

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](#)

Sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden asettaminen ja valvonta elinkaarihankkeissa

Jarek Kurnitski, Dosentti, TkT
Tutkimuspäällikkö, TKK LVI-tekniikka
jarek.kurnitski@tkk.fi

Elinkaarihankkeiden erityispiirteet

Elinkaarihankkeessa toteuttajan vastuisiin sisältyy tyypillisesti suunnittelu ja toteutus sekä vastuuta taloteknisten järjestelmien ylläpidosta ja kunnossapidosta erikseen sovittavan ajan. Koska tekninen suunnittelu kuuluu toimitukseen, on sopimukset tehtävä ilman varsinaisia suunnitelmia. Sen takia hankkeen lopputuloksen onnistumiseen vaikuttava, alussa tehtävä tavoitteiden määrittäminen merkitys on kasvanut.

Lopputuloksesta, eli valmiin rakennuksen sisäilmastosta ja energiatehokkuudesta, pitää pysyä sopimaan entistä tarkemmin myös sen takia, että eri suunnitteluratkaisut kilpailevat keskenään. Jotta ratkaisujen väliset erot löytyisivät, tarvitaan yksikäsitteiset numeroin asetettavat/mitattavat tavoitteet. Tavoitteet asetetaan yleensä valmiin rakennuksen ominaisuuksien toiminnallisina tavoitearvoina (Performance based -lähestymistapa), eli pyritään sopimaan lopputuloksesta eikä suunnitteluratkaisusta. Sisäilmas-
totavoitteista sopimisen jälkeen on valvottava, että ne otetaan huomioon suunnittelussa ja niiden toteutuminen varmistetaan toteutuksessa. Kun toteuttaja vastaa laajemmasta alueesta kuin perinteisillä hankintamalleilla, korostuu myös toimijaverkon sisäisten vastuiden jako.

Elinkaarihankkeen luonteeseen kuuluu, että lopputulos pitää pystyä myös luotettavasti todentamaan. Tämä tarkoittaa sisäilmasto-olosuhdeiden osoittamista ja tavoitekulutusten saavuttamista. Todentaminen edellyttääkin, että hankkeessa käytettävistä todentamismenetelmistä on sovittava jo hankesuunnitteluvaiheessa.

Suomessa on toteutettu muutamia kymmeniä elinkaarihankkeita. Lukumäärä riippuu siitä, mitkä hankkeet katsotaan elinkaarihankkeiksi, vakiintunutta käytäntöä ei ole vielä muodostunut. Tunnetuimpia hankkeita ovat Kuninkaantien lukio ja Viikin infokeskus. Elinkaarihankkeiden sopimusmallit ja -käytännöt ovat vasta kehittyneinä. Eräänlainen haaste on joustavuuden lisääminen, jotta mm. käyttäjien muutokset olisivat helposti otettavissa huomioon. Tässä ar-

tikkelissa esitetty tavoitteiden asettamisen menetelmä soveltuu sekä kokonaisvastuu- että projektinjohtototeutuksen periaatteita noudattaville hankkeille.

Sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteista sopiminen

Elinkaarimallissa palveluntuottaja tekee yleensä myös tekniset suunnitelmat, minkä vuoksi kilpailuttamista ei voida tehdä perinteiseen malliin, sillä tarjouspyyntövaiheessa ei ole valmiita suunnitelmia. Hankkeesta riippuen valmiina voivat olla esimerkiksi yleissuunnitelma tai arkkitehtikilpailun tulokset. Sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet esitetään teknisissä asiakirjoissa, kuten hankeohjelma ja suunnitteluohjeet.

Periaatteessa projektinjohtajan ja rakennuttajan on sovittava, minkä tasoinen rakennus tarvitaan. Rakennuttaja käyttää yleensä rakennuttajakonsulttia apunaan. Hankeohjelmaan voidaan määrittää sisäilmastoluokka tässä kohdassa esitettävien huonekorrtien oletusarvoilla.



Kuva 1. Elinkaarihankkeen osapuolten sopimussuhteet ja tavoitteiden määrittämisen asiakirjat.

Taulukko 1. Toimistotilan huonekortti.

Huonekortti / Toimistotila			S1+	S2+	S3+	
Lämpöolosuhteet						
	Sisälämpötila	Kesä [°C]	23-24	22-25	22-27	
		Talvi [°C]	21-22	20-22	20-23	
	Sisälämpötilan** alitus / ylitys	Kesä [°Ch]	30 / 30	70 / 70	100 / 100	
		Talvi [°Ch]	30 / 30	0 / 70	50 / 200	
	Ilman nopeus	Kesä (22 °C) [m/s]	< 0,17	< 0,20	< 0,25	
		Kesä (24 °C) [m/s]	< 0,20	< 0,25	< 0,30	
		Talvi (20 °C) [m/s]	< 0,13	< 0,16	< 0,19	
		Talvi (21 °C) [m/s]	< 0,14	< 0,17	< 0,20	
	Suhteellinen kosteus	Kesä [RH %]	-	-	-	
		Talvi [RH %]	25	-	-	
Lämpötilansäätö***			h / v	h / v	-	
Sisäilman laatu						
	Ulkoilmavirta*	[dm³/s,hlö]	20	10	6	
		[dm³/s,m²]	3	2	1.5	
	Ilman CO ₂ -pitoisuuden maksimiarvo	[ppm]	700	900	1200	
		[mg/m³]	1300	1650	2200	
	Suodatusluokka		F8	F7	F7	
	Ilmanvaihdon lisäaikapainike		on	on	-	
	Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokka		P1	P1	P2	
	Rakennusmateriaalien päästöluokka		M1	M1	-	
	Ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokka		M1	M1	-	
Rakennustöiden puhtausluokka		P1	P2	P2		
Valaistusolosuhteet						
	Valaistustaso	[lx]	> 750	500-750	300-500	
	Häikäisysoja	[UGRL]	< 16	< 19	< 22	
	Värintoisto	[Ra]	> 90	80-90	> 80	
LVIS-ääniosuhteet						
	LVIS-äänitaso huoneessa	[dBA]	30	33	33	
Tilan kuormitus- ja käyttötiedot						
	Sisäiset lämpökuormat	Ihmiset	hlö/m²	1/10	1/10	1/10
		Valaistus	W/m²	12	12	12
		Laitteet	W/m²	15	15	15
	Tilan käyttöprofiili	ma-pe la su	8-18	8-18	8-18	

- Ei vaatimusta

*Mitoitetaan suuremman ilmavirran tuottavan mukaan

**Huonelämpötilan hyväksyttävä ylitys ja alitus pätee käytettäessä simuloinneissa sovitun testisäädäntä. Talviaika: 1.1–14.5 ja 1.10–31.12, kesäaika: 15.5–30.9.

*** h = huonekohtainen, v = vyöhykekohtainen

Taulukko 2. Neuvotteluhuoneen huonekortti.

Huonekortti / Neuvotteluhuone			S1+	S2+	S3+
Lämpöolosuhteet					
	Sisälämpötila	Kesä [°C]	23-24	22-25	22-27
		Talvi [°C]	21-22	20-22	20-23
	Sisälämpötilan** alitus / ylitys	Kesä [°Ch]	30 / 30	70 / 70	100 / 100
		Talvi [°Ch]	30 / 30	0 / 70	50 / 200
	Ilman nopeus	Kesä (22 °C) [m/s]	< 0,17	< 0,20	< 0,25
		Kesä (24 °C) [m/s]	< 0,20	< 0,25	< 0,30
		Talvi (20 °C) [m/s]	< 0,13	< 0,16	< 0,19
		Talvi (21 °C) [m/s]	< 0,14	< 0,17	< 0,20
	Suhteellinen kosteus	Kesä [RH %]	-	-	-
		Talvi [RH %]	25	-	-
	Lämpötilansäätö***		h	h	-
	Sisäilman laatu				
	Ulkoilmavirta*	[dm³/s,hlö]	12	10	6
		[dm³/s,m²]	4	4	2
	Ilman CO ₂ -pitoisuuden maksimi-arvo	[ppm]	700	900	1200
		[mg/m³]	1300	1650	2200
	Suodatusluokka		F8	F7	F7
	Ilmanvaihdon lisäaikapainike		on	on	-
	Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokka		P1	P1	P2
	Rakennusmateriaalien päästöluokka		M1	M1	-
	Ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokka		M1	M1	-
Rakennustöiden puhtausluokka		P1	P2	P2	
Valaistusolosuhteet					
	Valaistustaso	[lx]	> 750	500-750	300-500
	Häikäisysoja	[UGRL]	< 16	< 19	< 22
	Värintoisto	[Ra]	> 90	80-90	> 80
LVIS-ääniosuhteet					
	LVIS-äänitaso huoneessa	[dBA]	30	33	33
Tilan kuormitus- ja käyttötiedot					
	Sisäiset lämpökuormat	Ihmiset hlö/m²	1/2	1/2	1/2
		Valaistus W/m²	12	12	12
		Laitteet W/m²	15	15	15
	Tilan käyttöprofiili	ma-pe la su	8-18	8-18	8-18

- Ei vaatimusta

*Mitoitetaan suuremman ilmapirran tuottavan mukaan

**Huonelämpötilan hyväksyttävä ylitys ja alitus pätee käytettäessä simuloinneissa soveltuvaa testisäädädataa. Talviaika: 1.1–14.5 ja 1.10–31.12, kesäaika: 15.5–30.9.

*** h = huonekohtainen, v = vyöhykekohtainen

Sopimuksen synnyttyä projektinjohtaja toimii rakennuttajan edustajana suunnittelijoita, urakoitsijoita ja muita palveluntuottajia kohden, kuva 1. Yksityiskohtainen suunnittelu tarvitsee tarkat lähtötiedot ja tavoitteet, joiden mukaan tekninen suunnittelu tehdään. Projektinjohtaja laatii suunnitteluohjeet ja täsmentää huonekorttien arvot lopullisiksi.

Sisäilmastotavoitteet voidaan määrittää hyvinkin tarkasti huonekorteilla. Taulukkojen 1 ja 2 kortissa on esitetty kolme sisäilmaston laatutasoa omissa sarakkeissaan. Projektinjohtaja valitsee niistä hankeohjelman mukaisen tason lämpöolosuhteille, sisäilman laadulle, valaistusolosuhteille ja LVIS-ääniolosuhteille. Korttiin merkitään tilan kuormitus ja käyttötiedot laskelmien tekemistä varten, koska ne vaikuttavat niin laitemitoitukseen kuin saavutettaviin olosuhteisiin ja energiankulutukseen. Esitetyt tavoitearvot perustuvat sisäilmastoluokitukseen [1,2] ja kansainvälisiin standardeihin. Koska sisäilmastoluokituksen määrittämisessä on hieman tarkennettu ja laajennettu, on sisäilmastoluokat merkitty + merkillä.

Toimistorakennuksen sisäilmastotaso määritetään vähintään toimistotilan ja neuvotteluhuoneiden osalta. Toimistotilalla tarkoitetaan sekä avo- että huonetoimistoja. Niitä ei eritellä, koska tilatyypit saattaa muuttua useita kertoja rakennuksen käytön aikana. Suurin ero toimistotilan ja neuvotteluhuoneiden välillä on ulkoilmavirran määrä, koska neuvotteluhuoneen henkilötiheys on suurempi. Lisäksi neuvotteluhuoneessa tulee olla suuren kuormituksen vaihtelun takia huonekohtainen lämpötilan säätö.

Suunnitteluohjeessa määritetään mm. muutostavustavoitteet. Talotekniikan osalta se tarkoittaa ns. talotekniikan moduulimittaa, jonka mukaan asennetut lämmityspatterit ja jäähdytyspalkit tai muut laitteet mahdollistavat väliseinien siirron. Lisäksi määritetään alueet, joissa tehdään varaukset, jotta toimistotila voidaan muuttaa tarvittaessa neuvotteluhuoneeksi.

Sovittavat energiatehokkuustavoitteet ovat tavoitekulutuksia, joiden pitää toteutua huonekorteissa määritetyillä sisäilmaston laatutasoilla, rakennuksen käytöllä ja kuormituksella sekä sovitulla säädätällä (esim. testivuosi 1979). Tavoitekulutukset esitetään vähintään ostetulle lämmitysenergialle (yleensä kaukolämpöä) ja kokonaissähkökulutukselle.

Huonelämpötilan todentamista varten huonekortit esittävät sallitun lämpötilan ylityksen alituksen asetutsummina. Esimerkiksi 2 °C ylitys 5 tunnin aikana on $2 \times 5 = 10$ °Ch astetuntia. Tämä määrittely mahdollistaa huonelämpötilan todentamisen pitkäaikaismittauksella esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmällä tai simulointimallilla. Todentamismenettely kuvataan jäljempänä. Myös kaikki muut huonekortin suuret ovat mitattavissa ja näitä voidaan käyttää tarpeen mukaan todentamisessa.

Vaihtoehtoinen todentamistapa mittauksille ja simuloinneille on sisäilmastokysely. Se on yleisesti hyväksytty menetelmä sisäilmasto-standardeissa [3, 4], koska huonekorttien määrittäykset perustuvat ihmisvasteisiin. Ihmisvastetta voidaan kysyä myös suoraan. Kyselyä ei kannata tehdä vastavalmistuneessa rakennuksessa, koska uuteen työpaikkaan muutettaessa on niin

Taulukko 3. Huonekorttien sisäilmaston laatutasoja vastaavat tyytymättömyyden osuudet. Näitä voidaan käyttää, jos sisäilmasto-olosuhteet todennetaan kyselyllä.

Koettu sisäilmasto			S1+	S2+	S3+
Sisäilmasto-olosuhteiden yleisarvio					
	Yleinen tyytyväisyys työpaikan sisäilmasto-olosuhteisiin	[%]	> 85	> 80	> 70
Lämpöolosuhteet					
	Lämpöolosuhteisiin tyytymättömien osuus (yleinen lämpöviihtyvyys) PPD	[%]	< 6	< 10	< 20
	Ilman liikkeeseen tyytymättömien osuus DR	[%]	< 15	< 20	< 30
	Epäsymmetrisen lämpösäteilyyn tyytymättömien osuus PD	[%]	< 5	< 5	< 10
Sisäilman laatu					
	Aistittuun ilman laatuun tyytymättömien osuus PD	[%]	< 10	< 15	< 25

paljon häiriötekijöitä, että luotettavaa tulosta ei välttämättä saada. Jos kysely tehdään, oikea ajankohta on 0,5–1 vuotta rakennuksen käyttöönotosta. Huonekorttien sisäilmastomääritykset vastaavat taulukossa 3 esitettyjä tyytymättömyyden osuuksia. Kysely voidaan toteuttaa esimerkiksi standardin [3] lomakkeella tai pidemmälle työkalustetulla Indoorium Survey™ -kyselyllä [5].

Todentamisen määritykset hanke- ja yleissuunnitteluvaiheessa

Sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden lisäksi pitää sopia myös miten lopputulosta mitataan. Tämä on tehtävä yleensä jo hankesuunnitteluvaiheessa, jotta suunnittelulla pystyttäisiin luomaan tarvittavat valmiudet vastaanotto- ja käyttövaiheessa tapahtuvalle varsinaiselle todentamiselle. Näitä valmiuksia ovat mm. pitkälti automaattisen todentamisen mahdollistava rakennusautomaatiojärjestelmä (RAU) ja rakennuksen simulointimalli, joka tehdään talotekniikan suunnittelun yhteydessä. Todentamisen laajuus pitää valita tarkoituksenmukaisesti, koska kaikkien huonekortin suureiden mittaus kaikista tiloista ei tietenkään ole mahdollistava. Todentamisen määritys koostuu seuraavista osista:

- todentamisen laajuuden määritys (tilat, järjestelmät, ajankohdat)

- RAU:n mittauspisteiden ja tiedonkeruun sekä -käsittelyn määritys
 - mahdollisten erillismittausten määritys
 - RAU:n mittaustarkkuuden määritys
 - laskentatyökalujen määrittäminen vastaanotto/käyttövaiheeseen (simulointimalli).
- Vaihtoehtoisesti voidaan sopia, että todentamisen tehdään pelkästään sisäilmastokyselyillä. Myös mittauksen ja kyselyn yhdistelmä voi olla käytännössä hyvin toimiva ratkaisu, koska hankalasti mitattavat suureet voidaan helpommin selvittää kyselyllä.

Todentamisen laajuuden määritys tarkoittaa sitä, että jo hankevaiheessa määritetään riittävän yksityiskohtaisesti mitä suureita, milloin, millä menetelmällä ja kuinka monesta huoneesta/järjestelmästä mitataan. Esimerkki mitattavista suureista on esitetty taulukossa 4.

Mitattavista tiloista sovitaan lukumäärä tilatyyppeittäin. Kun lukumäärä on sovittu, varsinaiset mitattavat toimistohuoneet ja avotoimistot voidaan valita yhdessä tilaajan edustajan kanssa edustavasti eri julkisivuilta ja kerroksista. Myös muita tiloja, kuten neuvotteluhuoneet, kabinetit, ruokala ym. on syytä sisällyttää mittaukseen.

Mittauksiin perustuvan todentamisen on syytä perustua pääosin RAU-mittauksiin ja vain siltä osin erillismittauksiin kuin rakennusautomaatiojärjestelmään ei ole kustannustehokasta asentaa pysyviä mittauksia. Todentamisessa tarvittavat RAU:n mittauspisteet on määritettävä, kuten myös tiedon keruu sekä sen mahdollinen käsittely ja esitystapa. Näin varmistetaan, että

Taulukko 4. Esimerkki todennettavista suureista, todentamistapa sekä vaatimuksenmukaisuuden arviointimenetelmä.

Todentaminen		Mittausaika	Mittauspaikka*	Mittausmenetelmä	Vaatimusten mukaisuus
Lämpöolosuhteet					
	Huonelämpötila	jatkuva/koko vuosi	12 kpl työposteita avo- ja huonetoimistoissa	RAU	huonekortti
	Ilman nopeus	edustava talvi-, kesä- ja välikausipäivä	12 kpl työposteita avo- ja huonetoimistoissa	kertamittaus	sisäilmastoluokitus
Sisäilman laatu					
	Ilmavirta	vastaanotto	kaikki ilmavirrat	kertamittaus	± 10 %
	Hiilidioksidipitoisuus	yksi viikko	kaksi neuvotteluhuonetta	RAU	huonekortti
Valaistus					
	Valaistustaso	vastaanotto	12 kpl työposteita avo- ja huonetoimistoissa	kertamittaus	huonekortti
Energiatehokkuus					
	Kaukolämpö	vuosi		mittarilukema	hankeohjelma
	Sähköenergia	vuosi		mittarilukema	hankeohjelma

*edustavat mitattavat huoneet/työpaikat valitaan tilaajan edustajan kanssa

esimerkiksi huonelämpötilan sovitusta mitauspisteistä tallennetaan tiedot kovalevyille, lasketaan tarvittavat ylitykset/alitukset sekä saadaan hälytykset.

Vaikka RAU tarjoa erittäin joustavan mitaus- ja tietojen käsittelyvalmiuden, pitää varmistaa, että mittauksulokset ovat riittävän luotettavia. Sitä varten määritetään mittaussuureiden tarkkuusvaatimukset (esim. lämpötila $\pm 0,5$ °C, hiilidioksidipitoisuus ± 100 ppm).

Rakennuksen käyttövaiheessa tullaan todennäköisesti tarvitsemaan laskentatyökalua, koska kaikki käyttäjän säädöt ja muut mahdolliset muutokset vaikuttavat sekä toteutuviin sisäilmasto-olosuhteisiin että energiankulutukseen. Tilanne voidaan hallita, jos suunnittelussa tehdään rakennuksen simulointimalli, jolla tällaisten muutosten vaikutuksia voidaan jatkossa tarkastella. Simulointimalli pitää päivittää toteutuksen aikaisten muutosten osalta ennen rakennuksen vastaanottoa ja tarvittaessa kalibroida käytön aikaisen mittausjakson avulla. Jos todentamisessa havaitaan poikkeamia, joiden oletetaan johtuvan käyttäjän säädöistä/muutoksista, kalibroidulla simulointimallilla voidaan tehdä jälkilaskelma esimerkiksi tavoitekulutuksen tai huonelämpötilan osalta.

Valvonta suunnittelun ja toteutuksen aikana

Projektinjohtajan tehtävä on varmistaa, että sovitut sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteet toteutuvat myös käytännössä. Varsinainen todentaminen tapahtuu vastaanotto- ja käyttövaiheessa, mutta suunnittelun ja toteutuksen aikaisella valvonnalla varmistetaan, ettei silloin synny ylitsepääsemättömiä ongelmia. Elinkaarihankkeen luonteeseen sopivat hyvin myös kannustimet ja sanktiot. Niitä käytetään, jos tavoitteet ylitetään tai alitetaan.

Valvonnan työkaluina voidaan käyttää terveen talon toteutuksen kriteereitä [6,7] ja TOVA (toimivuuden varmistus) ohjeistusta [8]. Terveen talon toteutuksen kriteerit esittävät suunnittelun ja toteutuksen kriittisiä vaiheet ja näissä valvottavien asioiden tarkistuslistat. Valvonta voidaan toteuttaa noudattamalla TOVA -systematiikka hankevaiheittain.

Luonnossuunnittelu

Terveen talon toteutuksen kriteerit esittävät tavoitetasojen (S-, M- ja P-luokat) valinnan lisäksi melkoisen määrän vaatimuksia rakennussuunnittelulle, koska yleissuunnitteluvaiheessa tehdään lähes lopulliset valinnat arkkitehtuurin, rakennusjärjestelmien ja rakennuksen tyyppitilojen osalta. Esitetään vaati-

mutukset mm. auringolle altistuvien julkisivujen auringonsuojaukselle ja päivänvalon hyödyntämiselle. Häikäisyä ei saa esiintyä ja päivänvaloa pitää olla mahdollista rajoittaa näytepääteyölle sopivalle tasolle. Luonnosvaiheen suunnitelmille esitetään kokonaisuudessaan korkeat vaatimukset, koska jatkossa muutosten tekeminen on monimutkaista ja tulee kalliiksi. Luonnossuunnitelmien tarkastuslista vaatii mm.:

- Luonnosvaiheen suunnitelmassa on tarkistettu ja otettu huomioon huonelämpötilojen hallinnan edellytykset varsinaisessa suunnitteluvaiheessa, jonka takia on ratkaistava sisäiset lämpökuormat, ikkunakoot, lasitusten laatu-tekijät, aurinkosuojauksen toteutustapa ja LVI-tekniikan periaateratkaisut.
- Runkokanavien pääreitit on valittu ja alustava kanavamitoitus tarkistettu erityisesti pahimpien ja tyyppisimpien risteilykohtien tilantarpeen osalta. Valittujen alakattokorkojen ja kerroskorkeuden riittävyys on tarkistettu näissä kohdissa.
- Tyyppihuone/huoneet on tutkittu/määritetty mahdollisimman tarkasti sekä rakennus- että LVIS-teknisesti.
- Alustavat lämpötilasimulointilaskelmat on tehty hyväksytytjen reunaehtojen pohjalta.

Rakentamisen valmisteluvaihe

Rakentamisen valmisteluvaiheessa, jossa valitaan pää- ja sivu-urakoitsijat sekä valmistellaan sopimusasiakirjat, viedään sekä yksityiskohtainen toteutusaikataulu, vaativat kriteerit että valitut tavoitetasot ja muut asetetut vaatimukset yleisellä tasolla sopimusasiakirjoihin ja yksityiskohtaisesti teknisiin asiakirjoihin. Tämä luo edellytykset valvojen työlle mahdollistaan asetettujen vaatimusten toteuttamisen seurannan. Riittävän yksityiskohtaisen aikataulun merkitystä on korostettu; suositellaan jopa, että rakennuttaja antaa aikatauluja koskevat vaatimukset (nimikkeistö, lohkojako, tehtävien enimmäiskestot, ym.) urakkaohjelmassa. Oleellista on runko-vesikattovaiheen yksityiskohtainen aikataulus tavoitteena rakennuksen saaminen mahdollisimman nopeasti vedenpitäväksi. Lisäksi on tärkeää, millä aikataululla muut kosteutta sisältävät työvaiheet tehdään, jotta kuivaus ja töiden saattaminen P1-luokkaan ja lopuksi toimintakokeet, säädöt ja IV-mittaukset voidaan tehdä aikataulussa. Aikataulussa tulee esittää oleelliset Terve talo -toteutukseen liittyvät ajankohdat kuten talo vedenpitävä, lämmityksen aloitus, kuivatuksen kesto lohkoittain ja P1-luokkien saavuttaminen lohkoittain. Urakkaohjelmassa esitetään myös pääurakoitsijan vaatimuksia laatia kosteudenhallintasuunnitelma ja P1-kohteissa puhtaudenhallintasuunnitelma.

Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelussa kriteerit vaativat, että iv-suunnittelija tekee painehäviö- ja äänilaskelmat, jotta huonekorttien tavoitteiden toteutuminen voidaan varmistaa. Näistä laskelmista saadaan myös ilmanvaihtojärjestelmän esisääätö-asetnot, joita käyttämällä ilmanvaihtojärjestelmän esisäätö voidaan tehdä asennustyön yhteydessä (merkitsee usean viikon säästöä säätövaiheessa). Jotta tämä käytännössä onnistuisi, pitää IV-suunnittelijan päivittää laskelmat toteutusvaiheessa lopullisten laitevalintojen jälkeen. Jos näin toimitaan, niin tasapainotustyö ja muuten tyypilliset parannustyöt jäävät pois.

Rakennusvaipan ilmanpitävyys ja kylmäsilat

Rakennusvaipan ilmanpitävyyden ja lämmöneristyksen hallinta erityisesti lasijulkisivujen yhteydessä vaatii valvontaa sekä suunnittelun että toteutuksen aikana. Huono rakennusvaippa vaarantaa sisäilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden toteutumisen. Toteutussuunnittelun yhteydessä pitää varmistaa suunnitelmien toteutettavuus työmaalla, niin että hyvä ilmanpitävyys voidaan saavuttaa vaikeissakin olosuhteissa. Lasirakenteiden liittyminen muihin rakenteisiin vaatii erityistä huomiota. Myös lasirakenteiden U-arvot on laskettava LVI-suunnittelijalle niin, että ne sisältävät karmeista/profiileista johtuvat kylmäsilat. Jos kylmäsilat unohtuvat, se voi johtaa lämmityslaitteiden alimitoitukseen ja tavoitekulutusten ylittymiseen. Toteutuksen aikana on valvottava, että toteutussuunnittelussa laadittuja asennusohjeita noudatetaan ja riittävä ilmanpitävyys saavutetaan.

Rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus

Huonekortit esittävät vaatimukset rakennustöiden puhtaudelle (P1 rakennustyöt), ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudelle (P1 ilmajäähdytysasennustyö) ja ilmanvaihtotuotteiden puhtaudelle (M1 ilmanvaihtotuotteet). Puhtauden hallinta edellyttää ilmanvaihtojärjestelmän suojaamista pölyltä, lialta ja vedeltä. Tämä tarkoittaa käytännössä kanavien tulppausta ja päätelaitteiden asennusta suojattuna esimerkiksi muovipakkauksissa. Laitteiden pitää tulla asianmukaisissa pakkauksissa jo tehtaalta. Tällä tavalla voidaan asentaa koko ilmastointijärjestelmä ennen P1 vaihetta. P1 rakennustyöt tarkoittavat puhtausvaatimuksia P1 vaiheessa, joka pitää saavuttaa ennen ilmanvaihtojärjestelmän toimintakokeiden aloittamista. P1 puhtausluokan saavuttaneet lohkot erotetaan muista tiloista. Yksinkertaisimmillaan P1-lohko on yksi kerros, joka on erotettu muista kerroksista paikoilleen

asennetuilla välivillailla. P1 tilojen pitää olla siivottu ja niissä ei saa tehdä pölyäviä töitä. Ilmastointijärjestelmän päätelaitteiden suojaukset voidaan poistaa vasta P1 tiloissa, jonka jälkeen voidaan aloittaa toimintakokeet ja säätötyöt. Ennen puhaltimien käynnistämistä pitää tarkastaa kanaviston puhtaus – ellei kanavisto täytä asetettua vaatimusta (P1 tai P2), on kanavisto puhdistettava ennen kuin toimintakokeet voidaan aloittaa.

P1 rakennustyöt eivät vaikuta kokonaisaika-tilaan, mutta pakottavat tekemään työt ”kerralla kuntoon” -periaatteella. Roikkuvia työvaiheita, kuten saumaukset, listoaukukset ym. viimeistely, ei voida jättää, vaan kerros on tehtävä kerrallaan valmiiksi, jonka jälkeen työporukat siirtyvät seuraavaan kerrokseen. Terveen talon toteutuksen kriteereissä on annettu runsaasti yksityiskohtaisia ohjeita, miten P1 vaatimukset voidaan käytännössä järkevästi toteuttaa. Yleisperiaate on P1 vaiheen siirtäminen mahdollisimman myöhäiseksi. Puhtauden hallinnan suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon, että viimeisenä valmistuu yleensä ensimmäinen kerros. Siitä johtuen voi olla tarkoituksenmukaista suunnitella ilmanvaihtojärjestelmä siten, että muut kerrokset voidaan säätää ensin erottamalla ensimmäinen kerros muista ilmanvaihtojärjestelmästä esimerkiksi kerrossäätöpelleillä. Ensimmäisen kerroksen säätötyöt tehdään myöhemmin.

Käyttövaiheen todentamismenettely

Valmistuvan rakennuksen todentaminen alkaa tavanomaisilla koekäytöillä, urakoitsijan itselleen luovutuksella ja vastaanottotarkastuksilla rakennuksen luovutusvaiheessa. Todentaminen viedään loppuun rakennuksen käyttövaiheessa. Olosuhteiden todentamista ei pystytäkään tekemään kerralla valmiiksi, koska olosuhteita tulee tarkastella sekä lämmitys- että jäähdytyskaudella rakennuksen normaaliassa käyttötilanteessa. Todentamisen voi tehdä suunnitelmiin, mittauksiin, simulointeihin tai kyselyihin perustuen. Seuraavassa kuvatussa menetelmässä keskitytään olosuhteiden todentamiseen käyttäen osittain kaikkia em. tapoja.

RAU:n ja mahdollisten erillismittausten tuloksia tulkittaessa ja seurauksista päätettäessä on kolme perustilannetta:

1. jos toteuma = lupaus → asia OK (ja seuraa mahdollinen palkkio)
2. jos toteuma = lupaus ja reunaehdot ovat huonekortin mukaisia → seuraa sanktio, ja projektinjohtajan pitää etsiä poikkeaman syy ja korjata se

3. jos toteuma = lupaus ja reunaehdot = sovitut
→ tarvitaan jälkilaskenta, jossa käyttäjän
säädot tai muut tapahtuneet muutokset ote-
taan huomioon ja laskennan tuloksen perus-
teella päätetään lupauksen toteutuminen.

Katselmus

Katselmuksen tarkoitus on valmistuneen raken-
nuksen suunnitelmien mukaisuuden tarkastami-
nen. Katselmuksella pyritään löytämään mah-
dolliset puutteet, jotka tulee korjata ennen var-
sinaisia mittauksia. Ilmanvaihdonkoneiden ja va-
littujen huoneiden osalta tarkistetaan, että sää-
döt ja ilmvirrat vastaavat suunnitelmia. Lisäksi
tulee varmistaa, että rakennus itsessään, raken-
teet ja ikkunat vastaavat suunnitelmia. Nämä
tiedot ovat tärkeitä myöhemmin tehtäviä simu-
lointeja varten. Katselmuksen yhteydessä sisäil-
mastosta tehdään myös havaintoja esimerkiksi
aistinvaraisesti ja merkkisavun avulla.

Mittaukset

Edustava otos tiloista saadaan valitsemalla kaik-
kien pääkoneiden palvelualueilta yksi huone jo-
kaiselta julkisivulta ja kaikista tilatyypeistä.
Kun mitattavien tilojen lukumäärä on sovitun ar-
tikelissa aikaisemmin esitetyn mukaisesti, mi-
tattavat tilat valitaan tilaajan/käyttäjän edusta-
jan kanssa. Mahdollisia ongelmatiloja on syytä
kartoittaa esimerkiksi käyttäjäkyselyn avulla.
Tyytymättömyys sisäilmastoon tulee yleensä
esille myös valituksina huoltomiehelle.

Sisäilmastoluokituksen mukaan talviaikaisten
olosuhteiden todentaminen tulisi tehdä, kun
ulkolämpötila on alle -5°C ja kesäaikaisten,
kun ulkolämpötila on yli $+20^{\circ}\text{C}$ ja sää on selkeä.
Tätä määritelmää on syytä noudattaa, kun teh-
dään ilman nopeuden mittauksia, jotka ovat ker-
tamittauksia edustavana talvi-, kesä- tai väli-
kausi päivänä. Edustavana kesäpäivänä pitää
olla selvä jäähdytystarve, mutta mittausta ei ole
syytä tehdä aivan kuumimpien hellepäivien aika-
na. Sama periaate pätee talvitalvitalle.

Pidempiä aikaisissa mittauksissa voidaan käyt-
tää vaihtoehtoisena lämpötilarajana 0°C talviai-
kana ja $+15^{\circ}\text{C}$ kesäaikana siten, että lämmitys-
kauden mittaukset tehdään käytännössä joului-
kuun maaliskuun välisenä aikana ja jäähdytyskau-
den mittaukset kesä- ja elokuun välisenä aikana.

Olosuhteiden todentamista varten voidaan
tehdä tiloista seuraavia sisäilmastomittauksia:

- tulo- ja poistoilmavirtojen kertamittaukset
- ilman liikeneopeuden kertamittaukset vähin-
tään kahdelta korkeudella ($0,1\text{ m}$ ja $1,1\text{ m}$)
- paine-ero kertamittaukset vaipan yli tai ra-
kennuksen sisällä eri tilojen välillä ilman-
vaihdon tasapainotuksen arvioimiseksi
- huonelämpötilan kertamittaukset kolmella
korkeudella ($0,1\text{ m}$, $0,6\text{ m}$ ja $1,1\text{ m}$)

- huonelämpötilan seurantamittaukset
- hiilidioksidipitoisuuden kerta- tai seuranta-
mittaukset
- LVI-laitteiden äänitason kertamittaukset
- valaistustason kertamittaukset.

Ilman nopeuden mittauspisteet etsitään merk-
kisavulla niin, että mitataan työpisteitä ja muita
mahdollisia oleskeluvyöhykkeen kohtia, jossa
havaitaan suurimmat ilman liikeneopeudet.

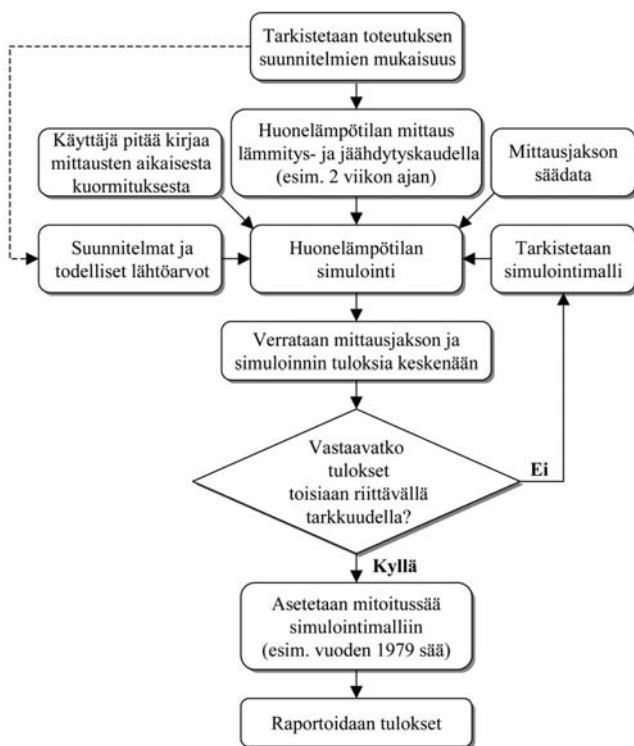
Mikäli on erityinen syy epäillä muiden sisäil-
mastoluokituksen tavoitearvojen ylittymistä,
tehdään esimerkiksi operatiivisen lämpötilan ja
pintalämpötilan mittauksia tai tarkempia sisäil-
man laatumittauksia kuten TVOC-, aldehydi-
tai kuitumittauksia.

Huonelämpötilan pysyvyyden todentaminen

Huonelämpötilan pysyvyyden todentamista
varten tarvitaan vuoden ajalta lämpötilatiedot,
joista voidaan laskea lämpötilan tavoitetasojen
ylityksen ja alituksen asetuntummat. Tähän
tarkoitukseen käytetään normaalisti RAU:n
mittausdataa. Jos havaitaan poikkeama, on sel-
vitettävää, johtuuko se rakennuksen poik-
keavasta käytöstä, poikkeuksellisesta säästä tai
puutteista taloteknisten järjestelmien toimin-
nassa. Jos katselmuksen mukaan rakennus on
suunnitelmien mukainen eikä selkeää vikaa
löydy, mutta käyttäjä on tehnyt omia muutoksia,
joudutaan tekemään jälkilaskenta. Jälkilasken-
nan tekemiseksi on ensin varmistettava, että si-
mulointimalli käyttäytyy todellisen rakennuk-
sen tavoin. Simulointimalli on korkeintaan yhtä
tarkka kuin sen lähtötiedot. Simulointimalli ka-
libroidaan esimerkiksi todennettavissa tiloissa
tehtyn kahden viikon mittausjakson avulla.
Mittauksia ennen tulee huolehtia, ettei käyttäjä
pääse muuttamaan mittausten aikana järjestel-
mien säätöarvoja. Lisäksi käyttäjä pitää kirjata
omasta läsnäolostaan ja sisäisistä kuormista.

Simulointimallin lähtötietoina käytetään en-
sisijaisesti suunnittelutietoja. Mutta jos katsel-
muksen ja mittausten aikana ilmenee, että todel-
lisuus poikkeaa suunnitelmista, käytetään todel-
lisia arvoja. Simulointia varten hankitaan mit-
tausjakson säädä, joka syötetään simuloin-
tiohjelmaan. Simulointi suoritetaan mittauksia
vastaavalle ajanjaksolle ja sen tuloksia verrat-
aan mittaustuloksiin, kuva 2. Niiden tulee vas-
tata toisiaan riittävällä tarkkuudella. Jos tulokset
eivät vastaa toisiaan, voi syy olla simulointimal-
lissa, joka tulee tarkistaa, ja tehdä simulointi uu-
delleen. Syy voi myös olla rakennuksessa tai jär-
jestelmien toiminnassa. Näitä syitä aleataan tut-
kia, jos simulointimallin tuloksia ei saada vas-
taamaan mittausten tuloksia muutaman iteroin-
tikerroksen jälkeen.

Kun mittausten ja simulointien tulokset vas-
taavat toisiaan, voidaan huonelämpötilan pysy-



Kuva 2. Huonelämpötilan pysyvyyden todentamisprosessi.

vyys simuloida käyttämällä sovittua testisäädata. Saaduista tuloksista lasketaan lämpötilan asetusarvojen ylitys ja alitus erikseen lämmitys- ja jäähdytyskaudelle. Asetuntisummiä verrataan huonekortin arvoihin, jonka perustella nähdään täyttyvätkö vaatimukset.

Tavoitekulutusten todentaminen

Kulutukset todennetaan yleensä kerran vuodessa mittarilukemien perusteella. Lämmitysenergiankulutus normitetaan lämmöntarveluvulla vastaamaan sovittua säädataa. Mikäli rakennuksen käyttöajat ja kuormat poikkeavat huonekorttien arvoista, lämmitys- ja sähköenergialle joudutaan tekemään jälkilaskenta rakennuksen simulointimallilla. Jälkilaskennan tuloksena saadaan uudet tavoitekulutukset, johon mittarilukemia verrataan.

Tässä artikkelissa esitellään Tekesin CUBE Talotekniikkateknologiaohjelmaan kuuluneen Talotekniikan tulevaisuuden elinkaaripalvelut (CUBENet) -tutkimusprojektin tuloksia. Kirjoit-

tajan lisäksi TKK LVI-laboratoriosta projektiin osallistuivat Mika Vuolle ja Mervi Kajaala.

Kirjallisuus

1. Sisäilmastoluokitus 2000. Sisäilmayhdistys julkaisu 5. Espoo 2001. (LVI05-10318, RT 07-10741/RT 07-10790. 2001, 2003. 21 s.)
2. LVI05-10318, RT 07-10741/RT 07-10790 Sisäilmastoluokitus 2000. Rakennustietosäätiö RTS, 2001, 2003. 21 s.
3. ASHRAE 2004. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Airconditioning Engineers, Inc.
4. prEN 15251:2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- add-

- ressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, CEN 2007.
5. Indoorium Survey™ Sisäympäristön toimivuusanalyysi. http://www.indoorium.com/4-1_tuotteet.htm
 6. Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle. Sisäilmaopas 6. Sisäilmayhdistys ry. Espoo 2003.
 7. LVI 05-10363, RT 07-10805 Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle. Rakennustietosäätiö RTS, 2003. 20 s.
 8. Timo Kauppinen, Keijo Kovanen, Veijo Nykänen et al. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Tova-käsikirjan käsikirjoitus, VTT 2007.

Talotekniikkaa rakentajalle

Järvinen Hannu

Taloteknisillä töillä on suuri merkitys rakentamisessa; niiden osuus hankkeen kokonaiskustannuksista voi olla jopa yli 50 %. Huolellisella suunnittelulla ei voida täysin välttyä yllättäviltä tilanteilta työmaalla. Lisä- ja muutostöihin sekä aikataulumuutoksiin kannattaa aina varautua. Kirjaan on koottu talotekniikkaan liittyviä toimenpiteitä ja ohjeita, joiden avulla vältytään tarpeettomilta lisä- ja muutostöiltä kirjoittajan omiin käytännön kokemuksiin perustuen. Soveltuu oppikirjaksi, ohjekirjaksi vasta-alkaville rakentajille sekä muistilistaksi kokeneemmille rakentajille ja suunnittelijoille.



Rakennustieto Oy, 2006
ISBN 951-682-784-5
53 s., 24 €

Tee tilauksesi helposti
www.rakennustieto.fi
tai soita puh. 0207 476 401

RAKENNUSTIETO