

Sakari Linnavuori

# Kiinteistön lämpöhäviöiden laskeminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
6.6.2011

Tekijä Otsikko	Sakari Linnavuori Kiinteistön lämpöhäviöiden laskeminen
Sivumäärä Aika	29 sivua 6.6.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	insinööri (AMK) Jari Heikkilä yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli kehittää työkalu kiinteistöjen lämpöhäviöiden laskentaan. Työssä käsitellään hieman, kuinka lämpöenergia siirtyy, mutta käydään tarkemmin läpi tilakohtaisten lämpöhäviöiden aiheuttajat.</p> <p>Työn tavoite oli tehdä Microsoft Excelillä sovellus, jolla pystytään laskemaan tilakohtaiset lämpöhäviöt nopeammin, virheettömämmin ja helpommin verrattuna käsinlaskentaan sekä yksinkertaiseen laskentataulukkoon. Tämän sovelluksen luonnissa tuli käyttää apuna excellin matemaattisten, loogisten ja hakufunktioiden lisäksi Microsoftin makron luomiseen tarkoitettua työkalua sekä Visual Basic -kielellä ohjelmointia.</p> <p>Excelsovelluksen ohjelmoinnin johdosta sovelluksesta saatiin riittävän joustava ja helppokäyttöinen. Sovelluksen automaattisuuden takia inhimillisten virheiden määrää vähenee ja laskelmien suorittaminen nopeutuu.</p> <p>Lisäksi insinöörityössä on käyty läpi, kuinka sovellusta voitaisiin kehittää jatkossa ja ohjeistettu sovelluksen käyttöön liittyvissä asioissa.</p>	
Avainsanat	lämpöhäviö, excel-sovellus, taulukkolaskenta

Author Title	Sakari Linnavuori Calculating the heat loss of a building
Number of Pages Date	29 pages 6 June 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, design oriented
Instructors	Jari Heikkilä, BEng Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to make an application for Microsoft Excel that can be used to calculate the heat loss of a building. The goal was to create an application that would make the calculations easier, faster and more exact than the previous methods.</p> <p>The Bachelor's thesis discussed the methods of heat transfer and, in more detail, explained the reasons for heat losses. The Excel application was made not only, for a minor part, with the programmes own functions, but also mainly with Visual Basic code. The macro tool by Microsoft was used, but due to its rough structure, a lot of rewriting was needed.</p> <p>The created application is useful and eliminates most human errors because it is mostly automated. This makes it not only easier to use, but also faster.</p> <p>At the end of the Bachelor's thesis there are instructions on how to use the application. More importantly, the functions are explained, so that the application can be improved.</p>	
Keywords	heat power, excel application, spreadsheet

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämpöenergian siirtyminen	2
3	Rakennuksen johtumislämpöhäviöt	3
3.1	Lämmönjohtuminen rakennusosan läpi	3
3.2	Johtumislämpöhäviöt	5
3.2.1	Mitoituslämpötilojen määrittäminen	5
3.2.2	Rakennusosien pinta-alojen määrittäminen	8
3.2.3	Johtumislämpöhäviöiden laskeminen	8
4	Vuotoilmasta johtuvat lämpöhäviöt	9
4.1	Vuotoilman määrittäminen	9
4.2	Vuotokertoimen laskeminen	9
5	Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysteho	11
6	Tilakohtaiset lämmitystehohäviöt	14
7	Excel-sovellus lämpöhäviöiden laskentaan	15
7.1	Lähtötiedot	15
7.2	Johtumislämpöhäviöiden taulukon rakenne	16
7.3	Lämpöhäviöiden laskentataulukon toiminta	18
7.3.1	Excelin ominaisuudet	18
7.3.2	VBA:n käyttö taulukossa	20
8	Lämpöhäviölaskelman kehittäminen jatkossa	25
9	Huomioitavaa lämpöhäviölaskelman käytössä	26
9.1	Johtumishäviöt-välilehti	26
9.2	Arvot-välilehti	26
9.3	Yhteenvedo-välilehti	26
10	Yhteenvedo	28
	Lähteet	29

## 1 Johdanto

Suomen talokeskus Oy:ssä tehdään vuosittain monia muutossuunnitelmia rakennusten lämpöjohtoverkostoihin. Näiden suunnitelmien laatimisessa tarvitaan useita tarkistus- sekä mitoituskalkelmia tilojen lämmityksen tehontarpeesta. Olen todennut, että laskelmien suorittaminen vie liikaa aikaa käytössäni olevilla työkaluilla.

Insinööriyön tarkoitus on tuottaa Microsoft Excel-sovellus, jolla voidaan suorittaa tarvittavat lämpöhäviölaskelmat lämpöjohtoverkostojen muutosten suunnittelussa. Nämä laskelmat tulisi voida suorittaa nopeammin, virheettömämmin, tarkemmin sekä helpommin verrattuna käsinlaskentaan tai pelkästään yksinkertaisilla taulukkolaskentaohjelman ominaisuuksilla toteutetulla taulukolla. Taulukoista olisi myös hyvä saada selkeät tulosteet arkistointia sekä myöhempää käyttöä varten.

Sovelluksen luomisessa tulisi käyttää Excelin erilaisia mahdollisuuksia, kuten makroja, loogisia lauseita ja Visual Basicillä ohjelmointia. Näiden lisäksi tavallisimpia funktio-ominaisuuksia tuskin voidaan välttää. Sovelluksen ulkoasua voisi myös parantaa käyttämällä solujen muotoiluun tarkoitettuja työvälineitä, koska tämä selkeyttäisi ohjelmaa huomattavasti.

Työn painopiste tulee olemaan tilakohtaisten lämpöhäviöiden laskennassa, jotta tehdyillä laskelmilla voidaan tarkastaa esimerkiksi vanhan lämmityspatterin soveltuvuus verkoston muutostöiden jälkeen. Uudiskohteisiin on olemassa tehokkaampia tapoja tehdä lämpöhäviölaskelmat ja näiden ohessa kattavat energialaskelmat. Esimerkiksi Helsingin rakennusvalvonnan Internet-sivuilta ladattavissa oleva excel-[taulukko](#), joka täytettäessä täydellisesti tuottaa myös vaadittavat energian kulutuksen asiakirjat.

## 2 Lämpöenergian siirtyminen

Lämpöenergia voi siirtyä säteilemällä, konvektiolla ja johtumalla. Lämmönsiirtymistä säteilemällä tapahtuu kaikkien pintojen välillä. Lämpösäteilystä hyvä esimerkki on auringon ja maapallon välinen lämmönsiirtyminen. Tässä tapauksessa auringon kuuma pinta emittoi eli säteilee ja maapallon pinta absorboi eli vastaanottaa lämpösäteilyä. Säteilylämmönsiirtoa käytetään hyväksi myös lämmitysjärjestelmissä, joissa lämmönluovuttimina toimivat radiaattoripatterit. (1, s.66)

Toinen lämpöenergian siirtymismuoto on konvektio. Tätä tapahtuu, kun neste tai kaasu siirtyy vieden tai tuoden mukanaan lämpöenergiaa (1, s.61). Esimerkiksi vesikiertoinen lämmitysverkosto siirtää veteen sidottua lämpöenergiaa siirtimeltä tiloissa oleviin konvektoreihin eli "pattereihin", josta lämpöenergia siirtyy konvektion kautta ilmaan. Samaa konvektiota pyritään estämään ilman liikettä sitovilla lämpöeristeillä, kuten mineraalivillalla (1, s.71).

Lämpöenergian johtuminen aineessa tapahtuu lämpimästä kylmään päin. Johtumista tapahtuu pääasiassa aineen sisällä, mutta sitä voi myös tapahtua aineesta toiseen, mikäli aineet ovat kosketuksissa toisiinsa. Lämpöeristeiksi sanotaan materiaaleja, joiden lämmönjohtavuus on heikko eli sen arvo on pieni.

### 3 Rakennuksen johtumislämpöhäviöt

#### 3.1 Lämmönjohtuminen rakennusosan läpi

Rakenneaineiden lämmönjohtavuuksille on määritetty suunnitelmalliset arvot Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4. Kun tiedetään materiaalin lämmönjohtavuus ja paksuus, voidaan laskea kaavalla 1 kullekin aineosalle oma lämpöresistanssi.

$$R_n = d_n / \lambda_n \quad (1)$$

$R_n$	on rakenneaineosan lämpöresistanssi, ( $m^2K/W$ )
$d_n$	on rakenneaineosan paksuus ( $m$ )
$\lambda_n$	on rakenneaineosan lämmönjohtavuus ( $W/Km$ ).

Sijoittamalla rakenneaineosien lämpöresistanssit kaavaan 2 saadaan koko rakennusosan lämpöresistanssi ( $R_T$ ). Riittävän varmuuden saavuttamiseksi epäideaalisissa ympäristöoloissa jätetään yleensä huomioimatta ilmakerroksen lämmönvastus ja sen ulkopuolella olevat eristysosat, joissa ilma pääsee virtaamaan. Silti ulkopuolisen kerroksen pintavastus tulee tässäkin tapauksessa ottaa huomioon. Mikäli rakennusosa rajautuu maahan, otetaan huomioon maan lämmönvastus. (2, s.18)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} \quad (2)$$

$R_T$	on rakennusosan lämpöresistanssi, ( $m^2K/W$ )
$R_{si}$	on sisäpuolisen kerroksen pintavastus, ( $m^2K/W$ )
$R_{1\dots n}$	on eri rakenneaine osien lämpöresistansseja, ( $m^2K/W$ )
$R_g$	on ilmakerroksen lämmönvastus, ( $m^2K/W$ )
$R_b$	on maan lämmönvastus, ( $m^2K/W$ )
$R_{qn}$	on ohuiden materiaalikerrosten lämmönvastukset, ( $m^2K/W$ )
$R_{se}$	on ulkopuolisen kerroksen pintavastus, ( $m^2K/W$ ).

Mikäli ainekerrokset eivät ole tasapaksut, vaan rinnakkaiset, voidaan näiltä osin laskea lämmönvastukset kaavalla 3. Ainekerrokset voidaan luokitella tasapaksuiksi, mikäli rakenneainepaksuus ei vaihtelee yli 20 %.

$$R_n = \frac{1}{\frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b}} \quad (3)$$

$R_n$  on rakenneaineosien suhteellinen lämpöresistanssi,  
( $m^2K/W$ )

$f_n$  on pinta-alan suhde koko ainekerroksen pinta-alaan.

Rakennusosan lämpöresistanssilla lasketaan lämmönläpäisykerroin kaavan 4 mukaan.

$$U = 1/R_T \quad (4)$$

$U$  on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, ( $W/m^2K$ )

$R_T$  on rakennusosan lämpöresistanssi, ( $m^2K/W$ ).

Eri rakennusosien lämmönläpäisykertoimille on esitetty käytettävät raja-arvot Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3. Lämpimien, erityisen lämpimien sekä jäähdytettävien kylmien tilojen rajautuessa ulkoilmaan tai lämmittämättömiin tiloihin, käytetään lihavoituja lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja taulukosta 1.

Taulukko 1. Lämpimien tilojen lämmönläpäisykertoimet eri rakennusosille. (3, s.5; 4, s.6)

Rakennusosa	U ( $W/m^2K$ ) 2007/ <b>2010</b>	Huomautus
Seinä	0,24/ <b>0,17</b>	Vuoden 2010 määräyksissä hirsiseinille annetaan vertailuarvoksi 0,40 $W/m^2K$
Yläpohja	0,15/ <b>0,09</b>	
Alapohja 1) 2) 3)	0,24/ <b>0,16</b> 0,15/ <b>0,09</b> 0,19/ <b>0,17</b>	maata vasten oleva* ulkoilmaan rajoittuva vähäisesti tuuletettu ryömintätila**
Ikkuna, ovi	1,4/ <b>1,0</b>	
Kattoikkuna	1,5/ <b>1,0</b>	
*Lämmönläpäisykerroin kaikille maata vasten oleville rakennusosille. **Ryömintätilan tuuletusaukot alle 8 ‰ alapohjan pinta-alasta.		



Puolilämpimien tilojen rajautuessa ulkoilmaan tai lämmittämättömiin tiloihin käytetään taulukon 2 lämmönläpäisykertoimia vertailuarvoina.

Taulukko 2. Puolilämpimien tilojen lämmönläpäisykertoimet eri rakennusosille. (3, s.6; 4, s.6)

Rakennusosa	U (W/m <sup>2</sup> K) 2007/ <b>2010</b>	Huomautus
Seinä	0,38/ <b>0,26</b>	Jos maata vasten oleva, katso vastaavan alapohjan arvo. Hirsiseinälle 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	0,28/ <b>0,14</b>	
Alapohja 1) 2) 3)	0,34/ <b>0,24</b> 0,28/ <b>0,14</b> 0,28/ <b>0,26</b>	maata vasten oleva* ulkoilmaan rajoittuva vähäisesti tuuletettu ryömintätila**
Ikkuna, ovi	1,8/ <b>1,4</b>	
Kattoikkuna	1,8/ <b>1,4</b>	
*Lämmönläpäisykerroin kaikille maata vasten oleville rakennusosille. **Ryömintätilan tuuletusaukot alle 8 ‰ alapohjan pinta-alasta.		

Rakennusosan pienen osan lämmönläpäisykerroin saa poiketa taulukoiden 1 ja 2 arvoja suuremmiksi, mikäli poikkeavan rakennusosan pinta-ala on pieni ja tähän on erityinen syy, kuten lujuus. Rakennusosan pienen osan poikkeaminen määräyksistä ei saa kuitenkaan aiheuttaa ongelmia rakenteelle, kuten kosteuden tiivistymistä, rakennusta normaalisti käytettäessä.(4, s.6)

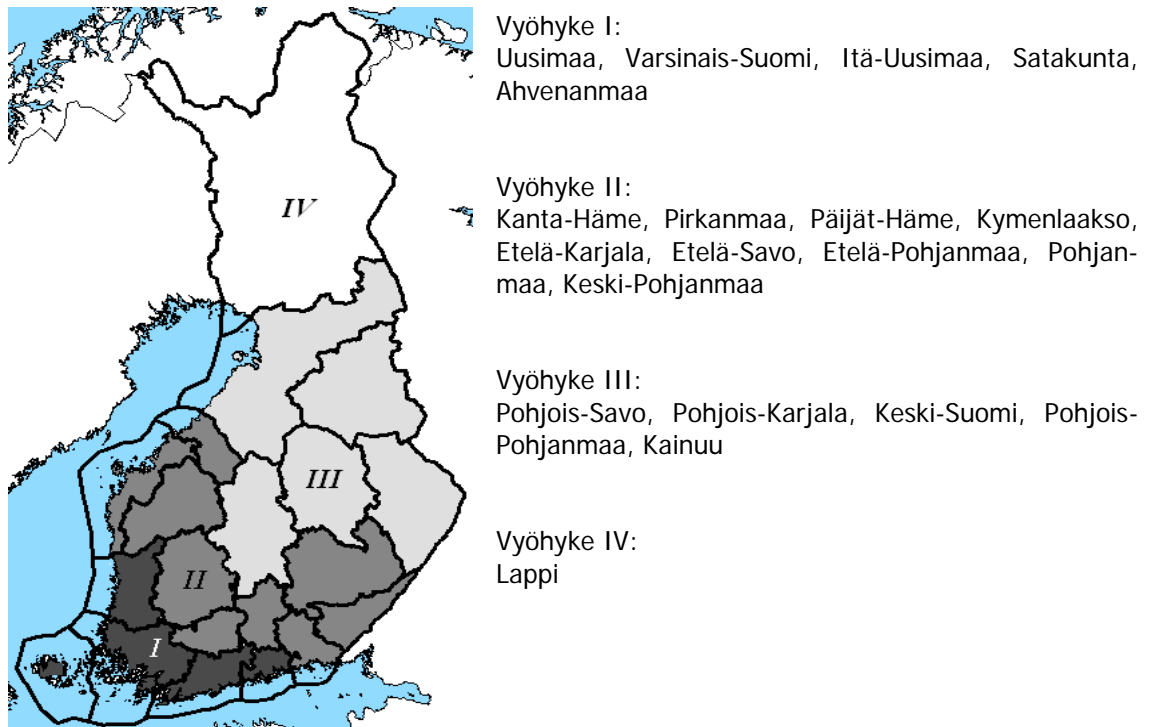
### 3.2 Johtumislämpöhäviöt

Lämmönläpäisykertoimen avulla voidaan laskea lämpöhäviö rakenteiden lävitse johtumalla ja konvektion, joka tapahtuu rakennusosan ulko- ja sisäpinnoissa. Johtumishäviöiden määrittämiseksi tarvitaan lämmönläpäisykertoimen lisäksi rakenneosan pinta-ala, sekä rakenneosan molemmin puolin vallitsevat ympäristön lämpötilat. Johtumislämpöhäviöitä laskettaessa täytyy muistaa, että lämpötehoa johtuu, mikäli kahta tilaa jakavan rakenteen kummallakin puolella vallitsee eri lämpötilaolot. Lämpötehoa johtuu sitä enemmän, mitä suurempi tilojen välinen lämpötilaero on.

#### 3.2.1 Mitoituslämpötilojen määrittäminen

Lämpötiloina käytetään eri mitoitusarvoja paikkakunnan säävyöhykkeen mukaan. Nämä mitoitusarvot määrätään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5: Rakennus-

energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Sävyöhykkeiden jaot on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Suomen maakunnat jaettuna sävyöhykkeiksi. (5, s.56)

Maakunnan sävyöhykkeen tarkastamisen jälkeen poimitaan taulukosta 3 oikea mitoitusulkolämpötila.

Taulukko 3. Sävyöhykkeiden mitoitusulkolämpötilat sekä ulkoilman vuotuiset keskilämpötilat. (5, s.56)

Sävyöhyke	Mitoitusulkolämpötila	Vuoden keskilämpötila
I	-26 °C	5 °C
II	-29 °C	4 °C
III	-32 °C	2 °C
IV	-38 °C	0 °C

Alapohjan ulkolämpötila määräytyy sen mukaan, minkälainen alapohjan rakenne on. Alapohjan rakenteen ollessa maanvarainen täytyy maan lämmöneristävyys ottaa huomioon alapohjan lämmönläpäisykerrointa määritettäessä. Tällaisessa tapauksessa voidaan käyttää alapohjan ulkolämpötilana ilman vuotuista keskilämpötilan arvoa, johon on lisätty 2 °C. Ilman vuotuiset keskilämpötilat on esitetty taulukossa 3. Mikäli alapohja on tuuletettu ja tuuletusrakojen ala on alle 8 ‰ alapohjan pinta-alasta, voidaan mitoitus-

tavana ulkolämpötilana käyttää säävyöhykkeen ilman vuotuista keskilämpötilaa vähennettynä 2 °C:lla. Muutoin tuuletetun alapohjan lämpötilaero lasketaan säävyöhykkeen mitoitusulkolämpötilan mukaan.

Tilan ulkopuolella vallitsevan lämpötilan lisäksi lämpötehon johtumishäviöiden laskemiseen tarvitaan tilan sisällä olevan lämpötilan määrittäminen. Sisäilmastoyhdistyksen sisäilmaluokilla pyritään määräämään tilojen lämpötiloja ihmisten yleisimmin käyttämällä alueilla tiloissa. Tavoitelämpötilat tiloissa määräytyvät luokituksen ja käyttötarkoituksen mukaan. Taulukosta 4 näkee eri luokkien sallitut ylimmät ja alimmat lämpötilarajat huonetiloissa, jotka toimivat ihmisten oleskelutiloina, ulkolämpötilan ollessa alle 10 °C.

Taulukko 4. Sisäilmastoyhdistys ry:n sisäilmaluokkien tavoitelämpötilat eri sisäilmaluokille. Nämä tavoitelämpötilat on määrätty EN SFS 15251:2007 standardin mukaan.

Sisäilmaluokka	Vähimmäislämpötila-arvo	Enimmäislämpötila-arvo
S1	20 °C	23 °C
S2	20 °C	23 °C
S3	18 °C	25 °C

Lämpötilojen valinnassa tulee myös ottaa huomioon se, minkälainen lämpökuormitus tilalla on tai tulee mahdollisesti olemaan. Tilan täytyy pysyä käyttötarkoitukseen sopivana eikä esimerkiksi nousta tilan normaalin käytön vuoksi yli tavoitesisäilmaluokan enimmäislämpötila-arvon, mutta lämpötila ei myöskään saa alittaa vähimmäisarvoa, vaikka tilan sisällä ei olisi ylimääräisiä lämmönlähteitä. Ylimääräisiä lämpökuormia ei oteta huomioon tavallisen asuintilan tai vastaavan lämmitystehon tarvetta laskettaessa.

Sisä- ja ulkoilman lämpötilan määrittämisen jälkeen voidaan laskea kaavalla 5 niiden lämpötilaero.

$$\Delta T = T_S - T_U \quad (5)$$

$T_S$  on rakenneosan sisäpuolen lämpötila (°C)

$T_U$  on rakenneosan ulkopuolen lämpötila (°C).

### 3.2.2 Rakennusosien pinta-alojen määrittäminen

Rakennuksen rakennusosien pinta-alat lasketaan rakennuksen sisävaipan mukaan ja näistä vähennetään rakennusosaan tehdyt aukot. Mikäli rakenteet ovat osittain maata vasten ja osittain ilmaa vasten, on näiden pinta-alat hyvä laskea erikseen, koska osuuksien lämpötilaerot eroavat toisistaan.

Alapohjan sekä välipohjan pinta-ala määritetään seinien sisäpintoista rakenteita tai lävistyksiä vähentämättä. Yläpohjan pinta-ala määritetään alapohjan kanssa samalla tavalla, mutta kattoikkunat tai vastaavat vähennetään pinta-alasta. Ulkoseinien pinta-ala määritetään lattian yläpinnasta katon alapintaan ja viereisten seinien sisäpintoista. Ikkunoiden ja ovien alat on vähennettävä pinta-alasta.

Ikkunoiden ja ovien pinta-alat määritetään sen mukaan, kuinka suuren aukon ne aiheuttavat toiseen rakennusosaan. Ikkunoiden ja ovien pinta-alaan lasketaan kuuluvaksi myös karmien alat. Mikäli ikkunat tai vastaavat poikkeavat huomattavasti julkisivusta esimerkiksi kaareutumalla. Täytyy näissä tapauksissa määrittää niiden pinta-alat yleisen ohjeen mukaan. (5, s.3)

### 3.2.3 Johtumislämpöhäviöiden laskeminen

Johtumalla siirtyvän lämpötehon laskeminen eli johtumislämpöhäviöt voidaan laskea kaavalla 6.

$$\dot{Q}_{joht} = U * A * (\Delta T) \quad (6)$$

U on lämmönläpäisykerroin ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

A on pinta-ala ( $m^2$ )

$\Delta T$  on rakennusosan sisä- ja ulkopuolisten lämpötilojen erotus ( $^\circ C$ ).

Maanvastaisten rakennusosien johtumislämpöhäviöitä laskettaessa otetaan pintojen maan vastaisuus huomioon lämmönläpäisykerrointa laskettaessa ja kaavan 5 ulkolämpötilaa määrittäessä. Näin ollen voidaan rakennusosien johtumislämpöhäviöt määrittää kaavalla 6 näiltäkin osin. Kaavalla 6 lasketaan tilan kaikkien rakennusosien johtumislämpöhäviöt ja ne voidaan summata yhteen.

## 4 Vuotoilmasta johtuvat lämpöhäviöt

### 4.1 Vuotoilman määrittäminen

Vuotoilma aiheuttaa konvektiotyyppistä lämpöenergian siirtymistä tilasta pois. Tämä häviö täytyy ottaa huomioon lämpötehon häviöitä laskettaessa. Vuotoilman määrä riippuu siitä, kuinka tiiviit rakennusosat ovat ja rakennusosien ympärillä vallitsevista olosuhteista. Vuotoilmavirran aiheuttavat paine-eron rakennusosan eri puolilla. Paine-erot aiheutuvat tuulen vaikutuksesta sekä rakennusosan eri puolten lämpötilaerosta, koska ilman tiheys muuttuu lämpötilan mukaan. Vuotoilman vaikutus rakennukseen tapahtuu vain rakennuksen ulkovaipan muodostavissa tiloissa.

Mikäli voidaan perustelullisesti olettaa ja osoittaa jokin rakennus poikkeuksellisen tiiviiksi tai epätiiviksi, nämä perustelut voidaan huomioida tiiveyttä määriteltäessä. (5, s.52)

### 4.2 Vuotokertoimen laskeminen

Ennen kuin voidaan määrittää vuotoilmavirtaa, täytyy määrittää vuotoilmakerroin. Mikäli tiedetään vaipan vuotoilmaluku, voidaan vuotoilmakerroin laskea kaavalla 7. Jos vuotoilmalukua ei tiedetä, suunnittelussa käytetään arvoa 4 1/h. Vuotoilmaluku muodostuu 50 Pa:n paine-erolla rakennuksen vaipan yli.

$$n_{vuotoIV} = \frac{n_{50}}{25} \quad (7)$$

$n_{vuotoIV}$  on vuotoilmakerroin, (1/h)  
 $n_{50}$  on vuotoilmaluku, (1/h).

Taulukossa 5 on esitetty tyypillisiä ja suuntaa antavia vaipan vuotoilmalukujen arvoja. Näissä arvoissa on suurta vaihtelua kohteen rakennustavan mukaan. Rakennus luokitellaan hyvään ilmanpitävyysluokkaan, jos suunnittelu- sekä toteutusvaiheessa on kiinnitetty erityistä huomiota saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen. Hyvä ilmanpitävyysluokitus vaatii myös erillistarkastuksen. Keskimääräiseen ilmanpitävyyteen päästään, mikäli se on huomioitu kaikissa rakennusvaiheissa. Rakennuksen ilmanpitävyys on heikko, jos siihen ei ole kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennuksen toteutuksessa ja valvonnassa.

Taulukko 5. Tyypilliset vuotoilmaluvut erilaisten rakennusten vaipan läpi. Arvot yksiköissä 1/h.

Ilmanpitävyys	Pientalo	Kerrostalo
Hyvä	1,0..3,0	0,5..1,5
Keskimääräinen	3,0...5,0	1,5...3,0
Heikko	5,0...10,0	3,0...7,0

Vuotoilmavirran selvittämiseksi tarvitaan tieto myös rakennuksen, huoneiston tai tilan ilmatilavuudesta. Tämä lasketaan tilan seinien, katon ja lattian sisäpintoista mitattuna. Jos ilmatilavuus lasketaan huoneistolle, siihen ei oteta huomioon väliseiniä eikä välipohjia. Ilmatilavuuden laskeminen rakennukselle lasketaan kokonaismittojen, huonekorkeuden ja kerrosten lukumäärän tulona, johon ei oteta välipohjia mukaan. Rakennuksen vuotoilmamäärä saadaan selville kaavalla 8.

$$q_{vuotoIV} = n_{vuotoIV} * V / 3600 \quad (8)$$

$q_{vuotoIV}$  on vuotoilmavirta, ( $m^3/s$ )  
 $n_{vuotoIV}$  on vuotoilmakerroin, ( $1/h$ )  
 $V$  on ilmatilavuus, ( $m^3$ )  
 $3600$  on kerroin aikayksikön muunnokseen, ( $s/h$ ).

Vuotoilman tehonhäviön määrittämiseen tarvitaan ilman aineominaisuustietoja, jotka muuttuvat lämpötilan, kosteuden ja paineen vaikutuksesta. Näitä tarvittavia aineominaisuuksia ovat ominaislämpökapasiteetti ja tiheys. Usein käytetään kuivan ilman arvoja lämpötilassa 20 °C, jolloin riittävä tarkkuus on tiheydelle 1,2 kg/m<sup>3</sup> ja ominaislämpökapasiteetille 1000 Ws/kgK. Kaavalla 9 voidaan määrittää vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö.

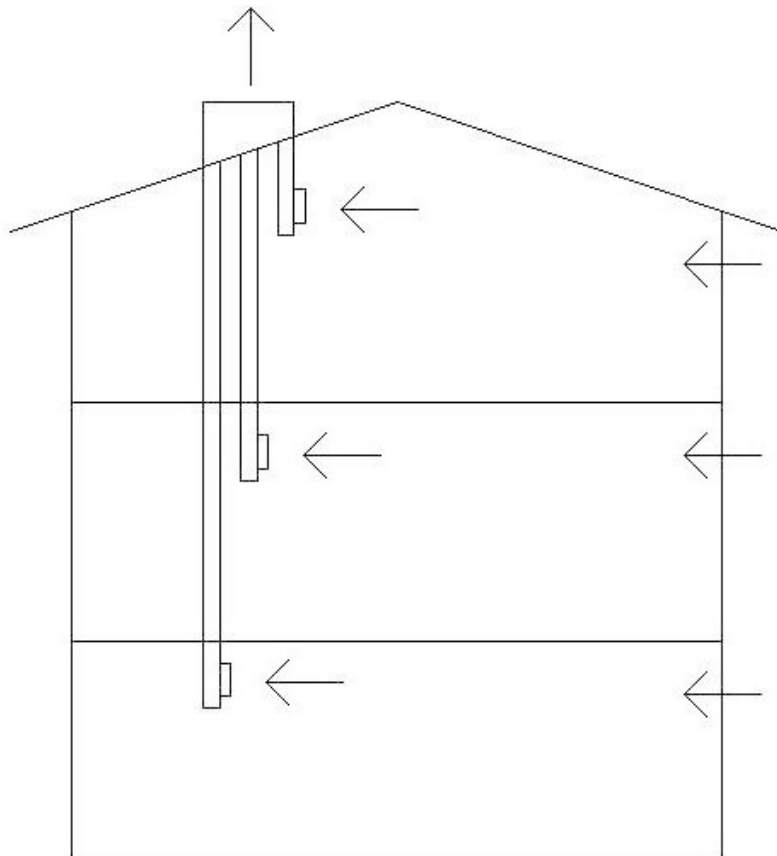
$$\dot{Q}_{vuotoIV} = q_{vuotoIV} * \rho * c_p * (\Delta T) \quad (9)$$

$\dot{Q}_{vuotoIV}$  on tehohäviö vuotoilman mukana, ( $W$ )  
 $q_{vuotoIV}$  on vuotoilmavirta, ( $m^3/s$ )  
 $\rho$  on ilman tiheys, ( $kg/m^3$ )  
 $c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, ( $J/kgK$ )  
 $\Delta T$  on ilman lämpötilaero, ( $K$ ).

## 5 Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysteho

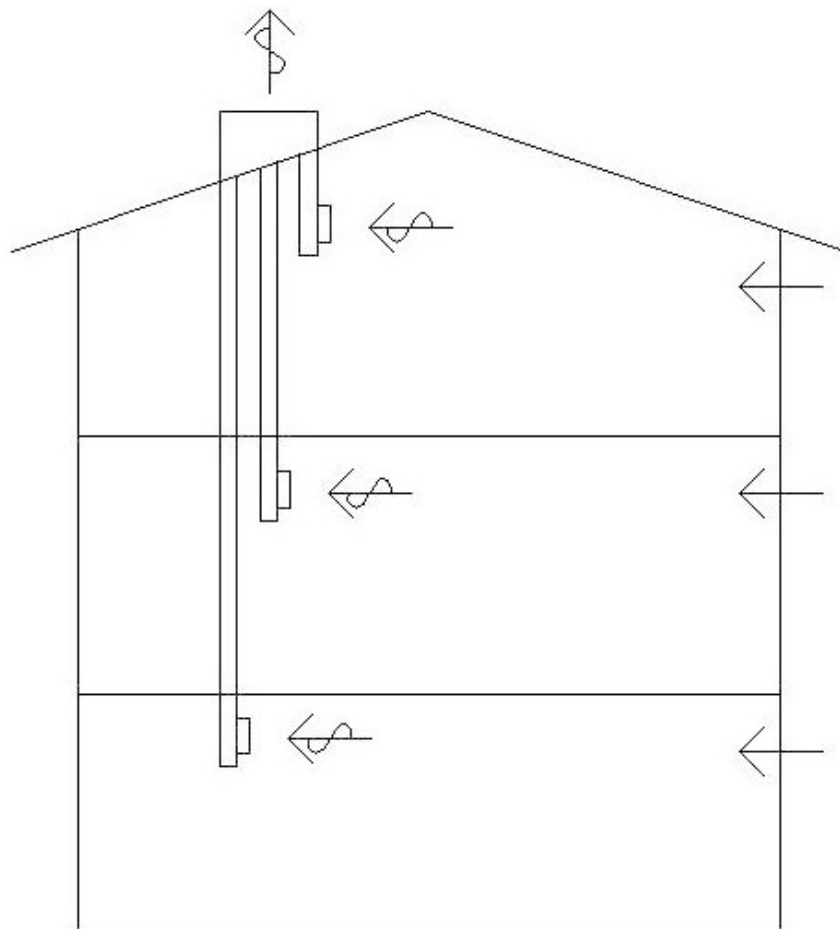
Ilmanvaihdon vaikutus tilan lämpöhäviöihin ja lämmitystarpeeseen riippuu ilmanvaihdon toteutustavasta. Ilmanvaihto voi olla painovoimainen, koneellinen poisto tai kokonaan koneellistettu. Tämän lisäksi nykyään lähes kaikki uudisrakennukset varustetaan myös lämmöntalteenotolla. (7, s.3)

Painovoimainen ilmanvaihto (kuva 2) on ongelmallinen lämmitystehoa määritettäessä, koska painovoimainen ilmanvaihto toimii täysin sisällman ja ulkoilman välisen paineeron mukaan. Mitä suurempi näiden paine-ero on, sitä nopeammin ilma vaihtuu rakennuksessa. Paine-eroon merkittävästi vaikuttavat tekijät ovat lämpötilaero ja tuulen nopeus sekä vähäisissä määrin ilmankosteus. Nämä yhteistekijät ajavat painovoimaisen ilmanvaihdon toimimaan kaikkein suurimmin lujilla pakkasilla ja tuulisilla säillä. (8, s.166)



Kuva 2. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate.

Koneellisen poistoilmanvaihdon (kuva 3) omaavissa kiinteistöissä voidaan hallita ilman vaihtuvuutta sisätiloissa. Tämä ilmanvaihtotapa takaa jatkuvan ilman vaihtumisen koneen käyntitehosta ja ajoista riippuen. Tilakohtaisesti suurin merkitys tässä on oikealla patterin sijoittamisella ja valinnalla vedon tunteen estämiseksi, koska kaikki korvaava ilma tulee suoraan ulkoa ja täytyy näin lämmittää tilassa ennen kuin se liikkuu tilankäyttäjien operatiiviselle alueelle. Koneellisen poiston ilmavirtaa pyritään yleensä pienentämään suurimmilla pakkasilla, jottei lämmitystehontarve tilakohtaisesti kasva liian suureksi. (8, s.169)

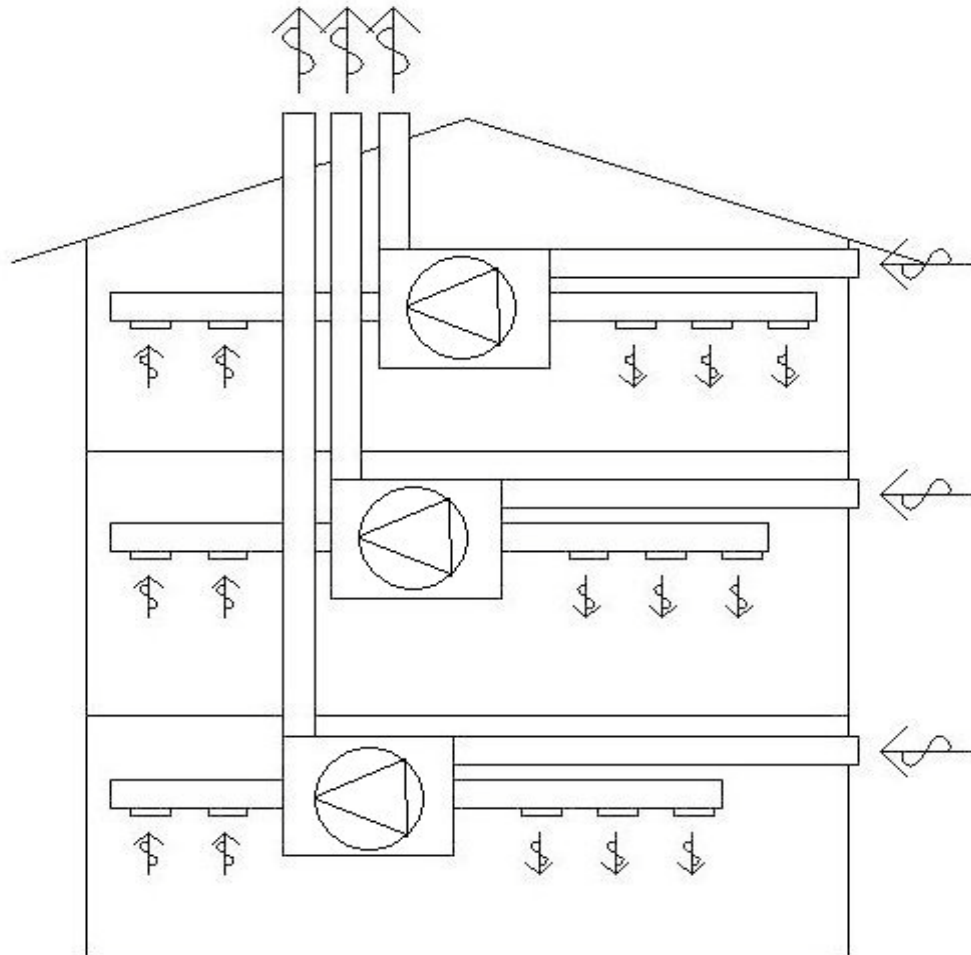


Kuva 3. Koneellisen poistoilmanvaihdon periaate.

Koneellisen tulo- ja poistoilmavaihdon (kuva 4) kiinteistöissä lämmityksen kannalta oleellisinta on, minkä lämpöisenä tuloilma tuodaan tiloihin. Joissakin tapauksissa tuloilmaa ei lämmitetä lainkaan, jolloin tämän järjestelmän hyödyksi jää koneelliseen poistoon verrattuna korvausilman hallittu jakaminen. Parhaimmassa tapauksessa tilan



kannalta tämä järjestelmä poistaa tilan lämmitystehontarpeesta ilmanvaihdon osuuden kokonaan, mutta vain jos tuloilma lämmitetään haluttuun huonelämpötilaan. Esilämmitetty tuloilma pienentää myös vedontunteen riskiä. (8, s.169)



Kuva 4. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

Ilmanvaihdon tilalle aiheuttama lämmitystehon tarve voidaan laskea kaavalla 10.

$$\dot{Q}_{IV} = q_{IV} * \rho * c_p * (\Delta T) \quad (10)$$

$\dot{Q}_{IV}$	on ilmanvaihdon aiheuttama tehontarve, (W)
$q_{IV}$	on tuloilman ilmamäärä, ( $m^3/s$ )
$\rho$	on ilman tiheys, ( $kg/m^3$ )
$c_p$	on ilman ominaislämpökapasiteetti, (J/kgK)
$\Delta T$	on tuloilman ja huonelämpötilan lämpötilaero, (K).

## 6 Tilakohtaiset lämmitystehohäviöt

Tilakohtaiset lämmitystehohäviöt saadaan summaamalla kaikki tilaan vaikuttavat lämpöhäviöiden aiheuttajat. Sijoittamalla kaavaan 11 osatekijät saadaan tilalle tarvittava lämmitysteho selville.

$$\dot{\Phi} = \sum \dot{\Phi}_{\text{joht}} + \dot{\Phi}_{\text{vuotoIV}} + \dot{\Phi}_{\text{IV}} \quad (11)$$

$\dot{\Phi}$	on tilan lämmitystehon tarve, ( $W$ )
$\sum \dot{\Phi}_{\text{joht}}$	on rakenteiden kautta johtuva lämpöteho, ( $W$ )
$\dot{\Phi}_{\text{vuotoIV}}$	on vuotoilman aiheuttama tehontarve, ( $W$ )
$\dot{\Phi}_{\text{IV}}$	on ilmanvaihdosta aiheuttama tehontarve, ( $W$ ).

## 7 Excel-sovellus lämpöhäviöiden laskentaan

Excel-sovelluksen ensisijainen tehtävä on toimia apuna tilakohtaisten lämpöhäviöiden laskemisessa. Tätä voidaan käyttää hyväksi, kun suunnitellaan tilakohtaisia lämmityslaitteita tai vanhan verkoston tarkastuslaskelmissa. Sovelluksen tulisi olla myöskin helposti käytettävä ja nopea, jotta se vastaisi työelämän tarpeita. Taulukosta olisi myös hyvä saada informatiiviset tulosteet, joista selviäisi eri tilojen lämmitystehon tarpeet ja mitoitussarvot.

### 7.1 Lähtötiedot

Taulukon lähtötietoihin tarvitaan tiettyjä arvoja, jotka vaihtuvat rakennustyyppien rakennusvuoden mukaan. Esimerkiksi varastorakennuksella ja asuinrakennuksella on hyvin erilaiset vaatimukset koskien lämpötilaoloja sekä ulkoisia mittoja. Nämä huomioidaan täyttämällä rakennukselle tyypillisimpien rakennusosien korkeudet ja U-arvot (kuva 5).

Numero	Korkeudet (m)			U-arvot (W/m <sup>2</sup> K)				
	US	IKK	OVI	AP	IKK	OVI	US	YP
1	3	1,5	2,4	1	2	2	0,68	0,5
2	3	1,4	2,1	0,25	1,8	2	0,31	0,28
3	3	2	2,1	0,5	2,5	2	1	0,5
4	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5
5	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5
6	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5
7	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5
8	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5
9	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5
10	3	2	2,1	0,25	2	2	1	0,5

Kuva 5. Esimerkki rakennusosien korkeuksista ja U-arvoista.

Kuvan 5 taulukko on lämpöhäviöiden laskentaohjelman sivulla arvot. Kyseisestä taulukosta johtumislämpöhäviöiden sovellus hakee tarvittavat tiedot (kuva 6) johtumislämpöhäviöiden laskentaan.

## 7.2 Johtumislämpöhäviöiden taulukon rakenne

Taulukkoon tarvittavat sarakkeet ovat rakenneosien

- nimet
- pituus
- korkeus
- U-arvo
- pinta-ala
- merkittävien aukkojen pinta-ala
- lämpötilaerot
- johtumisteho.

Pystysarakkeiden nimeämisen jälkeen niiden järjestys on tarpeen tehdä käyttöön soveltuvaksi. Ensiksi on aloitettava täytettävistä soluista ja tämän jälkeen edetään niihin soluihin, jotka taulukko laskee tai määrittää jonkun aikaisemmin täytetyn solun mukaan. Taulukon sarakkeiden järjestys näkyy kuvassa 6.

Lämpöhäviölaskelman johtumishäviöt									
<b>Kohteen tiedot:</b>									
<i>Lämpötilat:</i>									
Ulko	-26 °C								
Sisä	20 °C								
$\Delta T$	46 K								
Alapohja	7 °C								
<b>TILA:</b>							<b>Tilan mitat</b>		
Lisätietoja:							Korkeus:	3	m
							Pinta-ala:	10	m <sup>2</sup>
							Tilavuus:	30	m <sup>3</sup>
Pinta	#	Osuus	l (m)	Komp (m <sup>2</sup> )	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	$\Delta T$ (K)	U (W/m <sup>2</sup> K)	$\Phi$ (W)
US	1 a	7	6,6	3	14,4	46	0,68	450,432	
IKK	1 A	1,2	0	1,5	1,8	46	2	165,6	
AP	3		0		10	13	0,5	65	
OVI	1 A	2	1	2,4	3,8	46	2	349,6	
US	2 b	4	1,8	3	10,2	46	0,31	145,452	
IKK	1 B	1,2	0	1,5	1,8	46	2	165,6	
			0		0	46		0	
			0		0	46		0	
			0		0	46		0	
			0		0	46		0	
			0		0	46		0	
<b>Yhteensä</b>									<b>1341,684</b>

Kuva 6. Johtumishäviötaulukko.

Johtumistehohäviötaulukko alkaa sarakkeella Pinta, koska tämä yhdessä pinnan numeron (#) kanssa vaikuttaa muihin taulukon soluihin merkittävästi. Pinta ja pinnan numero valitaan alasvetovalikoista.

Osuus-sarakkeen solut valitaan alasvetovalikoista, ja tämä sarake on tarkoitettu määrittämään esimerkiksi mille seinälle ikkuna kuuluu. Molemmille valitaan tähän sarakkeeseen sama arvo eli kirjain a:n ja j:n väliltä.

Viimeinen täytettävä solu on sarakkeessa l eli pituus, johon merkitään rakennusosan eli pinnan mitattu pituus metreissä.

Kompensointi kohtaan tulee rakennusosan alasta vähennettävä osuus. Kompensoitava ala määrittyy osuuskien mukaan. Esimerkiksi, jos ikkunalla ja seinällä on merkittynä

sama osuus, seinän pinta-alasta vähennetään ikkunan pinta-ala neliömetreissä. Tätä osuutta ei tarvitse täyttää, vaan taulukko laskee sen automaattisesti.

Sarakkeen h soluihin haetaan rakennusosan korkeus ennakkoon täytetyistä rakennusosien korkeuksista arvot välilehdellä (kuva 5).

Rakennusosan pinta-ala (A) lasketaan automaattisesti korkeuden ja pituuden tulona. Ala- ja yläpohja ovat tästä poikkeavia, ja tilan pinta-ala on laskettava erikseen tilan mittoihin, josta taulukko poimii tiedon ylä- ja alapohjan pinta-alaksi. Pinta-alat ilmoitetaan neliömetreissä.

Lämpötilaeron ( $\Delta T$ ) taulukko poimii lähtöarvoihin ilmoitetuista sisä- ja ulkolämpötiloista. Tämän lisäksi alapohjan ulkopuolinen lämpötila on ilmoitettava erikseen.

Rakennusosan U-arvon taulukko hakee pinnan ja pinnan numeron mukaan erillisestä esitetyistä taulukosta. U-arvot ilmoitetaan yksikössä  $W/m^2K$ .

Teho ( $\emptyset$ ) sarakkeen solujen arvot taulukko laskee rakennusosan pinta-alan, U-arvon ja lämpötilaeron tulona.

Tilakohtaisille taulukoille on alkuun määritettävä yhteiset mitoituslämpötilat ulko- ja sisäilmalle.

### 7.3 Lämpöhäviöiden laskentataulukon toiminta

Taulukon toiminta perustuu hyvin paljon Visual Basic-nimiseen ohjelmointikieleen sekä Microsoft Excelin taulukkolaskenta ominaisuuksiin. Excelin ominaisuuksista on käytetty tässä taulukossa hyödyksi muun muassa hakukomentoa ja erilaisia viittauksia taulukon toisiin soluihin. Taulukon luonnissa on myös käytetty runsaasti loogisia lauseita.

#### 7.3.1 Excelin ominaisuudet

Yleisimmin taulukossa hyödynnetty ominaisuus on matemaattisilla kaavoilla tehdyt so-luarvojen laskennat. Esimerkiksi solu B6 Laskelma-välilehdellä vähentää solun B5 arvon B4:n arvosta funktiolla " $=B5-B4$ ".

Taulukossa on käytetty hyväksi myös Excelin solun arvon kelpoisuuden tarkistamista. Tällä Excelin käskyllä voidaan luoda helposti valikoita, jotka asettavat rajat solun täytölle. Tätä komentoa olen hyödyntänyt esimerkiksi pintojen eli rakennusosien valinnassa. Esimerkki alas vedettävästä valikosta näkyy kuvassa 6.

Loogisia lauseita olen käyttänyt korjaamaan taulukkoon mahdollisesti syntyviä virheitä, jotka aiheutuvat tyhjästä tai väärin täytetyistä soluista. Tällainen virhe voi syntyä, jos täytetään kirjaimella jokin numeroa vaativa solu. Tämän takia olen käyttänyt loogista lausetta: "JOSVIRHE", mikä palauttaa halutun arvon (tässä tapauksessa 0). Solussa oleva arvo 0 ei aiheuta virhettä ja näin päästä virhettä jatkumaan pidemmälle.

Tärkeimpiä Excelin funktioita taulukossa on kuitenkin PHAKU. Tämä mahdollistaa solun arvon haun matriisin ensimmäisestä sarakkeesta ja palauttaa matriisin toisen sarakkeen arvon kyseessä olevalta riviltä. Tässä taulukossa PHAKUa on käytetty hyväksi U-arvojen ja rakennusosien korkeuksien hauissa.

*=JOSVIRHE(PHAKU(Laskelma!\$B19;Arvot!\$B\$3:\$J\$12;7);0)* Funktio 1

Funktio 1 on poimittu johtumislämpöhäviöiden taulukon sarakkeesta U-arvo. Rakennusosien korkeuksien määrittämisessä on käytetty samanlaista funktiota. Funktiossa on käytetty lausetta JOSVIRHE ja PHAKU. Esimerkissä loogisella JOSVIRHE-lauseella poistetaan mahdollisesti PHAKUsta aiheutuva virhe. Virhe voi syntyä sellaisessa tapauksessa, jos ei PHAKU löydä arvot-taulukosta kysyttyä arvoa.

*=JOS(Laskelma!\$A16="AP";(\$B\$5-\$B\$7);\$B\$6)* Funktio 2

Funktio 2 on poimittu lämpöhäviötaulukon lämpötilaero sarakkeesta, johon taulukko hakee sisäilman ja ulkoilman lämpötilaerot. Paitsi tilanteessa, jossa sarakkeeseen pinta on asetettu arvo AP. Arvon AP ollessa tosi kaava laskee lämpötilaeron sarakkeeseen sisäilman lämpötilan (B5) ja alapohjan ulkopuolisen lämpötilan (B7) erotuksena.

*=JOS(TAI(Laskelma!\$A16="AP";Laskelma!\$A16="YP");PHAKU("Pinta-ala:";H1:I15;2;EPÄTOSI);(Laskelma!\$D16\*Laskelma!\$F16-Laskelma!\$E16))*

Funktio 3

Funktiolla 3 taulukko laskee rivin rakennusosan pinta-alan. Laskennan suoritus riippuu rakennusosasta, koska ylä- ja alapohjan pinta-alat poimitaan tilakohtaisista mitoista, joihin se täytyy ilmoittaa erikseen. Funktiossa 3 on käytetty JOS-lauseetta määrittämään kaksi vaihtoehtoista toimintatapaa, jotka riippuvat rakennusosan arvosta. TAI-lauseella olen jatkanut JOS-lauseeseen sisältyvää toista totuutta kattamaan kaksi eri vaihtoehtoa. Arvojen YP ja AP pinta-alat haetaan PHAKU-lauseella, koska muuten tulisi ongelmia taulukkoa kopioitaessa.

### 7.3.2 VBA:n käyttö taulukossa

Visual Basic kieltä on käytetty taulukon tekoon luomaan joustavuutta ja parantamaan käytettävyyttä. Näkyvimvät ohjelmointia vaativat asiat taulukossa ovat laske ja uusi taulukko -painikkeet taulukon sivussa (koodi 1). Nämä painonapit vaativat toimiakseen kaksoispainalluksen, koska Excelissä vain yhdellä painalluksella tehdyt napit eivät toimi riittävän hyvin. Mikäli Excelissä tehdään painonappi, joka toimii pelkästä valinnasta, syntyy ongelma valittaessa laajempi alue, johon painonappi sisältyy.

```
Private Sub Worksheet_BeforeDoubleClick(ByVal Target As Range, Cancel
As Boolean)
```

```
Dim Maaritys As String
Maaritys = ActiveCell.Value
```

```
Select Case Maaritys
    Case Is = "LASKE"
        If ActiveCell.Interior.ColorIndex = 1 Then
            Cancel = True
            ActiveCell.Offset(3, -3).Activate
            Call alku
        End If
    Case Is = "UUSI TAULUKKO"
        If ActiveCell.Interior.ColorIndex = 1 Then
            Cancel = True
            ActiveCell.Offset(-3, -11).Activate
            Application.ScreenUpdating = False
            kysymys.Show
            Application.ScreenUpdating = True
        End If
End Select
End Sub
```

Koodi 1. Taulukon laskenta ja uuden taulukon luonti painikkeiden koodi.



Koodi 1 tarkastaa käyttäjän tekemät kaksoispainallukset. Mikäli solu johon kaksoispainallus suoritetaan täyttää vaaditut ehdot, niin siirrytään seuraavaan aliohjelmaan.

Laskenta painikkeen painamisen jälkeen käynnistyy viisi aliohjelmaa, yksi kerrallaan. Ensimmäinen aliohjelma määrää muiden aliohjelmien ajon järjestyksen (koodi 2).

```
Sub alku()
    Application.Cursor = xlWait
    Application.ScreenUpdating = False
    Call Uarvot
    Call Korkeus
    Call Komp
    Call Vie
    Application.ScreenUpdating = True
    Application.Cursor = xlDefault
End Sub
```

Koodi 2. Alku-aliohjelma, joka kutsuu muita aliohjelmiä.

Toinen käynnistytävä aliohjelma käsittelee taulukon U-arvo-saraketta. Tämä aliohjelma tarkastaa syötetyn pinnan rivi riviltä, jonka jälkeen syöttää U-arvo-sarakkeen soluihin oikeat funktiot (koodi 3). Korkeus-sarakkeen soluihin haetaan funktiot aivan samalla metodilla.

Do

```
Ekasolu = Cells(ActiveCell.Row, ActiveCell.Column - 8).Value

Select Case Ekasolu

    Case Is = "US", "uS", "us", "Us"
        ActiveCell.FormulaR1C1 = _
            "=IFERROR(VLOOKUP(Laskelma!RC2,Arvot!R3C2:R12C10,8),0)"
        Cells(ActiveCell.Row + 1, ActiveCell.Column).Activate

    Case Is = "AP", "ap", "Ap", "aP"
        ActiveCell.FormulaR1C1 = _
            "=IFERROR(VLOOKUP(Laskelma!RC2,Arvot!R3C2:R12C10,5),0)"
        Cells(ActiveCell.Row + 1, ActiveCell.Column).Activate

    Case Is = "YP", "yp", "Yp", "yP"
        ActiveCell.FormulaR1C1 = _
            "=IFERROR(VLOOKUP(Laskelma!RC2,Arvot!R3C2:R12C10,9),0)"
        Cells(ActiveCell.Row + 1, ActiveCell.Column).Activate

    Case Is = "IKK", "ikk", "Ikk", "iKk", "ikK", "IKk", "iKk"
```

```

        ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        "=IFERROR(VLOOKUP(Laskelma!RC2,Arvot!R3C2:R12C10,6),0)"
        Cells(ActiveCell.Row + 1, ActiveCell.Column).Activate

    Case Is = "OVI", "ovi", "Ovi", "oVi", "ovI", "OVi", "oVI"
        ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        "=IFERROR(VLOOKUP(Laskelma!RC2,Arvot!R3C2:R12C10,7),0)"
        Cells(ActiveCell.Row + 1, ActiveCell.Column).Activate

    Case Is = "Yhteensä"
        GoTo Kelaus

    Case Else
        ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
        If Ekasolu = "" Then GoTo Tyhja
    End Select

    Loop While Ekasolu <> ""

```

Koodi 3. Koodin osa, jolla haetaan U-arvoille sopiva PHAKU-funktio.

U-arvojen ja korkeuksien määrittämisen jälkeen käynnistyy kompensoinnin suorittava aliohjelma.

```

For Vertaus = 1 To X Step 1
    Do While Cells(ActiveCell.Row, ActiveCell.Column - 2) <> "Yhteensä"
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
        Vert1 = ActiveCell.Value
        Vert2 = Cells(ActiveCell.Row, ActiveCell.Column + 4).Value
        If Vert1 = Tark1 Then
            If Vert2 < Tark2 Then
                GoTo Pano
            ElseIf Vert2 >= Tark2 Then
                GoTo Otto
            Else: GoTo Jatko
            End If
        End If
    Loop
    Do
        ActiveCell.Offset(-1, 0).Activate
        Vert1 = ActiveCell.Value
        If Vert1 = Tark1 And ActiveCell.Offset(0, -2).Value <> _
            "Yhteensä" Then
            ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
            GoTo Komp
        End If
    Loop
Next

```

Koodi 4. Kompensointi-aliohjelman koodin osa, jolla haetaan samoja osuuksia.

Kompensoinnin suorittavan aliohjelman rakenne koostuu neljästä eri osasta. Valmistettava osuus aloittaa ohjelman ja tarkastaa taulukon koon, jonka jälkeen siirrytään hakevaan osuuteen. Tämä määrittää, mitä arvoja haetaan ja etsii ne (koodi 4). Kolmas osuus alkaa, kun haettu arvo löytyy. Löytymisen jälkeen suoritetaan arvojen kopiointi. Hakeva ja suoritettava osuus toimivat käsi kädessä koko sarakkeen läpi, jonka jälkeen siirrytään lopettavaan osuuteen. Lopettava osuus pitää huolen, että seuraava aliohjelma päästään aloittamaan suhteellisen helposta kohdasta.

Kompensointi muuttaa osuuksien pienet kirjaimet suuriksi, mikäli pinnan ala on vähennetty jostakin muusta pinnasta. Näin ollen voidaan suorittaa nopea tarkastaminen, että ohjelma on vähentänyt pinta-alat oikein.

Seuraavana käynnistyvä aliohjelma vie johtumishäviötaulukon lasketut arvot yhteenveto välilehdelle (kuva 7) sekä täyttää oletusarvoilla ilmanvaihdon tilalle aiheuttavia lämmitystehon suureita (kuva 8).

Kohde: As. Oy Esimerkkihuoneisto

Tila	Johtumishäviöt			Vuotoilmahäviöt				Ilmanvaihtohäviöt tilassa				Yhteensä $\Phi$ (W)	
	$\Delta T$ (Ilma°C/Maa°C)	$\Phi$ (W)	V (m <sup>3</sup> )	$\Delta T$ (°C)	$\rho \cdot C_p$ (kJ/Km <sup>3</sup> )	Kerroin	$\Phi$ (W)	$\Delta T$ (°C)	qvt (l/s)	$\rho \cdot C_p$ (kJ/Km <sup>3</sup> )	$\Phi$ (W)		
Tila1	46	13	1488	30	46	1,2	0,16	265	2	4,17	1,2	10	1763
Tila2	46	13	1488	30	46	1,2	0,16	265	2	4,17	1,2	10	1763
Tila3	46	13	1488	30	46	1,2	0,16	265	2	4,17	1,2	10	1763
												Yht.	5288

Kuva 7. Esimerkki täytetystä yhteenveto taulukosta.

Johtumishäviöiden arvot yhteenveto valikossa aliohjelma kopioi laskelmat-välilehdeltä, jos laskelmasta muutetaan arvoja päivittyvät muutokset yhteenvetoon vasta taulukon laskemisen jälkeen. Yhteenvetotaulukon laskemat ilmanvaihdon lämpöhäviöt tilalle, lasketaan Yhteenveto-välilehden taulukosta annetuista suureista (kuva 8).

Ilman suureet			
tt (°C)	ts (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (kJ/kgK)
18	20	1,2	1
18	20	1,2	1
18	20	1,2	1

Kuva 8. Täytettävät ilman suureet.

Aliohjelma täyttää ilman suureisiin automaattisesti tuloilman lämpötilaksi (tt) ulkoilman mitoitus lämpötilan. Mikäli aiemman tilan arvoihin on korjattu tuloilman lämpötila, käytetään tätä arvoa seuraavassakin tilassa. Kuvan 8 tapauksessa ensimmäisen tilan tuloilman lämpötila on asetettu 18 °C:n. Sisäilman lämpötilan Vie-aliohjelma viittaa suoraan Laskelma-välilehden kohteen tiedoista. Laskelma-välilehdellä sisäilman lämpötilaa muutettaessa päivittyy sama arvo ilman suureisiin (ts). Ilmantiheys asetetaan automaattisesti arvoon 1,2 kg/m<sup>3</sup>, joka on ilman tiheys 20 °C:n lämpötilassa. Ilman ominaislämpökapasiteetti on 20 °C:n lämpötilassa noin 1 kJ/kgK. Mikäli sisäilman lämpötila poikkeaa suuresti 20 °C:sta, täytyy ilman tiheyden sekä ominaislämpökapasiteetin arvot muuttaa vastaaviksi.

Aliohjelma laskee tilan ilmanvaihdon automaattisesti tilavuuden mukaan. Aliohjelma olettaa tilan ilmamäärän vaihtuvan kerran kahdessa tunnissa (kaava 12).

$$q_v = Q_v * V / 3,6 \quad (12)$$

$q_v$	on tuloilmavirta, (l/s)
$Q_v$	on ilmanvaihtuvuus tunnissa, (1/h)
$V$	on tilan ilmantilavuus (m <sup>3</sup> )
3,6	on tuntien muunnos sekunneiksi ja kuutioiden muunnos litroiksi (3600 s/h / 1000 l/m <sup>3</sup> ).

Ominaislämpökapasiteetti sekä ilman tiheys otetaan ilmanvaihdon aiheuttamaa lämpöhäviötä laskettaessa huomioon yhtenä lukuna, joka lasketaan ilman suureista (kuva 8) näiden tulona. Ilmanvaihdon lämmitystehon taulukko laskee ilman virtaaman, lämpötilaeron sekä ominaislämpökapasiteetin ja tiheyden tulona. Tehon taulukko ilmoittaa watteina. Lopuksi yhteenveto-taulukko summaa erillisten lämmitystehohäviöt yhteen, jolloin saadaan lasketun tilan kokonaislämmitystehontarve watteina.

## 8 Lämpöhäviölaskelman kehittäminen jatkossa

Lämpöhäviölaskelmaa voisi kehittää eteenpäin lisäämällä tyypillisiä arvot-taulukoita (ks. kuva 5) eri rakennusvuosien sekä rakennustapojen mukaan, joista voisi kopioida kohteeseen sopivimmat arvot muokattaviksi. U-arvoille voisi myös työstää laskentataulukon, joka laskisi määritellyistä materiaaleista U-arvon kyseiselle rakennusosalle.

Omaan käyttötarkoitukseeni apuna toimisi hyvin myös erillinen taulukko, josta voisi tarkistaa vanhojen pattereiden lämmönluovutustehoja. Esimerkiksi tällaisella työkalulla voisi tarkistaa riittääkö vanha patteri, mikäli ilmanvaihtoa tehostetaan. Työkalun voisi toteuttaa myös niin, että käyttäjä määrittäisi tilan patterin tietyistä vaihtoehdoista ja taulukko tarkastaisi tämän riittävyyden.

Laskelmaan voisi lisätä myös taulukon vuotoilmakertoimen määrittämiseksi, jolloin kerrointa ei tarvitsisi laskea käsin. Tällainenkin laskentataulukko vaatisi useampia eri vaihtoehtoja rakennuksen rakennusvuoden ja rakennustavan mukaan.

## 9 Huomioitavaa lämpöhäviölaskelman käytössä

### 9.1 Johtumishäviöt-välilehti

Lämpöhäviölaskelman johtumishäviöt taulukossa on tärkeätä taulukon laskennan toiminnan kannalta täyttää tilan mitat (korkeus ja pinta-ala) sekä antaa tilalle yksilöllinen nimi. Mikäli kahdella tilalla on täysin sama nimi, niistä vain toinen näkyy yhteenvedossa. Tämän lisäksi on tärkeää olla muuttamatta taulukon pinta-aloja tai lämpötiloja suoraan. Taulukon koodissa on viittauksia sarakkeiden nimiin, joten ne on syytä pitää muuttumattomina. Taulukkoon voidaan kuitenkin lisätä rivejä väliin, mikäli alkuperäinen määrä ei riitä. Lisättäessä rivi on hyvä kopioida solujen kaavat joltakin alkuperäiseltä riviltä, jotta taulukko toimii oikein.

Käytettäessä johtumishäviöt taulukkoa on hyvä muistaa myös, että taulukko saattaa antaa vääriä arvoja tai olla antamatta arvoja ollenkaan ennen kuin taulukon laskenta on suoritettu.

### 9.2 Arvot-välilehti

Arvot-välilehdellä oleva taulukko tulee täyttää kohderakennuksen arvoilla, jotta pystytään laskemaan lämmitystehontarpeille riittävän tarkat tulokset. Arvot-tilaukkaan täytetään ulkoseinä-, ikkuna- sekä oviosuuksien korkeudet rakennusosan osuuden numeron mukaan. Korkeuksien lisäksi kaikille rakennusosille määritetään U-arvot. Arvot-tilaukkaan ei voida lisätä uusia rivejä aliohjelmien koodia muuttamatta.

### 9.3 Yhteenvedo-välilehti

Yhteenvedo-välilehdelle on tärkeä korjata vuotoilmahäviöiden kerroin, mikäli se poikkeaa oletusarvosta sekä ilmanvaihdon tuloilman lämpötila ja ilmavirta, mikäli oletusarvot eivät vastaa kohteen arvoja.

Tulostuksen kannalta on hyvä valita haluttu tulostusalue. Sivun asettelun mittakaavaksi on asetettu 75 %, jotta yhteenvedo saadaan mahtumaan yhdelle pystysuunnassa olevalle A4 arkille. Tulosteen ylätunnisteesta näkyy tulostuksen päivämäärä, sivunumero

ja että kyseessä on lämpöhäviölaskelma. Yhteenveto-välilehdeltä ei ole tarkoitus tulostaa ilman suureet taulukkoa.

## 10 Yhteenveto

Insinöörityön tavoitteena on ollut luoda sovellus Microsoft Excel –ohjelmalla ja sen ohjelmistokehitystyökaluilla. Sovelluksella voidaan laskea tilakohtaisia lämpöhäviöitä rakennusten lämpöjohtoverkostojen uudelleen mitoittamista tai säätöä varten. Se on luotu jo olemassa olevien rakennusten muutostöitä varten, ei niinkään uusiin rakennuskohteisiin.

Tarve lämpöhäviöitä laskevalle sovellukselle Suomen talokeskus Oy:ssä on ollut selkeä, sillä lämmitysverkoston säätösuunnitelmia sekä muita lämmitysverkoston uusimissuunnitelmia tehdään yrityksessä useita vuodessa. Yhdessä lämmitysverkoston säätöön liittyvässä suunnitelmassa joudutaan suorittamaan tarkistus- tai mitoituslaskelmia lukuisia kertoja, jolloin sovellus nopeuttaa ja helpottaa suunnittelijan työtä.

Excel-sovellus koostuu laskufunktioista, jotka on tehty joustaviksi loogisilla lauseilla sekä Visual Basic (VB) ohjelmoinnilla. Näitä elementtejä yhdistelemällä on saatu luotua eri kohteille riittävän monipuolinen ja automatisoitu sovellus. Excelin makrojen luontiin tarkoitetulla työkaluilla ohjelma voi luoda osan koodista automaattisesti, mutta näin tuotu koodi täytyy yleensä muokata tarkemmin tilanteeseen sopivaksi. Tästä syystä käytin koodin muokkaamisessa sekä VB:n opettelussa hyväksi Ornanetin internet sivuston (<http://ornanet.dy.fi>) ohjeita ja suosituksia. Olen käyttänyt sovellusta suunnittelutyössä työkaluna koko sen työstämisen ajan ja näin samalla kehittänyt sitä työkäyttöön sopivaksi.

Lämpöhäviötaulukko-sovellusta voisi kehittää jatkossa esimerkiksi kokoamalla siihen eri aikakausien rakennustapojen mukaisia yleisimpiä U-arvoja ja huonekorkeuksia, joista voisi valita kuhunkin kohteeseen sopivimman. U-arvojen määrittämistä varten voisi myös luoda laskentatyökalun. Työkalu helpottaisi U-arvon määrittämistä, mikäli tiedetään rakennusosan materiaalit ja niiden paksuudet. Samantyyllisen laskentatyökalun voisi tehdä myös vuotoilmavirralle, mutta tällaisesta ei välttämättä olisi todellista hyötyä rakennustyönlaadun suuren vaikutuksen takia. Sovellukseen voisi tuoda vanhojen lämpöpatterimallien tiedot ja tehdä näistä lisätyökalun, jolla pystyttäisiin tarkistamaan kohteessa olevien lämmityspattereiden riittävyden uusiin suunnitelmiin. Näin päästäisiin eroon vanhojen mitoituslaskelmien selailusta, joka tehostaisi suunnittelutyötä entisestään.



## Lähteet

1. Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto Ry
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys. 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennuksen lämmöneristys. 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö
4. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennuksen lämmöneristys. 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö
5. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankuluksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö
6. Standardi EN SFS 15251:2007. Construction products
7. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö
8. Seppänen, Olli. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy