

<https://helda.helsinki.fi>

Sisäilmaongelmien aiheuttajat esille IOT:n avulla :
Rakennusten sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat hyvin yleisiä ja aiheuttavat merkittäviä terveyshaittoja ja kustannuksia

Harmo, Panu

2018-12-14

Harmo , P , Selkäinaho , J , Salkinoja-Salonen , M S , Luukkaa , J & Visala , A 2018 , ' Sisäilmaongelmien aiheuttajat esille IOT:n avulla : Rakennusten sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat hyvin yleisiä ja aiheuttavat merkittäviä terveyshaittoja ja kustannuksia ' , Automaatioväylä : Suomen säätötekniillisen seuran jäsenlehti , Vuosikerta. 2018 , Nro 06 , ISSN 0784 6428 , Sivut 19-21 .

<http://hdl.handle.net/10138/298969>

unspecified
publishedVersion

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.

Sisäilmaongelmien aiheuttajat esille IoT:n avulla

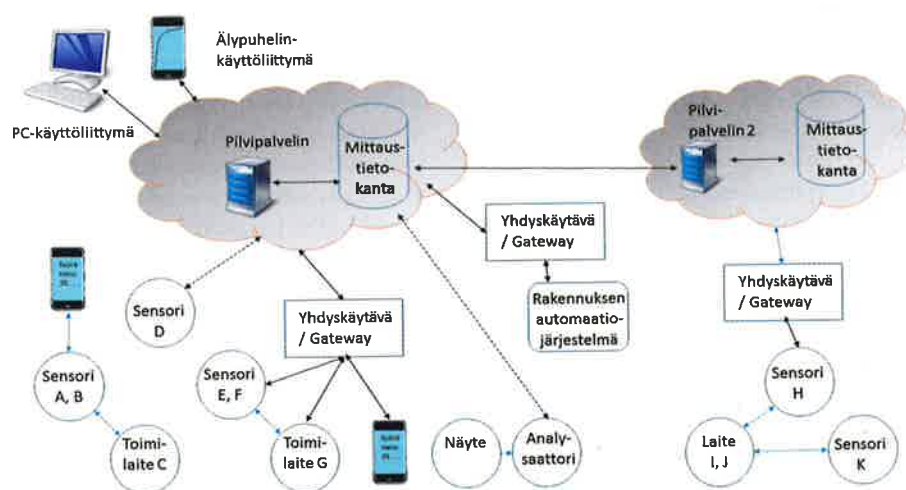
TEKSTI PANU HARMO, JORMA SELKÄINAHO, MIRJA SALKINOJA-SALONEN, JANNE LUUKKAA, ARTO VISALA, AALTO-YLIOPISTO, SÄHKÖTEKNIIKAN JA AUTOMAATION LAITOS

Rakennusten sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat hyvin yleisiä ja aiheuttavat merkittäviä terveyshaittoja ja kustannuksia.

Perinteisesti on ajateltu, että ihmiset altistuvat haihtuville aineille ja pienhiukkasille, jotka voivat myös toimia haitta-aineiden kuljettajina. Sisäilmapoliisi-hankkeen tutkimukset osoittavat, että haihtumattomat aineet voivat kulkeutua sisäilmaan myös vesihöyryn kuljettamina. Esineiden internet, IoT, mahdollistaa reaaliaikaisen mittausten seurannan ja analyysin ja vähentää sisäilmaston mittausten kustannuksia.

IoT yhdistää erilaisia fyysisiä mittaus- ja toimilaitteita ja älykkäitä järjestelmiä toimimaan keskenään internetin välityksellä. IoT-järjestelmä voidaan toteuttaa monella eri teknologialla (Kuva 1). Älykkäät laitteet voivat muodostaa paikallisen verkon, jossa siirretään komentoja ja tietoja laitteelta toiselle esimerkiksi Bluetooth tai Z-Wave-yhteyksillä. Toisaalta älykkäät laitteet voivat suoraan kommunikoida pilvipalveluiden kanssa. Tällöin kommunikointi tapahtuu paikallisverkon kautta langallisesti tai langattomasti tai käyttäen uusia pitkän kantamatkan, aina kymmeniin kilometreihin asti kantavia langattomia yhteyksiä kuten NB-IO (5G), LoRa tai Sigfox.

Paikallisessa sensoriverkossa olevat laitteet kommunikoiivat keskenään ja pilvipalveluiden kanssa usein yhdyskäytävän kautta. Paikallinen langaton verkko voi olla myös mesh-verkko, jossa viestit reitittyvät eri verkon yksiköiden kautta lopulliseen

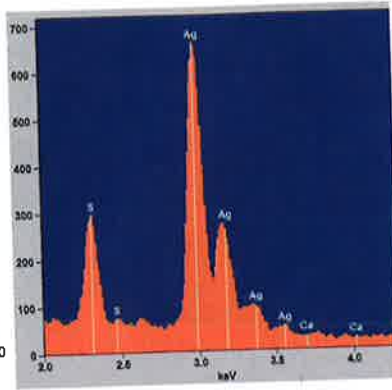
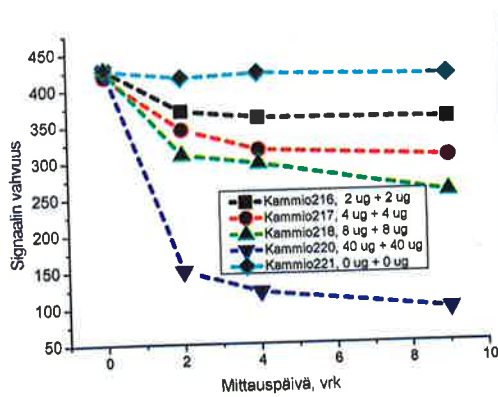


Kuva 1. Sensorit A, B ja toimilaitte C muodostavat paikallisen laitteelta-laitteelle-verkon. Sensori D kommunikoi suoraan pilvipalvelimen kanssa. Paikallisen langattoman verkon laitteet E, F ja G kommunikoiivat yhdyskäytävän kautta pilvipalvelimen kanssa. Sensori H, laitteet I, J ja sensori K muodostavat mesh-verkon, joka on yhdyskäytävän kautta yhteydessä toiseen pilvipalveluun. Pilvipalvelut voivat kommunikoida keskenään. Käyttöliittyminä toimivat älypuhelimet, tabletit ja PC-tietokoneet kommunikoiivat älykkäiden laitteiden, yhdyskäytävien ja/tai pilvipalveluiden kanssa.

kohteeseensa. Mesh-verkko mahdollistaa mittaukset laajalla alueella ilman useita tukiasemia tai yhdyskäytäviä. Pilvipalvelut voivat kommunikoida keskenään jakaen esimerkiksi mittaustietoja, sääennustuksia ja analyysitietoja. Käyttöliittyminä toimivat älypuhelimet, tabletit ja PC-tietokoneet,

joko käyttäen normaaleja internet-selaimia tai erityisiä sovelluksia.

Sisäilmapoliisi-hankkeen ensimmäiset mittausyksiköt toteutettiin Arduino-mikrokontrollereilla ja niihin liitetyillä WLAN-laajennuskorteilla. Mittaustiedot välitettiin kustakin mittausyksikös-



Kuva 2 a ja 2b. Kuvassa 2a kammioon, jossa oli hopea-anturi, lisättiin rikkivedyn päästölähteitä 0–5 päivän välein. Hopeapalat tummuivat sitä enemmän mitä enemmän rikkivetyä oli kammioon lisätty. Kuva 2b. Haihtuvien sulfidi-antureiden elektronimikroskooppisessa tarkastelussa näkyy, että sisäilma-ongelmaisessa tilassa altistetuissa hopeassa näkyy kahden hopeahuipun (Ag) lisäksi rikkihuippu (S) 2,3 keV:n kohdalla.

tä rakennuksen WLAN-verkon kautta pilvipalvelimelle. Mitattavia suureita olivat lämpötila ja kosteus, hiilidioksidi, meluisuus, valoisuus, hiukkaspitoisuus ja TVOC-pitoisuus.

Sisäilman laatua mitattiin näillä laitteilla kuudessa Helsingin ja Vantaa koulussa, kuudessa luokassa kussakin koulussa kaksi viikkoa kerrallaan. Osa luokista oli ongel-

maluokkia, joista työskentelevät ihmiset olivat raportoineet sisäilmaongelmista ja osa oli verrokkiluokkia. Oppilailta ja opettajilta kerättiin reaaliaikaista palautetta koetusta sisäilmasta ja sen mahdollisesti aiheuttamista terveyshaitoista. Kyseisellä mittausjärjestelyllä ei pystytty havaitsemaan eroja ongelmaluokkien ja verrokkiluokkien välillä. Mittausten ja käyttä-



Kuva 3. Tutkittava aine sijoitettiin kammion pohjalle lasivatiin. Kammioilmaa kostutettiin ultraäänihöyrystimellä. Kammion ilman kosteus tiivistettiin Peltier-kuivaimella vedeksi. Kammiossa mitattiin jatkuvatoimisesti lämpötilaa, kosteutta, TVOC-pitoisuutta ja tiivisteveden pintajännitystä.

jäpalautteen välillä ei myöskään havaittu merkittäviä korrelaatioita. Näistä seikoista johtuen on selvää, että pelkästään näitä perinteisiä mittauksia käyttämällä ei voida yleensä arvioida tilojen sisäilmaongelmien suuruutta tai ongelmien lähteitä.

Ilman sulfidien havainnointi

Sulfidien tiedetään olevan terveydelle haitallisia kroonisessa tai usein toistuvassa altistuksessa jo hyvin pieninä pitoisuuksina. Metallinen hopea reagoi pelkistyneiden rikkiyhdisteiden kanssa ja tummuu. Tätä ilmiötä hyväksi käyttämällä kehitettiin optinen mittaussuunnitelma sulfidien havainnointiin. Anturin hopeapintaa valaistaan LED-valolla ja heijastuneet valon intensiteettiä ja väriä mitataan valoanturilla.

Järjestelmää testattiin kammioissa, joihin annosteltiin pieniä määriä rikkivedyn vesiliuosta. Kuvasta 2a nähdään, että rikkivedyn aiheuttama tummuminen oli selvästi mitattavissa. Tummuntuneissa hopealevyissä näkyi elektronimikroskooppitarkastelussa rikkipiikki (kuva 2b).

Useita antureita samanaikaisesti käyttäen on mahdollista jäljittää sulfidikaasujen päästölähteet. Järjestelmän avulla mm. löysimme laboratoriotamme lattia-kaivon, josta puuttui vesilukko. Anturit voivat lähettää mittaus tiedot pilvipalveluun, josta hopean tummumista voi seurata.

Vesihöyry kuljettaa haitta-aineita

Haihtuvia orgaanisia aineita (VOC) pidetään terveydelle haitallisina. Voimassa olevan standardin mukaisella mittaussuunnitelmallä ei havaita aineita, joiden molekyylikoko ylittää 300 g/mol. Havaitsematta jäävät monet rakennushomeiden tuottamat homebakterit sekä siivouksessa ja kiinteistöjen ylläpidossa käytetyt antimikrobiset ja muut terveydelle haitallisina tunnetut kemikaalit.

Suljetuissa kammioissa tutkittiin yhtä päästölähdettä kerrallaan (kuva 3). TVOC-arvojen nousu tutkimuskammion sisäilmassa ilmaisi kammion pohjalle sijoitetun tutkittavan aineen kulkeutumisen ilmaan. Kosteyden noustessa myös TVOC-arvot kasvoivat.

Ilman kosteyden mukana kulkeutuvia aineita voidaan tunnistaa tiivistevedestä erilaisilla kemiallisilla ja biologisilla

menetelmillä. Pinta-aktiivisia aineita voidaan havaita reaaliajassa kehittämälämme Du Noüy'n rengasmenetelmällä toimivalla pintajännityksen mittausteella, joka lähettää mittaustiedot pilvipalvelimelle (kuva 4).

Pystyimme osoittamaan kammiokeilla, että lisäämällä kammion pohjalle puhdistusaineissa käytettävän pinta-aktiivisen aineen, Genapol X080:n vesiliuosta, kammion ilmasta tiivistetyn veden pintajännitys laski (kuva 5).

Kammiokeita eristeillä

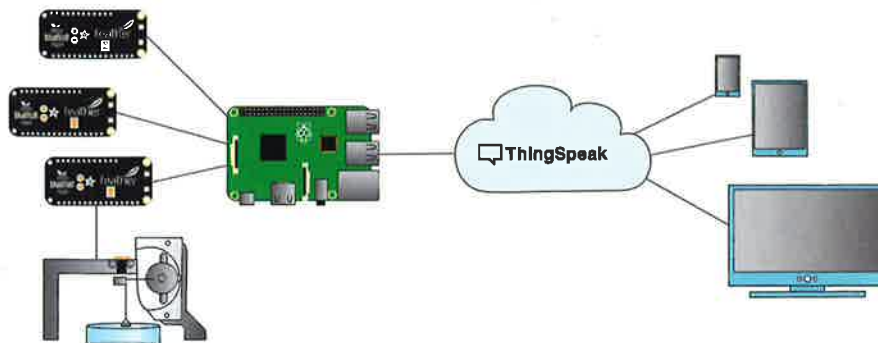
Uuden anturitekniikan avulla tutkittiin rakennuseristeitä, sekä uusia että ongelmataloista otettuja näytteitä. Lasipurkeihin sijoitettiin rakennusmateriaalia ja purkin kannen alle ripustettiin ilman laatua mittaavia antureita: lämpötila, kosteus, hiilidioksidi, happi, rikkivety, vetysyanidi, TVOC ja CO₂ ekvivalentti TVOC. Näillä kokeilla saatiin kvantitatiivista tietoa siitä, että rakennusaineissa ja rakennusten ylläpidossa yleisesti käytetyt antimikrobiset aineet voivat ohjata homeiden aineenvaihduntaa TVOC-yhdisteiden tuottoon hiilidioksidin tuoton sijasta.

Uuden omakotitalon materiaaleja tutkittiin rakennukseen liittyneiden terveyshaittoireiden takia. Rakennuksen yläpohjan kostutettua villaa suljettiin tutkimuskammioon. 80 tunnin seuranta-aikana happipitoisuus aleni merkittävästi ja TVOC-yhdisteiden määrä nousi tasolta 4000 ppm tasolle 14000 ppm hiilidioksidin (sininen) pitoisuuden pysyessä ulkoilman tasolla. Syaanivetyanturi osoitti pientä nousua ensimmäisten vuorokausien aikana. (Kuva 6)

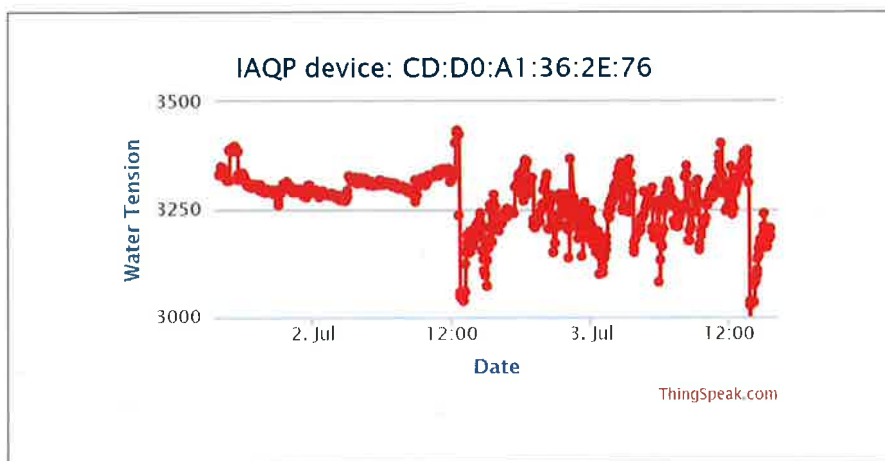
Samaa mittausjärjestelyä voisi soveltaa myös seinien sisäisissä mittauksissa ongelmälähteiden löytämiseksi.

Yhteenveto

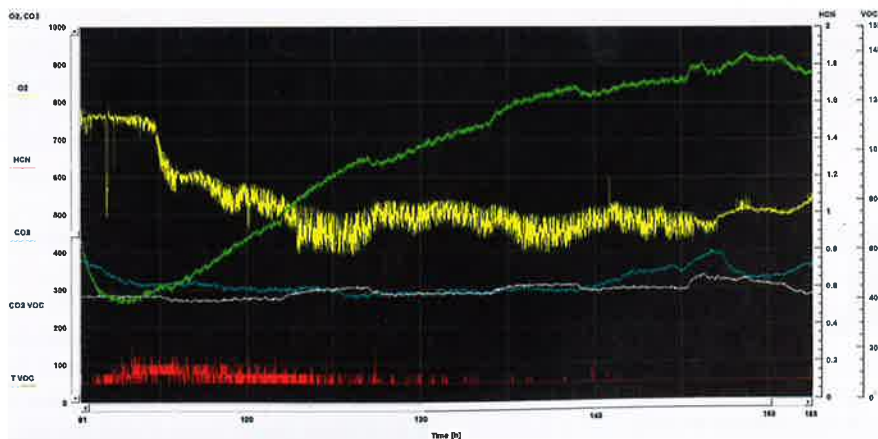
Uusien sisäilman tutkimus- ja mittausmenetelmien avulla voidaan havaita sisäilmassa ei-toivottuja aineita jo ennen kuin ne ehtivät aiheuttaa ongelmia tilojen käyttäjille. Vesihöyry kuljettaa ongelmia-aineita rakenteista ilmaan varsinkin, jos tila on alipaineinen ulkoilmaan tai viereisiin tiloihin verrattuna. **N**



Kuva 4. Kaaviokuva pintajännityksen mittausjärjestelmästä. Pintajännityksen mittausta ohjataan Adafruit Feather nRF52 mikrokontrollerikortilla, joka lähettää mittaustiedot Bluetooth-yhteyden ja Raspberry Pi -yhdyskäytävän kautta ThingSpeak-pilvipalvelimelle.



Kuva 5. Pilvipalvelimen näytössä näkyy klo 12.39 kosteudenkeräyslaitteen läheisyyteen sijoitetun Genapol X080 liuoksen vaikutus kammion ilmasta tiivistetyn veden pintajännitykseen.



Kuva 6. Ongelmatalon eristeiden mittauksissa happipitoisuus (keltainen) aleni merkittävästi ja TVOC-yhdisteiden (vihreä) määrä nousi hiilidioksidin (sininen) pitoisuuden pysyessä ulkoilman tasolla. Syaanivetyanturi (punainen) osoitti 0,1 - 0,2 ppm:n nousua ensimmäisten vuorokausien aikana