmasto-olosuhteet käyttöjakson alussa ja toissijaisesti pitää energiakulutus optimaalisella tasolla.

Koulujen ja päiväkotirakennusten sisäilmatutkimuksissa on löydetty potentiaalisesti terveysongelmia aiheuttavia tekijöitä /3/, jotka liittyvät rakenteiden kosteusvaurioihin, materiaaliemissioihin ja toimimattomaan ilmanvaihtoon. Näissä tapauksissa on erityisen tärkeä korjata välittömästi mahdolliset rakennevauriot ja varmistaa ilmanvaihdon suunnitelmanmukainen toiminta.

Työsuojelurahaston rahoittamassa tutkimuksessa tarkasteltiin tilojen käytön ulkopuolisen ajan ilmanvaihdon vaikutusta sisäilman laatuun 6 koulussa ja 5 päiväkodissa, joissa viidessä kohteessa oli vakioilmavirtainen ja kuudessa muuttuvilmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä. Valituissa kohteissa ei ollut raportoituja

sisäilmaongelmia. Ilman laatua analysoitiin laskeutuvan pölyn mikrobipitoisuuksien avulla /4/ ja mittaamalla TVOC-pitoisuutta.

MENETELMÄT

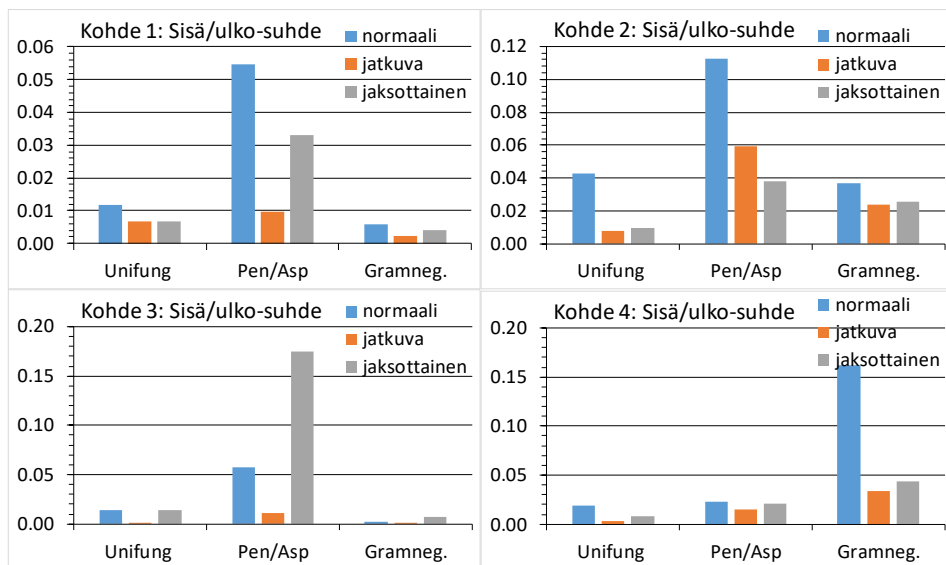
Testitapauksissa ilmanvaihtojärjestelmä toimi 2 viikkoa samoilla asetuksilla. Ensimmäisessä testitapauksessa (T1) ilmanvaihto sammutettiin yöksi ja käynnistettiin uudelleen 2-3 h ennen tilojen käyttöä. Toisessa testitapauksessa (T2) ilmanvaihto oli jatkuvasti käynnissä. Kolmannessa testitapauksessa (T3) ilmanvaihto oli käynnissä tilojen käytön ulkopuolella 2 tunnin jaksoissa arkena ja 3 tunnin jaksoissa viikonloppuna. Kaikissa testitapauksissa ilmanvaihtoa käytettiin päivällä normaalin aikaohjelman mukaisesti. Lopulliseen analyysiin otettiin vain ne kohteet, jotka olivat vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Sisäilman laatua tarkasteltiin mittaamalla mikrobeja laskeutuneen pölyn näytteistä sekä tolueeniekvivalenttia TVOC-pitoisuutta. Lisäksi mitattiin paine-eroa tilojen päätelaitteista ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan todentamiseksi.

Laskeutuneen pölyn näytteet kerättiin 8 vierekkäisellä petrimaljalla sisäilmasta ja ulkoilmasta. Näytemaljat olivat sisätilassa hyllykorkeuden mukaan 2,0-2,5 metrin korkeudessa ja ulkona yleensä suojaisessa paikassa olevassa avonaisessa muovilaatikossa. Pölynäytteistä määritettiin kvantitatiivisella polymeraasiketjureaktiolla (qPCR-menetelmä) sienten kokonaispitoisuus (Unifung) /5/, *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Paecilomyces* variotii -ryhmä (Pen/Asp) /6/ sekä grampositiiviset (Grampos) ja gramnegatiiviset (Gramneg) bakteerit /7/. Ulkoilmasta ei raportoitu Grampositiivisia bakteereja menetelmään liittyvän epävarmuuden vuoksi.

TVOC-mittauksissa käytettiin Nuvap-merkkistä ilmanlaadun yleismittaria, jonka tarkkuus on mittarin tiedoissa arvioitu olevan $\pm 15\%$. TVOC-mittaus perustuu puolijohdemenetelmään, joka tunnistaa orgaanisia molekyyliä (metal-oxide semiconductor technique). TVOC-pitoisuus on approksimaatio, joka soveltuu parhaiten kuvaamaan eri testitapausten välisiä trendejä, jos ilman VOC-koostumus säilyy samanlaisena. Tolueeniekvivalentin TVOC-pitoisuuden luotettavuus on kuitenkin huonompi kuin yhdisteiden omilla pitoisuuksilla laskettu TVOC-pitoisuus.

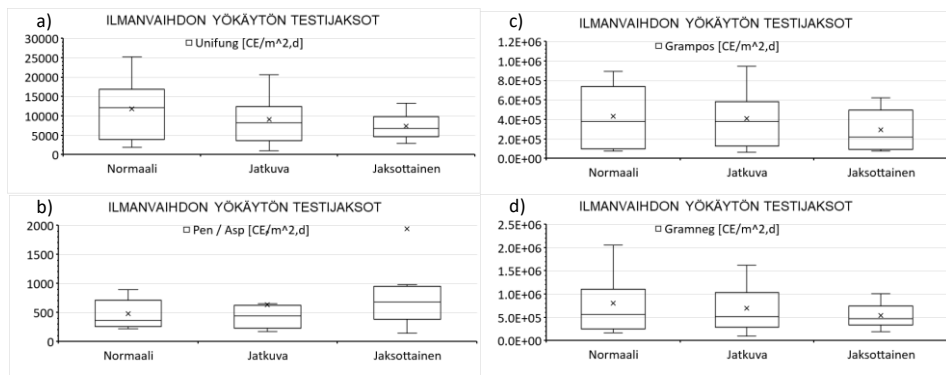
TULOKSET

Kuvassa 1 on esitetty mikrobiologisista analyyseistä (qPCR) saatuja mikrobiryhmien tuloksia koulussa (kohde 1, kevät), päiväkodissa (kohde 2, kesä), koulussa (kohde 3, talvi) ja päiväkodissa (kohde 4, syksy). Ulkoilman mikrobitasot vaihtelivat vuodenaikojen mukaan. Pitoisuuksista on laskettu sisäilma/ulkoilma-suhde kullekin käyttötavalle. Useimmissa tapauksissa tämä suhde oli muutaman prosentin suuruusluokkaa eli ulkonäytteiden pitoisuudet ovat huomattavasti suurempia kuin sisänäytteissä. Kuvan 1 kahdessa ensimmäisessä kohteessa sisäilma/ulkoilma-suhde oli suurimmillaan ilmanvaihdon normaaliyhjauksella pienentyen ilmanvaihdon jaksottaisella ja jatkuvalla ohjauksella. Kolmannessa ja neljännessä kohteessa havaittiin yksittäisiä yli 10 % suhteita. Tehtyjen mittauksien mukaan yöilmanvaihtostrategialla ei ollut selkeää vaikutusta sisä/ulkoilman mikrobisuhteeseen.



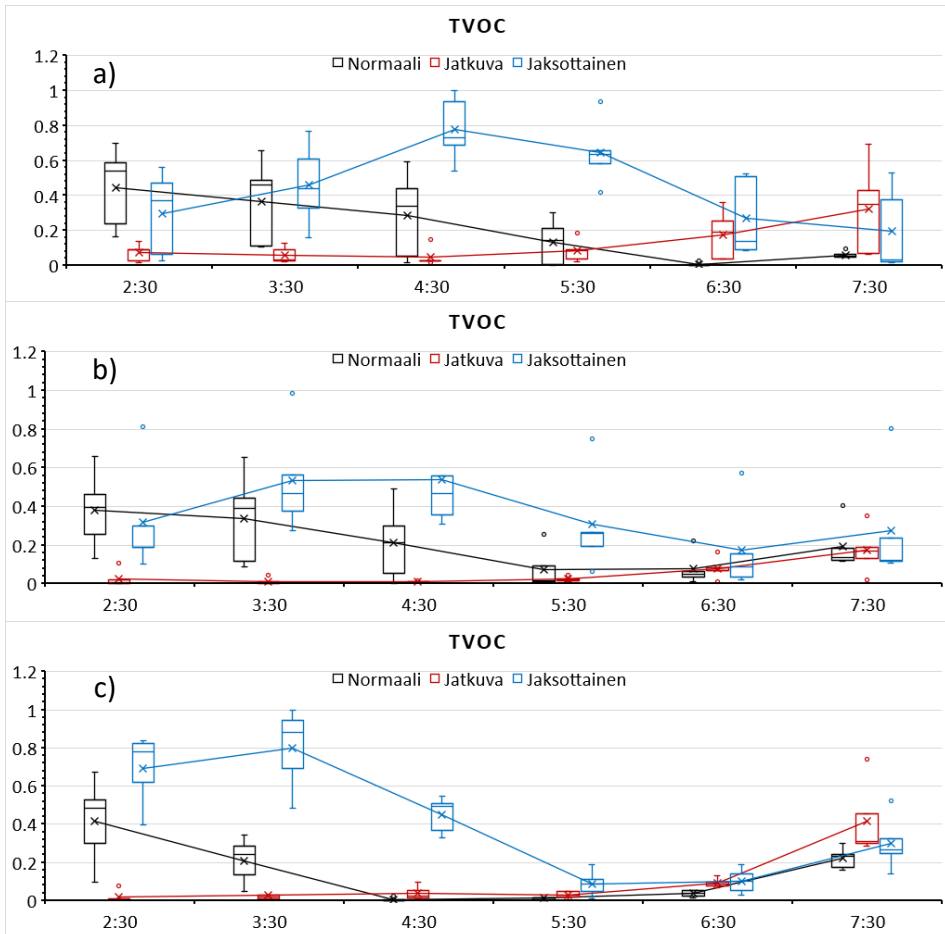
Kuva 1. Pölynäytteiden mikrobituloista saatu sisäilma/ulkoilma-suhde [-] neljässä eri kohteessa. Kohde 1: koulu keväällä. Kohde 2: päiväkotiki kesällä. Kohde 3: koulu talvella ja kohde 4: päiväkotiki syksyllä.

Kuvassa 2 on laatikko-jana-kuviot kohteiden vertailukelpoisesta otannasta (n=6). Tuloksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Yöilmanvaihdon jatkuva ja jaksottainen käyttö pienensi keskimääräistä bakteeri- ja kokonaissienipitoisuutta sisäilmassa. Pen/Asp –ryhmässä pienin keskimääräinen pitoisuus havaittiin, kun ilmanvaihto oli yöllä sammutettuna. Jatkuva ilmanvaihto kasvatti keskimääräistä Pen/Asp-pitoisuutta ja jaksottainen jopa moninkertaisesti pitoisuuden, mutta tulokseen vaikutti yksi poikkeuksellisen suuri näyte (Kuva 2b, jaksottainen).



Kuva 2. Pölynäytteiden qPCR-tulokset: a) kokonaissienipitoisuus, b) Penicillium ja Aspergillus-ryhmä, c) Grampositiiviset ja d) Gramnegatiiviset bakteerit. [CE/m²,d] on soluëkvivalenttia neliömetrille päivässä. Laatikko-janakuviot on laskettu Excelin quartile.inc funktiolla, jossa arvosarja jaetaan neljänneksiin. Poikkeavat arvot näkyvät yksittäisinä pisteinä ja keskiarvoa merkitään symbolilla x.

Kuvassa 3 on esitetty päiväkodin leikkihuoneen (syksy), koulun luokkahuoneen (talvi) ja päiväkodin leikkihuoneen (talvi) TVOC-tuloksia arkipäivisin. Tuloksien mukaan yöaikaisen ilmanvaihdon käyttötavalla ei ole merkitystä aamutuntien ilman laatuun.



Kuva 3. Dimensioton TVOC-pitoisuus arkena aamuyöllä ennen tilojen käyttöä: a) päiväkotitalvi, b) koulu talvella, c) päiväkotitalvi. "Normaali" = ilmanvaihto on sammutettu yöksi. "Jatkuva" = ilmanvaihto on jatkuvasti käynnissä. "Jaksottainen" = ilmanvaihto on jaksottaisesti käynnissä. Laatikko- ja jakokuviot on laskettu Excelin `quartile.inc` funktiolla. Viivakuvaaja yhdistää keskiarvoja (x).

Päiväkodissa (Kuva 3a) TVOC-pitoisuus oli aamulla klo 6-8 pienimmillään kun ilmanvaihto oli käynnistetty normaalisti 2 h ennen tilojen käyttöä. Ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä TVOC-pitoisuus kasvoi suurimmaksi ja ilmanvaihdon jaksottaisella käytöllä taas TVOC-pitoisuuden vaihtelu oli suurinta. Koulussa (Kuva 3b) vastaava TVOC-pitoisuus oli pienimmillään, kun ilmanvaihtoa pidettiin jatkuvasti käynnissä. Tällöin myös TVOC-pitoisuuden vaihtelu oli pienintä. Suurin keskimääräinen TVOC-pitoisuus ja pitoisuuden vaihtelu oli ilmanvaihdon jaksottaisella käytöllä. Toisessa päiväkodissa (Kuva 3c) TVOC-pitoisuus oli vastaavasti pienimmillään ilmanvaihdon käynnistyttyä ennen tilojen käyttöä. Tällöin myös TVOC-pitoisuuden vaihtelu oli

pienintä. Suurin keskimääräinen TVOC-pitoisuus ja pitoisuuden vaihtelu muodostui tässä tapauksessa ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä. Tulosten perusteella päiväaikaisella tilassa tapahtuvalla toiminnalla oli suurin vaikutus sisäilman laatuun. Taulukossa 1 on esitetty TVOC-pitoisuuksia eri tarkastelujaksolta.

Taulukko 1. TVOC-pitoisuuksia. T1 on ilmanvaihdon normaalikäyttö, T2 ilmanvaihdon jatkuva käyttö ja T3 on ilmanvaihdon jaksottainen käyttö. AVG on keskiarvo ja SD on keskihajonta.

TVOC	1 viikko (168 h)		arkipäivä klo 8-16		arkipäivä klo 6-8	
[ppb]	AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD
Päiväkodin leikkihuone (Kuva 3a)						
T1	186	62	263	15	130	2,1
T2	180	87	317	70	154	23
T3	212	92	311	53	153	27
Koulun luokkahuone talvella (Kuva 3b)						
T1	238	85	330	96	167	31
T2	210	87	325	23	165	26
T3	287	129	398	154	195	79
Päiväkodin leikkihuone talvella (Kuva 3c)						
T1	223	75	222	14	177	12
T2	191	95	341	40	226	42
T3	276	112	278	94	205	39

Kaiken kaikkiaan jaksottaisella ilmanvaihdolla muodostui useimmiten yöajan suurimmat TVOC-pitoisuudet, jotka pienenevät aamulla samalle tasolle kuin muut testitapaukset. Jaksottaisen yöilmanvaihdon muita tapauksia suuremmat TVOC-pitoisuudet johtuvat todennäköisesti eri ilmanvaihtokoneiden palvelualueiden paine-eroista, joiden seurauksena epäpuhtauksia voi siirtyä tiloista toiseen. Ilmanvaihdon jatkuvalla käytöllä TVOC-pitoisuudet olivat yöllä pienimmällä tasolla, mutta pitoisuus kasvoi aamulla muiden testitapausten tavoin tilojen käytön alkaessa.

Tuloksissa on havaittavissa, että noin kahden tunnin ilmanvaihdon käyttö on riittävä pienentämään sisäilman TVOC-pitoisuudet kohdekohtaiselle minimitasolle ennen varsinaisen käyttöjakson alkua. Tällöin yöaikaisella jatkuvalla ilmanvaihdolla ei saavuteta merkittävää hyötyä epäpuhtauksien poiston kannalta. Kohdekohtaiseen minimitasoon vaikuttaa moni tekijä, kuten rakennuksen sijainti, valitut rakennusmateriaalit sekä sääolosuhteet ja ilmanvaihdon palvelualueiden yhteistoiminta. Tavoitteena on myös välttyä suurilta tilojen välisiltä ja ulkovaipan paine-eroilta, jotka saattaisivat aiheuttaa epäpuhtauksien leviämistä huoneilmaan.

YHTEENVETO

Tulosten perusteella yöilmanvaihtostrategian valinnalla ei ollut merkitystä arki-aamun TVOC-pitoisuuteen ja mikrobipitoisuuteen, jos ilmanvaihto oli käynnistetty nykysuositusten mukaisesti 2 tuntia ennen tilojen käyttöä. Mikrobinäytteiden sisäilma/ulkoilma-suhde oli useimmiten pieni, vain noin muutaman prosentin suuruusluokkaa.

Tarkasteltujen fysikaalisten suureiden erot olivat yöilmanvaihdon normaalissa, jaksottaisessa ja jatkuvassa käytössä yleensä pienempiä kuin suureiden luonnollinen vaihtelu normaalin päiväkäytön aikana. Näin ollen suurin vaikutus sisäilman laatuun oli päiväaikaisella tilojen käytöllä.

KIITOKSET

Tutkimusta ovat rahoittaneet Työsuojelurahasto, Aalto-yliopistokiinteistöt Oy (ACRE) ja Senaatti-kiinteistöt sekä Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit.

LÄHDELUETTELO

1. European Standard EN 15251:2007 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
2. FINVAC. (2020). REHVA COVID-19 guidance document (17.11.2020), Soveltuminen Suomen oloihin. <https://finvac.org/rehva-covid-19-guidance-document-3-8-2020/>.
3. Haverinen-Shaughnessy, U., Shaughnessy, R. J., Cole, E. C., Toyinbo, O., & Moschandreas, D. J. (2015). An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. *Building and Environment*, 93, 35-40.
4. Leppänen, H. K., Täubel, M., Jayaprakash, B., Vepsäläinen, A., Pasanen, P., and Hyvärinen, A. (2018). Quantitative assessment of microbes from samples of indoor air and dust. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 28(3), 231-241.
5. Haugland, R., & Vesper, S. (2002). U.S. Patent No. 6,387,652. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
6. Haugland, R. A., Varma, M., Wymer, L. J., and Vesper, S. J. (2004). Quantitative PCR analysis of selected *Aspergillus*, *Penicillium* and *Paecilomyces* species. *Systematic and Applied Microbiology*, 27(2), 198-210.
7. Kärkkäinen, P. M., Valkonen, M., Hyvärinen, A., Nevalainen, A., and Rintala, H. (2010). Determination of bacterial load in house dust using qPCR, chemical markers and culture. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(3), 759-768.