

Esitelmä Suomen LVI-liiton 75-vuotisjuhlaseminaarissa 8.4.2005
 ESitys perustuu Tekesin ja Työsuojelurahaston rahoittaman projektin "Tuottava toimisto 2005" loppuraporttiin, joka on kirjoittajan kokoama ja toimittama.

Sisäilmasto ja tuottavuus

Professori Olli Seppänen
 Teknillinen korkeakoulu

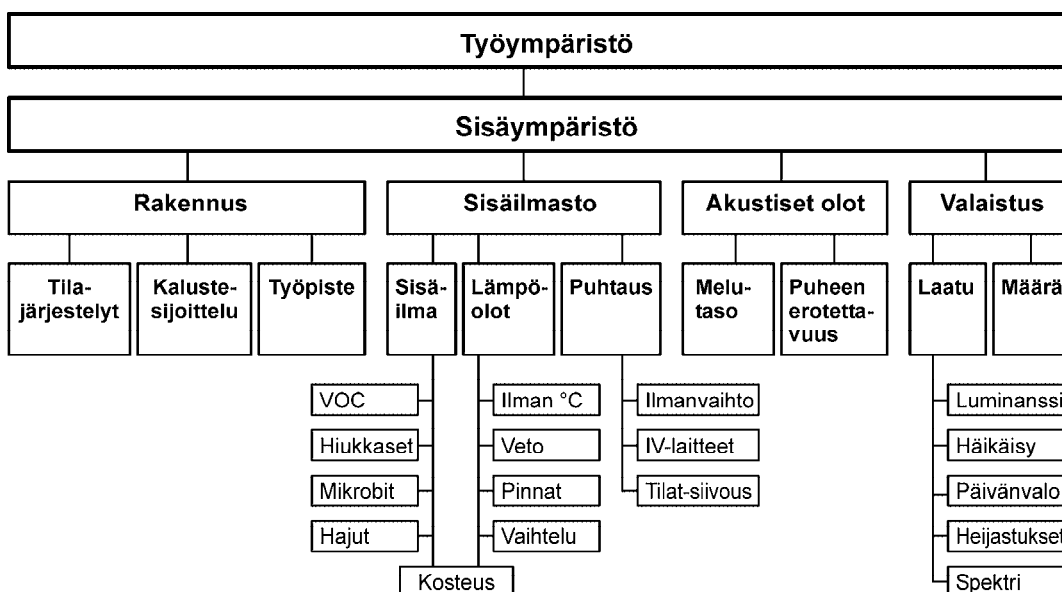
Tausta

Rakennusten sisäilmastoon on kiinnitetty viime vuosina runsaasti huomiota. Sisäilmastoa on pyritty parantamaan rakentamisen laatua ja ohjausta kehittämällä. Laskelmat ovat osoittaneet, että rakennuskohtaiset parannustoimenpiteet ovat erittäin kannattavia silloin, kun laskelmissa otetaan huomioon hyvän 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.

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

- työntekijöiden terveys ja viihtyvyys paranevat
- yritysten tuottavuus paranee ja sairauskulut pienenevät
- kiinteistön omistaja vuokratulo kasvaa ja kiinteistön arvon säilyy korkeampana
- palvelujen tuottajien liiketoiminta kasvaa.

Tässä artikkelissa **sisäilmastolla** tarkoitetaan rakennuksen sisäilman ja lämpöolojen muodostamaa kokonaisuutta. Lämpöoloihin kuuluvat sisäilman ja -pintojen lämpötilat, ilman liike, sisäilman kosteus ja lämpötilan vaihtelut. **Sisäilmalla** tarkoitetaan rakennuksen sisällä olevaa ilmaa. Siihen tulee ulkoilmaa joko ilmanvaihtojärjestelmän kautta tai vuotoilmana rakenteissa olevista raoista. Se sisältää rakennuksesta, ihmisestä tai hänen toiminnastaan peräisin olevia epäpuhtauksia (hiilivedyt, hiukkaset, mikrobit sekä erilaiset määrittämättömät hajut). **Sisäympäristö** käsittää sisäilmaston lisäksi rakennuksen ja tilat, akustiset olot ja valaistuksen. Sisäympäristö (kuva 1) 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.

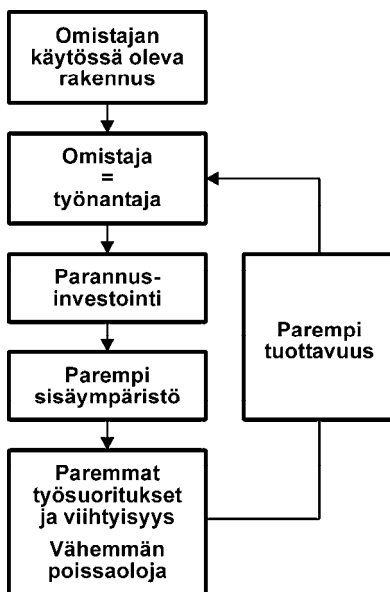


Kuva 1 Työympäristöön liittyviä tekijöitä ja käsitteitä niin kuin niitä on käsitelty tässä artikkelissa.

Sisäilmaston merkitys

Rakennukset eivät aina toimi työnteon ja ihmisten terveyden kannalta parhaalla mahdollisella tavalla. Tutkimusten mukaan monien rakennusten sisäilmastossa on puutteita. Jo pelkästään huonon sisäilmaston aiheuttamiksi kustannuksiksi arvioitiin vuonna 1997 Suomessa 18 miljardia markkaa vuodessa (3 miljardia euroa). Tämä summa on suurempi kuin rakennusten lämmityskustannukset. Arvioituissa huonon sisäilmaston kustannuksissa olivat mukana mm. sisäilmaan liittyvät allergiset sairaudet, tupakansavun ja radonin aiheuttamat syöpätapaukset, sisäilmaston aiheuttaman työtehon laskun kustannukset, lisääntyneet sairauspoissaolot, sisäilman kautta levinneet sairaalainfektiot sekä kosteusvaurioihin liittyneet oireet ja sairaudet. Aiemmin julkaistujen tutkimusten yhteenvetona voidaan kuitenkin todeta, ettei ole osoitettavissa yhtä yksittäistä tekijää, joka aiheuttaisi pääosan sisäilmasto ongelmista.

Sisäilmaston vaikutus tuottavuuteen on osoitettu yhä varmemmin viimeaikaisilla tutkimuksilla. Paremmasta sisäilmastosta syntyy hyötyjä työnantajalle työtehokkuuden ja viihtyvyyden paranemisena sekä sairauspoissaolojen vähenemisenä (kuva 2). Työn tuottavuuden on arvioitu paranevan jopa 6 % korjattaessa rakennuksen sisäilmaston hyväksi.

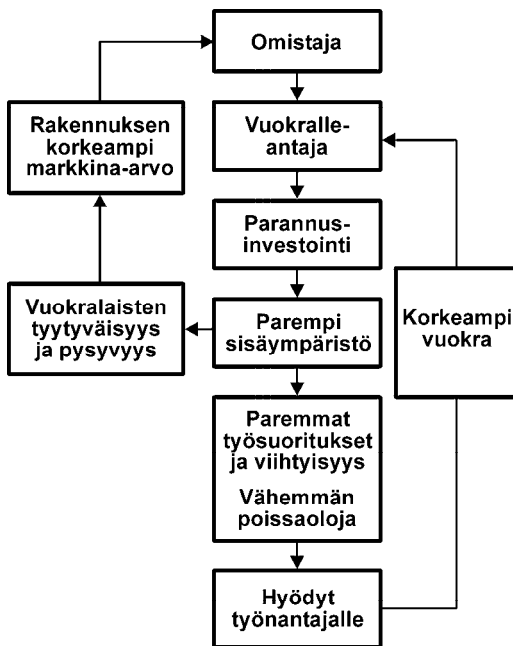


Kuva 2 Paremmasta sisäilmastosta syntyy hyötyjä työnantajalle työsuoritusten parantumisena, sairauspoissaolojen vähenemisenä ja viihtyvyyden kohenemisena. Parannustoimenpiteet hyödyttävät suoraan työnantajaa silloin, kun työnantaja omistaa rakennuksen.

Monet rakennusalan ammattilaiset haluaisivatkin määritellä sisäilmaston parannustoimenpiteiden aiheuttamat kustannukset ja hyödyt. Tähän tarkoitukseen sopivia malleja ei ole kuitenkaan aikaisemmin ollut. Yleensä on otettu huomioon ainoastaan investointi- ja ylläpitokustannukset tehtäessä taloudellisia laskelmia rakennuksen suunnittelu- ja käyttövaiheessa. Esimerkilaskelmat ovat kuitenkin osoittaneet, että sisäilmaston parannustoimenpiteet ovat hyvin kustannustehokkaita, kun terveysvaikutukset ja tuottavuushyödyt otetaan huomioon. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat mm. korkeiden ja matalien huone- lämpötilojen välttäminen, ilmanvaihdon säätäminen sopivaksi, ilmastointilaitteiden ja -kanavien puhdistaminen, huoneiden siivouksen tehostaminen, kiinteistöhoiton parantaminen, sisäympäristön henkilökohtaisen säädettävyyden parantaminen, tupakan savun ja konttorikoneiden päästöjen leviämisen estäminen, valaistuksen riittämättömyyden korjaaminen tai häikäisyn poistaminen sekä akustisten olojen parantaminen. Rakennusosalalla onkin ilmeinen tarve ottaa käyttöön menetelmiä, joiden avulla sisäympäristön terveys- ja tuottavuusvaikutusten taloudellinen arvo voitaisiin ottaa huomioon investointi- ja käyttökustannuslaskelmissa. Mitä ilmeisemmin 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. Toisaalta rakennuksen omistajan sisäilmaston parannusinvestointien hyödyt näkyvät korkeampana vuokrana, vuokrattavuuden paranemisena ja kiinteistön arvon pitkäaikaisen arvon säilymisenä (kuva 3).



Kuva 3 Paremmasta sisäilmastosta syntyy hyötyjä työnantajalle työsuoritusten parantumisena, sairauspoissaolojen vähenemisenä ja viihtyvyyden kohenemisena. Parannustoimenpiteet hyödyttävät työnantajaa. Rakennuksen omistaja saa korkeampaa vuokraa, vuokrattavuus paranee ja kiinteistön arvo säilyy.

Keskeiset sisäympäristöön liittyvät ongelmat suomalaisissa toimistorakennuksissa

Sisäympäristötekijät vaikuttavat suoraan ja välillisesti terveyteen ja työsuorituksiin. Nämä molemmat vaikuttavat edelleen työn tuottavuuteen. Sisäilmaston vaikutuksia on tutkittu pitkään erityisesti Pohjoismaissa ja Yhdysvalloissa. Tutkimusten perusteella on määritelty monia rakennukseen ja sisäympäristöön liittyviä tekijöitä, joilla tiedetään olevan vaikutuksia terveyteen tai työsuorituksiin. Ne voivat aiheuttaa sairauksia, oireilua, työsuoritusten huononemista ja viihtyvyyden laskua ja ryhmitellä eri rakennustekniikan aloittain esimerkiksi seuraavasti:

Rakennuksen tilat:

- 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 läpäisemättömällä materiaalilla
- Huonolaatuiset kokolattiamatot
- Runsas pehmeiden pintojen käyttö

Ilmavaihto

- Liian pieni ilmavaihto
- Liian suuri ilmavaihto
- Ilmavaihdon aiheuttama veto

Ilmastointi

- Ilmastoinnin (jäähdytyksen puuttuminen)
- Likainen ilmavaihtolaitteisto

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 eristävyys
Liian hyvä puheen erotettavuus avotoimistoissa
Liian korkea laitemelu pienhuonetoimistoissa

Tuottava toimisto 2005 projektissa selvitettiin näiden tekijöiden määrällisiä yhteyksiä tuottavuuteen ja sairastavuuteen. Tuloksena saatiin selviä yhteyksiä parannustoimenpiteiden, sairastavuuden ja työsuoritusten välille. Nämä on raportoitu yksityiskohtaisesti projektin loppuraportissa.

Huonon sisäilmaston aiheuttamia haittoja

Tarttuvat tulehdussairaudet

Osan tarttuvista hengityselinsairauksista tiedetään leviävän pisaratartuntana. Tämän kaltaisia sairauksia ovat mm. tavanomaiset virusten aiheuttamat ylempät 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. Sisäilmaston yhteys tarttuvien hengitystieinfektioiden leviämiseen ilmateitse on osoitettu useissa tutkimuksissa. 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 tutkimuksessa havaittiin, että tehokkaampi ilmanvaihto korreloi vähentyneiden sairauspoissaolojen kanssa, joista valtaosa johtuu hengityselinsairauksista. Lyhytaikaisten sairauspoissaolojen määrä voidaan arvioida, jos tiedetään ilmanvaihdon suuruus.

Astma ja allergia

Eniten hengitysteiden allergioita aiheuttavat länsimaissa siitepölyt ja kotieläinten epiteeli (hilse), jotka esiintyvät myös sisätiloissa. Astman ja allergioiden pääasiallinen aiheuttaja ei näin ole suoraan yhteydessä rakennuksiin, mutta oireiden esiintyminen ja niiden voimakkuus voivat olla yhteydessä kiinteistön ominaisuuksiin. Vaikuttavia ominaisuuksia ovat mm. ilmanvaihdon määrä, tuloilman suodatusaste, sisäilman kosteus, siivousmenetelmät, lemmikkieläinten läsnäolo ja kosteusvaurioiden aiheuttamat ongelmat rakennuksissa.

Tutkimusten mukaan allergiaa sairastavat ilmoittavat muita yleisemmin sisäilmaston olosuhdehaitoista (pölystä, liasta, tunkkaisesta ilmasta mutta myös lämpöolosuhteista) sekä sisäilmastoon liittyvistä oireista. Tämä liittyy siihen, että allergiaa sairastavilla on terveitä herkemmit silmien sidekalvot, hengitysteiden limakalvot ja iho. Allergioiden määrä väestössä on lisääntynyt viime vuosikymmeninä merkittävästi. Tämä lisää entisestään paineita hyvään sisäilmaston laatuun.

Virusperäisten hengitystieinfektioiden, joiden leviämiseen vaikuttavat ilmanvaihdon määrä ja ilman liike, 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. Näitä ovat esimerkiksi kostutinkuume, legionelloosi, ympäristön tupakansavun aiheuttama keuhkosityöpä ja verenkiertosairaudet sekä radon-kaasulle altistumisesta johtuva keuhkosityöpä. Nämä selvästi rakennusvirheestä tai rakennuksen käytöstä aiheutuvat ongelmat eivät kuulu kuitenkaan tämän artikkelin piiriin.

Subjektiiiset rakennukseen liittyvät oireet

Subjektiiiset, rakennukseen liittyvät oireet (sairusrakennusoireet, taulukko 1) ovat todennäköisesti yleisimmin rekisteröity muuttuja tutkimuksissa, jotka käsittelevät rakennusten yhteyttä ihmisen terveyteen. Uudenmaan aluetyöterveyslaitoksen selvityksen mukaan vuosina 1996-2000 eniten sisäympäristöön liittyviä valituksia työpaikoilta tuli tunkkaisesta ilmasta (ongelmaa esiintyy työpaikalla "joka viikko") (34 % vastanneista), kuivasta ilmasta (30%), haittaavasta pölystä tai liasta (23 %), vedosta (20 %), liian kuumasta (16 %) ja kylmästä (13 %) sisäilmasta. Eniten sisäympäristöön 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 subjektiiiset 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

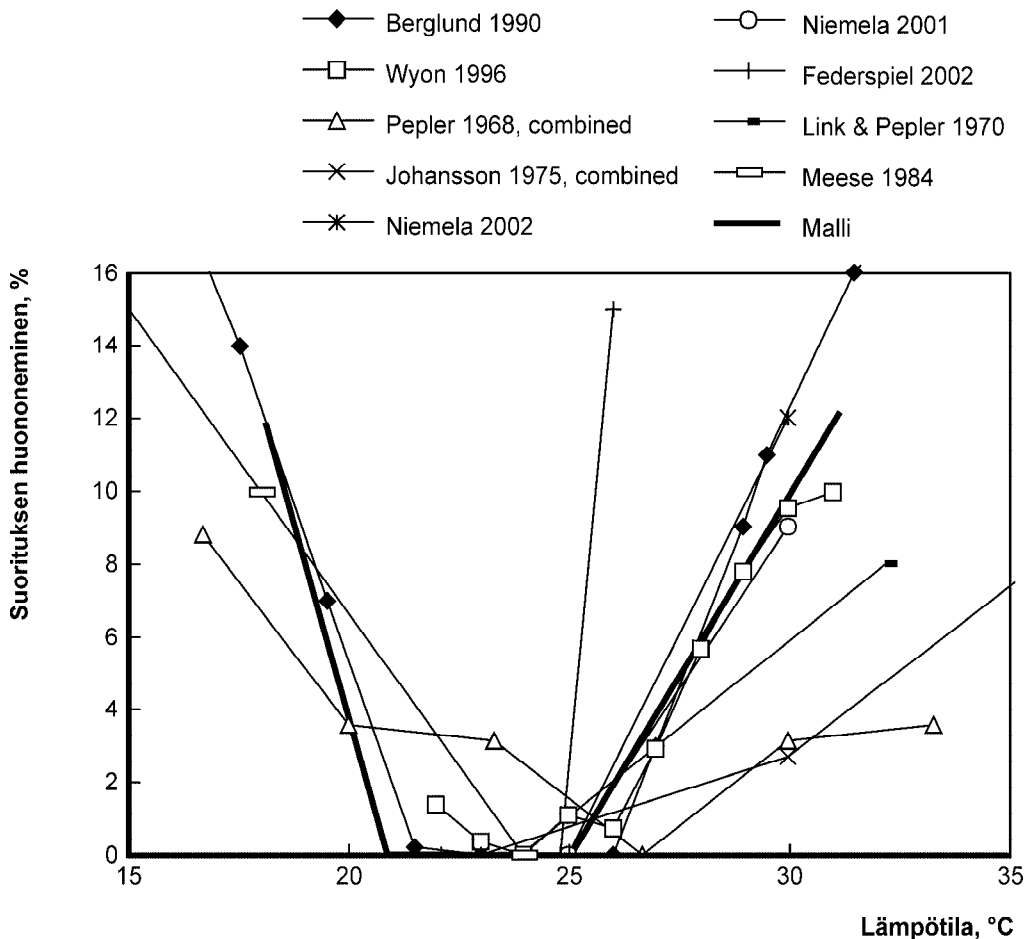
Lämpöolosuhteisiin liittyvät ongelmat ovat yleisiä rakennuksissa.. Jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmän liian pieni teho, korkeat sisäiset tai ulkoiset kuormat tai huonosti toteutettu ohjaus- ja säätöjärjestelmä voivat johtaa ajan tai tilan mukaan vaihteleviin lämpöolosuhteisiin. Rakennussuunnittelun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

Aistittu ilman laatu (hajut)

Aistittu sisäilman laatu on yleisesti käytetty mittari arvioitaessa ilmanvaihdon riittävyttä ja sisäilman puhtautta. Aistittua sisäilman laatua voidaan käytössä olevissa rakennuksissa arvioida käyttämällä koulutettua tai kouluttamatonta hajupaneelia. Useat ilmanvaihtostandardit 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

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



Kuva 4 Malli sisäympäristön ja potentiaalisten hyötyjen välisistä yhteysistä parannustoimenpiteiden kannattavuuden arvioimiseksi.

Sisäympäristön ja tuottavuuden väliset yhteydet

Sisäympäristön ja kustannustekijöiden välisiä yhteyksiä esittävä malli on esitetty kuvassa 4. Malli kuvaa niitä tekijöitä, joihin hyvä sisäympäristö vaikuttaa, ja joiden välityksellä paremmasta sisäympäristöstä saadaan hyötyjä.

Malli esittää kuinka sisäympäristön parannustoimenpiteiden ja terveyden ja tuottavuuden välillä on useita yhteyksiä, joiden avulla toimenpiteiden taloudelliset vaikutukset voidaan arvioida. Mallissa suunnitteluun tai rakennuksen perusparannukseen liittyvät toimenpiteet johtavat yhteen tai useampaan parannukseen sisäympäristössä (esimerkiksi epäpuhtauspitoisuuden muutokseen). Tämä vaikuttaa edelleen yhteen ja useampaan ihmisten reaktioon (tekijät 3-9). Nämä voivat olla muutoksia terveydentilassa tai valitusten määrässä. Ihmisten reaktiot ovat edelleen yhteydessä hyötyluokkiin (tekijät 10-14) kuten terveydenhuolto- tai poissaolokustannuksiin. Muutokset hyötyluokissa (tekijät 10-14) johtavat edelleen taloudellisiin hyötyihin ja kustannussäästöihin (tekijät 15-19). Nuolet (a-s) eri tekijöiden välillä kuvaavat funktioita, jotka yhdistävät ympäristötekijät ja vaikutukset kahden tekijän välillä.

Sisäympäristön yhteydet potentiaalisiin hyötyihin voivat kulkea usean kaaviossa esitetyn tekijän kautta. Tekijöiden välisistä riippuvuussuhteista on saatu tietoa eri tutkimusten perusteella. Sisäympäristöön liittyvissä tutkimuksissa on kuitenkin yleensä tutkittu vain yhtä kuvassa esitettyä yhteyttä, harvemmin tutkimus on ulotettu potentiaalisiin hyötyihin saakka. Käytännössä tutkimusta on tehty myös siten, että on hypätty kokonaan jonkun ketjun välivaiheen yli. Näissä, yleensä kokeellisissa tutkimuksissa on selvitetty suoraan jonkun rakennusteknisen tekijän vaikutusta tuottavuuteen tai poissaoloihin selvittämättä yksityiskohtaisesti, mikä altistava sisäympäristötekijä on vaikuttanut muutokseen.

Kuva 5 Yhteenveto lämpötilan ja suorituskyvyn välistä riippuvuutta käsitelleistä tutkimuksista. Kuvasta voidaan arvioida (paksu viiva), että suoritukset huononevat keskimäärin 2 %:a astetta kohden lämpötilan ylittäessä 25 °C. Neutraali alue on 21-25 °C. Viihtyisyysaluetta kylmemmissä oloissa yhteys on epävarmempi, mutta tulokset osoittavat tuottavuuden laskevan keskimäärin 4 % astetta kohden lämpötilan laskiessa alle 21 °C.

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 tuottavuutta. Tuottavuus alenee merkittävästi silloin, kun työntekijällä on useampi kuin kaksi tyypillistä sairusrakennusoiretta. Myös sairauspoissaolot ovat yleisempiä silloin, kun työntekijöillä on useampia sairusrakennusoireita oireita. Tutkimuksissa 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 kokolattiamatto tai tietokonenäytöt. Epäpuhtauslähteiden poistaminen tai ilmanvaihdon lisääminen on parantanut koeolosuhteissa erilaisten toimistotyötä jäljittelevien tehtävien suorittamista. Nämä kokeet osoittavat sisäilman laadun ja työsuoritusten välisen yhteyden olevan olemassa, mutta tiedon siirtäminen käytäntöön sisältää monia epävarmuustekijöitä mm. epäpuhtauslähteen, laboratorio-olosuhteiden ja kokeen lyhytaikaisen keston 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.

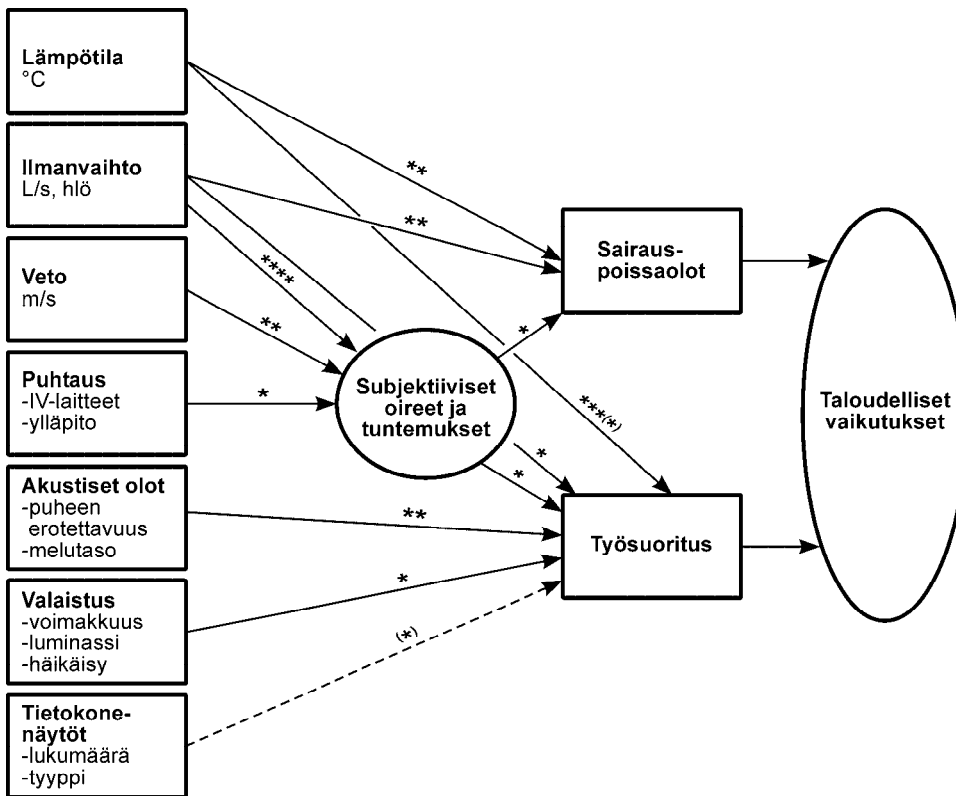
Tyytymättömyys sisäympäristöön lisää myös työntekijöiden vaihtuvuutta, joka edelleen tuo mukanaan rekrytointiin, koulutukseen ja menetettyyn kokemukseen liittyviä kustannuksia. Selvää näyttöä yhteydestä ei kuitenkaan vielä ole.

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 tekijä vaikuttavat toisiinsa joko vaikutuksia vahvistavasti tai heikentävästi. Tunnetuin näistä lienee ilman lämpötilan vaikutus aistittuun ilman laatuun. Viileä ilma tuntuu raikkaammalta kuin lämmin. Yhteenvetona voidaan kuitenkin 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 esitetyistä kvantitatiivisistä yhteyksistä, joita monet kvalitatiiviset tutkimukset myös tukevat. Tutkimustulosten suorassa soveltamisessa käytäntöön on kuitenkin oltava varovaisia, mutta epävarmojenkin määrällisten yhteyksien käyttäminen investointilaskelmissa johtaa nykyistä parempaan sisäilmastoon, 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 kohdassa esitetty yleinen malli yksinkertaistuu huomattavasti, kun siihen otetaan mukaan vain ne yhteydet, joiden osalta on voitu määrittää kvantitatiiviset yhteydet (kuva 6). Niitä voidaan käyttää laskelmissa arvioitaessa investointien kannattavuutta silloin, kun laskelmiin sisällytetään hyvän sisäympäristön arvo.



Kuva 6 Malli kvantitatiivisista sisäympäristön ja tuottavuuden välisistä yhteyksistä Tuottava toimisto 2005 projektin mukaan. Tässä artikkelissa käsitellään vain sisäilmastoon liittyviä, ehjällä viivalla esitettyjä yhteyksiä.

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

1. Korkeiden huonelämpötilojen vaikutuksesta tuottavuutta alentavana tekijänä on selvä näyttö, joka perustuu moniin kansainvälisiin tutkimuksiin. Tietoa voidaan käyttää erityisesti kesäaikaisten lämpötilojen vaikutusten arvioinnissa.
2. Alhainen lämpötila huonontaa sorminäppäryyttä ja vaikeuttaa tekstinkäsittelytyötä. Yhteys perustuu kansainvälisiin tutkimuksiin. Tekstinkäsittelytyön osuuden vaikutus työn tuottavuuteen on arvioitava erikseen. Henkiseen suoriutuskykyyn ei ole esitetty suoria yhteyksiä.
3. Korkea huonelämpötila talvella lisää subjektiivisia oireita, jotka ovat yhteydessä sairauspoissaoloihin ja työsuorituksiin. Kvantitatiivinen 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 Tuottava toimisto 2005 projektissa kehitettyyn malliin. Yhteyttä voidaan soveltaa silloin, kun suurehko työntekijäjoukko työskentelee samassa tilassa (avotoimisto tms.) tai silloin kun rakennuksessa käytetään runsaasti palautusilmaa.
5. Liian pienen ilmanvaihdon vaikutus subjektiivisiin oireisiin on osoitettu luotettavasti. Kvantitatiivinen yhteys ilmanvaihdon suuruuden ja oireilun välillä perustuu pääkaupunkiseudun 50:ssä toimistorakennuksessa 90-luvulla tehtyihin tutkimuksiin. Subjekttiivisten oireiden ja tuottavuuden välinen yhteys on Tuottava toimisto 2005 projektin tulos. Tämä yhteys koskee talvioloja.
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:ssä toimistorakennuksessa 90-luvulla tehtyihin tutkimuksiin. Tämä yhteys koskee talvioloja.
7. Ilmanvaihdon määrällä on myös suora vaikutus tuottavuuteen yksittäisten laboratorikokeiden 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 ilmavirtojen tasapainotuksen yhteys tuottavuuteen perustuu eräässä pääkaupunkiseudun virastotalossa Tuottava toimisto 2005 tutkimuksessa tehtyihin objektiivisiin tuottavuuden muutoksia koskeneisiin mittauksiin. Subjektiiiviset arviot tukivat tulosta.
10. Taloteknisen kokonaiskorjauksen tuottavuusvaikutus mitattiin Tuottava toimisto 2005-projektissa eräässä pääkaupunkiseudun virastotalossa, jossa subjektiiviset arviot tuottavuuden muutoksesta vahvistivat yhden työntekijäryhmän kvantitatiivisesti mitattuja tuloksia.

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

No	Sisäympäristötekijä	Sovellus-alue	Tekijän referenssiarvo	Tuottavuuden lasku poikkeamasta johtuen, %	Tuottavuuden osatekijä	Huom.	Luotettavuus
1	Korkea lämpötila (T, °C) kesällä	25<T<32	<25	TL=2xT-50	Työsuoritukset	Suora vaikutus	**** ¹⁾
2	Alhainen lämpötila talvella (T, °C)	18<T<21	21-22	TL=a(84-4xT)	Työsuoritukset	a = tekstinkäsitteilytöns osuus	***
3	Korkea lämpötila talvella (T, °C)	21<T<25	21-22	TL= 1,7 x (T-21)	Sairauspoissaolot ja työsuoritukset	Yhteys oireiden kautta	**
4	Liian pieni ilmanvaihto avokonttoreissa 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	**
5	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	**
6	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	*
7	Liian pieni ilmanvaihto (q, Ls ⁻¹ , henk.)	5<q<30	30	TL = 0,17x (30-q)		Yhteys laboratorionkokeiden perusteella, yhteys keskimääräinen	*
8	Vetoisuus	Vetovalitukset yleisiä		TN aina 0,2 % saakka	Työsuoritukset		*
9	Ilmanvaihdon puhdistus ja ilmavirtojen tasapainotus	yli 15...20 vuotta vanha	Likainen iv-järjestelmä	TN aina 0,2 % saakka	Työsuoritukset		*
10	Talotekninen ilmastoinnin, ilmanvaihdon ja valaistuksen perusparannus		Käytäväpuhallusjärjestelmä ja suora valaistus	TN = 4,4 %	Työsuoritukset	Objektiivisesti mitattu yhteys otoksen avulla	**

1) Tähtien määrä kuvaa yhteyden luotettavuutta – mitä enemmän tähtiä sen luotettavampi yhteys (tarkemmin Tuottava toimisto 2005 projektin loppuraportissa)

Sisäympäristön parantaminen tuottavuuden kannalta

Uudet rakennukset

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 Talon ohjelman tuloksen syntynyt Terveen talon

toteutuksen kriteerit, joka on julkaistu Sisäilmayhdistyksen oppaana no 6 (2003). Ohje kuvaa yksityiskohtaisesti, kuinka rakentamisessa saavutetaan hyvä, terveellinen lopputulos. Yhteenvedo 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 valaistussuunnittelussa
Rakentamisen ja ilmanvaihtotöiden puhtausluokka on valittu ja sen vaatimukset on siirretty urakkaohjelmaan ja urakkarajaliitteeseen sekä myöhemmin työmaa-aikatauluun
Rakennusfysikaalisen kosteussuunnittelun laajuus on määritetty ja suunnittelu on tehty
Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin painehäviö, tasapainotus ja äänitasolaskelmat on suoritettu
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 on otettu huomioon terveen talon vaatimukset
Taloteknisten laitteiden säädölle ja vastaanotolle on varattu riittävä aika ja säätö on suoritettu ennen kuin rakennus otetaan käyttöön
Irtokalusteiden toimittajilta on saatu hyväksyttävä selvitys kalusteiden alhaisista emissioista
Sisäilmaston kannalta oleelliset asiat on siirretty rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen
Loppusiivous on tehty hyvän sisäilmaston periaatteiden mukaisesti
Rakennuksen käyttö- ja huoltohenkilökunta on kelpoinen käyttämään ja huoltamaan rakennusta terveen talon periaatteiden mukaisesti

Vanhat rakennukset

Olemassa olevassa rakennuskannassa sisäympäristöä voidaan parantaa tuottavuuden kannalta monella tavalla. Lähtökohdana on, että rakennus täyttää jo ennen parannustoimenpiteitä viranomaisvaatimusten tason eikä se aiheuta selviä terveyshaittoja. Tämä tarkoittaa esim. 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 suojaus on tehokkain)
2. Kesäajan lämpötilojen alentaminen asentamalla rakennukseen ilmastointi (koneellinen jäähdytys)
 - a. tuloilman keskitetty jäähdyttäminen (tuloilmavirtojen riittävyys tarkastettava)
 - b. huonekohtaisen jäähdytystehon lisääminen (tuloilman kasvattaminen, huonekohtaiset jäähdytyslaitteet)
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 mukaiseksi
 - 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 estäminen
 - a. sisutussuunnittelulla
 - b. ikkunoiden aurinkosuojauksella
 - c. valaisimien sijoittelulla ja valinnalla
8. Valaistuksen uusinta sopivan valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi ja häikäisyn estämiseksi
9. Avokonttoreiden akustointi puheen erotettavuuden huonontamiseksi ja muiden äänihäiriöiden vähentämiseksi

10. Näyttöpäätteiden vaihtaminen litteiksi LCD-näytöiksi ja kahden näytön käyttöönotto työtehtävästä riippuen

Esimerkki huonelämpötilojen hallinnan kannattavuudesta toimistorakennuksessa

Usein rakennuksen käyttökustannusten laskennassa otetaan huomioon itse rakennukseen liittyvät kustannukset, jotka ovat vain murto-osa työpaikkarakennuksen työpalkoista ja työn tuottavuudesta. Tyypillinen ylläpitokustannusten taso 50 – 100 € vuodessa netto-m² kohden, joka 10 m² työhuoneessa tekee 500 – 1000 € vuodessa työntekijää kohden. Työn tuottavuus on kuitenkin Suomessa keskimäärin 50 000 € vuodessa eli 50 – 100-kertainen toimistorakennuksen ylläpitokustannuksiin verrattuna. Näin ollen pienikin parannus sisäympäristössä, joka samalla parantaa työn tehokkuutta on pääsääntöisesti kannattava silloin, kun parantunut työn tuottavuus otetaan huomioon. Seuraava esimerkki valottaa tällaista tarkastelua ilmastoinnin parantamisen kannalta tyypillisessä toimistorakennuksessa.

Esimerkissä tarkastellaan teknisten ratkaisujen kokonaistaloudellista vaikutusta tyypillisen toimistorakennuksen huonelämpötilan säädössä. Tarkastelukohteeksi on valittu tyypillinen suomalainen toimistorakennus (LVIS 2000), jota on käytetty monissa järjestelmävertailuissa. Sen ominaisuudet on esitetty taulukossa 4. Laskelmissa on käytetty 50 huoneen yksikköä, mutta tulokset on esitetty yhtä yhden hengen huonetta kohden.

Taulukko 4 Esimerkkirakennuksen huoneen keskeisiä tietoja.

Huoneen lattia-ala	9.7 m ²	Rakenteet	Raskaat
Huoneen tilavuus	18.2 m ³	Ikkunat	3-lasinen kirkas
Ulkosinien ala (ilman ikkunoita)	5.3 m ²	Ikkunan lasi-ala	2.5 m ²
Valaistuskormaa	15 W/m ²	Valaistus päällä	8 – 16
Laittekuorma	100 W	Laitteet päällä	8 – 16

Lämpötilan rajoittamiseksi on tutkittu käyttöajan pidentämistä, koneellisen jäähdytyksen lisäämistä ja tuloilmavirran kasvattamista. Taulukossa 5 on kuvattu tarkemmin vertailut tapaukset.

Taulukko 5 Vertailtavat vaihtoehdot korkeiden huonelämpötilojen välttämiseksi

Tapaus	Kuvaus lämpötilan hallinnasta
A(perus)	Auringon suojaus vaaleilla sälekaihtimilla ikkunalasien välissä (mukana kaikissa tapauksissa)
B	Lisätty keskitetysti jäähdytys ilmastointikoneeseen 20 W/m ²
C	Ilmanvaihdon käyttöaika lisätty 10:stä 24 tuntiin vuorokaudessa
D	Ilmanvaihdon ilmavirta lisätty 2:sta 4:ään L/sm ² ja käyttöaika lisätty 10:stä 24 tuntiin vuorokaudessa
E	Lisätty keskitetysti jäähdytys ilmastointikoneeseen 20 W/m ² ja käyttöaika lisätty 10:stä 24 tuntiin vuorokaudessa
F	Lisätty tuloilmavirta 2:sta 4:ään L/sm ² , keskitetysti jäähdytys ilmastointikoneeseen 20 W/m ² ja käyttöaika 10:stä 24 tuntiin vuorokaudessa

Lisäinvestointeja vaativien ratkaisujen kustannukset on esitetty taulukossa 5. Kustannukset on muutettu vuosikustannuksiksi olettaen pitoajaksi 15 vuotta ja reaalisiksi korkokannaksi 7 %. Näillä arvoilla päädytään annuiteettitekijään 0,1098. Investointikustannukset muutetaan vuosikustannuksiksi kertomalla ne tällä tekijällä.

Taulukko 6 Lisäinvestointien kustannukset 50:lle huoneelle ja huonekohtaisesti sekä investoinnin huonekohtainen vuosikustannus (15 vuotta ja 7 % antaa annuiteetti tekijäksi 0,1098)

Korjaustoimenpide	Kuvaus	Kokonaiskustannus, €	Kustannus huonetta kohden €	Anuiteetti €/a huonetta kohden
Ilmanvaihdon lisäys	Ilmankäsittelykone laitteineen 1 m ³ /s	16 333	327	36
Keskitetty jäähdytys ilmastointikoneen	Kompressori, jäähdytyspatteri, lauhdutin, säätö, 1 m ³ /s, 12 kW	15813	316	35

Huoneen sisälämpötila on laskettu tunneittain IDA/ICE simulointiohjelmalla (IDA Indoor Climate and Energy ks. esim Vuolle ja Salin 2000) käyttäen säätietoina Helsingin referenssivuotta, jonka tärkeimmät tiedot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7 Vertailulaskennassa käytetyn Helsingin referenssivuoden perustiedot.

Vuoden keskimääräinen lämpötila	4.2 °C
Ulkolämpötilan maksimiarvo	28.5 °C
Ulkolämpötilan minimiarvo	-30.0 °C
Lämmityksen astepäiväluku	5693 °Cd
Auringon säteilysumma vaakatasolle	936 kWh/m ²

Energian hintana laskelmassa on käytetty lämmölle 0.03 €/kWh ja sähkölle 0.1 €/kWh. Sähkön kulutuksessa on mukana valaistus, toimistolaitteet, puhaltimet ja koneellinen jäähdytys, joka on laskettu kylmäkertoimella 3. Lämmitysenergia käsittää ainoastaan ilman lämmitykseen käytetyn lämmön. Ilmanvaihtoilman lämmön talteenotossa on käytetty lämpötilahyötysuhdetta 50 %.

Korkea huonelämpötila laskee työtehoa. Vertailussa sen on oletettu vaikuttavan tuottavuuteen lämpötilasta riippuen seuraavasti (taulukko 2).

$$TL (\%) = 2 \times (T) - 50 \quad 25 < T < 30$$

$$TL (\%) = 10 \quad T > 30$$

$$TL (\%) = 0 \quad 21 < T < 25$$

missä TL on tuottavuuden lasku, %
T on lämpötila, °C

Työn arvona on laskelmassa käytetty 50 000 € vuodessa työntekijää kohden.

Laskennan tulokset nähdään taulukossa 8. Perustapaus on esitetty sarakkeessa A. Lopullisessa vertailussa muita tapauksia on verrattu perustapaukseen.

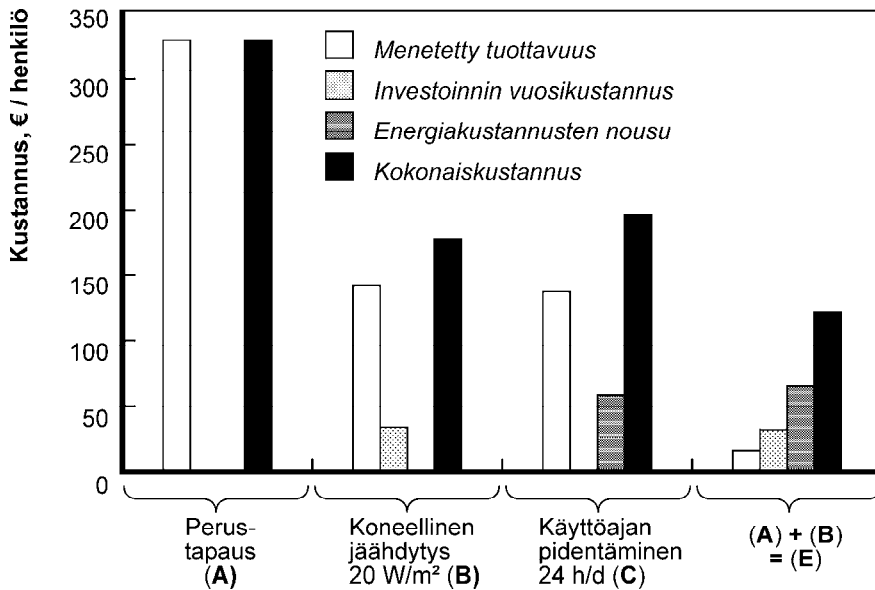
Tuloksista nähdään että perustapauksessa huoneen huippulämpötila on 32,7 °C ja 25 °C ylittävien astetuntien summa on 330 °Ch. Sekä huippulämpötilaa että astetuntilukua voidaan pienentää oleellisesti kaikilla esitetyillä keinoilla. Tuloksista on pantava merkille, että työn tuottavuudesta aiheutuva menetys on huomattavasti suurempi perustapauksessa kuin investoinnin ja energiankäytön lisäyksen aiheuttama lisäkustannus.

Vaihtoehtojen edullisuutta voidaan tarkastella niiden synnyttämällä kokonaissäästöillä. Kokonaissäästö on laskettu taulukon 8 alimmalle riville vähentämällä työn tuottavuuden aiheuttamasta säästöstä investoinnin vuosikustannus ja energiankäytön lisäys. Näin laskien edullisin on tapaus E, jossa ilmastointikoneeseen on lisätty keskitetysti koneellinen jäähdytys, jota käytetään 24 h vuorokaudessa.

Kuvassa 7 on havainnollistettu vaihtoehtoiset ratkaisujen kustannukset (B koneellisen jäähdytyksen lisäys, C käyttöajan pidennys sekä E molempien samanaikainen toteuttaminen). Alhaisimpiin kokonaiskustannuksiin päästään ratkaisulla E, jossa on lisätty jäähdytysteho 20 W/m^2 ja pidennetty ilmastonin käyttöaika.

Taulukko 8. Laskennan tulokset. Parannusvaihtoehtoja on verrattu perustapaukseen (A)

Tekijä	Tapaus					
	A	B	C	D	E	F
Tuloilmavirta, L/sm^2	2	2	2	4	2	4
Säleikaihtimet ikkunoiden välissä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Käyttöaika, h/d	10	10	24	24	24	24
Koneellinen jäähdytys, W/m^2	0	20	0	0	20	20
Sähkön kulutus, kWh/a	24 403	26379	31 273	43 217	35 453	50 523
Ilmanvaihtoilmän lämmitys, kWh/a	38 636	38448	65 007	109 719	65 209	110 326
Sähkö, €/a	5 740	5929	6 170	7 115	6 528	7 731
Lämpö, €/a	3 864	3844	6 501	10 972	6 521	11 032
Parannustoimenpiteen investointikustannus huonetta kohden, €/huone	-	73	-	327	73	400
Astetunteja yli 25°C	890	390	367	164	51	17
Huoneen maksimilämpötila, $^\circ\text{C}$	32.7	29.5	30.8	29.8	27.3	27.1
Tuotavuuden menetyksen arvo € huonetta (henkilöä kohden)	330	142	139	64	19	7
Parantuneen tuottavuuden arvo huonetta kohden (a)	0	188	191	266	311	323
Parannusinvestoinnin vuosikustannus (15 vuotta, 7 %) €/a (b)	0	35	0	36	35	71
Vuotuinen energiakustannus huonetta kohden €/a	192	195	253	361	260	375
Energiakustannuksen lisäys huonetta kohden, € (c)	0	3	58	169	68	183
Vuotuinen kokonaissäästö €/a (a-b-c)	0	150	133	61	208	69



Kuva 7. Koneellisen jäähdytyksen (20 W/m^2) ja lisätyn käyttöajan ($10 \rightarrow 24 \text{ h/vrk}$) vaikutus kustannuseriin ja kokonaiskustannuksiin alennettaessa kesäajan korkeita huonelämpötiloja tyypillisessä suomalaisessa raskarakenteisessa toimistorakennuksessa (euroa toimitustyöntekijää kohden).

Yhteenveto

Sisäilmasto on keskeinen sisäympäristön osa, joka vaikuttaa työsuorituksiin ja sairauspoissaoloihin. Tutkimusten perusteella on pystytty määrittämään usean yksittäisen sisäilmastotekijän määrällinen vaikutus työsuorituksiin tai sairastavuuteen. Näitä tietoja hyväksi käyttäen voidaan työpaikkarakennuksen taloudellisiin laskelmiin sisällyttää myös rakennuksen sisäilmaston vaikutus työn tuottavuuteen. Esimerkkilaskelmalla on osoitettu hyvällä sisäilmastolla saavutettavien hyötyjen olevan helposti suurempia kuin investointien vuosikustannukset tai muutokset energian käytössä. Sisäilmaston aiheuttamien muutosten arvo työn tuottavuudessa pitäisikin rutiinomaisesti sisällyttää investointilaskelmiin valittaessa rakennuksen sisäilmaston laatua.

Lähde

Seppänen, Olli (toim.) Tuottavat toimisto 2005. Loppuraportti. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B 77. 264 s. 2004