

Simulering och experimentell verifiering av operativ temperatur i passivhus

Kim Ihrcke

Examensarbete
Energi- och miljöteknik
2019

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	20475
Författare:	Kim Ihrcke
Arbetets namn:	Simulering och experimentell verifiering av operativ temperatur i passivhus
Handledare (Arcada):	Kim Skön
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Syftet med arbetet är att undersöka operativa temperaturer i ett passivhus. Operativ temperatur definieras som medelvärdet av luften- och medelstrålningstemperaturen. Operativ temperatur i vistelsezonen har en betydande påverkan på människans trivsel och hälsa. Kraven på energieffektivare prestanda bidrar till att moderna byggnader ofta har ett lågt luftläckagevärde och värmegenomgångskoefficient (U-värde). Risken för överhettning är också högre i byggnader med lågt luftläckage. Detta innebär att simulering för dynamisk inomhuskomfort blir allt viktigare vid planering och konstruktion.</p> <p>Antalet reklamationer för överhettning av bostäder har ökat under de senaste åren. Detta beror dels på kännedomen om kraven på inomhusklimat, samt att byggnadernas inre belastningar har ökat till följd av allt fler hushålls- och tekniska apparater. För att försäkra sig om säkra och friska inomhusmiljöer tillämpas anvisningar av Sisäilmastoluokitus 2018. Dessa används som hjälpmedel och projekteringsvärden för nybyggen och renoveringsprojekt. Anvisningarna innehåller målvärden för termiskt inomhusklimat, luftföroreningar samt ljud- och ljusförhållanden. I detta arbete användes anvisningarna för mätning av operativ temperatur i vistelsezon enligt standarden SFS EN 12599. För beräkning av medelstrålningstemperatur användes en globtermometer och lufttemperaturmätare. Som en del av arbetet utfördes mätningar av operativ temperatur i passivhusets sovrum. Resultaten från mätperioderna visade att solstrålningens värmelaster haft stor inverkan på den operativa temperaturen. En dynamisk simulering utfördes av rummets termiska klimat för att jämföra resultaten med de uppmätta operativa temperaturerna. Simuleringen utfördes med programmet IDA ICE. Simuleringens resultat bekräftade att programmet lyckats simulera de rådande temperaturförhållandena i passivhusets vistelsezon. Slutligen kan konstateras att vistelsezonen i passivhuset uppfyller kraven för kvalitetsklass S2.</p>	
Nyckelord:	Operativ temperatur, medelstrålningstemperatur, vistelsezon, inomhusklimat, passivhus
Sidantal:	30 + bilagor
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	3.6.2019

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energy and Environmental Engineering
Identification number:	20475
Author:	Kim Ihrcke
Title:	Simulation and experimental verification of operative temperature in a passive house
Supervisor (Arcada):	Kim Skön
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>The purpose of this thesis is to investigate operational temperatures in a passive house. Operative temperature can be defined as arithmetic mean of air and mean radiant temperature. Operative temperature has a significant impact on human wellbeing and health. The requirements for energy-efficient performance in modern buildings tend to result in low air leakage value and thermal conductivity. The risk of overheating is also higher in buildings with low air leakage. This signifies that simulation for dynamic indoor comfort is becoming increasingly essential to consider when conducting planning and construction of buildings.</p> <p>The number of complaints of overheating in Finnish homes have increased in recent years. This is partly due to the increased knowledge of the requirements for indoor climate. Another reason is that the internal heat loads have increased as a result of more household and technical appliances. Sisäilmastoluokitus 2018 gives the national guidelines to ensure safe and healthy thermal comfort in Finland. The guidelines are utilised for constructing new buildings and in conducting renovation projects. The guidelines also contain target values for thermal comfort, air pollution, sound and light conditions. In this thesis the guidelines were applied for measuring operative temperature in an occupied zone according to the standard SFS EN 12599. A globe thermometer and air temperature meter were utilised for measuring radiant temperatures. Measurements of operative temperature were done in a bedroom of a passive house. The results of the measurement period displayed that the solar radiation heat load has a considerable impact on the operative temperature. A dynamic simulation of the thermal climate was then conducted, in order to compare the simulation to the results of the measurement period. The dynamic simulation was conducted utilising the IDA ICE software. The simulation confirmed that the software can successfully simulate operative temperatures in the occupied zone of the passive house. In conclusion, the occupied zone in the passive house met the requirements for Sisäilmaluokitus quality class S2.</p>	
Keywords:	Operative temperature, mean radiant temperature, occupied zone, indoor climate, passive house
Number of pages:	30 + appendixes
Language:	Swedish
Date of acceptance:	3.6.2019

INNEHÅLL

1	INLEDNING	7
1.1	Syfte och undersökningsfrågor.....	8
1.2	Bakgrund	8
1.3	Metod.....	9
1.4	Avgränsningar	9
2	KLASSIFICERING AV INOMHUSKLIMAT	9
2.1	Sisäilmastoluokitus 2018.....	9
2.1.1	Inomhusklimat	10
2.1.2	Temperaturförhållandens målvärden för planering	10
2.2	Operativ temperatur.....	13
2.2.1	Globtemperatur.....	14
3	METOD.....	17
3.1	Förundersökning.....	17
3.2	Beräkningsmetod.....	17
3.3	Mätinstrument.....	18
3.4	Information om mätobjektet och mätperioderna.....	19
3.5	IDA ICE simulering av mätobjektet.....	20
4	RESULTAT	22
4.1	Resultat från mätningarna	22
4.2	Resultat av kvalitetsklass S2.....	24
4.3	IDA ICE simulering med uppmätt väderdata	26
5	DISKUSSION OCH SLUTSATS	27
	Källor	29
	Bilagor	31
	Bilaga 1/1(2) Testo globtermometare.....	31
	Bilaga 1/2(2) Testo 176 T4 datalogger.....	32
	Bilaga 2/1(3) Resultat från mätperiod 1. (23.3.2019 – 5.4.2019).....	33
	Bilaga 2/2(3) Resultat från mätperiod 2. (10.4.2019 – 27.4.2019).....	33
	Bilaga 2/3(3) Resultat från mätperiod 3 (6.5.2019 – 20.5.2019).....	34
	Bilaga 3/1(3) Arkitektritningar, materialbeskrivning.....	35
	Bilaga 3/2(3) Bottenritningar luftkanalsystem 2. Våningen och källaren.....	36
	Bilaga 3/3(3) Bottenritningar 1- och 2 våningen.....	37
	Bilaga 4 Beskrivning av Vallox 145 MV.....	38

Figurer

Figur 1. Illustration av vistelsezon	11
Figur 2. Vistelsezonens operativa temperatur, klass S1, S2	12
Figur 3. Utdrag ur mätperiod 1 från 23.3 - 26.3.....	22
Figur 4. Utdrag ur mätperiod 2 från 18.4 - 21.4.....	23
Figur 5. Utdrag från mätperiod 3 15.5 - 18.5.....	24
Figur 6. Operativa temperaturen i klass S2.....	25
Figur 7. Uppmätta och simulerade operativa temperaturen.....	26

Tabeller

Tabell 1. Operativ temperaturförhållandens målvärden	11
Tabell 2. Sovrummets detaljer.....	19
Tabell 3. Inställningar för IDA ICE modell	20

1 INLEDNING

Inomhusklimatet har en avsevärd betydelse för människans välmående och trivsel i hemmet samt arbetsmiljön. Finska miljöministeriet ger direktiv gällande byggnaders energiprestanda. Kraven på energieffektivare byggnader samt miljövänligare byggmaterial och konstruktioner har lett till en växande trend att förbättra energieffektiviteten inom byggbranschen (Tuomaala 2013 s.105). Energieffektiviteten påverkar såväl byggnaders livscykelkostnad, fukttekniska egenskaper, inomhusluft och luftventilation (Vihna 2015).

Småhus och kontorsbyggnader i Finland är ofta väl isolerade. Detta är en följd av krav på isoleringsmaterial med låg värmeledningsförmåga och värmegenomgångskoefficient. Byggnader med låg värmegenomgångskoefficient (U-värde) har vanligen ett lågt luftläckage. Samtidigt som byggnadens konstruktion blir lufttätare ökar även ventilationens betydelse på inomhusklimatet. Ett gott inomhusklimat skall, enligt kraven, åstadkommas energieffektivt. Energibesparingarna får dock inte ske på bekostnad av ett försämrat inomhusklimat. (Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet 2007 s. 2).

Enligt undersökningar gjorda på finländska kontorsarbetsplatser upplever ca 30–40% av människor ett missnöje med inomhusklimatet (Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet 2007 s. 2). Genom att inkludera en bedömning av hälsorisker har byggnadsplanering och konstruktion förbättrats och gett riktgivande värden för komfortmodeller (Sisäilmastoluokitus 2018).

Enligt Tibenhamn (2018 s. 16) bör byggnadsplanerare förbättra undersökning och analys av risker för överhettning i lågenergibyggnader. Det finns högre risk för överhettning i lågenergibyggnader med lågt luftläckage. Vid planering av byggnader bör solstrålningens värmebelastning genom fönsterytor även iakttas. Detta innebär att simulationer för dynamisk inomhuskomfort blir allt viktigare att ta hänsyn till vid planering och konstruktion av byggnader. (Tibenhamn 2018 s. 16)

Passivhus definieras som välplanerade hus av material med låg värmeledningsförmåga. Passivhusets viktigaste egenskap är låg energiförbrukning. Passivhuset klassificeras enligt utrymmens energikrav, byggnadens behövliga mängd primäre energi och luftläckage. (Nieminen & Lylykangas 2009 s. 2)

1.1 Syfte och undersökningsfrågor

Syftet med detta arbete är att undersöka operativa temperaturer i ett energieffektivt passivhus. Arbetet ämnar svara på följande undersökningsfrågor:

1. Uppfyller byggnadens inomhusklimat kvalitetsklassen S2 (god inomhuskvalitet) med hänsyn till byggnadens användningsändamål?
2. Hur skiljer sig resultaten från uppmätta resultat jämfört med simulerad dynamisk inomhuskomfort?

1.2 Bakgrund

Det energieffektiva passivhusets vistelsezoner har, enligt invånarna, varit varma. Lufttemperaturen i passivhuset har överstigit bekväma nivåer. Byggnadens konstruktionsmaterial och byggnadens klimatskal har låg värmegenomgångskoefficient.

Inomhusklimatet i en byggnad påverkas kraftigt av för höga rumstemperaturer och av materialytor som reflekterar värme p.g.a. solstrålning och andra värmelaster. Människans hälsa och trivsel påverkas av rådande rumstemperatur. Symptom på alltför hög rumstemperatur är t.ex. sömnbrist, bristande produktivitet och sämre arbets kvalitet. För höga inomhustemperaturer kan t.ex. i extrema fall leda till värmekramper eller värme slag för dem som vistas i byggnaden. (Liljeström & Vuolle 2014s. 79)

Reklamationer för överhettning av bostäder har ökat under de senaste åren i Finland. Detta beror delvis på människors kännedom om krav på inomhusklimat samt att byggnadernas inre belastningar har ökat till följd av fler hushålls- och tekniska apparater. Samtidigt har även byggnaders konstruktion blivit lufttätare, vilket ytterligare bidrar till besvär gällande eventuell överhettning. (Liljeström & Vuolle 2014 s. 79)

1.3 Metod

I arbetet används litteratur och anvisningar som publicerats av de finländska myndigheterna och byggnadsbranschen, samt från övriga tillförlitliga källor, såsom publikationer. Mätningar har utförts enligt direktiv av Sisäilmastoluokitus 2018. Beräkningar av medelstrålningstemperaturen, globtemperaturen och operativa temperaturen följer standarden *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities* (EN ISO 7726:2001)

1.4 Avgränsningar

I detta arbete undersöks operativa temperaturer i ett energieffektivt passivhus. I undersökningarna mäts undersökningsobjektets medelstrålningstemperaturer med en globtermometer. Arbetet tar inte hänsyn till luftens hastighet och turbulenta rörelser inom vistelsezonerna under mätperioden.

2 KLASSIFICERING AV INOMHUSKLIMAT

I detta avsnitt presenteras begreppet inomhusklimat och de olika kvalitetsklassernas innehåll. Kvalitetsklassernas riktgivande målvärden och deras betydelse presenteras samt klassificeringsdirektiven över hur mätningar av inomhusklimatet utförs. Slutligen presenteras teorin för beräkning av operativ temperatur.

2.1 Sisäilmastoluokitus 2018

Sisäilmastoluokitus 2018 är utgiven av Sisäilmayhdistys ry, Rakennustietosäätiö RTS sr, Suomen Arkkitehtiliitto SAFA ry, RAKLI ry och Suunnittelu- ja konsultointiyritykset SKOL ry. Sisäilmastoluokitus 2018 är en klassificering med anvisningar avsedd för byggnadsbranschen. Anvisningarna används som hjälpmedel och projekteringsvärden för att uppnå säkra och friska inomhusmiljöer. Anvisningarna tillämpas för nybyggen och vid behov även vid renoveringar. Anvisningarna kompletterar Finlands byggbestämmelsesamling inom värme-, ventilations- och sanitetsprojekt, men klassificeringen

upphäver inte detta lagstadgade dokument som miljöministeriet utfärdar. Klassificeringen innehåller anvisningar och målvärden för inomhustemperatur, luftföroreningar samt ljud- och ljusförhållanden. Inomhusklimatet indelas i tre kvalitetsklasser:

- S1: individuellt inomhusklimat
- S2: gott inomhusklimat
- S3: nöjaktigt inomhusklimat.

Klassen S1 uppfyller de strängaste kraven för inomhusklimat och S3 uppfyller ett nöjaktigt inomhusklimat. (Sisäilmastoluokitus 2018 s. 3–5)

2.1.1 Inomhusklimat

Med inomhusklimat avses de förhållanden i vistelsezonen som kan påverka människans hälsa och välmående. Olika faktorer kan påverka inomhusklimatet, så som fysikaliska, kemikaliska eller mikrobiologiska faktorer. De centrala påverkande faktorerna är bl.a. luftens fukthalt samt temperatur. Till inomhusklimatet räknas även ljud- och ljusförhållanden. Ett gott inomhusklimat i vistelsezonen är viktigt, eftersom människan tillbringar över 90 % av tiden inomhus. (Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet 2007 s. 2)

Vistelsezonens trivsel påverkas kraftigt om byggnaden t.ex. är dåligt isolerad, har ett dåligt planerat ventilationssystem, eller om solens värmelast genom fönstertyorna är för stor. I energieffektiva byggnader finns det en risk för överhettning om värmelaster inomhus eller solens värmelaster inte behandlas korrekt. (Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet 2007 s. 2)

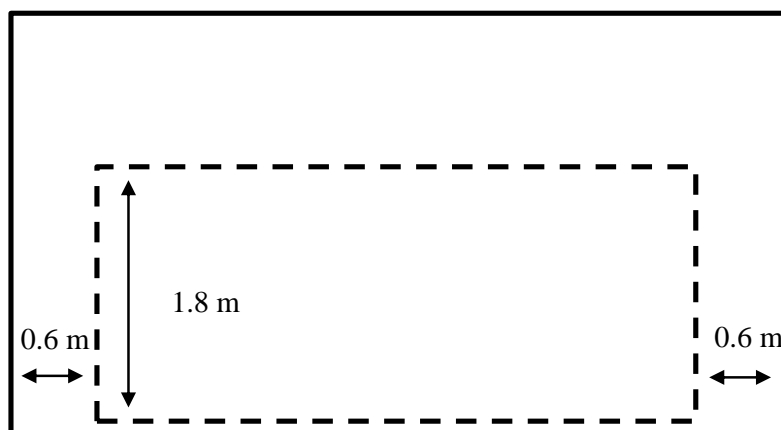
2.1.2 Temperaturförhållandens målvärden för planering

I tabell 1 nedan presenteras målvärden för inomhusklimatet som används vid byggnadsprojektets planeringsskede. Målvärden gäller rumsutrymmets vistelsezon. Vistelsezonen illustreras i figur 1. Vistelsezonen begränsas från golvet till höjden 1,8 meter samt 0,6 meter från väggar och övriga fasta konstruktioner. Utetemperaturen t_u är dygnets medeltemperatur uppmätt från närmaste väderstation. Från tabell 1 kan avläsas i klass S2 det

dimensionerande maximalvärden mellan + 23 °C och + 27 °C. (Sisäilmastoluokitus 2018 s. 5)

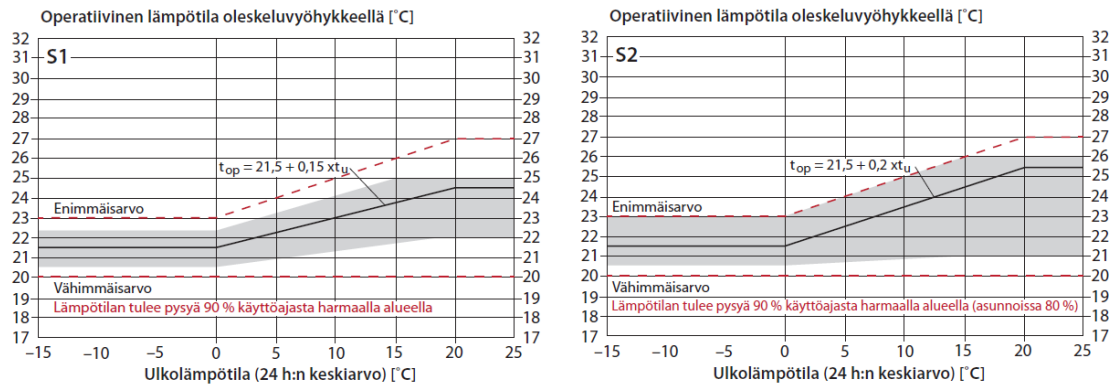
Tabell 1. Operativ temperaturförhållandens målvärden. (Sisäilmastoluokitus 2018, s. 6).

	S1	S2
Operativ temperatur t_{op} [°C]		
$t_u \leq 0$ °C	21,5	21,5
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$	$21,5 + 0,2 \times t_u$
$t_u > 20$ °C	24,5	25,5
Tillåtet temperaturområde [°C] avvikelse uppåt		
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23
$0 < t_u \leq 15$ °C	< $22,5 + 0,166 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26
Tillåtet temperaturområde [°C] avvikelse nedåt		
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5
$0 < t_u \leq 20$ °C	> $20,5 + 0,075 \times t_u$	> $20,5 + 0,025 \times t_u$
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21
Operativ temperatur maximaltvärde [°C]		
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23
$0 < t_u \leq 20$ °C	< $23 + 0,2 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27



Figur 1. Illustration av vistelsezon

Figur 2 beskriver klasserna S1 och S2 i grafiskt perspektiv. För att uppfylla kraven i klass S1 skall operativa temperaturen styras per rum med $\pm 1,5$ °C noggrannhet (Sisäilmastoluokitus 2018, s. 6).



Figur 2. Vistelsezonens operativa temperatur, klass S1, S2 (Sisäilmastoluokitus 2018, s. 6)

Mätning av operativa temperaturen utförs enligt standarden SFS EN 12599 med en elektronisk givare eller vätskefylld temperaturmätare i vistelsezonen på 1,1 meters höjd och för arbetsplats 0,6 meter. I stället för att enbart mäta operativ temperatur kan man också mäta inomhustemperatur. Med inomhustemperatur avses luftens temperatur i vistelsezonen på 1,1 meters höjd (Asumisterveysohje 2003 s. 10). Ifall rummets ytors temperatur däremot avviker från lufttemperaturen, eller om byggnaden visar tydliga tecken på dåligt inomhusklimat, bestäms den operativa temperaturen genom beräkning av rummets ytor- och lufttemperatur, eller genom utförd mätning med globtermometer enligt standard SFS EN 12599 (Sisäilmastoluokitus 2018 s. 6).

2.2 Operativ temperatur

Den operativa temperaturen kan definieras som en enhetlig temperatur av en inhägnad där innehavaren växlar lika mycket värme genom strålning och konvektion som en existerande icke enhetlig miljö (Simone, A m.fl. s.1, EN ISO 7726:2001 s. 49). Ett annat sätt att uttrycka operativ temperatur är medelvärde av lufttemperaturen och omringande ytors strålningstemperatur (Asumisterveysohje 2003 s. 10).

Den operativa temperaturen kan uttryckas som:

$$t_o = \frac{(h_c \cdot t_a + h_r \cdot t_r)}{(h_c + h_r)}$$

Där:

t_o är operativ temperatur [$^{\circ}\text{C}$].

t_a är lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$].

t_r är medelstrålningstemperatur [$^{\circ}\text{C}$].

h_c är värmeövergångskoefficient för konvektion.

h_r är värmeövergångskoefficienten för strålning [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

I praktiska fall där lufthastigheten är låg $<0,2$ m/s och skillnaden mellan medelstrålningstemperaturen och lufttemperaturen är <4 $^{\circ}\text{C}$, kan den operativa temperaturen beräknas enligt följande: (Simone, A m.fl. s. 1–2, EN ISO 7726:2001 s. 49)

$$t_o = \frac{(t_a + t_r)}{2}$$

Den operativa temperaturen blir medelvärde av luftens temperatur och medelstrålningstemperaturen. Detta betyder att både luftens och medelstrålningstemperaturen är viktiga för ett optimalt inomhusklimat. Medelstrålningstemperaturen är direkt påverkad av varma och kalla ytor i vistelsezonen såsom värmeradiatorer, kylradiatorer och stora fönsterytor. (Simone, A m.fl. s. 1–2)

Operativa temperaturen kan även beräknas enligt: (EN ISO 7726:2001 s. 50)

$$t_o = \frac{t_a \cdot \sqrt{10} \cdot v_a + t_r}{1 + \sqrt{10} \cdot v_a}$$

Där:

t_a är luftens temperatur [$^{\circ}\text{C}$].

v_a luftens hastighet [m/s].

t_r är medelstrålningstemperaturen i [$^{\circ}\text{C}$].

Ifall vistelsezonens ytor inte innehåller stora temperaturskillnader, ligger den operativa temperaturen nära luftens temperatur (Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet 2007, s.2).

2.2.1 Globtemperatur

Globtemperatur mäts med en globtermometer, som är det vanligaste instrumentet för att mäta medelstrålningstemperatur. I stationärtillstånd är värmestrålningen från omgivande ytor till globen i balans med värmeflödet av konvektion från ytan på globen till omgivande ytor. (Kazkaz & Pavelek 2013, s.321)

$$q_c = q_r$$

q_r är strålningens värmeväxling mellan omgivande ytor och globen [W/m^2].

q_c är konvektionens värmeväxling mellan luften och globen [W/m^2].

Enligt Stefan-Boltzmanns lag, kan värmestrålningen från omgivande ytor till globen beskrivas enligt följande: (Kazkaz & Pavelek 2013, s. 321, EN ISO 7726:2001 s. 15)

$$q_r = \varepsilon_g \sigma (T_r^4 - T_g^4)$$

Där:

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}]$, är Stefan-Boltzmanns konstant.

ε_g numeriskt konstant beroende på emissivitet på globen, för en svart glob är värdet 0.95

T_r är medelstrålningstemperaturen i [K].

T_g är temperaturen på globens yta i [K].

Värmeflödet p.g.a. konvektion mellan luften i utrymmet och globen beskrivs enligt: (Kazkaz & Pavelek 2013 s. 321, EN ISO 7726:2001 s. 15)

$$q_c = h_{cg}(T_a - T_g)$$

h_{cg} är konvektionens värmeövergångskoefficient vid globens nivå [W/m²K].

T_g är globtemperaturen i [K].

T_a är lufttemperatur i [K].

För naturlig konvektion: (Kazkaz & Pavelek 2013, s. 321, EN ISO 7726:2001 s. 15)

$$h_{cg} = 1.4 \left(\frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4}$$

För forcerad konvektion:

$$h_{cg} = 6.3 \frac{v_a^{0.6}}{D^{0.4}}$$

Där:

ΔT är (T_g lufttemperaturen [K] - T_a globtemperaturen [K]).

D är globens diameter [m].

v_a luftens hastighet vid globen [m/s].

Således definieras globens termiska balans: (EN ISO 7726:2001 s. 15)

$$\varepsilon_g \sigma (T_r^4 - T_g^4) + h_{cg}(T_a - T_g) = 0$$

När globen har nått termisk balans kan medestrålningstemperaturen uträknas, resultatet kan sedan används för att beräkna operativ temperatur.

Medelstrålningstemperaturens ekvation: (EN ISO 7726:2001 s. 16)

$$T_r = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma} (T_g - T_a)}$$

För naturlig konvektion där globens diameter bestäms: (EN ISO 7726:2001 s. 16)

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0.25 \cdot 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{|t_g - t_a|}{D} \right)^{1/4} \cdot (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

För naturlig konvektion med standardglob $D = 0.15$ m, $\varepsilon_g = 0.95$ (EN ISO 7726:2001 s. 16)

$$t_r = \left[(t_r + 273)^4 + 0.4 \cdot 10^8 |t_g - t_a|^{1/4} \cdot (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

För forcerad konvektion där globens diameter bestäms: (EN ISO 7726:2001 s. 16)

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0.6}}{\varepsilon_g \cdot D^{0.4}} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

För forcerad konvektion med standardglob $D = 0.15$ m, $\varepsilon_g = 0.95$ (EN ISO 7726:2001 s. 16)

$$t_r = \left[(t_r + 273)^4 + 2.5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0.6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

Där:

t_r är medelstrålningstemperaturen i [°C].

t_g är globtemperatur i [°C].

t_a är luftens temperatur [°C].

v_a luftens hastighet [m/s].

ε_g emissivitet för svart glob.

I praktiska fall är ekvationen för forcerad konvektion den vanligaste för beräkning av medelstrålningstemperaturen, där globtemperatur uttrycks som en funktion av luftens hastighet (Kazkaz & Pavelek 2013, s. 321, EN ISO 7726:2001 s. 16). I detta arbete kommer ekvationen för naturlig konvektion att användas vid beräkning av operativ temperatur.

3 METOD

I detta kapitel presenteras metodvalen för de experimentella mätningarna av operativ temperatur i passivhuset. Först utfördes en förundersökning, vars avsikt var att identifiera den experimentella undersökningens vistelsezon. Därefter utfördes en mätning av vistelsezonens operativa temperatur med globtermometer. Mätresultaten jämfördes därefter med den dynamiskt simulerade operativa temperaturen. Den dynamiska simulationen utfördes med programmet IDA ICE.

3.1 Förundersökning

Förundersökningen utfördes genom en kort intervju av passivhusets invånare. Intervjun kompletterades med en rumstemperaturmätning gjort med en digital temperaturmätare. Invånarna tillfrågades först vilka rum som kändes varma i relation till vistelsezonerna i hushållet. Två rum av identisk area i samma geografiska riktning identifierades, på basis av intervjun, som varma. Därefter utfördes en kompletterande mätning med en digital temperaturmätare i båda identifierade rummen. Mätningen visade att båda identifierade rummen var ca 2–3 °C varmare än övriga utrymmen i hushållet.

På basis av förundersökningens digitala lufttemperaturmätningars resultat valdes ett av de identiska sovrummen, som utsätts för solstrålning under förmiddagen, som undersökningsobjekt för de experimentella mätningarna. Sovrummet var inte i användning under mätperioden för att utesluta påverkan av människans värmelast på mätresultaten.

De experimentella mätningarna utfördes med globtermometare och lufttemperaturmätare. Mätningarna av operativ temperatur utfördes på 1,1 meters höjd i centrum av sovrummets vistelsezon.

3.2 Beräkningsmetod

I detta avsnitt presenteras formler och beräkningsmetod för operativ temperatur och glidande medelvärde.

I arbetet används naturlig konvektionsmetod för beräkning av medelstrålningstemperaturen. (EN ISO 7726:2001 s. 16)

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0.25 \cdot 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{|t_g - t_a|}{D} \right)^{1/4} \cdot (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273$$

Med värdet av medelstrålningstemperaturen beräknas operativ temperatur med formeln: (Simone, A m.fl. s. 1–2, EN ISO 7726:2001 s. 49)

$$t_o = \frac{(t_a + t_r)}{2}$$

Där:

t_r är medelstrålningstemperaturen i [°C].

t_g är globtemperatur i [°C].

t_a är luftens temperatur [°C].

ε_g emissivitet för svart glob.

För att beräkna glidande medelvärde, som presenteras i grafen av kvalitetsklass S2, används den enkla metoden för glidande medelvärdes formel. (Investopedia 2019)

$$SMA = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n}$$

A_n = temperatur i perioden.

n = antal i perioden

Eftersom värden i klass S2 presenteras under 24 timmars glidande medelvärde kommer antalet temperaturer i perioden vara 24 värden och periodens antal är således $n = 24$.

3.3 Mätinstrument

Vid mätning av medelstrålningstemperatur används en globtermometer, som är det vanligaste förekommande instrumentet vid mätning av luft- och strålningstemperaturens kombinerade effekt. Instrumentet är ihåligt och konstruerad av en glob gjort av koppar. Globen har vanligtvis en diameter på 150 mm och är målad med mattsvart färg. Själva

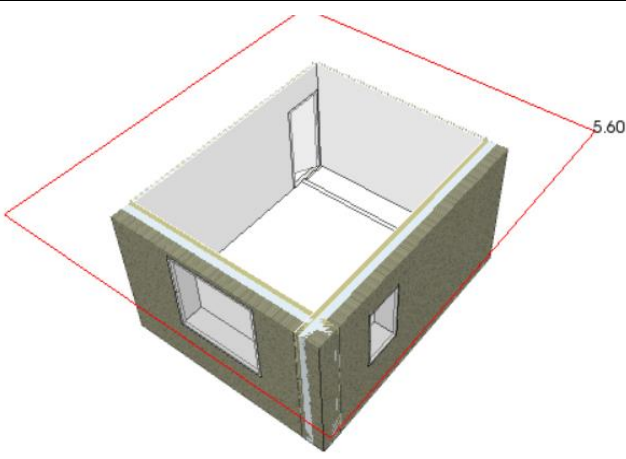
givaren är installerad i globens mittpunkt utan värmekälla. (Kazkaz & Pavelek 2013, s. 320). I arbetet användes globtermometer av märket Testo med typ K termoelement, klass 1 och en Testo 176 T4 datalogger (se bilaga 1). Globen är tillverkad för att uppfylla kraven enligt standarder ISO 7243, ISO 7726, DIN EN 2776 och DIN 33403. Globtermometaren och lufttemperaturmätaren fästs i ett stativ med justerbar höjd och placeras i centrum av sovrummet. Globtermometaren bör temperera i 30 minuter före resultaten av mätningen är giltiga.

3.4 Information om mätobjektet och mätperioderna

Sovrummet som utgjorde mätobjektet, ligger på andra våningen i ett småhus med yta 336 m². Sovrummets yta är 18,4 m² och fönstrens andel av ytan är 22,28%. Rummet är i riktning 146°. Rummet har målade väggar med ljus färg och golvet är belagt med träpanel och har blanka ytor. Under mätperioderna var golvvärmen i rummet inställd på +21 °C.

Sovrummet har två fönster med gardiner. Under mätperioderna var gardinerna inte fördragna för att minimera påverkan på mätresultaten. Dörren till sovrummet var öppen under mätperioderna. Mätperioderna indelades i tre intervaller som började 23.3.2019 och slutade 20.5.2019. Mätperioderna är beskrivna mer i detalj i tabell 2.

Tabell 2. Sovrummets detaljer

Rummets area	18,4 m ²	
Fönster area	4,1 m ²	
Fönster andel av arean	22,28 %	
Dörr	Innerdörren öppen	
Gardiner	Uppdragna	
Mätperioder:		
Period 1	23.3.2019 – 5.4.2019	
Period 2	10.4.2019 – 27.4.2019	
Period 3	6.5.2019 – 20.5.2019	

3.5 IDA ICE simulering av mätobjektet

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) är ett simuleringsverktyg för att hjälpa planerare att simulera byggnaders prestanda. Programmet används för att analysera energi-användningen och den termiska komforten i detaljerade dynamiska zoner inom byggnaden. (Equa Simulations Oy 2019)

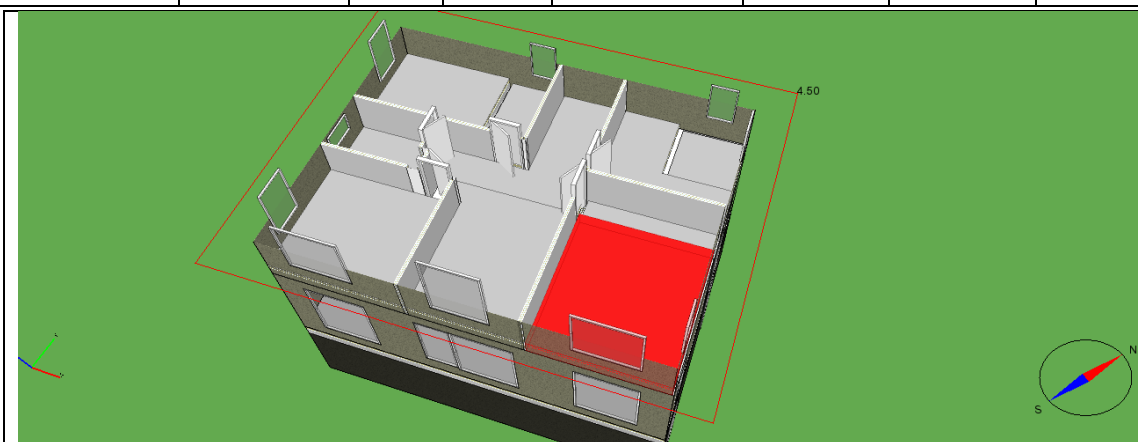
För att utföra noggranna simulationer med IDA ICE behövs byggnadsobjektets materialdetaljer på klimatskalet samt byggnadstekniska detaljer på ventilation och värmesystem. Informationen används för att modellera själva basen för hur programmet dynamiskt simulerar den operativa temperaturen. I tabell 3 presenteras data som simuleringen baserar sig på. Tabellen är uppgjord enligt ett exempel på beräkning av sommartemperaturer av Liljeström & Vuolle 2014.

Simuleringen inleddes med att först mata in materialdetaljer, ventilation och värmesystemdata i IDA ICE programmet. Av de inmatade detaljerna och arkitekturritningarna på passivhuset bygger programmet upp en dynamisk simuleringsmodell. Modellen gör en omfattande energiberäkning för byggnaden som en del av simuleringen. Ur simuleringen granskas sedan specifikt den operativa temperaturen i vistelsezonen.

Tabell 3. Inställningar för IDA ICE modell

Byggnadsobjekt	
Adress	Veikkola
Byggnadstyp	Småhus
Beskrivning av byggnadsobjektet	Arkitekturritningar 15.8.2012. Bilaga 3
Klimatfil	Väderlek från Esbo Noux, solens direkta- och indirekta strålning från Helsingfors Vanda.
Utrymme valt för granskning	3. våningens sovrum, rum 4
Orientering	146°
Form och area	
Rum 4	Arkitekturritningar 15.8.2012. Bilaga 3
Area	18,4 m ²
Fönster area	4,1 m ²
Fönster andel av golv area	22,28 %
Struktur	
Struktur typer	Uppdaterat 17.5.2013
Fönster - Tekniska värden - Karm - Draperier - Ventilationsfönster	- 0,78 W/m ² K, g-värde 0,30 - Karmens andel av fönsteröppning 10 % (standardvärde) - Draperier installerade, ej i bruk under mätperioden. Installerade, ej öppet under mätperiod
Dörr	Sovrummets dörr öppen mån-sön 24h.
Solskydd, balkonginglasering	Enbart gardiner installerade, plan åkeryta i närliggande område, ingen påverkande skugga från grannbyggnader.

Byggnadsteknik							
Luftventilationssystem		Vallox 145 MV SFP-värde 1,36 kW/m ³ /s					
Värmeåtervinning		Alltid på, $\eta = 77\%$					
Eftervärme batteri		Standardvärde +16 °C					
Luftmängder		Inställning för mätperioden: 30 % av fläktens effekt. Bilaga 4 Profiler: Bortta: +77/-82 l/s Hemma: +97/-103 l/s Forcerad: +129/-137 l/s					
Värmesystem		Objektet har våningsvis golvvärme. Värme gräns +21°C					
Inre värmelaster							
Bruksklass	Tid	Tid i användning		Bruksgrad	Belysning	Elektronik	Personer
-		h/24h	d/7d	-	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Småhus	00:00-24:00	24	7	0,1	11	4	3



4 RESULTAT

I detta avsnitt presenteras resultaten från mätperioderna samt resultatet för operativa temperaturen. Slutligen presenteras resultaten från IDA ICE simuleringen med klimatfil innehållande exakt uppmätt väderdata.

4.1 Resultat från mätningarna

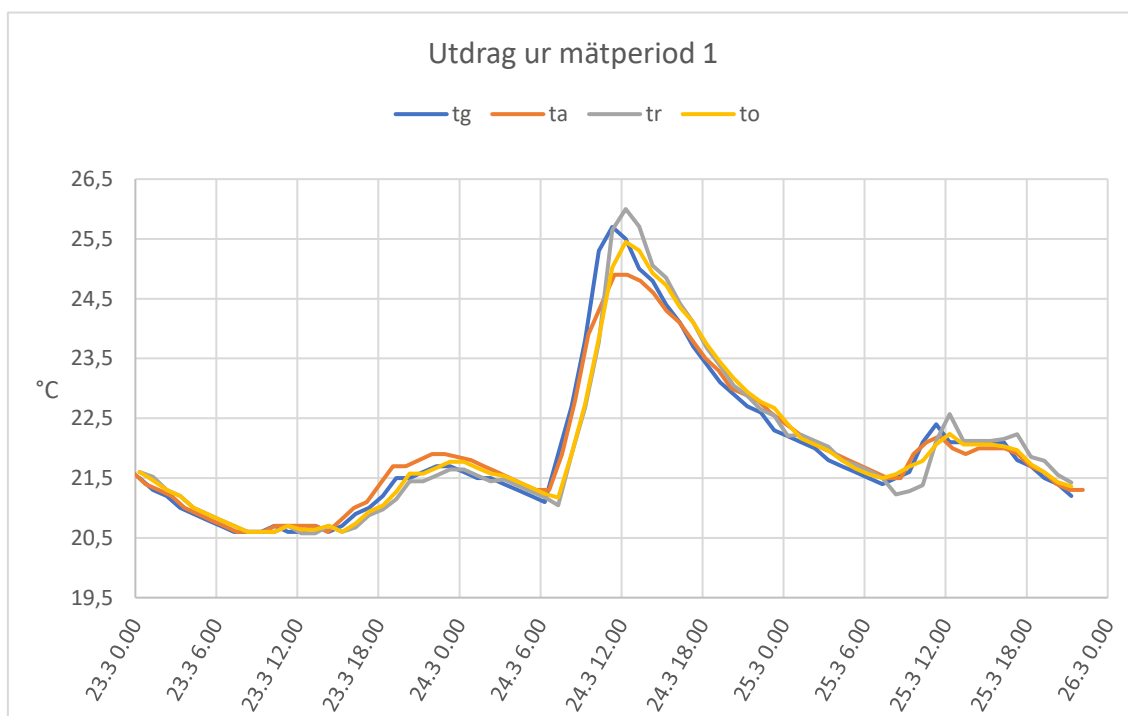
Mätperioderna är flera dagar långa och innehåller stora mängder datapunkter, vilket ger en god överblick över temperaturernas växlingar. För att underlätta genomgången av graferna presenteras en noggrannare analys med kortare tidsperiod från varje mätperiod i figurerna 3–5. De fullständiga graferna över mätperioderna finns i bilaga 2. Grafernas vertikala axel presenterar temperatur °C medan horisontala axeln presenterar tiden.

t_r medelstrålningstemperaturen

t_o operativa temperaturen

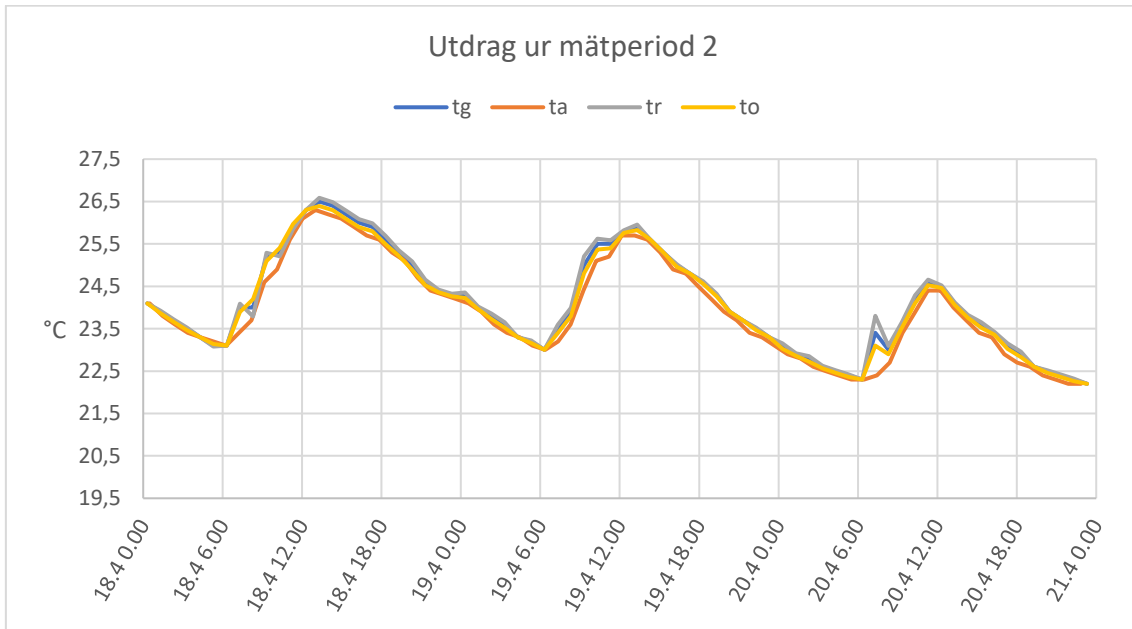
t_g globtemperaturen

t_a lufttemperatur



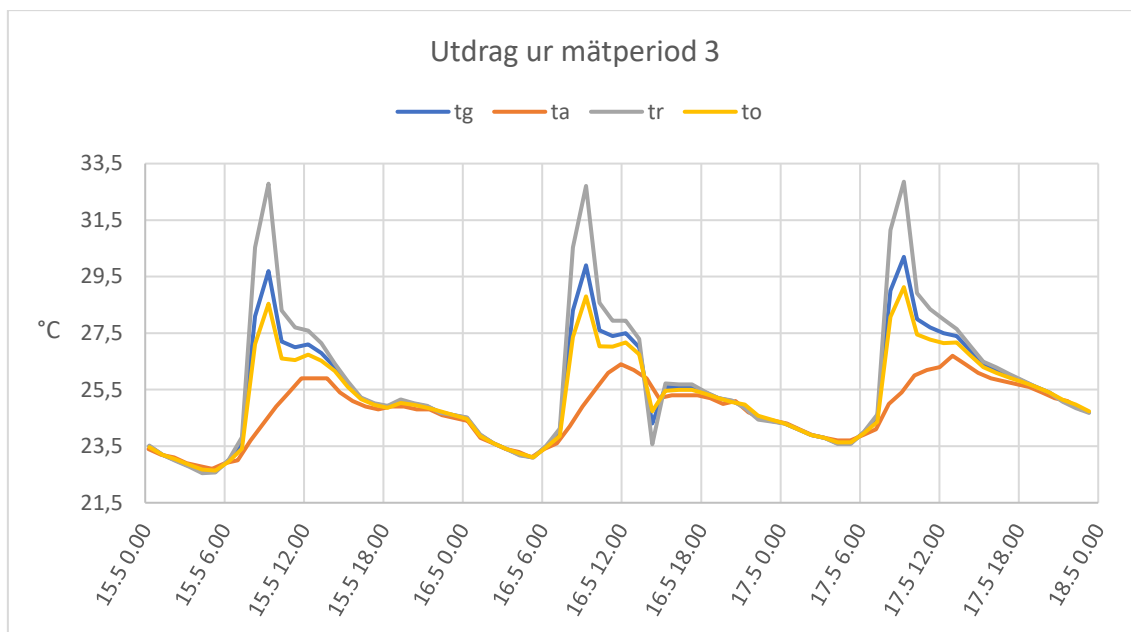
Figur 3. Utdrag ur mätperiod 1 från 23.3 - 26.3

I figur 3 presenteras ett utdrag ur mätperiod 1 (datum 23.3 – 26.3). Figuren visar två dagar då solstrålningens intensitet har haft låg haft inverkan på rummets operativa temperatur. Den 24.3 kl. 6.20 har solstrålningens inverkan tydligt förorsakat höjning i rummets temperatur och når sin topp kl. 11.20, därefter sjunker den operativa temperaturen långsamt.



Figur 4. Utdrag ur mätperiod 2 från 18.4 - 21.4

I figur 4 presenteras ett utdrag ur mätperioden 2 (datum 18.4 – 21.4). Figuren visar att den operativa temperaturen under dessa dagar har varit i balans med lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen. Dessutom har inga stora förändringar i vistelsezonen skett under mätperioden. Som undantag är tidpunkten 20.4 kl. 7:18, då medelstrålningstemperaturen stigit medan lufttemperaturen inte stigit. Klockan 7:20 har lufttemperaturen registrerats som 22,4 °C, medan den operativa temperaturen registrerats som 23,1 °C.

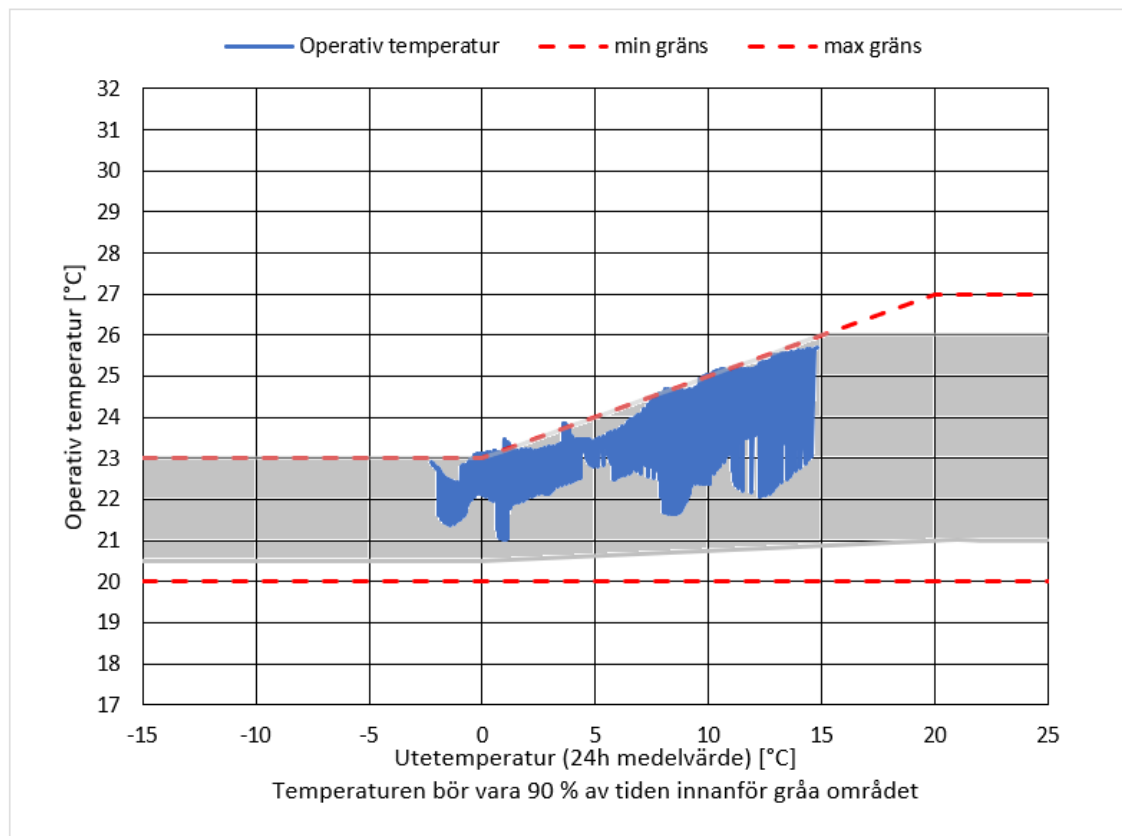


Figur 5. Utdrag från mätperiod 3 15.5 - 18.5

I figur 5 presenteras ett utdrag ur mätperiod 3 (datum 15.5 – 18.5). Figuren visar hur medelstrålningstemperaturen har påverkat den operativa temperaturen, medan rummets lufttemperaturer förändrats endast ett par grader (2 °C). Från grafen kan avläsas att den operativa temperaturen stiger kraftigt från 23,4 °C den 15.5 kl. 7:20 och når sin topp kl. 9:20 med 28,5 °C. När toppnivån är nådd sjunker temperaturen och jämnar ut sig efter klockan 12:00. Därefter sjunker temperaturen långsamt under natten tills situationen upp- repar sig den 16.5 och 17.5. En intressant mätpunkt är den 16.5 kl. 14:20, då den operativa temperaturen på kort tid sjunkit till 24,7 °C, medan lufttemperaturen har varit 25,2 °C. Denna mätpunkt är intressant eftersom den operativa temperaturens värde är lägre än luft- temperaturens värde vid samma tidpunkt.

4.2 Resultat av kvalitetsklass S2

I figur 6 presenteras den operativa temperaturen i kvalitetsklass S2. Figurens vertikala axel visar den operativa temperaturens glidande medeltemperatur. Horisontala axeln visar utomhustemperaturens 24 timmars glidande medeltemperatur uppmätt vid närmaste vä- derstation i Esbo Noux. Enligt kvalitetsklass S2 bör den operativa temperaturen infinna sig innanför gränserna under 90 % av brukstiden.



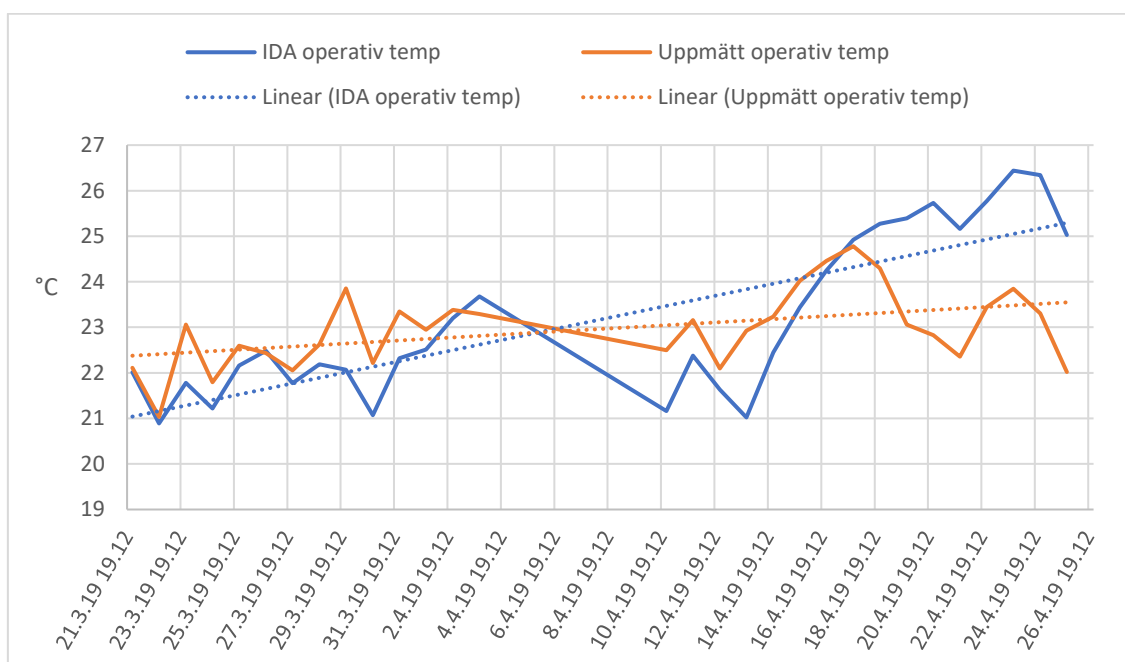
Figur 6. Operativa temperaturen i klass S2

Från figuren kan även avläsas hur den operativa temperaturen växlat under de tre mätningarna. Utomhusmedeltemperaturen har under mätperioden varit mellan $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Av grafen kan avläsas att när utomhustemperaturens medelvärde har varit omkring $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ har växlingarna av operativa temperaturen varit låga inomhus. När utomhustemperaturens medelvärde har stigit från $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ har också operativa temperaturens växlingar ökat. Från grafen kan också avläsas att den operativa temperaturen några enstaka gånger överstigit den maximala gränsen. Den operativa temperaturen infinner sig i övrigt innanför de maximala gränserna. Den lineära trendlinjen visar en stigande trend på operativa temperaturen.

4.3 IDA ICE simulering med uppmätt väderdata

Figur 7 visar resultaten av uppmätt operativ temperatur i vistelsezonen. Den operativa temperaturen i vistelsezonen är beräknad på basen av de experimentella mätningarna och den operativa temperaturens simuleringresultat med programmet IDA ICE. Simuleringen är gjord med IDA ICE klimatfil som innehåller exakt uppmätt väderdata från perioden 1.1 – 28.5.2019. Väderdata är från Esbo Noux väderstation, solens direkta och indirekta strålning från Helsingfors-Vanda väderstation.

Grafen presenterar resultaten av dygnets medeltemperatur. Den horisontella axeln presenterar datum och vertikala axeln presenterar den operativa temperaturen.



Figur 7. Uppmätta och simulerade operativa temperaturen.

Grafen visar att den uppmätta operativa temperaturen i vistelsezonen har nästan likartade temperaturvärden som simulerade operativa temperaturerna i IDA ICE. Av båda seriernas lineära trendlinjer kan man avläsa en stigande trend på operativ temperatur. Ur grafen kan även avläsas att de simulerade temperaturernas växling följer relativt bra de uppmätta temperaturens resultat. Skillnaden mellan uppmätta och simulerade operativa temperaturens medeltal är $-0,22$ °C.

5 DISKUSSION OCH SLUTSATS

I detta avsnitt presenteras en diskussion och analys av de uppmätta och simulerade resultaten.

Eftersom den operativa temperaturen direkt påverkas av medelstrålningstemperaturen och lufttemperaturen, är det viktigt att förstå hur olika värmelaster eller köldbryggor påverkar vistelsezonen. Solens värmelaster påverkar medelstrålningstemperaturen. I arbetsmätobjekt har rummet stora fönsterytor som gynnar solens värmelaster, vilka reflekteras från golv- och väggytor. Under mätperioderna kan man tydligt härleda dessa lasters inverkan på medelstrålningstemperaturen. Soliga dagar kan tydligt urskiljas från molniga eller regniga dagar. I mätningarna kan man dessutom urskilja situationer (figur 5), där medelstrålningstemperaturen är högre än lufttemperaturen och hur medelstrålningstemperaturen har höjt den operativa temperaturen.

Passivhusets sovrum var inte i användning under mätperioderna för att utesluta påverkan av inre värmelaster på mätningarna. Mätningarna visade dock växlande temperaturförhållanden i vistelsezonen. Detta illustreras i slutet av mätperiod 3 (bilaga 2). Av bilagan kan man avläsa att mellan 15–19.5 har solens direkta strålning på globen orsakat förhöjd medelstrålningstemperatur. Efter en diskussion med personerna bosatta i passivhuset, kunde man härleda att förändringarna berodde på att möbler tillfälligt placerats i det tidigare tomma rummet. Samtidigt omplacerades globtermometaren och lufttemperaturmätaren i rummets hörn närmare fönstret. Mätningarna hade varit mer exakta ifall luftens turbulenta rörelser i mätobjektet registrerats och möblernas inflyttning hade kontrollerats.

Arbetets syfte var att undersöka operativa temperaturer i ett energieffektivt passivhus. Undersökningsfråga 1 ämnade att svara på frågan: *uppfyller byggnadens inomhusklimat kvalitetsklassen S2 med hänsyn till byggnadens användningsändamål?* Undersökningarna visade att den operativa temperaturen i passivhusets vistelsezon ligger inom gränsen och uppfyller kvalitetsklassen S2 för småhus.

Den operativa temperaturen har en tydlig stigande trend närmare maximalgränsen (figur 6). Vid två punkter överstiger den operativa temperaturen det maximala gränsvärdet.

Detta kan vara en följd av att byggnadens huvudsakliga värmeenergi kommer från vedeldning. Då byggnadens varmvattencistern uppvärms, höjs även inomhustemperaturen. Utomhustemperaturens medelvärde förväntas också stiga efter mätperioden då våren och sommaren inleds, vilket ytterligare kan försämra den operativa temperaturen i vistelsezonen.

Undersökningsfråga 2 ämnade att svara på frågan: *hur skiljer sig resultaten från uppmätta resultat jämfört med simulerad dynamisk inomhuskomfort?* Simuleringarna i IDA ICE gjordes med klimatfil innehållande exakt uppmätt väderdata från den närmaste väderstationen. Då programmet tar i beaktande de verkliga väderförhållandena är simuleringen av operativ temperatur nära resultaten av uppmätt operativ temperatur. Skillnaden mellan den uppmätta operativa temperaturen och den simulerade operativa temperaturen i vistelsezonen var i medeltal $-0,22$ °C.

Slutligen kan konstateras att vistelsezonen i passivhuset uppfyller kraven för kvalitetsklass S2, god inomhuskvalitet. Det kan också konstateras att IDA ICE simuleringen har lyckats simulera de rådande temperaturförhållandena i passivhusets vistelsezon.

KÄLLOR

Asumisterveysohje, 2003, *Asumisterveysohje : Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät*, SOSIAAL- JA TERVEYSMINISTERIÖ, Helsinki, Tillgänglig: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/2003/14951>
Hämtad: 11.5.2019

EN ISO 7726:2001, *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*, 2001, European committee for standardization, Belgien.

Equa Simulations Oy, 2019, *IDA Indoor Climate and Energy*. Tillgänglig: <https://www.equa.se/fi/ida-ice> Hämtad: 30.5.2019

Investopedia, 2019, *Simple Moving Average - SMA Definition*. Tillgänglig: <https://www.investopedia.com/terms/s/sma.asp> Hämtad: 27.5.2019

Kazkaz, M., Pavelek, M., 2013, OPERATIVE TEMPERATURE AND GLOBE TEMPERATURE. *Engineering MECHANICS*, Volym. 20, 2013, No. 3/4, s. 319–325. Tillgänglig: http://www.engineeringmechanics.cz/pdf/20_3_319.pdf Hämtad: 27.2.2019

Liljeström, K., Vuolle, M., 2014, Kesäajan huonelämpötilojen hallinta, *Rakentajan kalenteri*, 2014, s. 79-87. Tillgänglig: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK140303.pdf> Hämtad: 29.4.2019

Nieminen, J., Lylykangas, K., 2009, PASSIIVITALON MÄÄRITELMÄ : OHJEITA PASSIIVITALON ARKKITEHTISUUNNITTELUUN. s. 2. Tillgänglig: http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf Hämtad: 20.5.2019

Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet, 2007, *RAKENNUSTEN SISÄILMASTON SUUNNITTELUPERUSTEET*, Rakennustieto Oy, Tillgänglig: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2005-10417> Hämtad: 5.5.2019

Sisäilmastoluokitus 2018, 2018, *Sisäilmastoluokitus 2018 : Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset*. Rakennustieto Oy, Tillgänglig: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299>. Hämtad: 5.5.2019

Simone, A., Babiak, J., Bullo, M., Landkilde, G., W. Olesen, B., 2007. *Operative temperature control of radiant surface heating and cooling systems*, Proceedings of Clima 2007 Wellbeing Indoors. Tillgänglig: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB8368.pdf>. Hämtad: 27.2.2019

Tibenham, R., 2018, Buildings need better overheating models to guarantee future comfort, *Passive House Plus : Sustainable Building*, volym 28, UK, s 16. Tillgänglig: https://issuu.com/passivehouseplus/docs/ph_uk_issue_28_digital Hämtad: 28.2.2019

Tuomaala, P., 2013, Ihmisen lämpöaistimuksen uusi arviointimenetelmä, *Rakentajan kalenteri*, 2013, s. 105. Tillgänglig: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130303.pdf> Hämtad: 29.4.2019

Vinha, J., 2015, Rakennusfysiikan professori kritisoi lähes nollaenergiarakentamisen ehdotusta puutteelliseksi, *Rakennuslehti*. Tillgänglig: <https://www.rakennuslehti.fi/2015/02/487051/> Hämtad: 30.5.2019

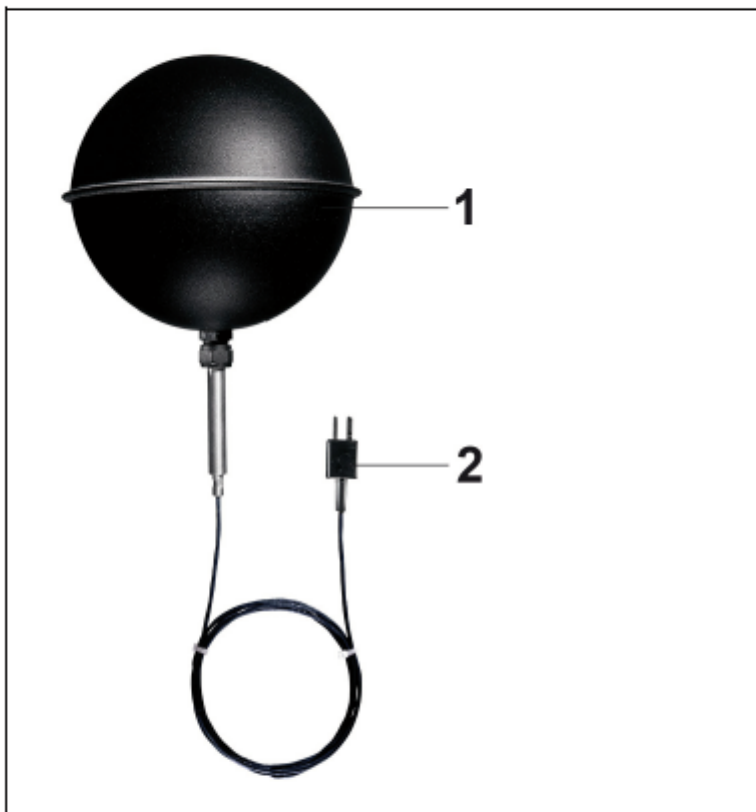
BILAGOR

Bilaga 1/1(2) Testo globtermometare

Application

The globe thermometer 0602 0743 (D = 150 mm) is used to measure the radiation temperature as per ISO 7243, ISO 7726, DIN EN 27726, DIN 33403.

Overview



- 1 Measuring probe
- 2 Connector, TC

Technical data

Feature	Values
Measuring range	0 to +120 °C
Accuracy at 22 °C ±1 digit	Type K thermocouple, class 1
Adjustment time	approx. 30 min

Bilaga 1/2(2) Testo 176 T4 datalogger.

testo 176 T3

testo 176 T3, 4-channel temperature data logger in metal housing with external sensor connection (TC Type T, Type K and Type J) incl. wall holder, lock, batteries and calibration protocol

Part no. 0572 1763



General technical data

Channels	4 x external
Battery type	1 x Lithium (TL-5903)
Battery life	8 years at 15 min. meas. rate
Operating temperature	-20 to +70 °C
Storage temperature	-40 to +85 °C
Dimensions	103 x 63 x 33 mm
Protection class	IP65
Measuring rate	1 s - 24 h
Memory	2 mio. measurement values

testo 176 T4

testo 176 T4, 4-channel temperature data logger with external sensor connections (TC Type T, Type K and Type J) incl. wall holder, lock, batteries and calibration protocol

Part no. 0572 1764



Lateral connection of Mini USB cable and SD card

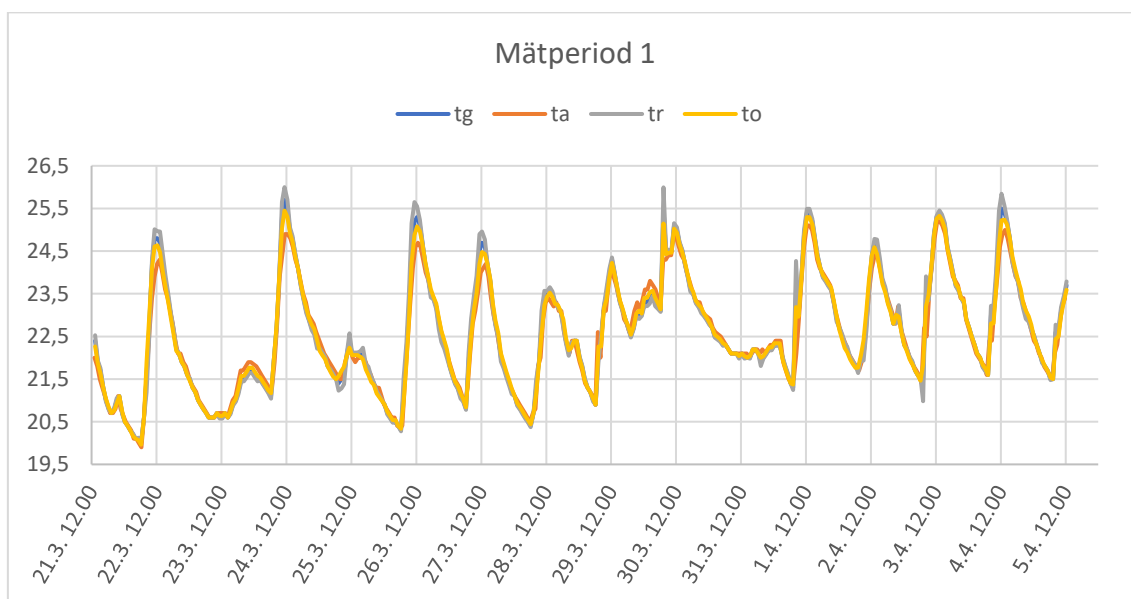


Probe connection at lower end of housing for four thermocouple probes (Type T, K and J)

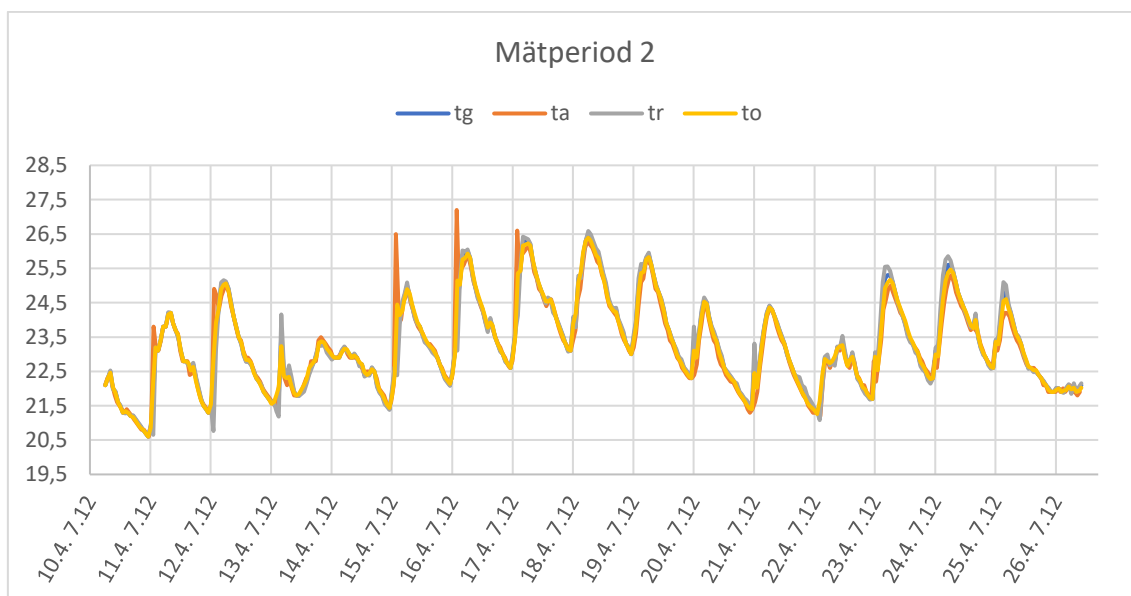
Sensor types

	Type T (Cu-CuNi)	Type K (NiCr-Ni)	Type J (Fe-CuNi)
Measuring range	-200 to +400 °C	-195 to +1000 °C	-100 to +750 °C
Accuracy ±1 digit	±1 % of m.v. (-200 to -100.1 °C) ±0.3 °C (-100 to +70 °C) ±0.5 % of m.v. (+70.1 to +400 °C)	±1 % of m.v. (-195 to -100.1 °C) ±0.3 °C (-100 to +70 °C) ±0.5 % of m.v. (+70.1 to +1000 °C)	±0.3 °C (-100 to +70 °C) ±0.5 % of m.v. (+70.1 to +750 °C)
Resolution	0.1 °C	0.1 °C	0.1 °C

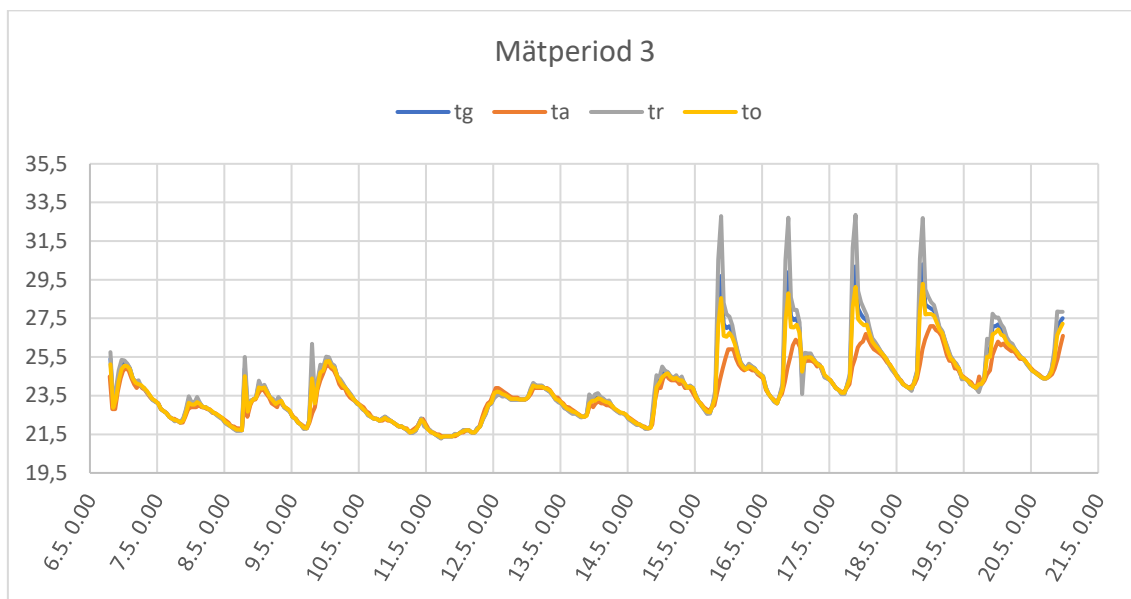
Bilaga 2/1(3) Resultat från mätperiod 1. (23.3.2019 – 5.4.2019)



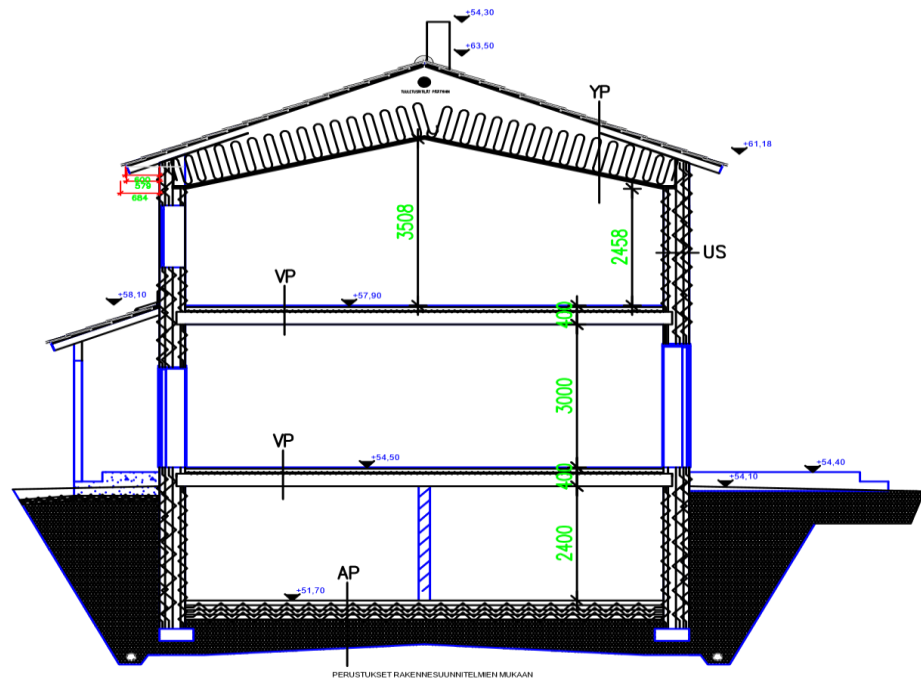
Bilaga 2/2(3) Resultat från mätperiod 2. (10.4.2019 – 27.4.2019)



Bilaga 2/3(3) Resultat från mätperiod 3 (6.5.2019 – 20.5.2019)



Bilaga 3/1(3) Arkitekturritningar, materialbeskrivning



LEIKKAUS A-A

YP
 Betonikattotiili
 Alusruoteet 28 mm
 Rimointus 22mm
 Aluskate
 NR-ristikot
 +Tuuletusväli > 100mm
 +Puhallusvilla 700mm
 Höyrynsulku
 Koolaus 2*22x100
 Kipsilevy 13mm
 Tasoite
 Pinnoite
 $u = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Ikkunat $u = 0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Ovet $u = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Ikkunapinta-alalaskelma: 31,68m²
 =15,1% kerrosalasta

US (480mm)
 Pintarappaus
 Pohjarappaus + verkko
 FinnEPS-Harkko 350mm
 (EPS 80mm
 + TERÄSBETONI 140mm
 + EPS 140mm)
 EPS100mm
 Kipsilevy 13mm
 Tasoite
 Pinnoite
 $u = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$
 VP1+2 (400mm)
 Pintamateriaali 30mm
 Teräsbetoni 80mm
 EPS Lattia 25mm
 Ontelolaatta 265mm

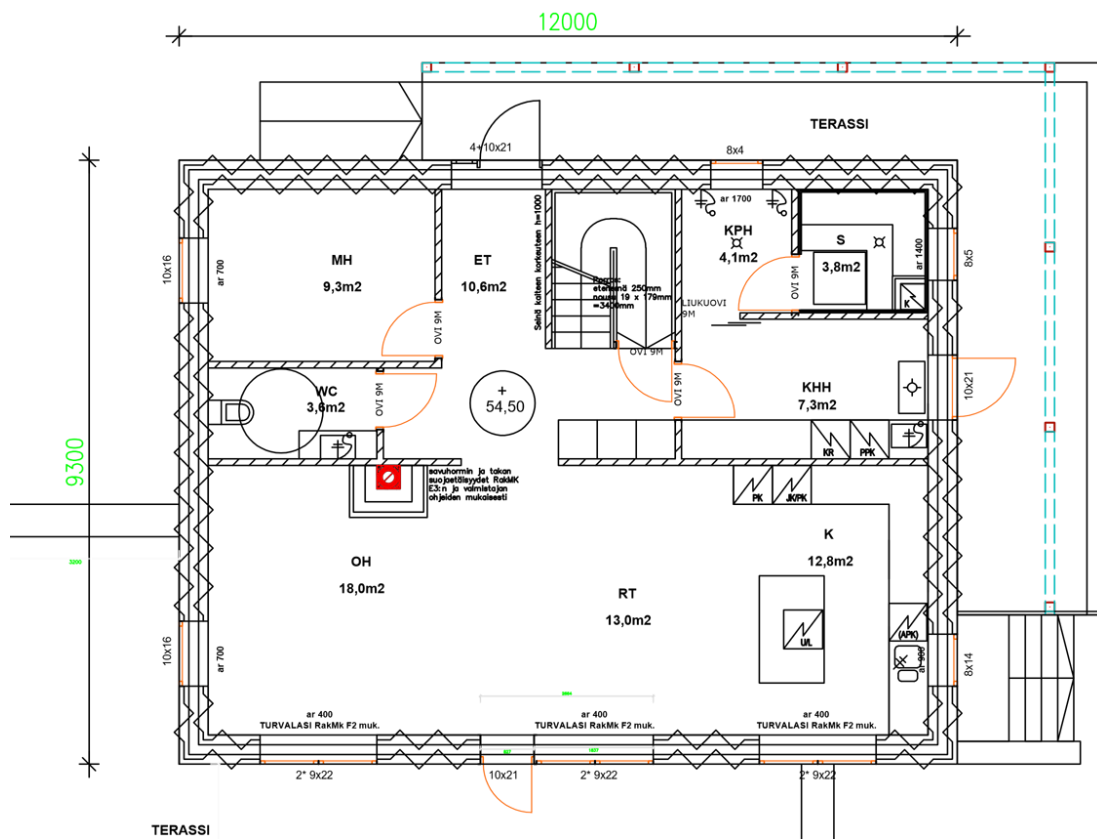
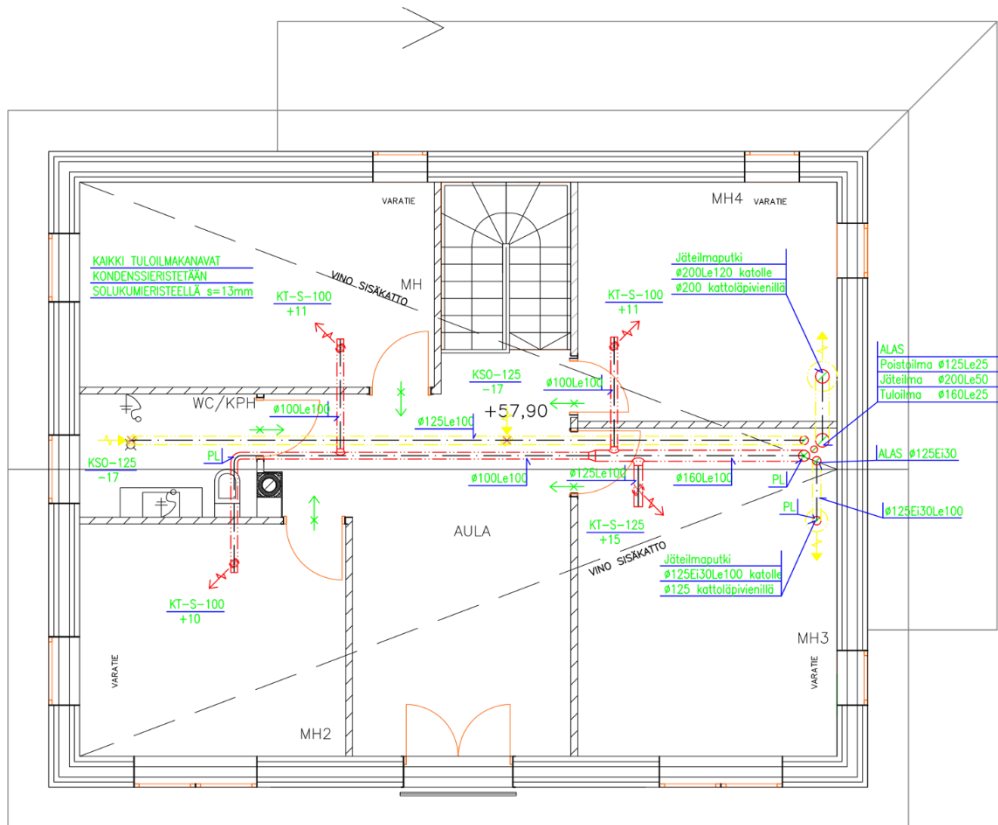
AP
 Lattian pinnoite 20mm
 Teräsbetoni 80mm
 EPS 300mm
 Kapillaarin estävä sora/sepeli min.250mm
 $u = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$

VS1 (KANTAVAT, 230mm)
 Pinnoite
 Tasoite
 Kipsilevy
 FinnEPS-harkko 200mm
 (EPS 50mm
 +teräsbetoni 100mm
 +EPS 50mm)
 Kipsilevy
 Tasoite
 Pinnoite

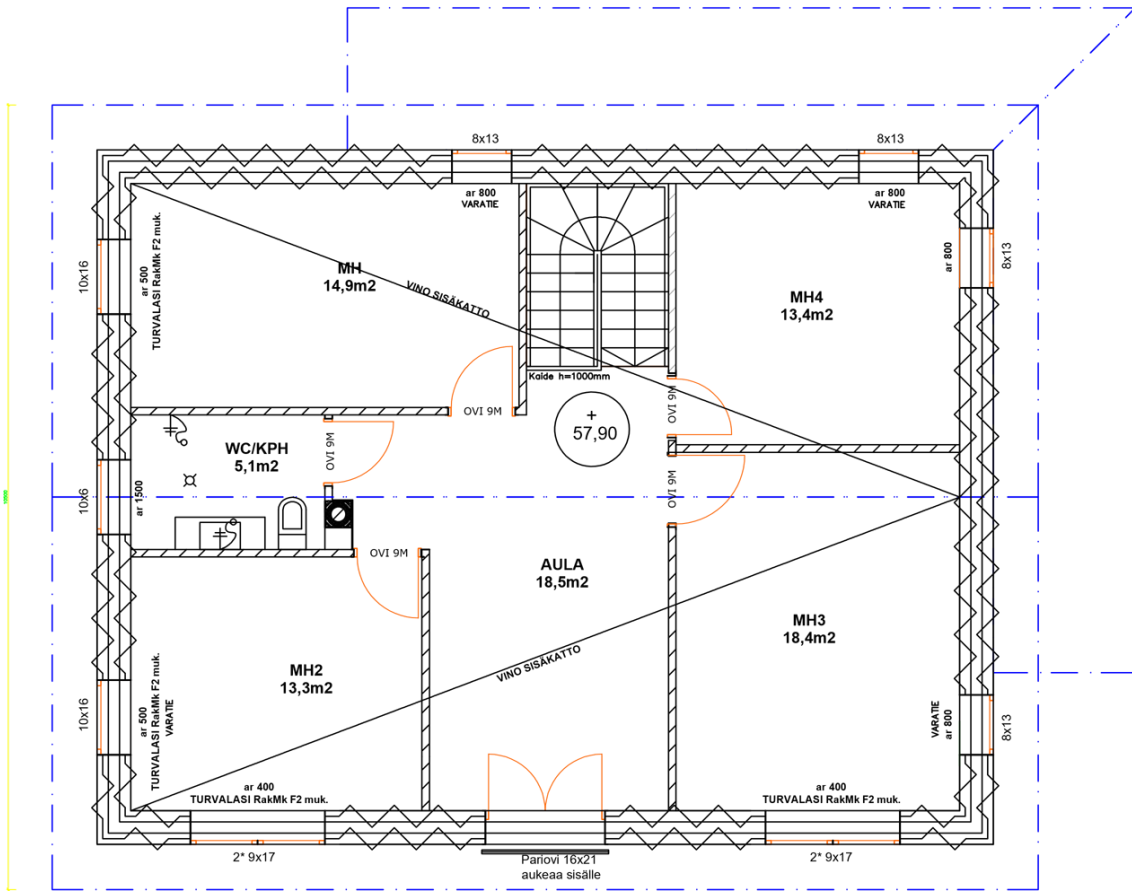
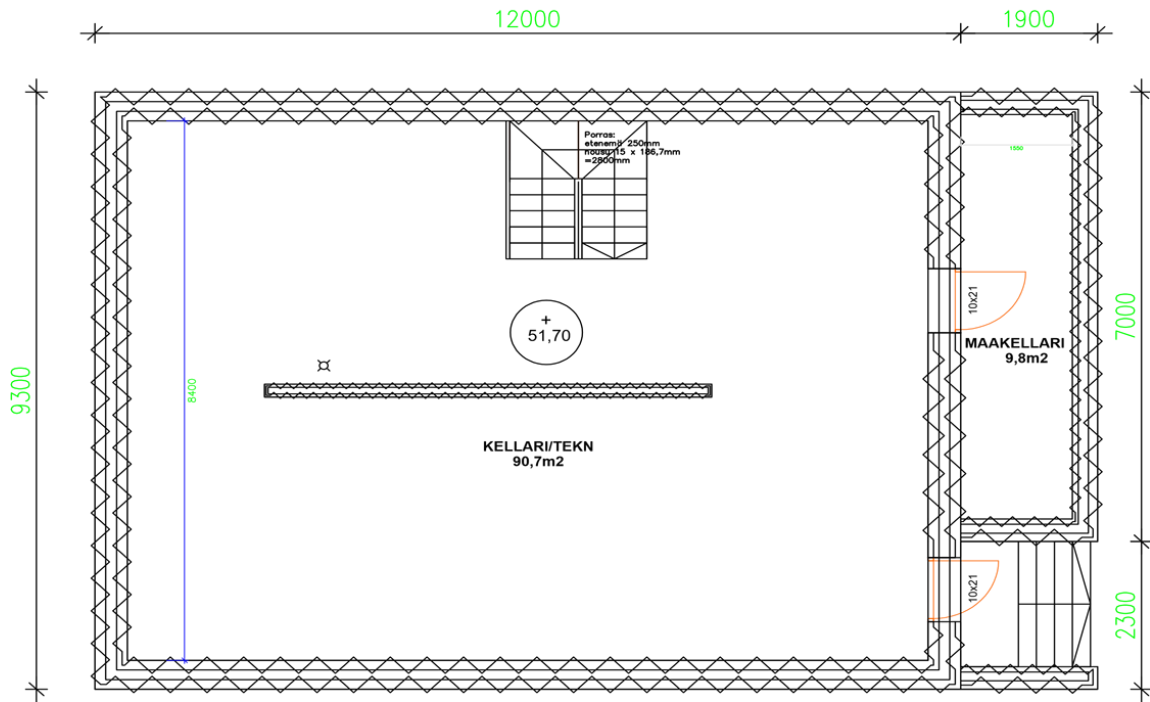
VS2 (92mm)
 Pinnoite
 Tasoite
 Kahi-tiili
 Tasoite
 Pinnoite

KOSTEIDEN TILOJEN SEINÄT
 VESIERISTYS C2:n MUKAAN

Bilaga 3/2(3) Bottenritningar luftkanalsystem 2. Våningen och källaren.



Bilaga 3/3(3) Bottenritningar 1- och 2 våningen.



Bilaga 4 Beskrivning av Vallox 145 MV

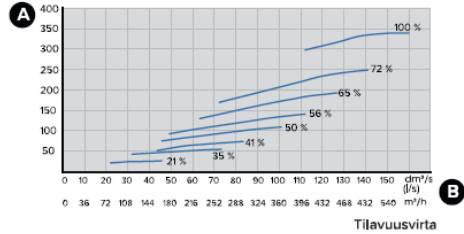
TEKNISET TIEDOT

Nimikkeet Vallox 145 MV R Vallox 145 MV L	Tuotenumerot 3475650 3475750	LVI-numerot 7912049 7912050	Lisälämmityspatteri		Sähkö 1500 W
Ilmamäärät	Tuloilma Poistoilma	150 l/s, 540m ³ /h, 100 Pa 155 l/s, 558m ³ /h, 100 Pa	Puhaltimet	Tuloilma Poistoilma	0,175 kW 1,25A 0,175 kW 1,25A
Sähköliitäntä		230 V, 50 Hz, 11,9 A pistotulppa	Hyötysyhteet	Vuosihyötysuhde Tuloilmahyötysuhde Ominais sähköteho SFP	75 % A+ 85,1 % 0,9 (75l/s) A
Kotelointiluokka		IP 34	Suodattimet	Tuloilman hienosuodatin Tuloilman karkeasuodatin Poistoilman karkeasuodatin	ISO ePM1 ≥ 50 % ISO Coarse > 75 % ISO Coarse > 75 %
Jalkilämmityspatteri		Sähkö, 900 W	Lämmöntalteenoton ohitus		Automaattinen
Etuilämmityspatteri		–	Paino		88,0 kg
			Mitat (leveys x korkeus x syvyys)		717 x 748 x 578 mm

PUHALTIMEN OTTOHOT

TULO-/POISTOILMAMÄÄRÄT

Sähköteho (W)



SFP-luku (Specific Fan Power)
suositusarvo <1,8 (kW m³/s)

$$SFP = \frac{\text{Ottotoho (yht.) (W)}}{\text{Ilmavirta (max) (dm}^3\text{/s)}}$$

— poistoilma
- - - - - tuloilma

Painehäviö kanavistossa. Kokonaispaino (Pa)

