



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Sisäympäristö ja tuottavuus

Olli Seppänen

Professori, Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, LVI-tekniikka

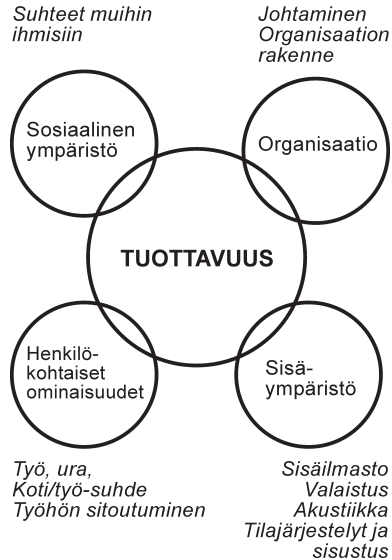
Rakennusten sisäympäristöön on kiinnitetty viime vuosina runsaasti huomiota. Formaldehydi, radon, kosteusvauriot ja puutteellinen ilmanvaihto ovat esimerkkejä rakennuksiin liittyvistä terveyteen ja sitä kautta tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Sisäympäristöä on pyritty parantamaan rakentamisen laatua ja ohjausta kehittämällä. Monet tarkastelut ovat myös osoittaneet, että sisäympäristön parannustoimenpiteillä voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä. Laskelmat ovat osoittaneet, että myös rakennuskohtaiset parannustoimenpiteet ovat erittäin kannattavia silloin, kun niissä otetaan huomioon myös sisäilmaston mukanaan tuomat myönteiset vaikutukset. Hyötyihin kuuluvat sairauspoissaolojen väheneminen, parempi työn tehokkuus ja tuottavuus, vähäisempi työntekijöiden vaihtuvuus, terveydenhoitokustannusten aleneminen sekä alhaisemmat rakennusten hoitokustannukset pienemmistä valitusten määrästä johtuen.

Tuottavuutta voidaan tarkastella kiinteistö- ja rakennusalan kaikkien osapuolten kannalta: työntekijän, työnantajan, rakennuksen omistajan ja palvelujen tuottajan kannalta. Sisäympäristöä parantamalla kaikki osapuolet voittavat (win-win-win-periaate):

- työntekijät parempana terveytenä ja viihtyvyytenä
- työnantaja parempana työn tuottavuutena sekä sairauskulujen pienemisenä
- kiinteistön omistaja korkeampana vuokratulona, kiinteistön arvon säilymisenä ja riskien vähenemisenä
- palvelujen tuottaja lisääntyneenä liiketoimintana.

Sisäympäristötekijät

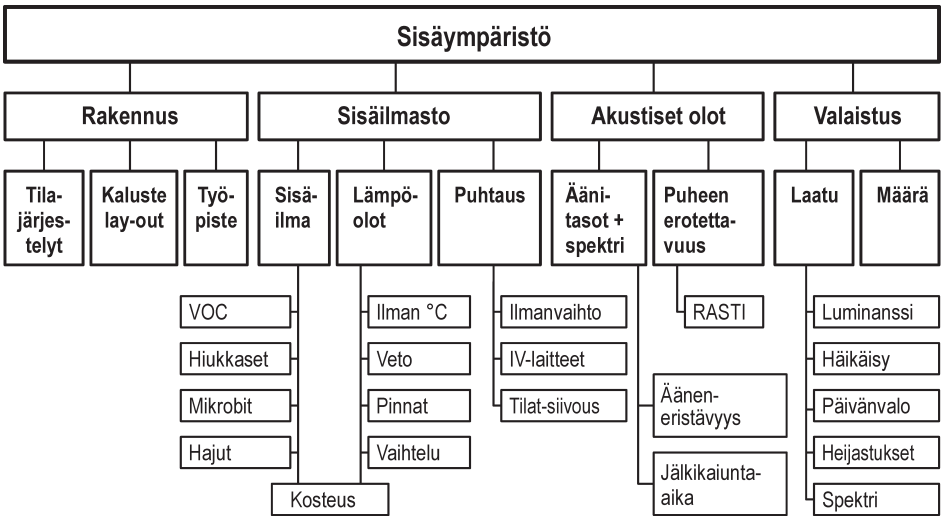
Sisäympäristötekijät vaikuttavat suoraan ja välillisesti terveyteen ja työsuorituksiin. Nämä molemmat vaikuttavat työn tuottavuuteen. Tuottavuuteen vaikuttavat tietysti myös monet muut tekijät. Näitä on havainnollistettu kuvassa 1. Sisäympäristön vaikutukset tulevat selvemmin esiin silloin, kun muut tekijät vakioidaan.



Kuva 1. Työsuorituksiin vaikuttavat monet tekijät, joista sisäympäristö on vain yksi. Sen vaikutukset näkyvät silloin, kun muut tekijät vakioidaan.

Sisäympäristö muodostuu monesta eri tekijästä, joita on havainnollistettu kuvassa 2 ja kuvattu seuraavassa kappaleessa.

Sisäympäristö on osa **työympäristöä**, joka muodostuu työpaikan sisäympäristöstä ja psykososiaalisesta ympäristöstä, joka puolestaan käsittää mm. työn sisällön, työn määrän ja tahdin, työn hallinnan ja työyhteisön johtamiskulttuurin. **Sisäympäristö** käsittää sisäilmaston lisäksi rakennuksen ja tilat, akustiset olot ja valaistuksen. **Sisäilmastolla** tarkoitetaan rakennuksen sisäilman ja lämpöolojen muodostamaa kokonaisuutta. Lämpöolosuhteisiin kuuluvat sisäilman ja -pintojen lämpötilat, ilman liike, sisäilman kosteus ja lämpötilan vaihtelut. **Sisäilmalla** tarkoitetaan rakennuksen sisällä olevaa



Kuva 2. Työympäristöön liittyviä tekijöitä ja käsitteitä niin kuin niitä on käsitelty tässä tutkimuksessa.

ilmaa, johon tulee ulkoilmaa joko ilmanvaihto-järjestelmän kautta tai vuotoilmana rakenteissa olevista raoista, ja joka sisältää rakennuksesta, ihmisestä tai hänen toiminnastaan peräisin olevia epäpuhtauksia (hiilivedyt, hiukkaset, mikrobit sekä erilaiset määrittämättömät hajut). Tässä artikkelissa rajoitetaan tarkastelemaan sisäilmaston vaikutuksia tuottavuuteen.

Terveen ja viihtyisän sisäympäristön saavuttamiseksi on laadittu kansainvälisiä ja kansallisia standardeja ja ohjeita. Monet kansalliset rakentamismääräykset viittaavat näihin standardeihin. Kansainväliset standardit eivät kuitenkaan ole aina johdonmukaisia eivätkä ne kata kaikkia sisäympäristötekijöitä. Lisäksi monet standardit asettavat rakentamiselle ja rakennuksen teknisille järjestelmille vain vähimmäisvaatimuksia, joiden edellytetään toteutuvan, mutta joilla ei välttämättä saavuteta vielä rakennuksen kaikkien käyttäjien hyväksymää sisäympäristöä.

Keskeiset sisäympäristöön liittyvät ongelmat suomalaisissa toimistorakennuksissa

Yleisesti esiintyviä ongelmia toistorakennuksissa, jotka voivat aiheuttaa sairauksia, oireilua, työsuoritusten huononemista ja viihtyisyyden laskua ovat mm. seuraavat tekijät eri rakennustekniikan aloittain ryhmiteltynä:

Rakennussuunnittelu

- Ikkunattomat työtilat
- Kiinteät ikkunat

- Alhainen huonekorkeus
- Liian suuret auringolta suojaamattomat ikkunat
- ”Likaisten” tilojen tai toimintojen sijoittaminen työhuoneiden yhteyteen

Materiaalit ja rakenteet

- Emissioluokittelemattomat pintamateriaalit
- Materiaalien ja rakenteiden kastuminen
- Märän betonin pinnoittaminen kosteutta lämpöeristävällä materiaalilla
- Huonolaatuiset kokolattiamatot
- Rungas pehmeiden pintojen käyttö

Ilmanvaihto

- Liian pieni ilmanvaihto
- Liian suuri ilmanvaihto
- Ilmanvaihdon aiheuttama veto

Ilmastointi

- Ilmastoinnin (jäähdytyksen puuttuminen)
- Likainen ilmanvaihtolaitteisto
- Ilmastoinnin melu
- Ilmastoinnin aiheuttama veto
- Ilmastoinnin huono säätö

Lämmitys

- Huonosta säädöstä aiheutuvat liian korkeat tai liian alhaiset lämpötilat talvella

Valaistus ja ikkunat

- Ikkunoiden aiheuttama häikäisy
- Valaisimien aiheuttama häikäisy
- Heijastukset tietokonenäytöistä

Akustiikka

- Väliseinien huono äänen eristävyyden
- Liian hyvä puheen erottavuus avotoimistoissa
- Liian korkea laitemelu pienhuoneistoissa.

Tuottava toimisto 2005 projektissa selvitetiin näiden tekijöiden määrällisiä yhteyksiä tuottavuuteen ja sairastavuuteen. Tuloksena saatiin selviä yhteyksiä parannustoimenpiteiden, sairastavuuden ja työsuoritusten välille.

Sisäympäristön merkitys

Rakennusten tehtävänä on tarjota ihmisille terve ja viihtyisä sisäympäristö asumista ja työskentelyä varten. Rakennuksen sisällä, sisäympäristössä, on oltava miellyttävä lämpötila, siihen on tuotava riittävästi raikasta ilmaa, siinä ei saa esiintyä vetoa, kosteuden on oltava sopiva ja sisäilman epäpuhtauksien määrän on oltava pieni. Terve ja viihtyisä sisäympäristö ei ole häiritsevän meluisa ja siinä on sopiva valaistus.

Rakennukset eivät aina toimi työnteon ja ihmisten terveyden kannalta parhaalla mahdollisella tavalla. Tutkimukset ovat osoittaneet, että huomattavassa osassa rakennuksia on puutteita sisäympäristössä. Huonon sisäilmaston aiheuttamiksi kustannuksiksi arvioitiin vuonna 1997 Suomessa 18 miljardia markkaa vuodessa (3 miljardia euroa). Tämä on suurempi kuin rakennusten lämmityskustannukset. Kansantaloudelliset laskelmat osoittavat, että sisäympäristön parannustoimenpiteillä on mahdollista saavuttaa suuret taloudelliset hyödyt. Arvioituissa kustan-

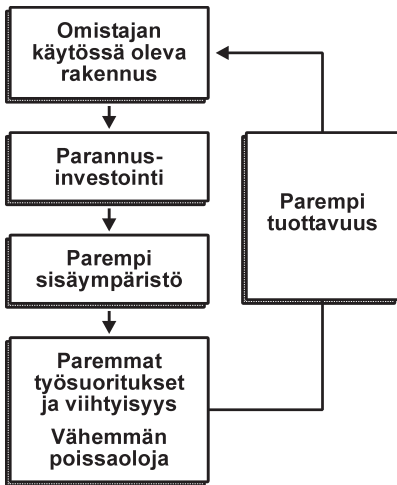
nuksissa olivat mukana mm. sisäilmaan liittyvät allergiset sairaudet, tupakansavun ja radonin aiheuttamat syöpätapaukset, sisäilmaston aiheuttaman työehon laskun kustannukset, lisääntyneet sairauspoissaolot, sisäilman kautta levinneet sairaalainfektioit sekä kosteusvaurioihin liittyneet oireet ja sairaudet. Aiemmin julkaistujen tutkimusten yhteenvetona voidaan kuitenkin todeta, ettei ole osoitettavissa yhtä yksittäistä tekijää, joka aiheuttaisi pääosan sisäilmaongelmista.

Sisäympäristön vaikutus tuottavuuteen on osoitettu yhä varmemmin viimeaikaisilla tutkimuksilla. Paremmasta sisäympäristöstä syntyy hyötyjä työnantajalle työtehokkuuden ja viihtyvyyden paranemisena sekä sairauspoissaolojen vähenemisenä (kuva 3). Työn tuottavuuden on arvioitu paranevan jopa 6 % korjattaessa rakennuksen sisäympäristö hyväksi.

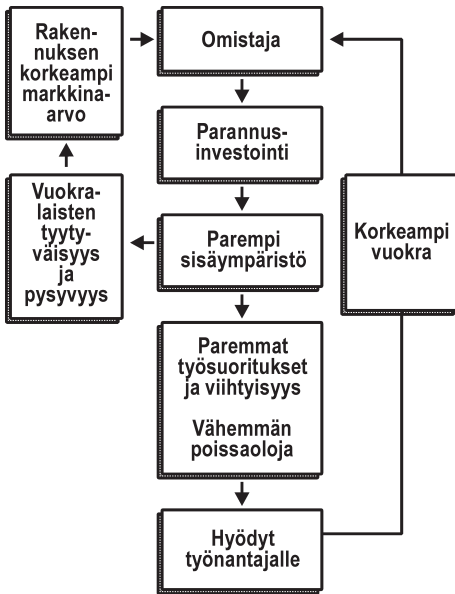
Monet rakennusalan ammattilaiset haluaisivatkin määrittellä sisäympäristön parannustoimenpiteiden aiheuttamat kustannukset ja hyödyt. Tähän tarkoitukseen sopivia malleja ei ole kuitenkaan aikaisemmin ollut. Tavanomaisesti ainoastaan investointi- ja ylläpitokustannukset otetaan huomioon, kun tehdään taloudellisia laskelmia rakennuksen suunnittelu- ja käyttövaiheessa. Esimerkkilaskelmat ovat osoittaneet, että sisäympäristön parannustoimenpiteet ovat hyvin kustannustehokkaita, kun terveysvaikutukset ja tuottavuushyödyt otetaan huomioon. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat mm. korkeiden ja matalien huonelämpötilojen välttäminen, ilmanvaihdon säätäminen sopivaksi, ilmastointilaitteiden ja -kanavien puhdistaminen, huoneiden siivouksen tehostaminen, kiinteistöhoiton parantaminen, sisäympäristön henkilökohtaisen säädettävyyden parantaminen, tupakan savun ja konttorikoneiden päästöjen leviämisen estäminen, riittämättömän valaistuksen korjaaminen tai häikäisyn poistaminen sekä akustisten olojen parantaminen.

Rakennusosalalla onkin ilmeinen tarve ottaa käyttöön malleja ja työkaluja, joiden avulla sisäympäristön terveys- ja tuottavuusvaikutusten taloudellinen arvo voitaisiin ottaa huomioon investointi- ja käyttökustannuslaskelmissa. Laskentamallin käyttöönotto tulee omalta osaltaan parantamaan sisäympäristöä pitkällä tähtäimellä myös terveyden ja tuottavuuden osalta.

Rakennuksen omistajalle huonon sisäilmaston vuoksi pois lähtevä vuokralainen aiheuttaa yhdysvaltalaisen selvityksen mukaan jopa yli vuoden vuokran menetystä vastaavat kokonaiskustannukset. Huonosta sisäilmasta toistuvasti valittava vuokralainen ei yleensä jatka vuokrasopimustaan. Rakennuksen omistajan sisäympäristön parannusinvestointien hyödyt näkyvät korkeampana vuokrana, vuokrattavuuden paranemisena ja kiinteistön arvon pitkäaikaisen arvon säilymisenä (kuva 4).



Kuva 3. Paremmasta sisäympäristöstä syntyy hyötyjä työnantajalle työsuoritusten parantumisena, sairauspoissaolojen vähenemisenä ja viihtyvyyden kohenemisena. Parannustoimenpiteet hyödyttävät suoraan työnantajaa silloin, kun työnantaja omistaa rakennuksen.



Kuva 4. Paremmasta sisäympäristöstä syntyy hyötyjä työnantajalle työsuoritusten parantumisena, sairauspoissaolojen vähenemisena ja viihtyvyyden kohentumisena. Parannustoimenpiteet hyödyttävät työnantajaa. Rakennuksen omistaja saa hyödyn korkeampana vuokrana, vuokrattavuuden paranimisena ja kiinteistön arvon pitkäaikaisen arvon säilymisenä.

Sisäilmaston vaikutukset

Tarttuvat tulehdussairaudet

Osan tarttuvista hengityselinsairauksista tiedetään leviävän pisaratartuntana. Tämän kaltaisia sairauksia ovat mm. tavanomaiset virusten aiheuttamat ylemmät hengitystieinfektiot, mutta myös epidemioina esiintyvät influenssasairaudet. Yhdysvalloissa neljä yleisintä hengityselinsairautta (nuha, influenssa, keuhkokuume ja keuhkoputkentulehdus) aiheuttavat 176 miljoonan menetetyn työpäivän lisäksi myös 121 miljoonaa työpäivää, joiden aikana työteho on huomattavasti alentunut. Sisäympäristön yhteys tarttuvien hengitystieinfektioiden leviämiseen ilmateitse on osoitettu useissa tutkimuksissa, joita tukee myös teoreettinen malli.

Suomessa on arvioitu lyhytaikaisten poissaolojen aiheuttavan 0,5 miljardin euron arvoisen työpanoksen menetyksen vuosittain. Tarttuvien ylähengitystietulehdusten yleisyyteen näyttää vaikuttavan työpaikan ilmanvaihdon suuruus ja henkilötiheys. Yhdysvalloissa tehdyssä tutki-

muksessa havaittiin, että tehokkaampi ilmanvaihto korreloi vähentyneiden sairauspoissaolojen kanssa, joista valtaosa johtuu hengityselinsairauksista. Yhdistämällä teoreettinen malli ja kokemusperäinen tieto voidaan arvioida lyhytaikaisten sairauspoissaolojen määrä, jos tiedetään ilmanvaihdon suuruus.

Astma ja allergia

Eniten hengitysteiden allergioita aiheuttavat länsimaissa siitepölyt ja kotieläinten epiteeli (hилse), joita esiintyy myös sisätiloissa. Astman ja allergioiden pääasiallinen aiheuttaja ei siten ole suoraan yhteydessä rakennuksiin, mutta oireiden esiintyminen ja niiden voimakkuus voivat olla yhteydessä kiinteistön ominaisuuksiin. Allergia- ja astmaoireita aiheuttavat sisäilmassa olevat allergeenit (esim. siitepölyt ja eläinepiteeli), joiden käyttäytyminen oleellisesti riippuu rakennuksen ominaisuuksista. Vaikuttavia ominaisuuksia ovat mm. ilmanvaihdon määrä, tuulilman suodatusaste, sisäilman kosteus, siivousmenetelmät, lemmikkieläinten läsnäolo ja kosteusvaurioiden aiheuttamat ongelmat rakennuksissa.

Tutkimusten mukaan allergiaa sairastavat ilmoittavat muita yleisemmin sisäilman olosuhteista (pölystä, liasta, tunkkaisesta ilmasta mutta myös lämpöolosuhteista) sekä sisäympäristöön liittyvistä oireista. Tämä liittyy siihen, että allergiaa sairastavilla on terveitä herkempiä silmien sidekalvoja, hengitysteiden limakalvoja ja iho. Allergioiden määrä väestössä on lisääntynyt viime vuosikymmeninä merkittävästi. Tämä lisää entisestään paineita hyvään sisäympäristön laatuun.

Virusperäisten hengitystieinfektioiden, joiden leviämiseen ilmanvaihdon määrällä voi olla yhteys, on havaittu olevan yhteydessä astman oireiden pahentumiseen. Astman ja allergioiden aiheuttamat kustannukset ovat merkittävät. Suomessa niiden on arvioitu aiheuttavan yli miljardin euron kustannukset vuosittain.

Muut sairaudet

Rakennusten kuntoon ja ilmanvaihdon toimintaan liittyy lukuisia muitakin sairauksia kuten esimerkiksi kostutinkuume, legionelloosi, ympäristön tupakansavu aiheuttama keuhkosityöpä sekä sydän- ja verisuonitaudit, sekä radon-kaasulle altistumisesta johtuva keuhkosityöpä. Näitä tunnettuja, selvästi rakennusvirheestä tai rakennuksen käytöstä aiheutuvia ongelmia on käsitelty seikkaperäisesti toisaalla ja ne eivät kuulu tämän artikkelin piiriin.

Subjektiiiset rakennukseen liittyvät oireet

Subjektiiiset rakennukseen liittyvät oireet (usein myös sairasrakennusoireet, taulukko 1) ovat todennäköisesti yleisimmän rekisteröity muuttuja tutkimuksissa, jotka käsittelevät ra-

kennusten yhteyttä ihmisen terveyteen. Uudenaan alueterveyslaitoksen selvityksen mukaan vuosina 1996–2000 eniten sisäympäristöön liittyviä valituksia työpaikoilta tuli tunkkaisestä ilmasta (ongelmaa esiintyy työpaikalla ”joka viikko”) (34 % vastanneista), kuivasta ilmasta (30 %), haittaavasta pölystä tai liasta (23 %), vedosta (20 %), liian kuumasta sisäilmasta (16 %) ja kylmästä. Eniten sisäilmastoon liittyviä valituksia (”työhön liittyvä oireilu joka viikko”) tuli nenän (17 % vastanneista), silmien (14 %) ja kurkun (12 %) oireina. Tutkimukseen osallistui noin 12 000 työntekijää yli 100 työpaikalta. Tämän selvityksen perusteella sisäympäristöön liittyvät ongelmat työpaikoilla ja niihin liittyvät valitukset ja oireilu ovat varsin yleisiä.

Taulukko 1. Rakennuksiin liittyvät subjektiiviset oireet (sairusrakennusoireet) WHO:n (1982) mukaan. Tyypilliset oireet häviävät tai lievenevät rakennuksesta poistuttaessa ja voimistuvat sinne palattaessa.

Silmien ja ylähengitysteiden oireet
Limakalvojen kuivuus
Ihon kuivuus
Ihon kutina
Ihon punaläikkäisyys
Käheä ääni
Päänsärky ja väsymys
Pahoinvointi ja huimaus
Erilaiset yliherkkyysoireet

Lämpöolot

Lämpöolosuhteisiin liittyvät ongelmat ovat yleisiä rakennuksissa. Jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmän liian pieni teho, korkeat sisäiset tai ulkoiset kuormat tai huonosti toteutettu ohjaus- ja säätöjärjestelmä voivat johtaa ajan tai tilan mukaan vaihteleviin lämpöolosuhteisiin. Rakennussuunnittelun sekä käyttö- ja huoltotoiminnan on useilla tietokonemallinnuksilla todettu vaikuttavan lämpöolosuhteisiin. Monilla mallinnusohjelmilla voidaan arvioida ihmisten lämpöviihtyvyyttä. Lämpöolosuhteilla voi olla suora yhteys terveyteen ja työtehokkuuteen ja ne vaikuttavat subjektiiviseen oireiluun.

Aistittu ilman laatu (hajut)

Aistittua sisäilman laatua on yleisesti käytetty mittarina arvioitaessa ilmanvaihdon hyvyttä ja sisäilman puhtautta. Aistittua sisäilman laatua voidaan käytössä olevissa rakennuksissa arvioida puolikvantitatiivisesti käyttämällä koulutettua tai kouluttamatonta hajupaneelia. Useat il-

manvaihtostandardit perustuvat ihmisperäisten hajujen laimentamiseen ilmanvaihdolla. Aistittu sisäilman laatu on pääsääntöisesti riippuvainen rakennuksen sisäisistä epäpuhtauslähteistä, ilmanvaihdon määrästä, ulkoilman laadusta, sekä ilman lämpötilasta ja suhteellisesti kosteudesta. Aistitulla ilman laadulla on havaittu olevan yhteys työsuorituksiin.

Valitukset

Sisäympäristöstä valitetaan usein kiinteistönhuollolle. Yhdysvalloissa on osoitettu, että sisälämpötilaan liittyvien valitusten käynnistämät toimenpiteet aiheuttavat huomattavia kustannuksia toimistorakennuksissa ja että niitä voidaan oleellisesti vähentää lämpötilan säätöä parantamalla.

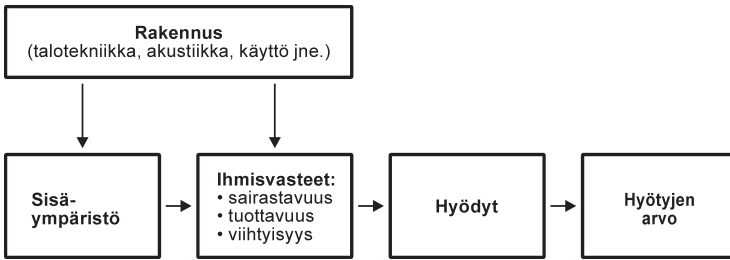
Sisäympäristön ja tuottavuuden väliset yhteydet

Rakennuksen ja sen sisäympäristön vaikutukset ihmisiin kulkevat osittain mitattavissa sisäilmaston kautta, mutta myös suoraan rakennuksen ominaisuuksista (kuva 5). Mitattavissa olevaan sisäympäristöön kuuluu mm. lämpötila. Rakennusteknisistä tekijöistä, joiden vaikutus sisäilmaan on vaikeammin mitattavissa, mainitakoon ilmanvaihto sekä ikkunoiden määrä ja koko. Ihmisvasteiden kautta muodostuu edelleen hyötyjä, joiden arvo voidaan määrittää.

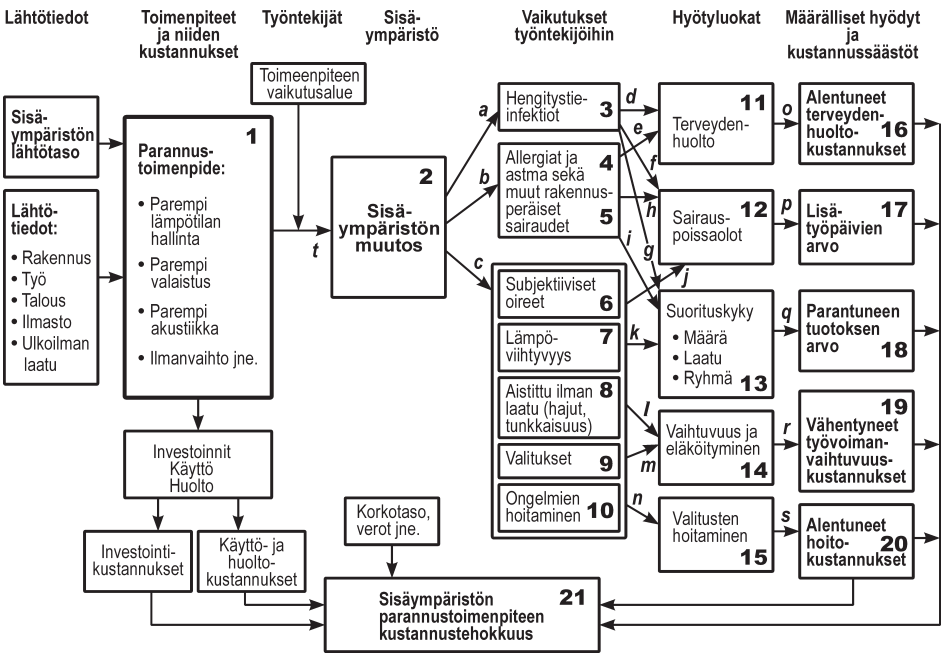
Täydellisempi sisäympäristön ja kustannustekijöiden välisiä yhteyksiä esittävä malli on esitetty kuvassa 6. Se kuvaa niitä tekijöitä, joihin hyvä sisäympäristö vaikuttaa, ja joiden välityksellä paremmasta sisäympäristöstä saadaan hyötyjä.

Mallin mukaisesti sisäympäristön parannustoimenpiteiden ja terveyden ja tuottavuuden välillä on useita yhteyksiä, joita käyttäen toimenpiteiden taloudelliset vaikutukset voidaan arvioida. Mallissa suunniteltiin tai rakennuksen perusparannukseen liittyvät toimenpiteet johtavat yhteen tai useampaan parannukseen sisäympäristössä (esimerkiksi epäpuhtauspitoisuuden muutokseen). Tämä vaikuttaa edelleen yhteen tai useampaan ihmisten reaktioon (ruudut 3–10). Ne voivat olla muutoksia terveydentilassa tai valitusten määrässä. Ihmisten reaktiot ovat edelleen yhteydessä hyötyluokkiin (ruudut 10–15) kuten terveydenhuolto- tai poissaolokustannuksiin. Muutokset hyötyluokissa (ruudut 10–15) johtavat edelleen taloudellisiin hyötyihin ja kustannussäästöihin (ruudut 15–19). Nuolet (a–s) ruutujen välillä kuvaavat funktioita, jotka yhdistävät ympäristötekijät ja vaikutukset kahden ruudun välillä.

Sisäympäristön yhteydet potentiaaliisiin hyötyihin voivat kulkea usean kaaviossa esitetyn yhteyden kautta. Näistä yhteyksistä on saatu tie-



Kuva 5. Rakennuksen ja sen sisäympäristön vaikutukset ihmisiin kulkevat osittain mitattavissa olevan sisäilmaston kautta, mutta myös suoraan rakennuksen ominaisuuksista.



Kuva 6. Malli sisäympäristön parannustoimenpiteiden kannattavuuden arvioimiseksi.

toa eri tutkimusten perusteella. Sisäympäristöön liittyvissä tutkimuksissa on kuitenkin yleensä tutkittu vain yhtä kuvassa esitettyä yhteyttä, ja harvemmin ulotettu tutkimus potentiaalisiiin hyötyihin saakka. Käytännössä tutkimusta on tehty myös siten, että on hypätty kokonaan jonkun ketjun väli vaiheen yli. Näissä, yleensä kokeellisissa tutkimuksissa on selvitetty suoraan jonkun rakennusteknisen tekijän vaikutusta tuottavuuteen tai poissaoloihin selvittämättä yksityiskohtaisesti, mikä altistava sisäympäristö- tekijä on vaikuttanut muutokseen.

Kuvan 6 kaaviossa esitetyt kustannukset ja hyödyt riippuvat tarkastelunäkökulmasta. Lähtökohtana ollut rakennus, jossa työnantaja omistaa myös rakennuksen, jolloin sekä kustannukset että hyödyt tulevat samalle yhteisölle. Tilanne muuttuu, jos tarkastellaan vuokrattua tilaa, jolloin hyödyt rakennuksen omistajalle tulevat vuokran kautta, kun taas työnantajalle tulevat työntekijöiden työn tuottavuuteen liittyvät hyödyt (kuva 4).

Työnantajan kannalta katsottuna sisäilman tuottavuusvaikutukset voidaan jakaa välittö-

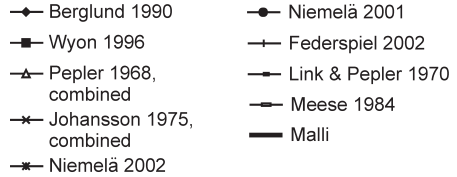
miin sairauskustannuksiin, poissaolojen aiheuttamaan tehollisen työajan menetykseen ja työsuorituksen huononemiseen sisäympäristöön liittyvien epäkohtien vuoksi. Rakennuksen omistajan kannalta potentiaalinen kustannussäästö on myös parantuneen sisäilman vaikutuksesta vähentynyt sisäilmavalitusten selvittämiseen kuluva työaika, edellyttäen että tämä on otettu huomioon kiinteistön hoitosopimuksessa. Nämä potentiaaliset sisäympäristön parantamisesta saadut hyödyt on kuvattu kaavion oikean reunan laatikoilla.

Tieteellisesti on osoitettu, että usean sisäilmatekijän ja ihmisten vasteiden välillä vallitsee selvä yhteys. Varsin vedenpitävästi on useassa riippumattomassa tutkimuksessa osoitettu mm. rakennusten kosteusvaurioiden ja allergisten oireiden sekä astman välinen yhteys. Allergisten oireiden ja astman tiedetään edelleen vaikuttavan sairauspoissaoloihin ja välittömiin sairauskustannuksiin. Allergiat ja astma liittyvät kuitenkin enemmän asuin- kuin työpaikkarakennuksiin.

Tarttuvien sairauksien osalta tiedetään, että hengitysteiden infektiosairaudet ja niiden aiheuttamat poissaolot ovat yleisempiä tiloissa, joissa ilmanvaihto on pieni. Runsaasti huomiota on saanut osakseen Yhdysvalloissa tehty tutkimus, jossa ilmanvaihdon suuruuden ollessa 24 l/s henkilöä kohden lyhytaikaisten sairauspoissaolojen määrä oli 35 % pienempi verrattuna tiloihin, joissa ilmanvaihto oli vain 12 l/s henkilöä kohden. Suurempi ilmanvaihto on ollut yhteydessä myös influenssan ja keuhkokuumeen pienempään esiintyvyyteen.

Useat, eri menetelmiä käyttäneet, tutkimukset ovat osoittaneet, että sisälämpötilalla on selvä vaikutus työsuorituksiin ja tuottavuuteen. Varsin yleisesti on hyväksytty käsitys, että poikettaessa lämpöolojen osalta neutraalilta alueelta, joka normaalissa toimistotyössä on noin 21–25 °C, työsuorituskehitys huononevat ja työn tuottavuus laskee. Lämpötila vaikuttaa erilaisiin työsuorituksiin eri tavoin, mutta keskimäärin suoritukset huononevat lämpötilan kohotessa siten että tuottavuus laskee noin 2 % astetta kohden kun lämpötila ylittää 25 °C. Alhaisemmissa lämpötiloissa on tutkimuksia vähemmän, mutta esimerkiksi sorminäppäryyden ja yleensä manuaalisten tehtävien osalta alhaisilla lämpötiloilla on oleellinen työsuoritusta huonontava vaikutus. Tällä on yhä suurempi merkitys myös toimistotyössä, jossa kasvava osuus työntekijöistä työskentelee tietokonetta apuna käyttäen. Kuva 7 esittää eri lähteistä kerättyjä tietoja lämpöolojen vaikutuksesta työsuorituksiin.

Monet tutkimukset ovat osoittaneet myös subjektiivisten oireiden, työn tuottavuuden sekä sairastavuuden välisen yhteyden. Työn tuottavuuden ja oireiden välinen yhteys on osoitettu käyttäen objektiivisesti mitattua ja itse arvioitua



Kuva 7. Yhteenveto lämpötilan ja suorituskyvyn välistä riippuvuutta käsitelleistä tutkimuksista. Kuvasta voidaan arvioida (paksu viiva), että suoritus (tuottavuus) huononee keskimäärin noin 2 % astetta kohden lämpötilan ylittäessä 25 °C. Neutraali alue on noin 21–25 °C. Kylmällä puolella yhteys on epävarmempi, mutta tulokset osoittavat tuottavuuden laskevan keskimäärin 4 % astetta kohden lämpötilan laskiessa alle 21 °C.

tuottavuutta. Itsearvioitu tuottavuus alenee tutkimusten mukaan merkittävästi silloin, kun työntekijällä on useampi kuin kaksi tyypillistä sairusrakennusoiretta. Myös sairauspoissaolot ovat yleisempiä silloin, kun työntekijöillä on enemmän oireita. Monessa tutkimuksessa on myös osoitettu erilaisten rakennusteknisten tekijöiden ja sairusrakennusoireiden yleisyyden välinen yhteys.

Laboratoriossa simuloidussa toimistotyössä on myös osoitettu ilman epäpuhtauksien, ilmanvaihdon ja työn tuottavuuden välinen yhteys. Kokeet on tehty käyttäen todellisia epäpuhtauslähteitä. Lähteenä on toiminut tunnetusti sairaasta rakennuksesta otettu kokolatiamatto tai tietokonenäytöt. Epäpuhtauslähteiden poistaminen tai ilmanvaihdon lisääminen on parantanut koeolosuhteissa erilaisten toimistotyötä jäljittelevien tehtävien suorittamista. Nämä kokeet osoittavat, että sisäilman laadun ja työsuorituksen välinen yhteys on olemassa, mutta tiedon siirtäminen käytäntöön sisältää monia epävarmuustekijöitä mm. epäpuhtauslähteen, laboratorio-olosuhteiden ja kokeen lyhytaikaisuuden johdosta.

Laboratoriokokeiden perusteella on esitetty myös yhteys aistitun ilman laadun ja työn tuottavuuden välille. Ilman laatuun tyytymättömien määrän kasvaessa 10 % pienenee työn tuottavuus 1,5 %. Tätä yhteyttä voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa ilman laatuun kohdistettujen toimenpiteiden vaikutusta ja kannattavuutta.

Tyytymättömyys sisäympäristöön lisää myös työntekijöiden vaihtuvuutta, joka edelleen tuo mukanaan rekrytointiin, koulutukseen ja menettettyyn kokemukseen liittyviä kustannuksia. Selvää näyttöä yhteydestä ei kuitenkaan vielä ole.

Tyytymättömyys sisäympäristöä kohtaan lisää kiinteistön hoito-organisaatiolle kulkeutuvia valituksia. Valitukset lisäävät kustannuksia, koska jonkun on selvitettävä onko valitus aiheellinen vai ei ja tarvittaessa ryhdyttävä toimenpiteisiin olosuhteiden parantamiseksi. Selvä yhteys valitusten määrän ja lämpöolojen välille on pystytty osoittamaan laajalla toimistorakennuksista kerätyllä aineistolla Yhdysvalloissa.

Valtaosa kokeellisesta tuottavuustutkimuksesta on käsitellyt yhtä tekijää kerrallaan. On kuitenkin selvää, että yksittäiset tekijät vaikuttavat toisiinsa joko vaikutuksia vahvistavasti tai heikentävästi. Tunnetuin näistä lienee ilman lämpötilan vaikutus aistittuun ilman laatuun. Viileä ilma tuntuu raikkaammalta kuin lämmin.

Täysin yksiselitteisen ja luotettavan tiedon puuttamisen johdosta sisäympäristön tuottavuusvaikutusten arvioinnissa on käytettävä myös muita tapoja ja ketjutettuja yhteyksiä. Yhdistelemällä tietoja eri tutkimuksista voidaan arvioida yksittäisten tekijöiden merkitys tuottavuudessa ja sairastavuudessa.

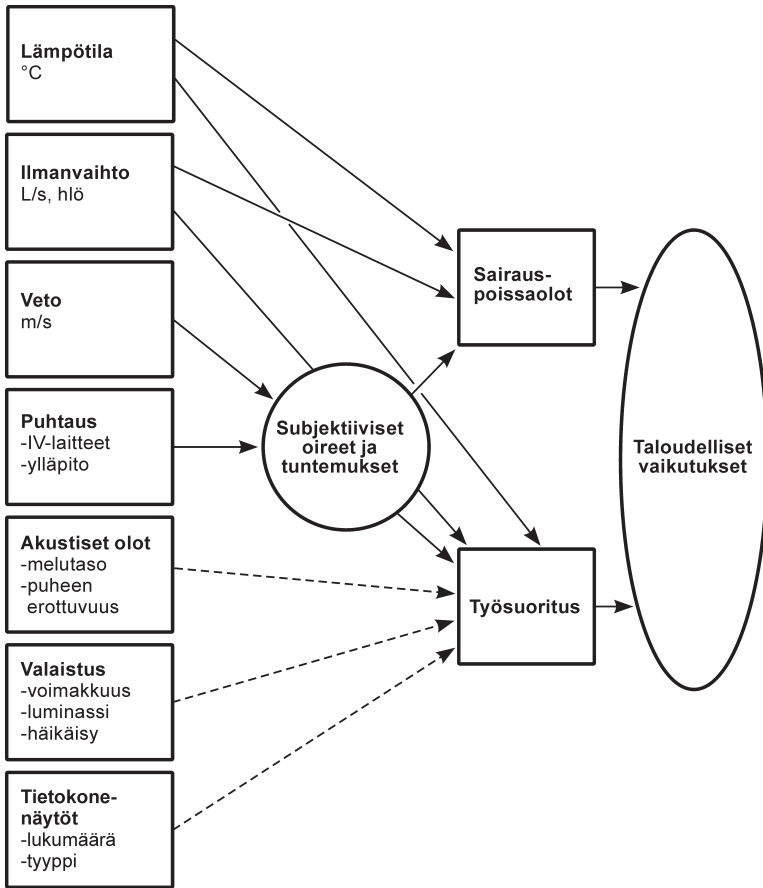
Yhteenvetona voidaan todeta, että sisäympäristön tuottavuus- ja sairastavuusvaikutuksista on olemassa riittävästi kvantitatiivista tietoa ja vielä enemmän kvalitatiivista tietoa, jonka perusteella voidaan arvioida sisäympäristön taloudelliset vaikutukset. Seuraavassa kappaleessa on esitetty yhteenveto eräistä Tuottava toimisto 2005 -projektin lopputuloksena esitetystä määrällisistä yhteyksistä, joita monet laadulliset yhteydet myös tukevat. Näiden tutkimusten tulosten suorassa soveltamisessa käytäntöön yksittäisissä tapauksissa on kuitenkin oltava varovaisia. Epävarmojenkin määrällisten yhteyksien käyttäminen investointilaskelmissa johtaa kuitenkin nykyistä parempaan sisäympäristöön, josta hyötyvät kaikki osapuolet: työnantaja, työntekijä, kiinteistön omistaja, palvelujen tuottaja ja yhteiskunta.

Määrälliset yhteydet

Tähän lukuun on koottu Tuottava toimisto 2005 -projektin tärkeimmät tutkimustulokset sisäympäristön ja tuottavuuden välisistä yhteyksistä. Edellisessä luvussa esitetty yleinen malli yksinkertaistuu huomattavasti, kun siihen otetaan mukaan vain ne yhteydet, joiden osalta on voitu määrittää määrälliset yhteydet (kuva 8). Niitä voidaan käyttää laskelmissa arvioitaessa investointien kannattavuutta silloin, kun laskelmiin sisällytetään hyvän sisäympäristön arvo.

Määrälliset yhteydet on koottu taulukkoon 2. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu yhteyksien perusteet ja käyttörajoitukset:

1. Korkeiden huonelämpötilojen vaikutuksesta tuottavuutta alentavana on vahva näyttö. Yhteyttä voidaan käyttää erityisesti kesäaikaisten lämpötilojen vaikutusten arvioinnissa. Yhteys perustuu moniin kansainvälisiin tutkimuksiin.
2. Alhainen lämpötila huonontaa sorminäppäryyttä ja vaikeuttaa tekstinkäsittelytyötä. Henkiseen suoriutuskykyyn ei löydetty yhteyksiä sen sijaan kyllä fyysiseen. Yhteys perustuu kansainvälisiin tutkimuksiin. Tekstinkäsittelytyön vaikutus tuottavuuteen on arvioitava erikseen.
3. Korkea huonelämpötila talvella lisää subjektiivisia oireita jotka ovat yhteydessä sairauspoissaoloihin ja työosaruikiisiin. Määrällinen yhteys oireista tuottavuuteen on kehitetty Tuottava toimisto 2005 -projektissa. Lämpötilan vaikutus oireiluun perustuu suuressa pääkaupunkiseudun virastokeskuksessa aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Tämä yhteys koskee vain talvioloja.
4. Ilmanvaihto vaikuttaa hengitystieinfektioiden aiheuttamiin lyhytaikaisiin poissaoloihin. Yhteys perustuu Yhdysvalloissa tehtyihin tutkimuksiin ja teoreettiseen malliin. Yhteyttä voidaan soveltaa silloin, kun suurehko työntekijäjoukko työskentelee samassa ilmatilassa tai silloin kun rakennuksessa käytetään runsaasti palautusilmaa.
5. Liian pienen ilmanvaihdon vaikutus subjektiivisiin oireisiin on osoitettu luotettavasti. Määrällinen yhteys ilmanvaihdon suuruuden ja oireilun välillä perustuu pääkaupunkiseudun 50 toimistorakennuksessa 90-luvulla tehtyihin tutkimuksiin. Subjektiivisten oireiden ja tuottavuuden välinen yhteys on Tuottava toimisto 2005 -projektin tulos. Tämä yhteys koskee talvioloja.



Kuva 8. Malli määrällisistä sisäympäristön ja tuottavuuden välisistä yhteyksistä Tuottava toimisto 2005 -projektin mukaan. Tässä artikkelissa käsitellään vain ehjällä viivalla esitettyjä yhteyksiä.

6. Liian suuren ilmanvaihdon ja tuottavuuden vaikutus perustuu Tuottava toimisto 2005 -projektissa kehitettyyn yhteyteen oireiden ja tuottavuuden välillä. Määrällinen yhteys ilmanvaihdon suuruuden ja oireilun välillä perustuu pääkaupunkiseudulla 50 toimistorakennuksessa 90-luvulla tehtyihin tutkimuksiin. Tämä yhteys koskee talviolejoja.
7. Ilmanvaihdon määrällä on myös suora vaikutus tuottavuuteen yksittäisten laboratoriokeiden mukaan. Tätä yhteyttä voidaan käyttää vaihtoehtona kesätilanteessa tuottavuuden ja ilmanvaihdon välillä.
8. Vetoisuuden ja tuottavuuden välinen yhteys perustuu Tuottava toimisto 2005 -projektissa

saatuihin tuloksiin, joissa on otettu huomioon yleisoireiden vaikutus tuottavuuteen.

9. Tuloilmakanavien puhdistamisen ja ilmapuhtaus tasapainotuksen yhteys tuottavuuteen perustuu eräässä pääkaupunkiseudun virastotalossa Tuottava toimisto 2005 -tutkimuksessa tehtyihin objektiivisiin tuottavuuden muutoksia koskeneisiin mittauksiin. Subjektiiiviset arviot vahvistivat tulosta.
10. Taloteknisen kokonaiskorjauksen tuottavuusvaikutus mitattiin Tuottava toimisto 2005 -projektissa eräässä pääkaupunkiseudun virastotalossa, jossa subjektiiviset arviot tuottavuuden muutoksesta vahvistivat yhden työntekijäryhmän objektiivisesti mitattuja tuloksia.

Taulukko 2. Yhteenveto sisäympäristön ja tuottavuuden välisistä yhteyksistä Tuottava toimisto 2005 -projektin mukaan (mukana vain lämpöolot ja ilmavaihto) ilmaistuna tuottavuuden laskuna tai nousuna (TL, TN %) tilanteessa, jolloin sisäympäristötekijän arvo poikkeaa referenssiarvosta. Tähtien määrä kuvaa esitetyn yhteyden luotettavuutta (mitä enemmän tähtiä sen luotettavampi yhteys).

Sisäympäristötekijä	Sovellusalue	Tekijän referenssiarvo	Tuottavuuden lasku poikkeamasta johtuen, %	Tuottavuuden osatekijä	Huom.	Luotettavuus
Korkea lämpötila (T, °C) kesällä	25 < T < 32	< 25	TL = 2 x T - 50	Työsuoritukset	Suora vaikutus	****
Alhainen lämpötila talvella (T, °C)	18 < T < 21	21 - 22	TL = a(84 - 4 x T)	Työsuoritukset	a = tekstin-käsittelytön osuus	***
Korkea lämpötila talvella (T, °C)	21 < T < 25	21 - 22	TL = 1,7 x (T - 21)	Sairauspoissaolot ja työsuoritukset	Yhteys oireiden kautta	**
Liian pieni ilmanvaihto avokontto-reissa tai palautusilmaa käytettäessä (q, Ls ⁻¹ , henk.)	0 < q < 25	25	TL = 1,5 %; q: 25 → 10 TL = 1,0 %; q: 10 → 0	Poissaolot	Hengitysteiden infektiosairauksien aiheuttamat poissaolot	**
Liian pieni ilmanvaihto (q, Ls ⁻¹ , henk.)	0 < q < 25	25	TL = 0,49 % per 10 Ls ⁻¹ , henk.	Sairauspoissaolot ja työsuoritukset	Yhteys oireiden kautta	**
Liian suuri ilmanvaihto (q, Ls ⁻¹ , henk.)	q > 25	25	TL _{max} = 0,88 %	Sairauspoissaolot ja työsuoritukset	Yhteys oireiden kautta, q:n tarkkaa arvoa ei saatavissa	*
Liian pieni ilmanvaihto (q, Ls ⁻¹ , henk.)	5 < q < 30	30	TL = 0,17 x (30 - q)		Yhteys laboratoriotestien perusteella, yhteys keskimääräinen	*
Vetoisuus	Vetovalitukset yleisiä		TN aina 0,2 % saakka	Työsuoritukset		*
Ilmanvaihdon puhdistus ja ilmavirtojen tasapainotus	yli 15...20 vuotta vanha	Likainen iv-järjestelmä	TN aina 0,2 % saakka	Työsuoritukset		*
Talotekninen ilmastoinnin, ilmanvaihdon ja valaistuksen perusparannus		Käytäväpuhallusjärjestelmä ja suora valaistus	TN = 4,4 %	Työsuoritukset	Objektiivisesti mitattu yhteys otoksen avulla kesäkuukausien aikana	**

Sisäympäristön parantaminen tuottavuuden kannalta

Terveellistä rakentamista koskevat tavoitearvot ja ohjeet on Suomessa koottu kahteen tärkeään julkaisuun. Sisäilmaluokitus 2000, jonka Sisäilmayhdistys on julkaissut yhteistyössä Rakennustietosäätiön, SAFAn, RaKLi:n ja SKOLIn kanssa (julkaistu myös RT-korttina 07-10741/

RT-10790). Toinen tärkeä terveellistä rakentamista käsittelevä julkaisu on Tekesin Terve Talo -ohjelman tuloksen syntynyt Terveen talon toteutuksen kriteerit, joka on julkaistu Sisäilmayhdistyksen oppaana no 6 (2003). Ohje kuvaa yksityiskohtaisesti, kuinka rakentamisessa saavutetaan hyvä, terveellinen lopputulos. Yhteenveto oleellisista ohjeissa esitetyistä toimenpiteistä on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Oleelliset toimistorakennuksia koskevat terveen talon kriteerit, jotka on tarkemmin kuvattu Terve-talo-kriteerit ohjeessa.

Sisäilmaston tavoitearvot on asetettu hankkeen alussa lämpöolojen, melutasojen ja ilmanvaihdon osalta Sisäilmaluokitusta 2000 käyttäen.

Valaistuksen tavoitetasot on asetettu sekä arkkitehti- että valaistussuunnittelun kannalta.

Rakentamisen ja ilmanvaihtotöiden puhtausluokka on valittu ja sen vaatimukset on siirretty urakkaohjelmaan ja urakkarajaliitteeseen sekä myöhemmin työmaa-aikatauluun.

Rakennusfysikaalisen kosteussuunnittelun laajuus on määritetty ja suunnitelma on tehty.

Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin painehäviö, tasapainotus ja äänitasolaskelmat on tehty.

Tyypillisten huoneiden lämpöolosuhteiden simulointilaskelmat on tehty.

Rakennusmateriaalit ja ilmanvaihtotuotteet on valittu pääsääntöisesti M1 luokan mukaisesti.

Työmaalle on tehty kosteuden hallinatasuunnitelma, jota on noudatettu ja valvottu.

Työn valvonnassa otetaan terveen talon vaatimukset huomioon.

Taloteknisten laitteiden säädölle ja vastaanotolle on varattu riittävä aika ja ne on säädetty ennen kuin rakennus otetaan käyttöön.

Irtokalusteiden toimittajilta on saatu hyväksyttävä selvitys kalusteiden alhaisista emissioista.

Sisäilmaston kannalta oleelliset asia on siirretty rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen.

Loppusivous on tehty hyvän sisäilmaston periaatteiden mukaisesti.

Rakennuksen käyttö- ja huoltohenkilökunta on kelpoinen käyttämään ja huoltamaan rakennusta terveen talon periaatteiden mukaisesti.

Olemassa olevassa rakennuskannassa sisäympäristöä voidaan parantaa tuottavuuden kannalta monella tavalla. Lähtökohtana seuraavassa on, että rakennus täyttää jo ennen parannustoimenpiteitä viranomaisvaatimusten tason eikä se aiheuta selviä terveyshaittoja. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä että siinä ei ole kosteusvaurioita tai home-, asbesti- tms. ongelmaa. Yksittäisten toimenpiteiden kannattavuus voidaan laskea edellisessä kohdassa esitettyjä yhteyksiä käyttäen ja toteuttaa niistä edullisimmat toimenpiteet. Suuremmat korjaukset on tietysti tarkoituksenmukaista toteuttaa muiden perusparannustoimenpiteiden yhteydessä.

Tärkeimpiä taloteknisiä parannustoimenpiteitä ovat:

1. Kesäajan lämpötilojen alentaminen yöjäähdytyksellä ja ikkunoiden auringonsuojauksella (ulkopuolinen tehokkain)
2. Kesäajan lämpötilojen alentaminen lisäämällä ilmastointi (koneellinen jäähdytys)
 - a. tuloilman keskitetty jäähdyttäminen (tuloilmavirtojen riittävyys tarkastettava)
 - a. huonekohtaisen jäähdytystehon lisääminen (tuloilman kasvattaminen, huonekohaiset laitteet)
3. Talviajan lämpötilojen säätö korkeiden ja matalien lämpötilojen välttämiseksi
 - a. lämmityksen tasapainotus
 - b. säädön parantaminen

4. Ilmanvaihdon tasapainotus ja säätö sekä ilmanvaihdon tarkastaminen huoneiden todellisen käytön mukaisesti
 - a. liian pienen ilmanvaihdon suurentaminen
 - b. liian suuren ilmanvaihdon pienentäminen
5. Vedon poistaminen ilmanjakoa ja lämpötilan säätöä parantamalla (esim. päätelaitteiden uusinta)
6. Vanhan ja likaisen tuloilmalaitteiston puhdistus ja tasapainotus
7. Valaistuksen häikäisyn vähentäminen
 - a. sisustus suunnittelulla
 - b. ikkunoiden aurinkosuojauksella
8. Valaistuksen uusinta sopivan valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi ja häikäisyn estämiseksi
9. Avokonttoreiden akustointi puheen erotettavuuden huonontamiksi ja muiden äänihäiriöiden vähentämiseksi
10. Näyttöpäätteiden vaihtaminen litteiksi LCD-näyttöiksi ja kahden näytön käyttöönotto työtehtävästä riippuen.

LÄHDE

Artikkeli perustuu Tekesin ja Työsuojelurahaston rahoittaman projektin "Tuottava toimisto 2005" -loppuraporttiin.