



Rakennuksen ylipaineistamiseen vaikuttavat tekijät ja energiankulutuksen tutkiminen

Tuomas Hannula

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

HANNULA, TUOMAS

Rakennuksen ylipaineistamiseen vaikuttavat tekijät ja energiankulutuksen tutkiminen

Opinnäytetyö 22 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2021

Sisäilmaongelmainen rakennus säädetään koneellisella ilmanvaihdolla ylipaineiseksi korvaavana korjaustoimenpiteenä, kun rakennus on saanut purkupäätöksen mutta toiminnan rakennuksessa halutaan vielä jatkuvan. Tällä menetelmällä säästetään väistötilojen hankintakuluissa. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia rakennuksen energiankulutusta ylipaineistuksen aikana

Opinnäytetyössä selvitettiin rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavia tekijöitä. Tarkoituksena oli tutkia, mitkä tekijät vaikuttavat rakennuksen ylipaineistukseen ja onko puurakenteista rakennusta kannattavaa ylipaineistaa. Ylipaineistetun rakennuksen kokonaisenergiankulutusta tutkittiin IDA ICE -simulointiohjelman avulla. IDA ICE -ohjelman energiasimulointia varten mallinnettiin rakennus, jonka asetusravot vastaavat puurakenteista erillistä pientaloa. IDA ICE -ohjelmalla tutkittiin vuotoilmaluvun vaikutusta optimointi simulaatiolla.

IDA ICE -energiesimuloinnilla ja optimointisimuloinnilla saatiin tulokseksi, että rakennuksen kokonaisenergiankulutus lisääntyy lineaarisesti, kun tuloilmaa kasvatetaan. Kokonaisenergiankulutus ei kasva kuitenkaan merkittävästi, joten ylipaineistus on kannattavaa siinä vaiheessa, kun rakennus on päätetty purkaa. Ilmanvuotoluvun merkityksen kokonaisenergiankulutuksessa havaittiin olevan pieni, ellei mitätön. Lopullinen rakennuksen ylipaineistus saadaan todennettua rakennuksessa vasta paine-eromittauksilla.

Opinnäytetyön pohjalta voidaan tehdä jatkossa käytännön energiankulutus mittauksia, kun rakennus on ylipaineistettu. Tutkimusta voidaan kehittää tutkimalla erikokoisen rakennuksen energiankulutusta ja erirakenteiden vaikutusta ylipaineistamisen aikana.

Asiasanat: Sisäilmaongelma, Ylipaine, Painesuhteet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

HANNULA, TUOMAS:

Factors Affecting Building Overpressure And Energy Consumption During Overpressure.

A building with an indoor air problem is adjusted to overpressure by mechanical ventilation as a temporary repair measure when the building has received a demolition decision. Overpressurizing saves the cost of acquiring evasive spaces, and the operations in the building can continue until the new building is ready.

The total energy consumption and the effect of leakage air number in an overpressurized building were researched by using the IDA ICE simulation program. The research was done using a small wooden structure building that was modeled in the IDA ICE program.

As a result, it was found that the total energy consumption of a building increases linearly as the supply air is increased. However, the total energy consumption does not increase significantly, so, overpressure is profitable at the stage when the building is soon to be demolished. The air leakage rate in the total energy consumption was found to be small, if not invalid. The final overpressure of the building can only be verified by differential pressure measurements.

Based on this thesis, practical energy consumption measurements can be made in the future when the building is overpressurized. The research can be developed further by studying the energy consumption of different size buildings and the effect of different structures during overpressure.

Key words: indoor air problem, overpressure, pressure ratios.

SISÄLLYS

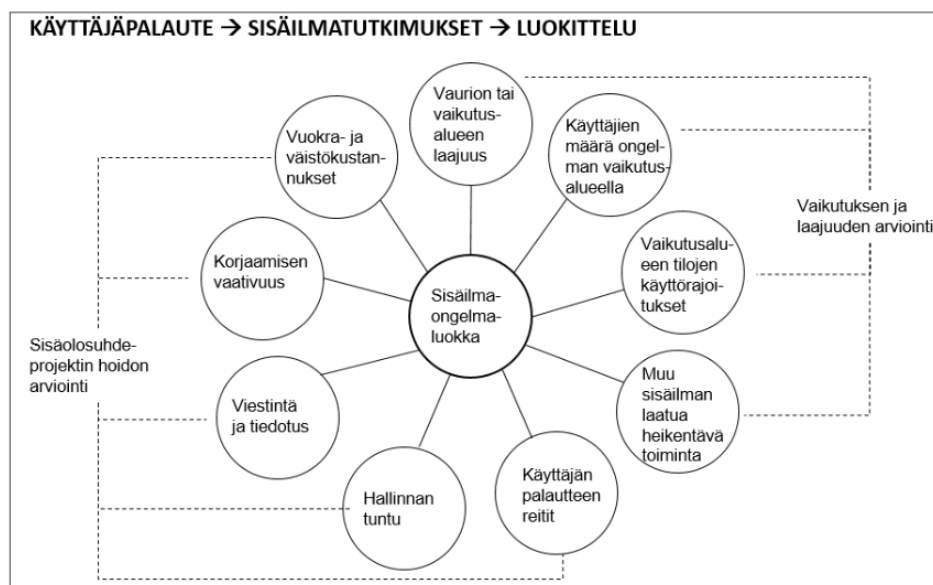
1	JOHDANTO	5
2	TEORIA	7
	2.1 Painesuhteet	7
	2.1.0 Ylipaine.....	8
	2.1.1 Alipaine.....	9
	2.2 Ilmanvuotoluku	9
	2.3 Savupiippuvaikutus	10
3	YLIPAINIESTUS	11
	3.1 Ilmankosteus	12
	3.2 Ulkoilmaolosuhteet.....	13
4	IDA ICE.....	14
	4.1 Energiasimulointi.....	15
	4.1.0 Optimointisimulaatio	16
	4.2 Rakennuksen ilmanvuotoluvun muutos optimointi simulaatiossa.	17
5	TULOKSET	18
6	POHDINTA	20
	LÄHTEET	21
	LIITTEET	22
	Liite 1. Sisäilmastoseminaari 2020. Mikä on sisäilmaongelmarakennus? Anne Korpi, Risse Koponen ja Kirsi Korpela. Senaatti- kiinteistöt 22	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan rakennuksen ilmanvaihdon energiankulutusta, kun rakennus säädetään ylipaineiseksi koneellisella ilmanvaihdolla. Tutkimuksen lähtökohtana on puurakenteinen rakennus, jossa on havaittu sisäilmaongelmia. Rakennuksen rakenteet ovat sisäilmaongelmien lähteitä ja rakennus on päätetty purkaa. Paine-ero ja rakennuksen tiiveys vaikuttavat siihen, kuinka paljon epäpuhtaudet kulkeutuvat rakennuksen vaipan läpi sisäilmaan. Toimintaa rakennuksessa halutaan kuitenkin yhä jatkaa, niin rakennus ylipaineistetaan lisäämällä tuloilmaa ilmanvaihdon avulla. Tällä menetelmällä saadaan varmistettua, että rakenteista lähtevät epäpuhtaudet eivät ajaudu sisäilmaan.

Rakennuksen ylipaineistus kasvattaa kokonaisenergiankulutusta. Tällä tutkimuksella selvitetään, miten paljon puurakenteisen rakennuksen ylipaineistus vaikuttaa kokonaisenergiankulutukseen.

Lähtökohtana terveelle rakennukselle ilmanvaihdon kannalta on puhdas sisäilma ja hyvät suunnittelun perusteet painesuhteille. Sisäilmastoseminaarin 2020 sivun 14 mukaan senaattikiinteistöt ovat kehittäneet työkalun, jolla sisäilmaongelmat pystytään rajaamaan kolmeen luokkaan 9-kohtaisen arvioinnin perusteella. Nämä kolme luokkaa ovat 1. vähäinen, 2. merkittävä ja 3. erittäin vaikea sisäilmaongelma.



KUVA 1. Sisäilmaongelmien luokittelu (Sisäilmaseminaari 2020 Mikä on sisäilmaongelmarakennus. Anne Korpi, Risse Koponen ja Kirsi Korpela)

Senaatti-kiinteistöjen tekemää työkalua voidaan verrata, myös muiden kiinteistöjen sisäilmaongelmiin. Rakennus luokitellaan luokkaan 3 Liitteen 1. määrittelyjen mukaan. Rakennuksen sisäilmaongelmaluokka luokka 3 “erittäin vaikea sisäilmaongelma” tarkoittaa sellaista sisäilmaongelmaa, jonka käsittely ja hoito on paisunut ylikuormittavaksi. Luokan 3 rakennuksien korjauskustannukset, voivat jo ylittää uuden rakennuksen rakennuskustannukset ja tällöin rakennus saa purku tuomion. Väistötilojen hankinta kuluissa pystytään säästämään huomattavasti, kun koneellisella ilmanvaihdolla oleva rakennus ylipaineistetaan. Ylipaineistuksessa rakennuksen tuloilmaa lisätään niin, että ylipaine rakennuksen vaipan yli on 15–25 Pa. Rakennuksen poistoilmanvaihtoa ei lähdetä pienentämään, sillä rakennuksen käytöstä johtuvat epäpuhtaudet halutaan yhä poistaa ja sisäilma pitää puhtaana epäpuhtauksista.

2 TEORIA

Rakennuksen sisäilma muodostuu väliseinistä sekä välipohjarakenteita ympäröivästä alueesta. Sisäilman mukana kulkeutuu huoneilman kosteutta mikrobeja ja muita epäpuhtauksia. Rakennuksen ilmavirta kulkeutuu aina ylipaineesta alipaineeseen, toki tähän vaikuttaa rakenteiden ilmatiiveys ja ulkoilman olosuhteet.

Perinteisesti rakennuksien ilmanvaihto on mitoitettu hieman alipaineiseksi. Tuloilmavirrat on säädetty enintään 10 % suunniteltua pienemmiksi, tai poistoilmavirrat vastaavasti suunniteltua suuremmiksi.

Koneellisella poistonilmanvaihdolla voi syntyä helposti ongelmatilanteita, kun korvausilmanvaihtoa on rajoitettu. Tällöin korvausilma kulkeutuu huoneeseen rakenteiden vuotoilmareittien kautta tuoden mukanaan rakenteista epäpuhtauksia ja mikrobiperäistä hajua. Voimakas poistoilmanvaihto tarvitsee, myös korvausilma reittejä tai vaihtoehtoisesti enemmän tuloilmaa, ja niiden puuttuessa korvausilma, voi tulla rakennuksen viemäroinnin kautta tuoden mukanaan epämiellyttävän viemärin hajun.

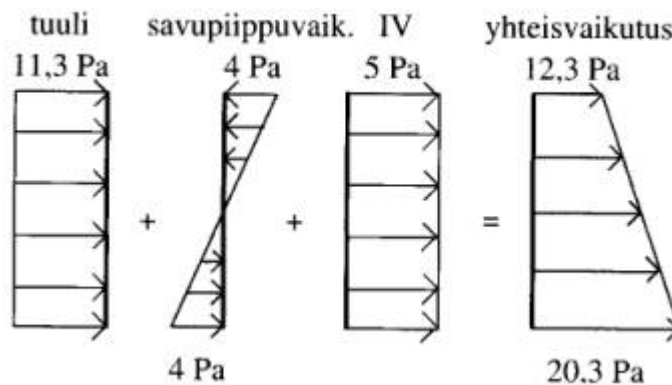
2.1 Painesuhteet

Uudisrakennukset suunnitellaan nykyään niin, että rakennuksen painesuhteet ovat tasapainossa, eli ulko- ja sisäpuolen välinen paine-eron on 0 Pa. Ennen rakennukset suunniteltiin hieman alipaineisiksi ulkoilmaan nähden. Rakennuksen pienellä alipaineella vältettiin, ettei mahdollinen ylipaine pääse aiheuttamaan kosteusrasituksia rakennuksen seinärakenteisiin. Alipaine ei saanut kuitenkaan olla 30 Pa suurempi. Liian suurella alipaineistuksella on haittapuolena se, että maaperän epäpuhtaudet ja radon saattavat nousta sisäilmaan.

Rakennuksen painesuhteet pyrkivät aina tasaantumaan niin, että korkeapaine pyrkii matalapaineen luo. Ylipaineisen rakennuksen ilmavirta liikkuu ulospäin rakennuksesta vuotoilmareittien kautta. Rakennuksen paine-ero perustuu ulkovaipanrakenteiden ilmatiiveydestä ja vuotoilmareiteistä.

Rakennuksen painesuhteeseen vaikuttaa neljä suurempaa muuttujaa, jotka ovat ilmanvaihto, ulkoilman lämpötilaerot eli terminen paine-ero tai toisin sanottuna

savupiippuvaikutus, sekä ulkoilman sääolot ja niistä voimakkaimmin tuuli. Kuvasta 2 havaitaan, että tuulen vaikutuksen olevan suurin yksittäinen rakennuksen painesuhteiden vaikuttaja.



KUVA 2. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat tekijät (Sisäilmäyhdistys Ry Ilmavirtaukset rakennuksessa)

Rakennuksen paine-eron mittaus on haastavaa, sillä paine-eroa mitatessa pitää ottaa huomioon sääolot, erityisesti tuuli ja ulkoilman lämpötila, Hetkellisellä mittauksella saadaan paikannettua tilat, joissa on suuri epätasapaino paine-erojen suhteen.

2.1.0 Ylipaine

Ylipaineistuksella saadaan käännettyä vuotoilmareittien kautta tuleva ilmavirta kulkemaan toisinpäin, eli sisäilma kulkee vuotoilmareiteistä ulos.

Ylipaine saadaan muodostumaan koneellisella ilmanvaihdolla olevaan rakennukseen, kun rakennuksen tuloilmaa lisätään. Kun rakennuksessa vallitsee ylipaine ja huoneilma on kosteaa niin rakenteisiin siirtyy merkittäviä määriä sisäilman kosteutta vuotoilmavirran mukana, tämä voi johtaa rakenteiden kosteusvaurioon kosteuskonvektion takia. Lämmin sisäilma liikkuu ylipaineen mukana rakenteisiin ja kylminä vuodenaikoina kosteus tiivistyy muodostaen vaurioita ja mikrobikasvustoa.

2.1.1 Alipaine

Alipaine muodostuu koneellisella ilmanvaihdolla olevaan rakennukseen, kun poistoilma on suurempi kuin tuloilma. Tällöin korvaava tuloilma tulee rakennuksen ulkopuolelta ulkoseinän raoista ja vuotoreiteistä. Rakennukset ovat yleensä säädetty tasapainoon, tai hieman alipaineiseksi.

Alipaineistuksessa on kuitenkin oma riskinsä sillä liian suuri alipaine voi johtaa siihen, että maaperästä ja rakenteista siirtyy haitallisia mikrobeja ja epäpuhtauksia.

“Pelkän koneellisen poiston aikaansaama alipaine ja vuotoilmavirtaukset on jo kauan sitten tunnistettu ongelmiksi suurilla mitoitusilmavirroilla varustetuissa rakennuksissa kuten kouluissa” (Sisäilmastoseminaari 2020 rakennusten paine-erojen mittausohje)

2.2 Ilmanvuotoluku

Ilmanvuotoluku q_{50} kertoo ulkovaipparakenteen läpi kulkevan keskimääräisen ilmavirran eli vuotoilmavirran suuruuden tunnissa 50 Pa:n paine-erolla rakennusvaipan pinta-alaa kohden $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$. Kun rakennuksen ilmanvuotoluku on suuri niin rakennuksen ulkorakenteen läpi pääsee kulkemaan suurempi vuotoilmavirta. Yleensä ilman virtausreitit, ovat rakennuksen saumakohtat, putkiläpiviennit ja halkeamat rakenteissa.

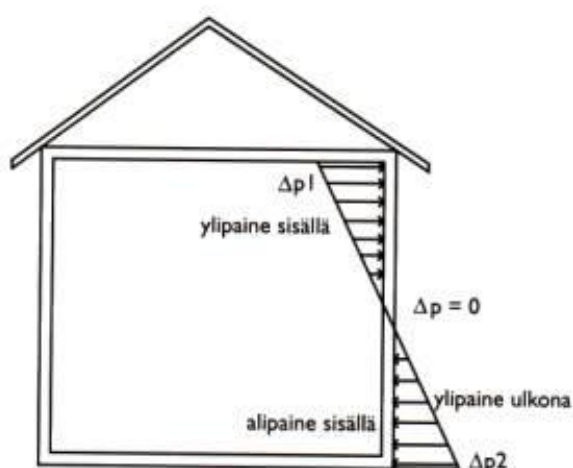
Rakennuksien ilmanvuotoluvulle on annettu enimmäisarvoksi $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Ilmanvuotoluku saa kuitenkin ylittää enimmäisarvon, mikäli käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut edellyttävät sen. Vanhempien rakennuksien ilmanvuotoluku on ollut yli $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ tällöin koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon suunnitellut arvot saavat olla sinnepäin eivätkä painesuhteet juuri muutu. Rakennuksen ulkovaipparakenteen ilmanvuotoluvun tulisi olla mahdollisimman pieni, kun halutaan minimoida rakenteeseen kohdistuvaa rasiitusta. Nykyisen rakennuskannan ilmanvuotoluku on selvästi alle $1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ tällöin pienikin säätövirhe ilmanvaihdossa vaikuttaa suuresti rakennuksen painesuhteisiin ulkovaipan yli.

Rakennuksen vertailulämpöhäviötä laskettaessa rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvona on käytettävä arvoa $2,0 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ (<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>)

2.3 Savupiippuvaikutus

Rakennuksen savupiippuvaikutuksesta voidaan käyttää myös nimitystä hormivaikutus, tai terminen paine-ero. Hormivaikutus syntyy, kun rakennuksen sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta aiheutuu paine-eroa. Koska lämmin ilma on kevyempää kuin kylmä ilma, niin lämmin ilma nousee rakennuksen yläosaan muodostaen ylipaineen KUVA 4. Tämä tilanne korostuu varsinkin, kun rakennus on korkea. Savupiippuvaikutus voi olla korkeissa rakennuksissa niin voimakas, että koneellisen ilmanvaihdon tehty alipaine kumoutuu. Korkeat rakennukset 10 metristä eteenpäin suunnitellaankin omaksi ryhmäksi rakennussuunnittelussa ja rakenteiden ilmanvuotoluvun tulee olla pieni.

Savupiippuvaikutus korostuu etenkin talvella, kun lämpötila erot sisä- ja ulkoilman välillä, ovat jopa 50 astetta. Savupiippuvaikutus siis muokkaa rakennuksen painesuhteita vuoden aikojen mukaan.



KUVA 4. Rakennuksen terminen-paineja kauma (Sisäilmäyhdistys Ry Ilmavirtaukset rakennuksessa)

3 YLIPAINEISTUS

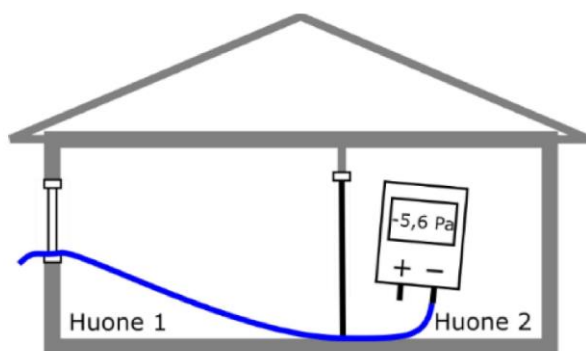
Rakennus ylipaineistetaan koneellisella ilmanvaihdolla niin, että poistoilmavirta pidetään vakiona ja tuloilmaa lisätään. Automaation osalta tämä tarkoittaa, että tuloilmapuhaltimen pyörimisnopeutta kasvatetaan. Ylipainetta halutaan rakennukseen niin, että kokonaispaine-ero sisä- ja ulkoilman suhteen on +15–25 Pa. Paine-ero mittauksella todennetaan, onnistuiko rakennuksen ylipaineistus.

Ylipaine aiheuttaa rakenteisiin jatkuvan kosteusvaurioriskin, kun kostea sisäilma virtaa rakenteiden läpi. Kosteusvaurioita ei haluta aiheuttaa ylipaineistuksella rakenteisiin, joten sisäilman kosteus halutaan pitää minimissä ylipaineistuksen aikana. Rakennuksen WC- ja pesutilat pidetään kuitenkin alipaineisena, ettei näistä tiloista lähtevät hajut leviä muihin tiloihin.

Rakennuksen paine-eroa pystytään mittaamaan kolmella eri mittausmenetelmällä. Seurantamittaus, jatkuvamittaus ja hetkellinen mittaus. Rakennuksen vaipan yli tehtävän paine-eromittauksen mittauskorkeus on määriteltä 1 m lattiapinnasta. Hetkellisellä paine-eromittauksella pystytään selvittää tietyn tilan ja ulkoilman välinen paine-ero, tai vierekkäisten huoneiden välinen paine-ero KUVA 3.

Seurantamittauksella puolestaan saadaan tietää rakennuksen pidemmän aikavälin paine-eron muutokset. Seurantamittauksessa mittauslaite tallentaa esimerkiksi tunnin välein vallitsevan paine-eron. Seurantamittauksen kesto on yleensä 1–2 viikkoon. Seurantamittauksella saadaan selvitettyä rakennuksen käytöstä johtuvat paine-eron muutokset ja ulkoilman vaikutuksen.

Jatkuvamittaus tarkoittaa sitä, kun rakennus varustetaan jatkuvatoimisella paine-eromittareilla. Näitä voivat olla huonekohtaiset paine-eromittarit, jotka hälyttävät, kun paine-ero muuttuu kriittisesti. Mittarit ovat näytöllä varustettuja, jotka ilmoittavat vallitsevan paine-eron Pascaleina.



Kuva 1. Paine-eromittauksessa mittaus voidaan tehdä myös viereisestä huonetilasta johtamalla mittaletku ulos toisen huonetilan kautta. /2

KUVA 3. Rakennusten paine-eron hetkellinen mittaustapa. (Sisäilmaseminaari 2020, Rakennusten paine-erojen mittausohje. Lari Eskola, Marko Björkroth, Risto Kosonen ja Juha Vinha)

3.1 Ilmankosteus

Sisäilmassa on aina mukana vesihöyryä ja kosteus liikkuu sisäilman mukana. Rakennuksien kosteusvaurioriski aiheutuukin, kun kostea sisäilma liikkuu rakenteiden läpi kohdaten kastepisteen. Kastepisteessä kosteus alkaa tiivistyä rakenteiden sisään aiheuttaen vaurioita ja kasvualustoja mikrobeille. Kosteuslisä eli sisä- ja ulkoilman vesihöyrypitoisuuden erotus kertoo, kuinka paljon sisäilmassa on absoluuttista kosteutta verrattuna ulkoilmaan. Kun sisäilman kosteuslisä on nolla, niin vuotoilman mukana ei kulkeudu rakenteisiin kosteutta. Kosteuslisä voi olla myös negatiivinen esimerkiksi kesällä jäähallissa, tällöin vuotoilmavirtaus sisältä ulos kuivattaa rakenteita. Kosteusvaurioita syntyy yleensä yläpohjarakenteisiin, sillä rakennuksen yläosa on ylipaineinen savupiippuvaikutuksen myötä.

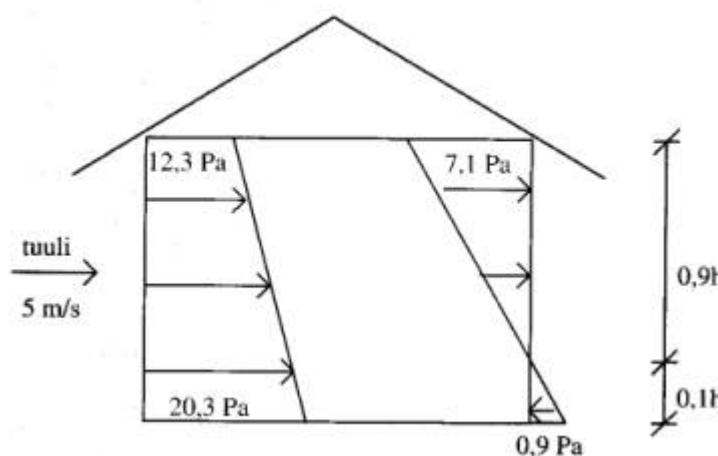
Rakenteet kestävät eri tavalla kosteuslisää ja ylipaineen aiheuttamaan kosteusrasitusta. Alttiimpia rakenteita vaurioitumaan, ovat mineraalivillaeristeiset puurunkorakenteet, joissa kostea vuotoilma pääsee leviämään laajalle alueelle.

Sisäilman kosteuspitoisuus muodostuu yhdessä ulkoilman kosteuspitoisuudesta ja sisätilan vesihöyryä tuottavista laitteista ja käyttäjistä. Sisäilman kosteuspitoisuuden vaikuttajia ovat muun muassa ihmisten hengitys, peseytyminen ja ruuanlaitto.

3.2 Ulkoilmaolosuhteet

Rakennuksen ylipaineistamisessa on huomioitava sään ja ilmanvaihdon toiminnan vaikutusta, sillä muuten ylipaineistuksen tulokset johtavat virhepäätelmiin paine-erojen suuruudesta.

Tuuli vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin voimakkaasti. Tuulenpuoleiselta sivulle muodostuu reilusti ylipainetta ja vastaavasti tuulen suojaisalle puolelle rakennusta aiheutuu savupiippuvaikutus kuvan 5 mukaisesti. Tuulen vaikutus rakennuksen paine-eroihin korostuu, kun rakennuksen korkeus kasvaa tai rakennus sijaitsee meren tai suuren aukean läheisyydessä



KUVA 5. Rakennuksen paine-ero jakauma tuulen ja lämpötilan yhteisvaikutuksesta (Sisäilmayhdistys Ry Ilmavirtaukset rakennuksessa)

4 IDA ICE

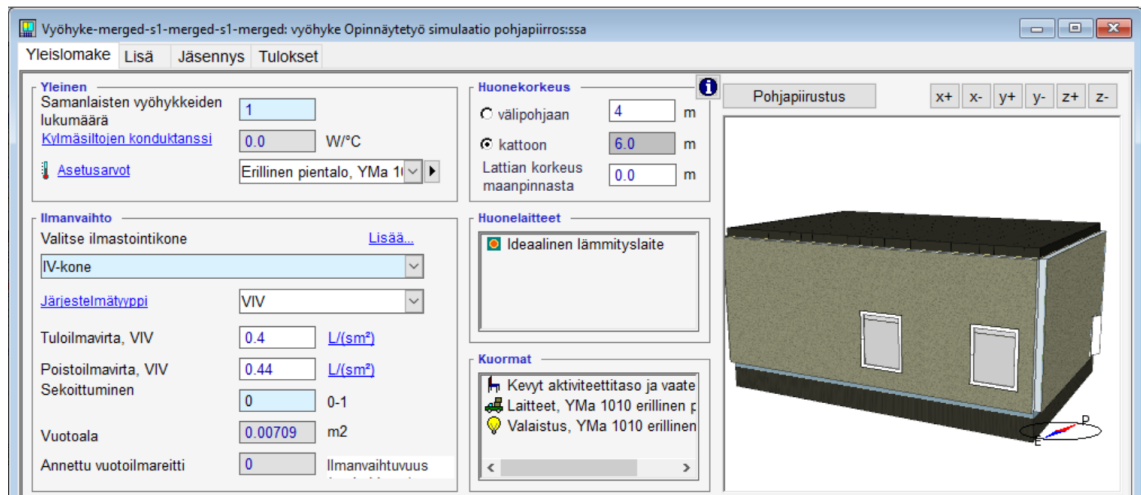
Tutkimuksessa IDA ICE -sovelluksella tutkittiin rakennuksen ostoenergiankokonaiskulutuksen kasvua, kun rakennus ylipaineistetaan. Tutkimuksessa rakennuksen tuloilmaa lisättiin viidesti ja optimointisimulaatiolla saatiin selville kokonaisenergiankulutuksen muutokset. Lisäksi tutkimuksessa tutkittiin optimointisimulaatiolla vuotoilmaluvun vaikutusta rakennuksen ostoenergiankokukulutukseen.

Tutkimusta varten luotiin 150m² rakennus, jonka sijaintina on Helsinki. Rakennuksen asetusarvot ympäristöministeriön asetuksen 2017/1010 erillistä pientaloa, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Koneellisessa ilmanvaihdossa on sähköinen lämmityspatteri ja huoneiston sisälämpötila oleskeluvyöhykkeellä Min +21 astetta ja Max +27 astetta. Rakennuksessa lämmitysmuotona on sähkölämmitys.

Simuloinnin alussa Ilmanvaihdon asetusarvot vastasivat ympäristöministeriön 2017/1010 asetuksen arvoja. Tuloilma 0,4 L/(sm²) ja poistoilma 10 % suurempi. Rakennuksen vuotoilmaluku simuloinnin alussa 0,5 m³/(hm²) Kuvassa 7 näkyy alkuarvot ja mallinnettu rakennus.

Nimi	Ryhmä	Lattiakorkuus, m	Huonekorkeus, m	Lattia-ala, netto, m ²	Lämmityksen ...	Jäähdytyksen ...	IV-kone	Järjestelmä	Tuloilma, L/(sm ²)	Poistoilma, L/(sm ²)	Ihm. ikm./m ² , hio./m ²	Valaistus, W/m ²	Valaistus, kWh/m ²	Laitte...
Vyöhyke-merge...	direct-i...	0.0	4.0	150.0	21.0	27.0	IV-kone	VIV	0.4	0.44	0.01333	1.212	1.061	0.605i
Yhteensä/m ²									0.4	0.44	0.01333	1.212	1.061	0.605i

KUVA 6. IDA ICE -simulaation yleisluomake ja lähtöarvot




KUVA 7. IDA ICE -simulaation vyöhykkeen yleislomake ja lähtöarvot.

4.1 Energiasimulointi

Rakennukselle tehtiin energiasimulointi käyttäen edellä mainittuja ympäristöministeriön asetuksen tulo- ja poistoilma arvoja ja vuosittainen ostoenergiankokonaiskulutukseksi saatiin kuvan 8 raportin mukaan 34229 kWh. Energiasimulointi on luotettava lähde tutkia rakennuksen energiankulutusta.

Energiaraportti

		Energiaraportti	
Projekti		Rakennus	
Asiakas		Mallin lattia-ala	150.0 m ²
Vastuuhenkilö	Tuomas Hannula	Mallin tilavuus	900.0 m ³
Sijainti	Helsinki (Ref 2012)	Mallin maaperän pinta-ala	150.0 m ²
Säätiedosto	HKI-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaijpa	2.3 %
Tapaus	Opinnäytetyö simulaatio pohjapiirros	Keskimääräinen U-arvo	0.1673 W/(m ² K)
Simuloitu	9.5.2021 13.42.20	Vaijan alan suhde tilavuuteen	0.6667 m ² /m ³

Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden turten osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	0 %
Niiden turten osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	0 %
Niiden turten osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	57 %

Ostoenergiankulutusraportti

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	159	1.1	0.02	191	1.3
Jäähdytys	132	0.9	0.5	158	1.1
LVI sähkö	906	6.0	0.11	1087	7.2
Sähkölämmitys, kiinteistö	26662	177.9	3.37	32018	213.5
Yhteensä, Kiinteistösähkö	27879	185.9		33454	223.0
Lämmitys	5942	39.6	2.58	2971	19.8
LKV	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Kiinteistökaupunkilämpö	5942	39.6		2971	19.8
Yhteensä	33821	225.5		36425	242.3
Laitteet, asukas	476	3.2	0.05	573	3.8
Yhteensä, Asukkaen sähkö	476	3.2		573	3.8
Yhteensä	34299	228.7		36998	246.7

KUVA 8 Rakennuksen energiaraaportti alkutilanteessa

4.1.0 Optimointisimulaatio

Rakennuksen ilmanvaihtoa muokattiin simulaatioiden välissä. Aluksi rakennuksen ilmanvaihto oli hieman alipainen ja poistoilmanvaihto oli 10 % suurempi, kuin tuloilma. Simulaation aikana rakennuksen ilmanvaihdon tuloilmaa lisättiin niin, että rakennus olisi ylipaineinen. tuloilmaa lisättiin viidesti välillä 0,5 L/(sm²) ja 0,9 L/(sm²).

4.2 Rakennuksen ilmanvuotoluvun muutos optimointi simulaatiossa

Rakennuksen vuotoilmaluku q_{50} oli simulaation alussa $0,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Optimointi simulaatiolla vuotoilmalukua muutettiin neljästi välillä $1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Samaan simulaatioon liitettiin myös aiempi tuloilmanlisäys ja tarkasteltiin miten eri ilmavuotoluku vaikuttaa kokonaisenergiankulutukseen ylipaineistuksen yhteydessä.

Vuotoilma

Menetelmä

Vuotoilmayksiköt m³/(h.m² ulkovaippa)

Tuulesta johtuva ilmavirta

Ilmatiivisyys 0.5 m³/(h.m² ulkovaippa)

paine-erolla 50 Pa

[Painekertoimet](#)

Vakio vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta - m³/(h.m² ulkovaippa)

Jakautuminen vyöhykkeissä

Jaa suhteessa Tilavuus

Tuulesta johtuva ilma

Ilmanpitävyys (vyöhykkeessä) 0.33333 Ilmanvaihtuvuus

paine-erolla 50 Pa

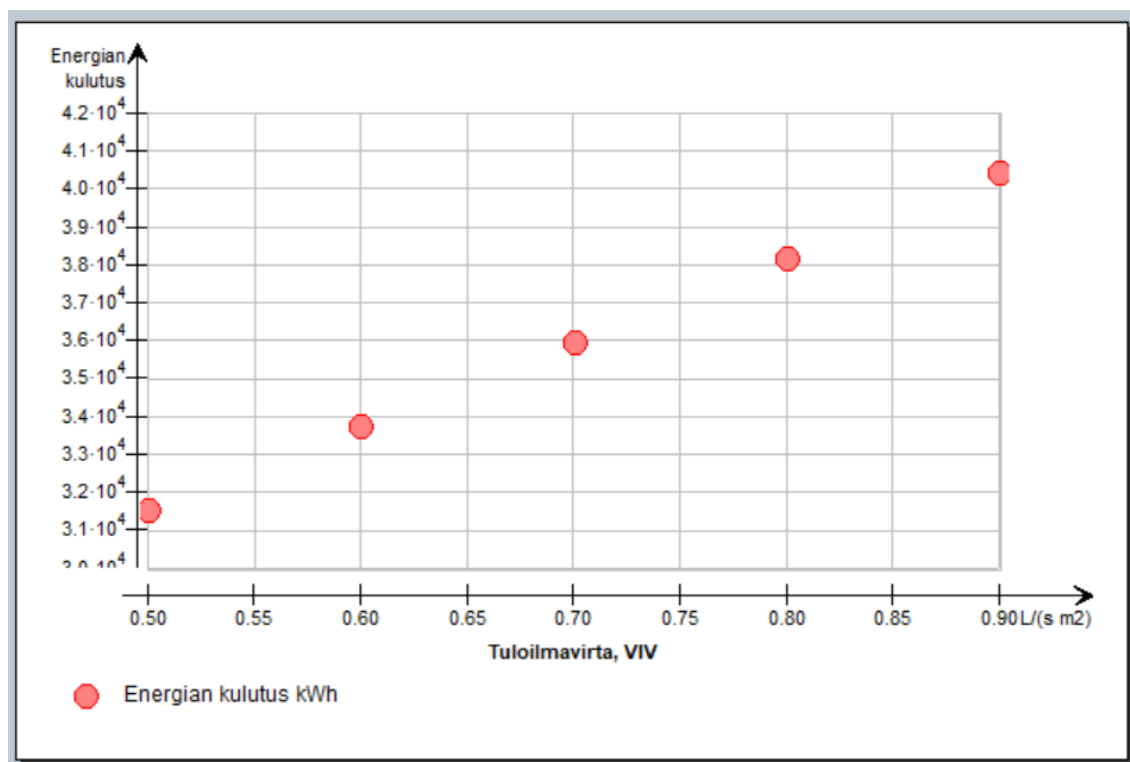
Vakio vuotoilmavirta

Vakiovuotoilmavirta vyöhykkeissä - Ilmanvaihtuvuus

KUVA 9. IDA ICE vuotoilmaluku q_{50} .

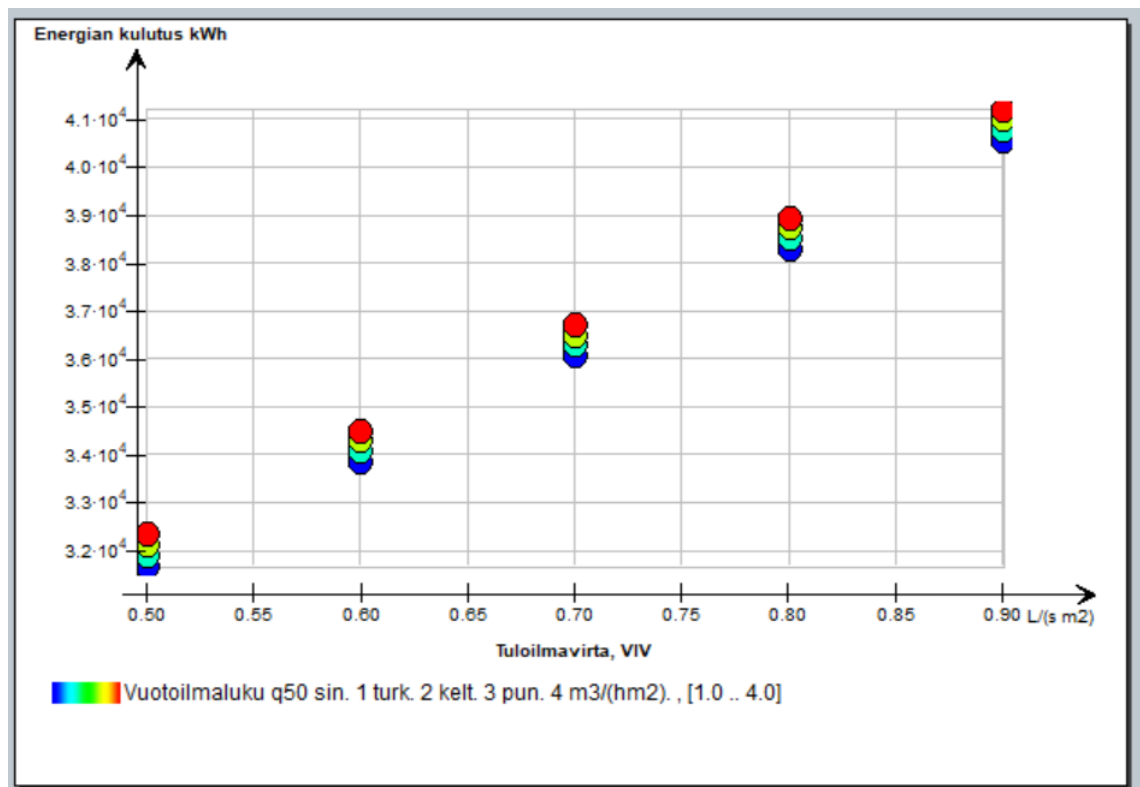
5 TULOKSET

Kun rakennuksen tuloilmaa lisätään niin kokonaisenergiankulutus kasvaa nousevan suoranmukaisesti. Simuloinnissa tuloilmaa kasvatettiin viidesti ja saatiin viisi erilaista kokonaisenergiankulutusta. Kuvio 1 mukaan energiankulutus kasvaa noin 4000 kWh, kun rakennuksen tuloilmaa lisätään 50 %. Tarkka rakennuksen ylipaine voidaan todeta vasta kohteessa mittausmenetelmillä, mutta 50 % tuloilman lisäyksellä saadaan varmasti paineero muuttumaan.



KUVIO 1 Tuloilmavirta verrattuna vuotoilmaluvun q_{50} ollessa $0,5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

Vuotoilmalukua vaihdeltaessa ei kokonaisenergiankulutuksessa tapahdu huomattavaa muutosta. Vuotoilmalukua muuteltiin simuloinnin aikana neljästi välillä $1\text{--}4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ Kuviossa 2 eri vuotoilmaluvut on mallinnettu eri väreillä. Sininen $1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ Turkoosi $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ Keltainen $3 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ Punainen $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$



KUVIO 2. Optimointi simulaatio kokonaisenergian kasvusta verrattuna tuloilman kasvuun eri ilmanvuotoluvuilla.

Vuotoilmaluvun muutoksella ei ollut suurta merkitystä ostoenergiankokonaiskulutuksessa. $1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ ja $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ välinen ero on noin 1000 kWh.

6 POHDINTA

IDA ICE -ohjelmalla tehty energiasimulaatio on luotettava tapa tehdä tutkimus. Todellinen ylipaine voidaan kuitenkin todeta rakennuksessa vasta mittausmenetelmillä, joita ovat seurantamittaus, jatkuvamittaus ja hetkellinen mittaus. Rakennukseen täytyy asentaa ylipaineistuksen ajaksi seurantamittaus järjestelmä, joka tekee hälytyksen, kun paine-ero muuttuu tai laskee alipaineen puolelle.

Optimointi simulaatiolla huomattiin, että energiankulutus on nouseva suora Kun tuloilmaa on lisätty 50 % niin kokonais- energiankulutus on kasvanut 4000 kWh eli 11 % kokonaisenergian kulutuksessa. 4000 kWh kerrottuna tämän hetken sähkö kilowatti hintaan 7 snt/kWh

(<https://www.lumoenergia.fi/artikkelit/sahkon-hinta-mita-kwh-maksaa-ja-mita-silla-saa/>) Ylipaineistus maksaisi vuodessa $7 \text{ snt/kWh} * 4000 \text{ kWh} = 280 \text{ €}$ on pieni investointi verrattuna mitä väistötilan hankinta kulut maksaisivat.

Ylipaineistus siis kannattaa toteuttaa, kun rakennus on saanut purkupäätöksen. Tutkimuksen tuloksia voi verrata suuntaa antavasti muihin rakennuksiin, niin että kaikkien rakennuksien energiankulutus kasvaa, mutta ei merkittävästi. Vuotoilmaluvulla ei ole suurta vaikutusta rakennuksen energiankulutuksen kasvuun. Vuotoilmaluku vaikuttaa vasta ylipaineistus hetkellä. Kysymykseksi jää saadaanko $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ vuotoluvun omaavaa rakennusta asetettua edes ylipaineiseksi.

Simulointi kohteena ollut rakennus on kuitenkin pieni. Kun ylipaineistus suoritetaan isompaan kohteeseen, on myös energiankulutuksen kasvu suurempaa. Isommassa rakennuksessa myös automaation rooli kasvaa, kun ilmanvaihtokoneita voi olla useampia. Tutkimusta voidaan jatkaa tämän työn pohjalta ja toteuttaa käytännön mittauksia sekä selvittää kohteen tarkka energiankulutus. Tutkimusta voi myös kehittää vaihtamalla simuloinnin kohdetta erikokoiseen rakennukseen ja erirakenteiden vaikutusta ylipaineistuksen aikana.

LÄHTEET

Hengitysliitto. Kodin sisäilma ja kunnossapito <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/> Luettu 03.12.2020

Anne Korpi, Risse Koponen, Kirsi Korpela. Mä on sisäilmaongelmarakennus? Sisäilmaseminaari 2020 Luettu 1.14.2021

Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö 1.1.2018/ 1009. Luettu 3.12.2020

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö.

Asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Ympäristöministeriö 1.1.2018/ 782.

Sisäilmayhdistys. ilmanvaihdon perusteet. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet> Luettu 4.3.2021

Sisäilmayhdistys. Terveelliset-tilat <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat> Luettu 2.1.2020

Björkroth, M. Eskola, L. Kosonen R, Vinha J. Rakennusten paine-erojen mittausohje A-insinöörit. Sisäilmaseminaari 2020 Luettu 17.2.2021

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

Sisäilmayhdistys Ry ilmavirtaukset-rakennuksessa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa> Luettu 21.4.2021

Björkroth, M. Eskola, L. Vinha. J. Kosonen. R. Rakennusten sisä- ja ulkoilman välisen staattisen paine-eron tavoitetaso. Sisäilmaseminaari 2020 Luettu 25.2.2021

Lumoenergia. Sähkön hinta mitä kWh maksaa ja mitä sillä saa <https://www.lumoenergia.fi/artikkelit/sahkon-hinta-mita-kwh-maksaa-ja-mita-silla-saa/>) Luettu 4.5.2021

LIITTEET

Liite 1. Sisäilmastoseminaari 2020. Mikä on sisäilmaongelmarakennus?
Anne Korpi, Risse Koponen ja Kirsi Korpela. Senaatti-kiinteistöt

16

Sisäilmayhdistys Raportti 38

Taulukko 1. Sisäilmaongelmaluokan määrittely.

Vaurion tai vaikutusalueen laajuus	1 = Ongelmia todettu pienellä alalla tai muutamassa helposti rajattavassa tilassa tai ongelmia aiheuttavan teknisen laitteen (esim. iv-koneen) vaikutusalue kattaa alle 50 % rakennuksen alasta. 2 = Ongelmia todettu laajalla alalla verrattuna rakennuksen kokoon tai yli neljässä eri puolella rakennusta sijaitsevassa tilassa tai muutoin merkittävässä osassa rakennuksessa tai suurin osa tai koko rakennustyypin on vaurioitunut tai ongelmia aiheuttavan teknisen laitteen vaikutusalue kattaa yli 50 % rakennuksen alasta. 3 = Ratkaisematon ristiriita teknisen näytön antaman vaurioalaajuuden ja käyttäjien vaurioalaajuuskäsitteen välillä.
Asiakkaiden määrä sisäilmaongelman vaikutusalueella	1 = Tilaa käytetään harvoin, alistumisen kesto vähäistä tai alistuva henkilömäärä on pieni. 2 = Alistuva henkilömäärä suuri. 3 = Ratkaisematon ristiriita sisäilmaongelman vaikutusalueella olevien henkilöiden määrässä: työterveyshuollon ja teknisten tutkimusten perusteella ongelmia koskettaa rajanmukaan joukkoa kuin käyttäjien käsityksissä.
Vaikutusalueen tilojen käyttörajoiukset	1 = Tiloja voidaan käyttää nykyisellään tai käyttöä turvaavin toimenpitein normaalisti odotettaessa korjauksia tai tilojen käyttörajoitusta koskei vain vauriohuueta. 2 = Tilojen käyttöä rajoitettava ennen korjauksia merkittävästi tai tilojen käyttörajoitus ulotettava vaurioalueelta laajemmaksi. 3 = Ristiriita toteutettavien ja teknisen näytön perusteella suositeltujen käyttörajoitusten välillä, koko rakennuksen kattavien tutkimusten perusteella näin laajalle käytön rajoittamiselle kuin käyttäjät edellyttävät ei ole. Tai käyttäjät lähtevät perusteelta väistöön.
Sivouksen puutteet ja muu sisäilman laatu heikentävä toiminta	1 = Sivouksen taso on riittävä toiminnan vaatimukseen nähden, eikä pakemna sisäolosuhteita. Tiloja käytetään käyttötarkoituksensa. 2 = Toiminta tiloissa muodostaa esteen sivouksen toteuttamiselle tai toteutu sivous ei ole riittävä hyvien sisäolosuhteiden aikaan saamiseksi. Tilojen käyttö ei vastaa käyttötarkoitusta, mikä voi osaltaan vaikuttaa sisäilmaongelmaa. Tästä ollen tietoisia käyttäjien ja rakennuksen omistajien taholla ja ollaan valmiita muuttamaan toimintaa. 3 = Sivouksessa tai muussa käyttäjän toiminnassa on todettuja puutteita, mutta niistä vastuussa oleva taho ei ole tehnyt muutoksia sivoukseen hyvien sisäolosuhteiden aikaansaaniseksi. Ristiriita tilojen käytön ja käyttötarkoituksen välillä, mikä osaltaan vaikuttaa tai pahentaa sisäilmatilannetta, mutta ratkaisu ei lyetä löytämään.
Haittailmoitusten reitti kiinteistön omistajalle	1 = Haittailmoitukset tulevat käyttäjiltä sovitun ilmoituskannavaa käyttäen. 2 = Haittailmoitusten lisäksi työterveyshuollosta on tullut tietoa useasta oireilijasta. 3 = Haittailmoituksia tulee muualta kuin käyttäjiltä tai työterveyshuollosta. Ainaakaan organisaation yläporaalta saatu huolestunutta viestejä tai saatu kielteistä mediahuomiota, sivullisilta yhteydenottoja. Haittailmoitusten reitti ei ole hallussa.
Sisäolosuhte- projektin hallinnan tuntu	1 = Tilanne hallinnassa, projekti on edennyt ja etenee hyvässä yhteishengessä, järjestyksessä ja tilanteeseen nähden sopivaa vauhtia. 2 = Viivästyksiä projektin etenemisessä, kuitenkin projekti on pääosin hallinnassa. 3 = Sisäilmaprojektin hoito ei ole hallinnassa tai merkittäviä korjauksia tai toimenpiteitä ei ole tehty tai aiota tehdä. Käyttäjä on sisällä ja odottaa pitkittynyttä korjausta, peruskorjausta tai rakennuksen myyntiä.
Viestintä ja tiedotus	1 = Tiedottaminen ja viestintä ollut riittävää ja keskustelu asiallista ja rauhallista. 2 = Puutteita viestinnässä ja tiedottamisessa, mutta luottamuksen ilmapuiri vallitsee. 3 = Heikko keskusteluyhteys käyttäjien ja rakennuksen omistajan välillä, epäasiallista viestintää tai epäluottamuksen ilmapuiri.
Todetun sisäilma-ongelman hoidon ja korjaamisen vaatavuus	1 = Ongelma poistettavissa ripeästi ja normaalioppimuskilla viestintään ja asiakashoitoon. 2 = Vaatava, pitkä tai hankala korjaushanke, jolla mahdollisuus omistua. Viestintään panostettava normaalia enemmän. 3 = Kiinteistönomistajan resursoitava ylläpitävä panostusta tai kokonaisista hälytysvalmiutta sisäilmaprojektin ja korjausten läpiviemiseksi.
Menettelyjen vuokratilojen ja tai väistötila- kustannusten määrä	1 = Väistötilojen tarvetta ei ole tai väistötilat järjestyvät sisäisenä siirtuna tai kustannuksiltaan alhaisin järjestelyin. 2 = Korjaukset pitkäkestoisia ja/tai laaja-alaisia tai vaativat ulkopuolisia väistötilajärjestelyjä. Taloudelliset vaikutukset voivat olla suuret. 3 = Ongelman hoiton näiden liian suuret väistötilakustannukset tai menetetyt vuokratulot. Väistötilojen tarve suurempi kuin teknisten tulosten perusteella on aiheutta, tai väistötiloja ei löydy.