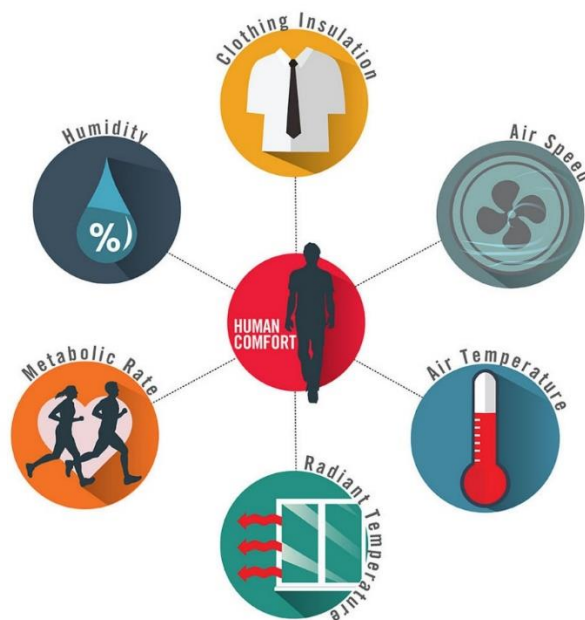


Termisk komfort med golvvärme eller luftvärme

Thermal comfort with floor heating or air heating



Författare:

Filip Boåsen

Stiven Khaled

Handledare:

Adnan Ploskic KTH, Bravida AB

Sture K M Holmberg KTH

Uppdragsgivande företag:

Bravida Sverige AB, BFD Building flow design AB

Godkännandedatum:

2018-06-28

Examensarbete

15 HP Kandidatsexamensarbete

Examinator:

Sture Holmberg KTH ABE

Sammanfattning

Då varje människa tillbringar större del av dagen inomhus så är det viktigt att ha en bra termisk komfort, efter som den termiska komforten påverkar upplevelsen på jobbet i hemmet eller i skolan. Människor kan påverkas negativt när den termiska komforten inte uppfyller kraven.

Syftet med undersökningen är att undersöka hur lågtemperaturssystemens förmåga är med avseende på termisk komfort och om de uppfyller kraven. Undersökningen använder beräknings data från tidigare utfört arbete då beräkningarna valideras av jämförelse mot andra undersökningar.

I detta arbete undersöker vi skillnader mellan golvvärme och luftvärme, där vi ser hur de olika systemen jämförs mot varandra under kontrollerade förhållanden med avseende på termisk komfort. De olika systemen som undersöks är luftvärme som är placerad under tak, luftvärme placerad under ett fönster, golvvärme som är jämnfördelad över golvet och golvvärme jämnfördelad med extra slingor under fönster.

I undersökningen utförs en litteraturstudie som kommer att ligga till grund för vad ämnet för lågtemperatur innefattar samt hur de olika systemen fungerar och hur dessa kan användas som lågtemperaturssystem.

Då i denna undersökningen så beaktas operativa temperaturen PMV, PPD och dragindex för att få en bra uppfattning hur den termiska komforten upplevs med avseende på golvvärme och luftvärme.

Undersökningen har gett goda resultat då skillnaden i termisk komfort mellan de olika systemen har varit minimala och uppfyllt alla krav enligt BBR. Resultaten har jämförts mot tidigare gjorda undersökningar av lågtemperaturteknik och resultaten sammanfaller bra med små avvikelser.

För att välja ett av de fyra systemen som har visats bättre resultat med hänsyn på termisk komfort så har golvvärme med extra slingor under fönster bevisats vara det bättre alternativet, då PMV och PPD samt drag ligger under rekommendationen för termisk komfort.

Nyckelord: Termisk komfort, Lågtemperatur teknik, Energi, Exergi, Luftvärme, Golvvärme, PPD, PMV, DR-index.

Abstract

When most people spend a larger part of the day indoors, it is important to have a good thermal comfort, as the thermal comfort affects the experience that you perceive when you are at work, at home or at school. This may then affect the health if the thermal comfort does not meet the requirements.

The purpose of the survey is to investigate low temperature system performance in terms of thermal comfort and if it meets the requirements. The survey uses calculation data from previously performed surveys, as the calculations are validated by comparison with other surveys.

In this survey we explore the differences between floor heating and air heating, where we look at how the different systems are compared to each other under controlled conditions regarding thermal comfort. The different systems under investigation are air heating placed on the wall, air heating placed under a window, floor heating evenly distributed over the floor and floor heating that has extra loops under windows.

The study will carry out a literature study that will be based on the topic of low temperature and how the different systems work and how they can be used at low temperatures.

In this survey, the operating temperature PMV, PPD and DR-index are considered to get a good idea of how thermal comfort is experienced regarding floor heating or air heating.

The survey has given good results, since the difference in thermal comfort between the different systems has been minimal and fulfilled all BBR requirements. The results have been compared to previous studies of low temperature technology, as the results coincide well with minor deviations.

To choose one of the four systems that have been shown superior in terms of thermal comfort, floor heating with extra loops under windows has been proven to be the better option, as PMV and PPD as well as values are below the recommendation for thermal comfort.

Keywords: Thermal Comfort, Low Temperature Technology, Energy, Exergy, Air Heating, floor Heating, PPD, PMV, DR Index.

Förord

Denna rapport presenterar vårt examensarbete på 15 hp på skolan för arkitektur och samhällsbyggnad institutionen för Bygghälsa byggteknik och design vid Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm

Detta arbetet utförs i samarbetet med KTH's avdelning för strömnings- och klimatteknik samt Bravida Sverige AB och Building Flow Design AB då vi vill speciellt tacka

Adnan Ploskic KTH, Bravida AB vår handledare som har gett oss många bra idéer och goda råd.

Sture K M Holmberg KTH, Building Floor Design AB vår handledare som anförtrott oss detta examensarbete och initial ide om examensarbete.

Ordförklaring

PPD – index	Predicted percentage of Dissatisfied, PPD är förväntat procent missnöjda vilket enligt matematiskt framtaget visar procentuellt antalet missnöjda.
PMV -index	Predicted Mean Vote , PMV är förutspått utlåtande enligt matematisk modell av en upplevelse i en viss omgivning.
Dragindex	Förutspådd andel missnöjda på grund av drag.
Drag	Den oönskade lokala nedkylningen av kroppen orsakad av luftrörelser.
Operativ temperatur	Medelvärde av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur.
Met	Metabolism
Clo	Enhet som används för att uttrycka den värmeisolering som tillhandahålls av kläder
Exergi	Exergi är det maximalt tillgängliga mekaniska arbetet under en termodynamisk process, som leder till att systemet kommer i termodynamisk jämvikt med en värmereservoar.
Lågtemperaturssystem	Uppvärmningssystem som använder låg framledningstemperatur.
Termisk komfort	Det sinnesstämning som uttrycker tillfredsställelse med den termiska miljön och bedöms av subjektiv utvärdering.
Lufthastighet	Hastigheten av luftrörelsen vid en punkt, utan hänsyn till riktning.
Luftfuktighet	Mängden fukt som kan lagras i luften vid en viss temperatur
Medelstrålningstemperatur	Medelvärde på omgivande ytors strålningstemperatur
Värmekapacitet	Är ett ämnes förmåga att lagra värme.
Värmeledningsförmåga	Egenskapen att leda värme hos ett visst ämne
Turbulensintensitet	Förhållandet mellan standardavvikelsen för lufthastigheten och medelhastigheten

Nomenklaturlista

f_{cl}	Kläders areafaktor	
F_n	Vinkelförhållande mellan beräkningspunkt och till yta.	
h_c	Konvektiv värmeöverföringskoefficient	$W/(m^2 \cdot K)$
I_{cl}	Clo kläders isolerandeeffekt	Km^2/W
M	Metabolismen	W/m^2
P_a	Vattenånga partialtryck	Pa
t	Lufttemperatur	$^{\circ}C$
t_{cl}	Klädytemperatur	$^{\circ}C$
T_n	Yttemperatur respektive omgivande yta.	$^{\circ}C$
t_r	Medelstrålningstemperatur	$^{\circ}C$
T_u	Turbulensintensitet	%
T_o	Operativ temperatur	$^{\circ}C$
v	Lufthastighet	m/s
v_{ar}	Lufthastigheten	m/s
W	Mekanisk kraft	W/m^2

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	12
1.1	Bakgrund	12
1.2	Syfte och mål	12
1.3	Frågeställning	12
2	Metod	13
2.1	Avgränsningar	13
3	Nulägesbeskrivning	13
4	Teoretisk referensram	14
4.1	termisk komfort	14
4.1.1	Vad är termisk komfort	14
4.1.2	Operativ temperatur	16
4.1.3	Lufttemperatur och hastighet	17
4.1.4	Luftfuktighet	17
4.1.5	Kläder och aktivitet	18
4.1.6	Dragindex	19
4.2	Den termiska komfortens parametrar	20
4.3	Lågtemperaturssystem	21
4.4	Luftuppvärmning	21
4.5	Golvvärme	22
4.5.1	Introduktion	22
4.6	Boverket	23
4.6.1	Vad innebär vistelsezonen?	23
4.6.2	Krav på termisk komfort	25
5	Genomförandet	26
5.1	Beräkningsgång	26
5.1.1	Förutsättningar vid beräkning	27
6	Resultat	31
6.1	Resultat tabeller	31
6.2	Resultat diagram	33
7	Analys	41
7.1	Validering mot andra undersökningar	43
8	Slutsatser	45
9	Rekommendationer	45
10	Referenser	46

Bilagor

Bilaga 1 – DR indexberäkning

Bilaga 2 – Temperaturskillnad med avseende på höjd

Bilaga 3 – Operativ temperatur, PMV och PPD diagram för luftvärme och golvvärme vid olika luftomsättningar

1. INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Termisk komfort är ett ord som man inte använder varje dag men som har stor betydelse på hur vi trivs inomhus. Termisk komfort definieras som ett medelvärde av luftstemperatur och omgivande yrors strålningstemperatur. Vid bestämning av den termiska komforten tas det hänsyn till kläder, kön, aktivitet samt luftens temperatur hastighet och relativ fuktighet. Detta faller då inom ramarna som en mycket viktig aspekt när man dimensionerar och konstruerar inomhusmiljön. Vi spenderar ca 90% av vår tid inomhus idag och då om vi är i hemmet på kontoret eller i skolan så krävs ett gott inomhusklimat för att vi skall kunna trivas.

I dagens bostäder krävs mindre uppvärmning när konstruktionen blir bättre vilket medför att lägre temperaturer kan användas för uppvärmning av bostaden. Detta gör det intressant att se hur lågtemperatur teknik kan implementeras för uppvärmning av bostäder samt hur den termiska komforten upplevs.

Dagens intensiva energidebatt bidrar till att det är intressant att dra ned på energiförbrukningen samt att börja använda uppvärmningssystem som nyttjar en energikälla som har ett lägre exergivärde och som uppfyller kraven för termiska komforten i bostaden. Detta medför olika system där man kan använda sig av lågtemperaturssystem då det gäller att cirkulera låga temperaturer i radiatorer, golvvärme eller då att värma den ingående luften.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Att undersöka hur man kan använda sig av lågtemperaturssystem för uppvärmning av bostäder och om det är erforderligt att uppfylla den termiska komforten i bostaden.

Vikten av undersökningen kommer att läggas på litteraturstudie och undersöka PMV, PPD, operativ temperatur och dragindex och att dessa parametrar klarar av dagens rekommendationer.

1.3 FRÅGESTÄLLNING

Skillnaden mellan luftvärme och golvvärme är hur uppvärmningen sker av ett utrymme. Luftvärme distribuerar värme via konvektion och för golvvärme sker det via värmestrålning. Detta har fått oss att ta ställning till golvvärme för att det ger en jämnare värmespridning i lokalen och ger en mer homogen temperaturskillnad. Vid luftvärme sker uppvärmningen av varmluft som introduceras med inneluften som kan leda till en mera heterogen blandning av värmen. Skillnaden mellan dessa systemen av uppvärmning har intresserat oss att undersöka följande med avseende på termisk komfort.

- Uppfyller valet av uppvärmningssystem en god termisk komfort?
- Uppfyller lågtemperaturssystem samma krav för termisk komfort?
- Vilket av de valda systemen uppfyller den termiska komforten bättre?

2 METOD

Vi har börjat med en litteraturstudie med åtanke att samla in information på de olika systemen för att förstå hur de fungerar och hur man implementerar dessa system. Vi har utfört beräkningar på de olika systemen med hjälp av ett Excel program för att se hur de uppfyller kraven för termisk komfort, där vi beaktat den operativa temperaturen, PPD, PMV och dragindex för att avgöra hur människan uppfattar den termiska komforten i rummet. Detta utförs från tidigare utförda experiment där vi nyttjar oss av dess mätdata. Genom litteraturstudien validerar vi vårt arbete genom jämförelse av tidigare genomförda undersökningar av lågtemperaturssystem.

2.1 AVGRÄNSNINGAR

De avgränsningar vi har gjort är att hålla oss till golvvärme och luftvärmesystem som värmer upp ett utvalt rum. Detta kommer att innefatta hur upplevelsen av den termiska komforten varierar på grund av de två olika systemen.

Vi har tänkt oss att begränsa oss till klimatzon 3 vilket innefattar Stockholmsregionen.

Vi har valt att inte kolla på energianvändning eller några ekonomiska skillnader mellan systemen.

3 NULÄGESBESKRIVNING

I nu läget har lågtemperaturssystem bevisats klara uppvärmnings kraven i passivhus då det täcker de värmeförluster som uppstår.

Det är intressant att se hur lågtemperaturssystem fungerar med avseende på termisk komfort. Detta utförs i samarbete med KTH's avdelning för strömnings- och klimatteknik som har fått i uppdrag att undersöka nya lösningar på energisnålare uppvärmningssystem.

Detta arbete utförs även i samarbete med Bravida Sverige AB och Building Flow design AB.

Detta visar att för de som deltog i undersökningen av Levin och Kumlin (2015) på uppdrag av Stockholmshem är majoriteten nöjda med den termiska komforten. Byggnaden har uppvärmningssystem som drivs av låg temperaturteknik. Detta tyder att den termiska komfort är bra i bostäderna, men att den termiska komforten är omöjlig att uppnå för all då många människor tycker olika vad de anses som att vara termisk komfort.

4 TEORETISK REFERENSRAM

4.1 TERMISK KOMFORT

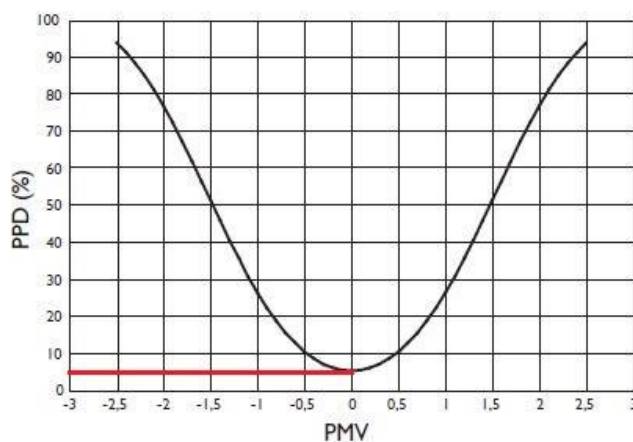
4.1.1 Vad är termisk komfort

Termisk komfort är en term som används när man redogör för den termiska upplevelsen i ett rum. Detta innefattar då att man tar hänsyn till kläder, aktivitet, luftens temperatur och hastighet, omgivande ytors temperatur samt luftens fuktighet.

För att ta fram ett mätbart system av termisk komfort så framtas PMV (predicted mean vote) och PPD (predicted percentage of dissatisfied). PMV visar ett matematisk utlåtande hur den utsatte personen upplever temperaturen efter följande 7-gradig skala vilket representerar upplevelse av den termiska komforten se tabell 4.1. PPD -index är ett matematiskt samband baserat på PMV vilket representerar procentuellt antal missnöjda av den termiska komforten. Då PMV -indexet och PPD -indexet är framtagna enligt formlerna (1) till (5) se s. 14 vilket tydliggör sambandet mellan PMV och PPD. Detta visar hur den termiska komforten upplevs i ett rum och framhäver att det inte finns en termisk komfort som passar alla. Det kommer alltid att vara 5% missnöjda av den termiska komforten se figur 4.1 (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Tabell 4.1 Detta visar den 7-gradiga skalan där man graderar upplevelsen av det termiska klimatet. (Warfvinge & Dahlblom, 2010, s.10)

PMV-index	Upplevelse
+3	Hett
+2	Varmt
+1	Lite varmt
0	Neutralt
-1	Lite kyligt
-2	Kyligt
-3	Kall



Figur 4.1 Sammankoppling mellan PMV och PPD (Beswic, u.å)

För att beräkna PMV och PPD används följande formler enligt SS-EN ISO 7730:2006.
Vid beräkning av PMV så används formler (1) till (4)

$$PMV = [0,303 * \exp(-0,036 * M) + 0,028] * ((M - W) - 3,05 * 10^{-3} * [5733 - 6,99 * (M - W) - Pa] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - Pa) - 0,0014 * M * (34t) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t)) \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * (3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t)) \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t|^{0,25} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * l_{cl} & \text{for } l_{cl} \leq 0,078 m^2 * \frac{K}{W} \\ 1,05 + 0,645 * l_{cl} & \text{for } l_{cl} > 0,078 m^2 * \frac{K}{W} \end{cases} \quad (4)$$

Vid beräkning av PPD så används formel (5) enligt SS-EN ISO 7730:2006.

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (5)$$

4.1.2 Operativ temperatur

Temperaturen i ett rum kan variera beroende var man positionerar sig i rummet, detta är på grund av luftens och den omgivande ytornas värmestrålningstemperatur. Detta leder till att den upplevda temperaturen varierar beroende på hur rummet är uppbyggt.

Lufttemperatur visas bara luftens temperatur men vid operativ temperatur menas den temperatur som vi upplever i ett rum. Vid beräkning av den operativa temperaturen så beaktar man de omgivande ytornas temperatur samt luftens temperatur då den operativa temperaturen blir ett medelvärde av luftens och omgivande ytors temperatur.

För beräkning av den operativa temperaturen så behövs medelstrålningstemperaturen t_r som fås enligt formel 6.

$$t_r = F_1 * T_1 + F_2 * T_2 + \dots + F_n * T_n \quad (6)$$

Medelstrålningstemperaturen definieras då av ytornas yttemperaturer och som beror på vinkeln förhållandet mellan den angivna beräkningspunkt och angiven yta. Efter beräkning via formel ovan så fås ett viktat medelvärde av strålningstemperaturens bidrag. Detta ger då ett bidrag till hur upplevelsen uppfattas då det kan ge bidrag till att värma den uppfattade temperaturen eller sänka den.

Efter beräknad medelstrålningstemperatur så kan man beräkna den operativa temperaturen T_0 enligt formel 7 (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

$$T_0 = \frac{t+t_r}{2} \quad (7)$$

4.1.3 Lufttemperatur och hastighet

Luftens temperatur och hastighet spelar in i den termiska komforten då den påverkar uppkomsten av lokala drag eller vertikala ojämnheter i temperaturen.

Vid mekaniskventilation har lufthastigheten stor betydelse då den ger upphov till att det kan bildas drag, vilket kan ge en lokal nedkylning av kroppen som leder till upplevelse av obehag.

Sådana problem upplevs då medelhastigheten överstiger 0,15 m/s samtidigt som den operativa temperaturen ligger mellan 20–24 grader Celsius.

Olika orsaker till att det kan bli stora luftrörelser i rum kan vara att tilluftsdon eller utluftsventiler inte är injusterade korrekt som skapar en hög inblåsning hastighet. Detta gör att det upplevs ett drag i rummet. Andra orsaker kan vara att det är för kall tilluft, felplacerade luftspridare, för tätt placerade takdon. Alla dessa problem kan göra att det bildas drag i rummet.

Lägre lufttemperaturer kan orsaka drag lättare än högre. Det beror på att rent fysikaliskt vill kallare luften sjunka nedåt och skapar en cirkulation i luften. Detta kan tydligt uppstå vid fönsterytor där det oftast bildas kallras vilket kan kompenseras med högre inomhustemperatur. Dessa problem är mer betydande på vinterhalvåret då kylan är dominerande. På sommaren kan det vara önskvärt att ha högre lufthastigheter som hjälper till med kroppens värmeavgivning.

Lufttemperatur och lufthastigheten har stor anknytning med varandra vilka är direkt sammankopplade med PPD-index som visar missnöjdheten hos människor (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

4.1.4 Luftfuktighet

Luftfuktighetens inverkan är inte lika omfattande och avgörande för den termiska komforten vid lägre lufttemperaturer som för högre lufttemperaturer. Vid högre lufttemperaturer och hög RF så kan motverkning av kroppens svettning förhindra värmeavgivningen från kroppen detta är inget problem förens vid 100% RF och 36 °C (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

4.1.5 Kläder och aktivitet

Vid bedömning av termisk komfort har kläder en påverkande roll vilket agerar som en isolering av kroppens värme. För att underlätta bedömningen av den termiska komforten så skall alla ha samma kläder då olika kläder har olika isolerings effekt. Vid undersökning av termisk komfort kategoriseras olika kläder med hjälp av begreppet clo.

Clo har definitionen att 1 clo är vad som motsvarar mängd kläder för en person att uppleva termisk komfort vid sittande arbete och en operativ temperatur av 20 °C (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Ur värmeisoleringens synpunkt motsvarar 1 clo 0,155 Km²/W

Tabell 4.2 Visar olika clo-värden för olika klädselkombinationer (Warfvinge & Dahlblom, 2010, s.2).

Klädsel	Isolerförmåga (clo)
Naken	0
Tropiskklädsel	0,3
Lätt sommarklädsel	0,5
Tunn arbetsklädsel	0,7
Normal inomhusklädsel	1,0
Kraftig inomhusklädsel	1,5
Polarklädsel	4

Människor som är i rörelse alstrar värme och detta bidrar till uppvärmningen i ett rum. En människa kan alstra från 60 W/m² upp till 450W/m² beroende på aktiviteten. Kroppsvärmen överförs då via konvektion (40 %), värmestrålning (40%), avdunstning (15%) samt ledning (5%). Då dessa procentuella satser varierar beroende på vilken aktivitet som utförs. Detta leder till att utöver teknisk uppvärmning av ett rum så bidrar människorna i rummet med en liten del av uppvärmningen.

Vid värmealstring används enheten met vilket representerar metabolismen, där 1 met motsvarar 60 W/m² hudyta. Vid aktivitet omsätts högst 25% av energin till mekaniskt arbete och resten blir värme. Detta tas då hänsyn till vid bestämning av termisk komfort (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Tabell 4.3 Visar olika aktiviteter och deras motsvarighet i met (Warfvinge & Dahlblom, 2010, s.4).

Aktivitet	Värmealstring, met	Värmealstring, W
Vila, sittande	1	105
Skrivbordsarbete	1,2	125
promenera i 5km/h	3,2	320
Löpning (8,5 km /h)	7,4	740

4.1.6 Dragindex

Det var år 1987 Fanger och Melikov publicerade en artikel från Danmarks tekniska universitet som handlade om dragindex. Studierna visar ett samband mellan upplevt drag och luftens temperatur, luftens medelhastighet och turbulens.

Sambandet beskrivs av följande formel:

$$DR = (34 - t) * (v - 0,05)^{0,62} * (0,37 * v * Tu + 3,14) \quad (8)$$

Formeln beskriver antalet missnöjda människor på grund av drag som innebär oönskad lokal kylning av kroppen som luftrörelse bidrar till.

Under 90 talet gjordes ett arbete med att få fram 3 kategorier av klimatet inomhus i ventilerade byggnader. Kategorierna delas in enligt bild nedan. Olika människor upplever drag på olika sätt, och mätningar kan vara till stor hjälp för att tex jämföra lägenheter eller arbetsplatser med varandra (Swema AB, 2018).

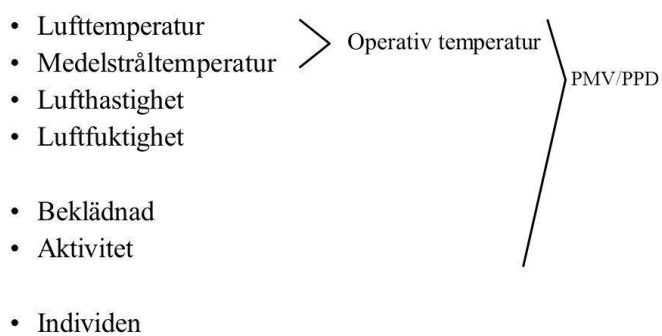
Tabell 4.4 Visar olika kategorier på dragindex (Swema AB, 2018).

Kategori	DR % Dragindex
A	<15%
B	<20%
C	<25%

4.2 DEN TERMISKA KOMFORTENS PARAMETRAR

När alla faktorer har tagits hänsyn till så kan bedömningen av ett rums termiska komfort göras. Det beror på många faktorer som kan fastställas via riktvärden och beräkningar. Dock har alla sin egen preferens av hur de uppfattar behagligt inomhusklimat. Detta gör det omöjligt att anpassa sig till alla.

Klimatfaktorer, index



Figur 4.2 Här visas de olika parametrarna som fastställer den termiska komforten (Slideplayer, u.å).

4.3 LÅGTEMPERATURSSYSTEM

Ett uppvärmningssystem som utnyttjar låga temperatur för att överföra värmen till en byggnad som behöver uppvärmas kallas för lågtemperaturssystem. Det innebär att själva uppvärmningen med låg temperatur kommer att ske med temperaturer som är lägre än i äldre system.

Att klassa vad som är lågtemperaturssystem är svårt eftersom olika energikällor kräver olika temperaturnivåer. Radiatorer med temperaturnivåer 55 i framledningen och 45 i returledningen vilket man kallar 55/45 brukar klassas som lågtemperaturssystem. Andra energikällor som klassas till lågenergisystem kan vara solvärme som i framtiden kommer att ersätta stora delar av den uppvärmnings mängd som behövs. Värmepump är en annan energikälla som hör till lågenergisystem och användas för att utnyttja värmen i mark, luft och vatten från låg temperaturnivå till en högre dessa kallas låg exergimedel. Andra energikällor som kan nyttjas för lågtemperaturssystem är spillvatten som blir över från industri, elproduktion och fjärrvärme returen (Persson, 2000).

4.4 LUFTUPPVÄRMNING

Tanken bakom luftvärme är det att kunna kombinera både värme- och ventilationssystem för att kunna dra ned på installationskostnaderna, det luftburna systemet kan distribuera värme vilket innebär att ett vattenburet värmesystem kan ersättas. Eftersom luftens värmekapacitet är mycket lägre än vattens värmekapacitet behövs det oftast ett högre luftflöde för att uppfylla samma värmebehov. Detta har lett till att återvinningen av värmen i luften har utvecklats att ta tillvara på värmen från utgående luft för att värma upp inkommande uteluft. Det traditionella luftvärmesystemet avger värme från konvektion. Luftvärmesystem kan installeras på olika platser i rummet som under fönster i taket eller på väggen. Då det finns lite olika varianter hur man använder sig av lågtempererad uppvärmning med luftvärmning, det som är intressant vid låg temperaturuppvärmning är att värma upp golv- och väggytor så att komforten ökar samt att effektbehovet till rumsluften minskar (Persson, 2000).

4.5 GOLVVÄRME

4.5.1 Introduktion

Det finns många typer av golvvärme och alla har samma uppgift och det är att värma kalla ytor, det förekommer även golvkylning.

De flesta golvvärmesystem fungerar på liknande sätt. Det fungerar att golvet i rummet värms för att utjämna de värmeförluster som förekommer i klimatskalet. Golvet värms genom cirkulation av varm luft eller vatten men kan även värmas genom elektriska värmeslingor. Uppvärmningen går till att det varma golvet värmer upp luften genom värmestrålning men även genom konvektion.

I Sverige använder vi oss mest av vattenburna golvvärmesystem utförda som platta på mark eller med kryppgrund. Tunga värmesystem gäller betongplatta och innebär att värmen distribueras genom betongplattan och därmed har hög värmekapacitet. När det gäller lätta golvvärmesystem så har konstruktioner låg värmekapacitet. Tunga värmesystem i betong kräver lägre vattentemperatur jämför med lätta golvvärmesystem i träbjälklag. Tunga golvvärmesystem har en medeltemperatur på ca 30–35 grader Celsius vid dimensionerande utetemperatur är tillräckligt.

Det finns många tänkbara orsaker till att golvvärmesystem förbrukar mer energi än utlovad. Samtidigt visar mätningar på moderna hus med golvvärmesystem hög energiförbrukning och detta måste tas på ett mer allvar, där brister måste undersöka och förbättringar måste tas fram. Plattan måste extra isoleras för att minska värmeförlusterna och samtidigt måste värmesystemets massa minskas för att det skal bli ett mer snabbreglerat system. Detta sker genom att betongplattan görs tunnare eller genom att använda sig av lättare golvkonstruktion. Nackdelen med att använda sig av lätta golvkonstruktioner är att värmemotstånden mellan värmevatten och luften blir större vilket medför att högre temperatur i slingor kommer behövas. En annan nackdel med golvvärmesystem i lätta konstruktioner är att värmeförlusterna genom marken är högre än golvvärmesystem i tunga konstruktioner. Betonggolv med golvbeläggning med högt värmemotstånd som textilmattor eller parkett är olämpliga eftersom värmemotståndet blir för högt och värmeförlusterna ökar.

Golvvärme kan behöva vara i drift under en förlängd uppvärmningssäsong och detta medför en ökad energiförbrukningen. Lösningen på den förlängda uppvärmningssäsongen kan vara solceller, som kommer att kompensera för den förlängda uppvärmningssäsongen.

Tanken bakom mönster på golvvärme är funktioner som man vill uppnå. Önskar man att motverka kallras genom en höjd temperaturen vid fönster läggs slingorna i sinusform med tilloppsledningen närmast fönster. Är det ett rum med små fönster så är det en jämn temperatur man vill uppnå i hela golvet och detta utförs genom att lägga golvvärmeslingorna i snäckförläggnings format se figur 4.4 (Persson, 2000).



Figur 4.4 Visar tre olika typer av förläggningsmönster enkel förlagd slinga, dubbelförlagd slinga och dubbelförlagd snäckförläggning (Persson, 2000).

4.6 BOVERKET

Enligt Boverket gäller kraven för det termiska klimat i hela byggnaden och kraven för den termiska komforten endast för vistelsezonen i rummet där människor vistas mer än tillfälligt. När det gäller andra utrymmen utöver vistelsezonen råder ett lämpligt termiskt klimat beroende på användningen.

Enligt boverkets byggregler, föreskrifter och allmänna råd så står det som följande.

”Avsnitt 6:41 Allmänt

Byggnader ska utformas så att tillfredsställande termiskt klimat kan erhållas.

Allmänt råd

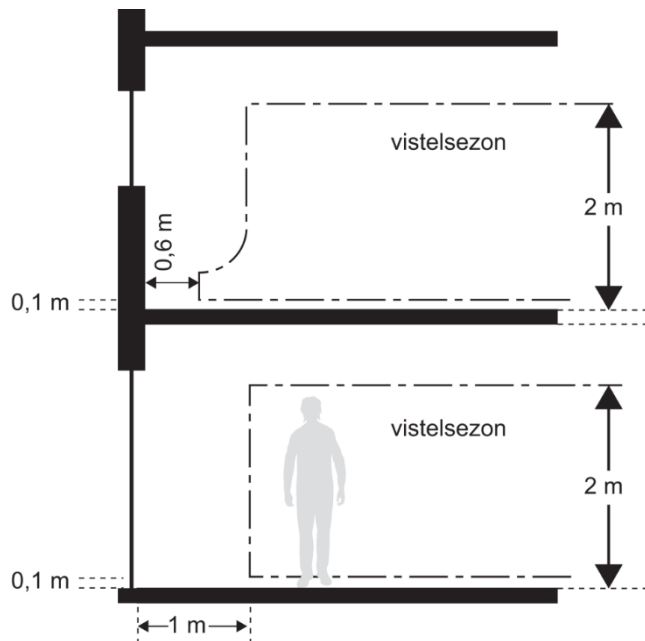
Med tillfredsställande termiskt klimat avses

- - när termisk komfort i vistelsezonen uppnås,
- - när ett för byggnaden lämpligt klimat kan upprätthållas i övriga utrymmen i byggnaden med beaktande av avsedd användning.

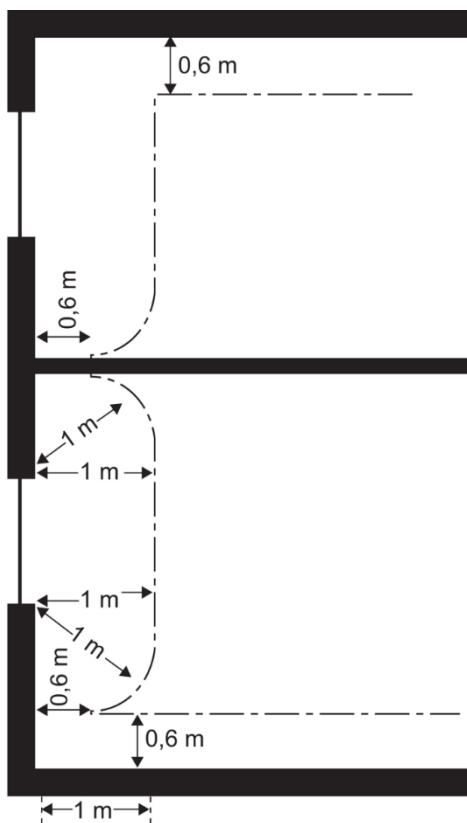
Termiskt klimat har också inverkan på byggnadens beständighet. Regler om termisk komfort ges även ut av Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten. (BFS 2014:3).”
(Boverket, 2011)

4.6.1 Vad innebär vistelsezonen?

Vistelsezonen är det utrymme i rummet där krav ställs på termisk komfort för individens bekvämlighet. Vistelsezonen avgörs av en yta på golvet samt vertikalt i rummet vilket man anser att brukaren kommer att befinna sig i majoriteten av tiden. Vistelsezonen utgörs av i höjdlid 0,1m och upp till 2m ovanför golvet, samt från väggarna börjar vistelsezonen 0,6 m från väggen. Dock om det är ett fönster eller dörrar räknas vistelsezonen att börja 1m från fönster och dörrar se figur 4.5 och 4.6 (Boverket, 2011).



Figur 4.5 Visar vistelsezonen vertikalt i rummet med mått, (Boverket, 2011)



Figur 4.6: Visar vistelsezonen i ett rum ovanifrån med mått angivna (Boverket, 2011)

4.6.2 Krav på termisk komfort

Ett hälsosamt och behagligt termiskt klimat bör hållas i byggnaden på grund av komfortskäl, speciellt med hänsyn till känsliga människor.

BBR ställer krav på termisk komfort inom vistelsezonen med hänsyn till användning av rummet. Utformning av byggnaden framgår av ett allmänt råd där det bland annat anges temperaturer som inte borde underskridas samt lufthastigheter och temperaturskillnader som borde överskridas.

När det gäller golvytor anges det undre och övre temperaturgränsen.

Enligt boverkets byggregler, föreskrifter och allmänna råd så står det som följande.

”Avsnitt 6:42 Termisk komfort

Byggnader och deras installationer ska utformas, så att termisk komfort som är anpassad till utrymmen avsedda användning kan erhållas vid normala driftsförhållanden.

Allmänt råd

Byggnader bör vid DVUT utformas så att

- - *den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18 °C i bostads- och arbetsrum och 20 °C i hygienrum och vårdlokaler samt i rum för barn i förskolor och för äldre i servicehus och dylikt,*
- - *den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5K, och*
- - *ytemperaturen på golvet under vistelsezonen beräknas bli lägst 16 °C (i hygienrum lägst 18 °C och i lokaler avsedda för barn lägst 20 °C) och kan begränsas till högst 26 °C.*

Dessutom bör lufthastigheten i ett rums vistelsezon inte beräknas överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen och lufthastigheten i vistelsezonen från ventilationssystemet inte överstiga 0,25 m/s under övrig tid på året.” (Boverket, 2011)

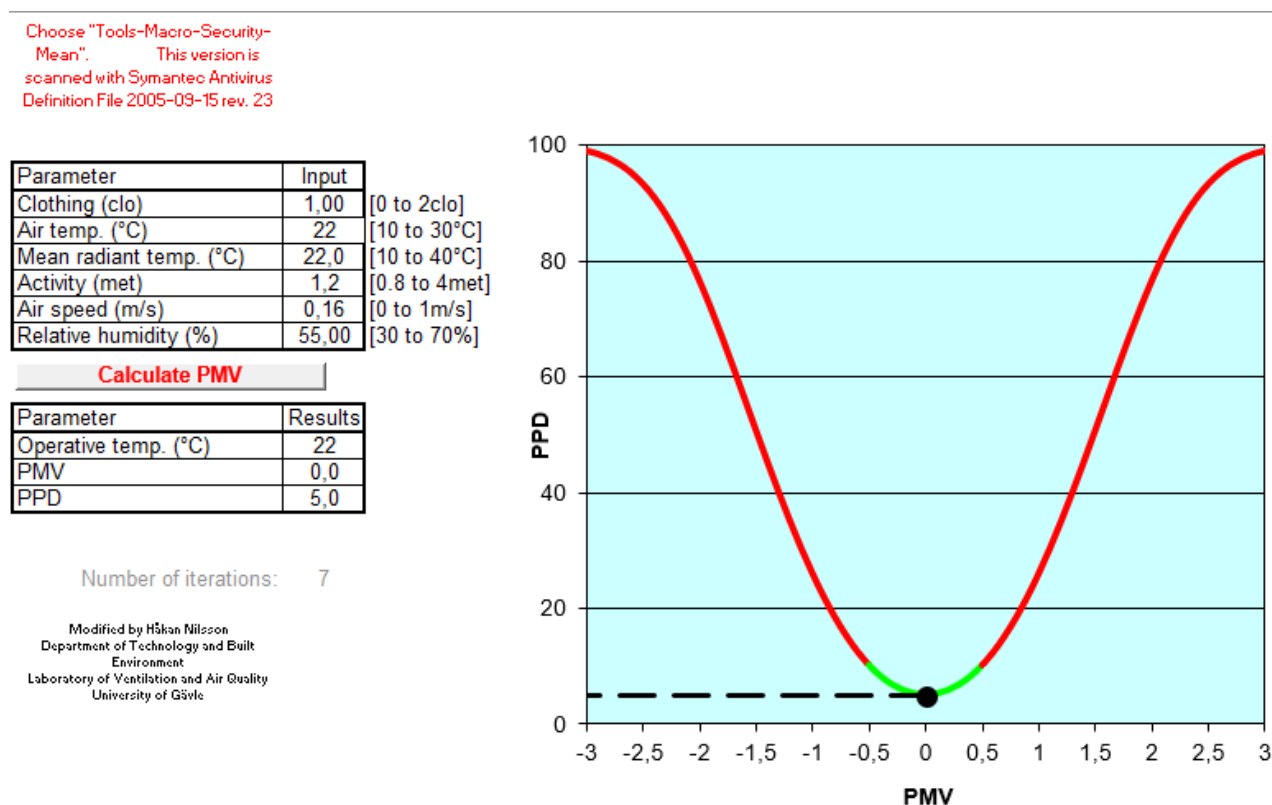
5 GENOMFÖRANDET

Vid genomförandet av detta examensarbetet har det genomförts en omfattande litteraturstudie för faktainsamling inom lågtempererade uppvärmningssystem med hänsyn till den termisk komforten, vilket inte är så beprövat som de äldre värmesystemen. Vid beräkning och framtagande av termisk komfort har det använts ett Excel program av Håkan Nilsson vid universitetet i Gävle som beräknar fram resultatet av PMV, PPD samt operativ temperatur. Detta har genomförts av parametrar från ett tidigare genomfört arbete av Olesen (1980) som har noggrant studerat effekten av olika uppvärmningssystem i ett rum.

Med att studera effekten av uppvärmningen i ett rum samt att studera tidigare gjorda artiklar inom liknande område kan vi dra slutsatsen om det stämmer överens eller avviker från våra resultat samt förstå mer hur termisk komfort fungerar på större skala.

5.1 BERÄKNINGSGÅNG

Excel program som använd för att beräkna PPD, PMV och operativ temperatur



Figur 5.1 Excel program PMVcalc_v2_English (Nilsson, 2005).

Programmet beräknar fram PPD, PMV och operativ temperatur med hjälp av att ange följande parametrar vilket representerar den termiska komforten som i figur 4.1.

- Clo, kläders isolerande effekt
- Lufttemperatur
- Medelstrålningstemperaturbidraget från omgivande ytors temperatur
- Met, aktiviteten som hålls i rummet
- Lufthastigheten
- Relativfuktighet

5.1.1 Förutsättningar vid beräkning

Vid beräkningarna har vi använt Olesen (1980) arbete där han undersöker den termiska komforten i ett rum med olika uppvärmningssystem.

För att kunna utföra beräkningar för vårt arbete har vi använt oss av de mätvärden som har angetts för luftvärmesystem och golvvärmesystem.

Följande kommer de specifika värdena på det vi har utfört beräkningar från.

5.1.1.1 Luftvärme

Luftvärme placerad på den bakväggen

- 0,4 oms/h och 0,8 oms/h
- 1,2 m/s inloppshastighet till rummet.
- 34–43 °C inloppstemperatur till rummet.

Luftvärme placerad under fönstret

- 2 don under fönstret.
- 0,4 oms/h och 0,8 oms/h
- 1,2 m/s inloppshastighet till rummet.
- 34–43 °C inloppshastighet till rummet.

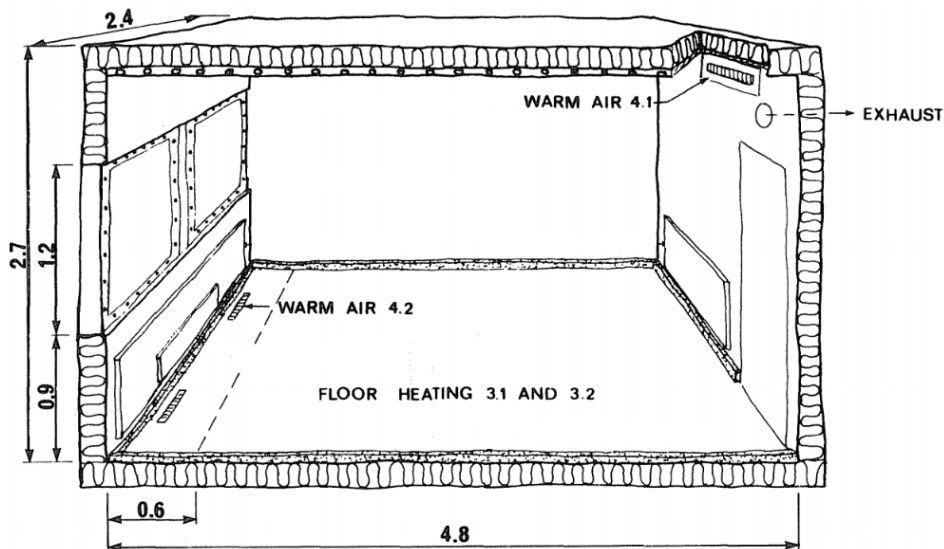
5.1.1.2 Golvvärme

Golvvärme utan slingor under fönstret

- Eluppvärmda slingor med 2 mm tjock aluminiumplåt med jämnfördelad värmespridning.

Golvvärme med extra slingor under fönstret

- Likartat system som golvvärme ovan, det skiljer sig med att det har installerats extra slingor på en yta 0,6 m från fönstret.
- Yttemperatur på yta med extra slingor 0,6 m från väggen med fönster var 29 °C



Figur 5.2 Visar rummet där mätningarna utförts mått samt placering av värmesystem (Olesen, 1980).

Tabell 5.1 Visar medelvärde på inomhustemperaturen och medelstrålningstemperaturen för utomhus temperatur -5 °C och olika omsättningar 0, 0.4, 0.8 oms/h (Olesen, 1980).

Outside temp. °C	Infiltration rate h ⁻¹	HEATING METHODS																	
		RADIATOR 1.1 frontage		CONVECTOR 1.2		RADIATOR 1.3 backwall		CEILING 2.1		FLOOR 3.1 uniform		FLOOR 3.2 non uniform		WARM AIR 4.1 backwall		WARM AIR 4.2 frontage		SKIRTING BOARD 5.1	
		AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C	AIR °C	MRT °C
-5	0	22.3	22.1	22.4	22.0	22.6	21.9	22.1	22.4	22.4	21.9	22.3	22.0	22.2	22.1	22.7	21.7	22.5	21.9
	0.4	22.0	22.3	22.3	22.2	22.5	21.8	21.9	22.7	22.3	22.5	22.2	22.6	22.0	22.4	22.6	21.8	22.3	22.2
	0.8	21.8	22.6	22.2	22.2	22.3	22.0	21.5	23.1	21.8	22.9	21.7	23.0	21.7	22.8	22.6	21.9	21.8	22.8

Tabell 5.2 Visar medelluftshastigheten vid utomhus temperatur på -5 °C och omsättningar 0, 0.4, 0.8 oms/h (Olesen, 1980).

Outside temp. °C	Infiltration rate h ⁻¹	Position	Level m	HEATING METHODS										
				RADIATOR 1.1 frontage	CONVECTOR 1.2	RADIATOR 1.3 backwall	CEILING 2.1	FLOOR 3.1 uniform	FLOOR 3.2 non uniform	WARM AIR 4.1 backwall	WARM AIR 4.2 frontage	SKIRTING BOARD 5.1		
				cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s		
-5	0	16	0.1	-	-	-	9(3)	7(1)*	13(2)*	9(2)	8(2)	-	7(3)	
		17	0.1	-	-	-	12(3)	11(3)*	14(4)*	15(4)	13(3)	8(4)	8(3)	
		1.2	0.1	-	-	-	9(5)	-	-	-	-	-	-	
-5	0.4	16	0.1	-	-	-	6(1)	9(2)	14(4)*	13(2)*	9(1)	-	9(3)	
		17	0.1	-	-	-	11(4)	13(3)	17(4)*	18(5)*	13(3)	7(4)	8(3)	
		1.2	0.1	-	-	-	13(7)	-	-	-	-	-	9(6)	
-5	0.8	16	0.1	6(2)	-	7(2)	11(2)	14(2)	14(3)	10(2)	-	16(4)		
		17	0.1	6(2)	-	12(3)	9(3)	11(4)	11(4)	9(4)	-	10(3)		
		1.2	0.1	7(3)	-	6(3)	7(2)	6(2)	-	8(4)	-	9(6)		

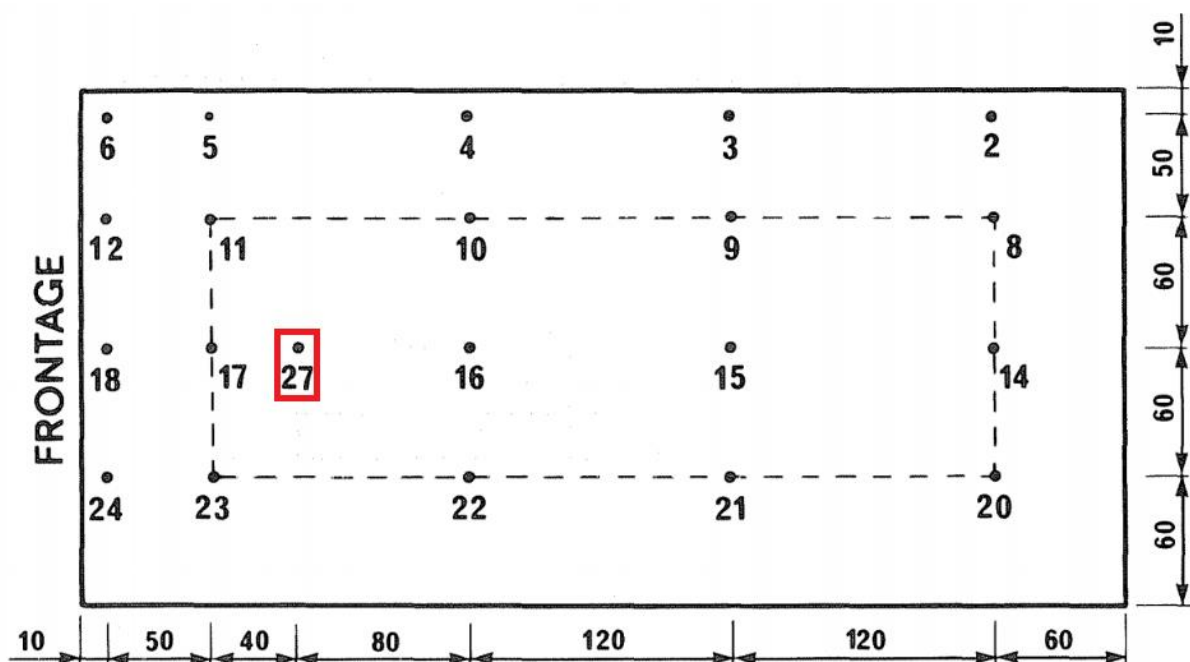
Mätningarna har utförts med på olika nivåer i rummet.

Lufttemperatur mätningarna har utförts på fem nivåer 0.1, 0.6, 1.2, 1.8, 2.6 m ovan golvnivå se bilaga 2.

Lufthastigheten mätningarna har utförts på fyra nivåer 0.1, 1.2, 1.8, 2.6 m ovan golvnivå. Lufthastigheten har beräknats till ett medelvärde vid punkt 27 av lufthastigheten från punkt 16 och 17 se figur 5.3.

Yttemperaturen mätningarna har utförts på 63 olika punkter i rummet som sedan har beräknats till ett medelvärde som ges i tabell 5.1 för medelstrålningstemperatur.

En komfortmätare var placerad i rummet 0,6 m över golvet och 1,0 m från fönstret vilket representera en människa med förbestämda värden för clo till 1 och 1,2 för met vilket motsvarar en sittande människa med inomhuskläder.

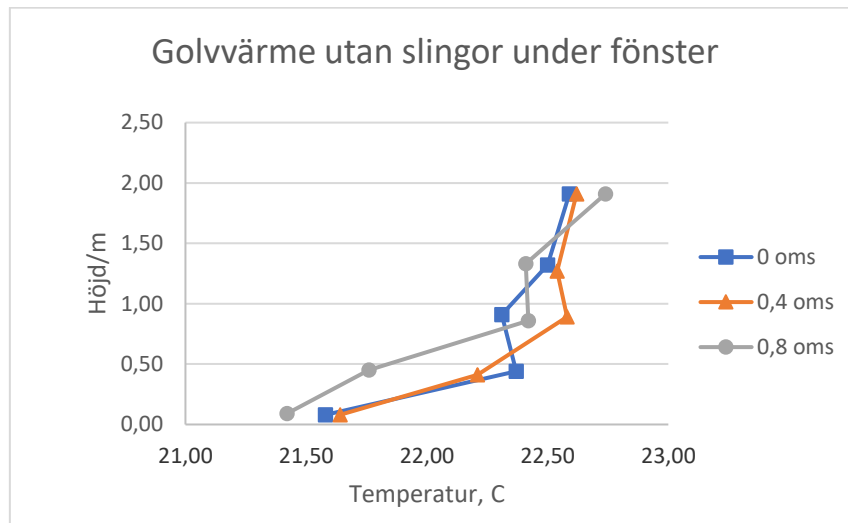


Figur 5.3 Visar placeringen var beräkningen har utförts från (Olesen, 1980).

I bilden ovan representeras med streckad linje gränsen för vistelsezonen dock för ny standard enligt Boverket (2011) hamnar punkt 27 vid vistelsezongränsen. Punkt 27 visar vart mätningdata har hämtats från samt representeras fönsterplaceringen som frontage i figur 5.3. Mätvärden i tabellerna 5.1 och 5.2 är beräknade medelvärden i referenspunkten 27.

Vid beräkning med avseende på rummets höjd har vi använt oss av diagram från Olesen (1980) artikel som har återskapats via programmet WebPlotDigitizer som kan reproducera värdena på diagrammen som visar temperaturen vid punkterna 0.1, 0.6, 1.2, 1.8, 2.6 m visas i bilaga 2 för temperatur hos uppvärmningssystem som funktion av höjden.

Då efter återskapande av mätdata från dr Olesen och extraherat till Excelformat så kan mätdata användas för att beräkna fram operativ temperatur, PPD, PMV och dragindex.



Figur 5.5 Temperatur differensen efter användning av WebPlotDigitizer

För beräkning av dragindex se bilaga 1 där har vi använt formeln (8) framtagen av Fanger och Melikov där enligt formeln används lufttemperaturen, lufthastigheten framtagna värden ur Olesen (1980) artikel samt ett antagande för turbulensintensiteten i rummet. Denna beräkning genomförs för att beräkna den procentuella missnöjdheten på grund av drag som visas i resultaten diagrammen se fig. 6.10–15.

Efter all beräkning skall resultaten valideras med detta har resultaten jämförts mot andra undersökningar med liknande förutsättningar som visar om resultaten sammanfaller eller avviker från varandra.

6 RESULTAT

För Golvvärme så följer båda systemen samma trend vilket visas för den operativa temperaturen och PPD som har små differenser mellan de olika luftomsättningarna se tabell 6.1 och 6.2 och samma

Luftvärme systemen avviker där luftvärme placerad på bakväggen ökar i PPD som funktion av höjden detta på grund av ingångsluften har mycket högre lufttemperatur och bildar en sikt av varmluft vid taknivå se tabell 6.3 vilket ökar missnöjdheten.

6.1 RESULTAT TABELLER

Tabell 6.1 Värden på operativ temperatur, PMV och PPD för golvvärme utan slingor under fönster.

Höjd	Luftomsättning 0		Luftomsättning 0,4		Luftomsättning 0,8	
	Utetemperatur -5		Utetemperatur -5		Utetemperatur -5	
	operativ temp °C	PPD %	operativ temp °C	PPD %	operativ temp °C	PPD %
0,1	21,8	5	22,1	5	22,2	5,2
0,6	22,1	5,2	22,4	5,2	22,5	5,8
1,2	22,2	5,8	22,5	6,9	22,7	6,9
1,8	22,2	5,8	22,6	6,9	22,8	8,3
2,6	22,3	5,8	22,6	6,9	22,8	8,3

Tabell 6.2 Värden på operativ temperatur, PMV och PPD för golvvärme med extra slingra under fönster.

Höjd	Luftomsättning 0		Luftomsättning 0,4		Luftomsättning 0,8	
	Utetemperatur -5		Utetemperatur -5		Utetemperatur -5	
	operativ temp °C	PPD %	operativ temp °C	PPD %	operativ temp °C	PPD %
0,1	22,0	5,2	22,2	5	22,0	5
0,6	22,2	5,2	22,4	5,2	22,3	5,2
1,2	22,2	5,8	22,5	6,9	22,7	6,9
1,8	22,2	5,8	22,6	6,9	22,8	6,9
2,6	22,2	5,8	22,6	6,9	22,8	8,3

Tabell 6.3 Värden på operativ temperatur, PMV och PPD för luftvärme placerad på bakväggen under tak, se fig. 5.2 warm air 4.1.

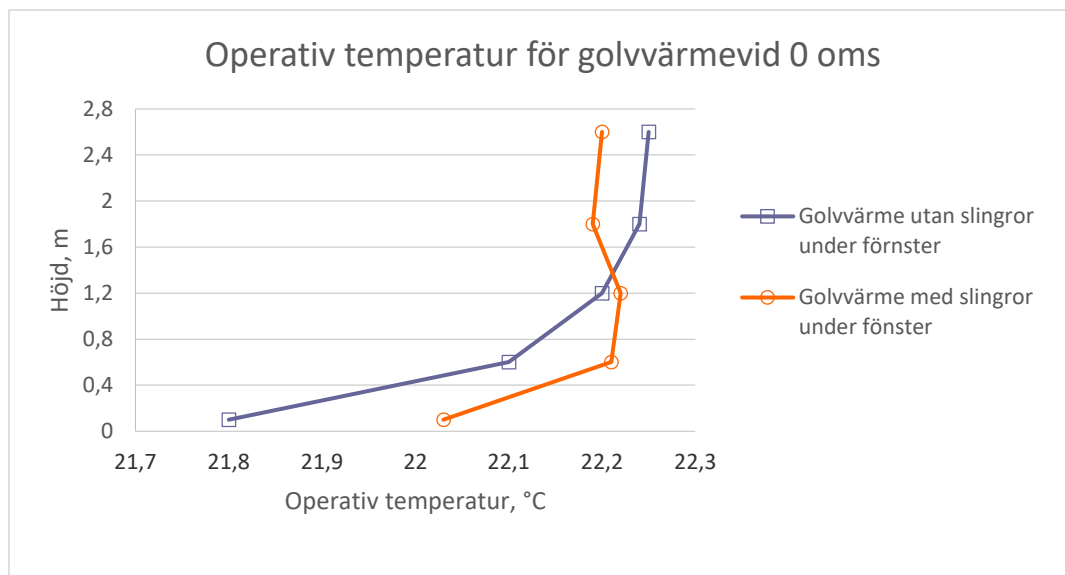
Höjd	Luftomsättning 0,4		Luftomsättning 0,8	
	Utetemperatur -5		Utetemperatur -5	
	operativ temp °C	PPD %	operativ temp °C	PPD %
0,1	21,8	5	22,0	5,2
0,6	22,4	5,8	22,4	5,8
1,2	22,9	8,3	23,1	8,3
1,8	25,4	26,1	26,8	40,3
2,6	29,5	76,8	33,0	99,7

Tabell 6.4 Värde på operativ temperatur, PMV & PPD för luftvärme placerad under fönster, se fig. 5:2 warm air 4.2.

Höjd	Luftomsättning 0,4		Luftomsättning 0,8	
	Utetemperatur -5		Utetemperatur -5	
	operativ temp °C	PPD %	operativ temp °C	PPD %
0,1	22,0	5,8	22,0	5,8
0,6	22,4	6,9	22,4	6,9
1,2	22,7	8,3	22,8	6,9
1,8	22,9	8,3	23,0	8,3
2,6	23,0	8,3	23,2	8,3

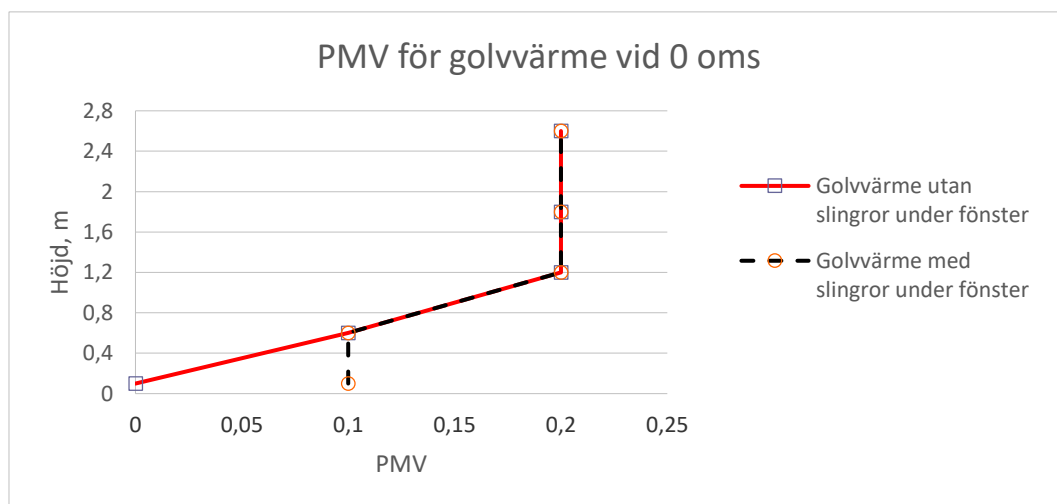
6.2 RESULTAT DIAGRAM

Följande ser vi skillnad för de olika uppvärmningssystemen vid olika luftomsättningar där det visar operativ temperatur, PMV, PPD och dragindex som funktion av höjden.



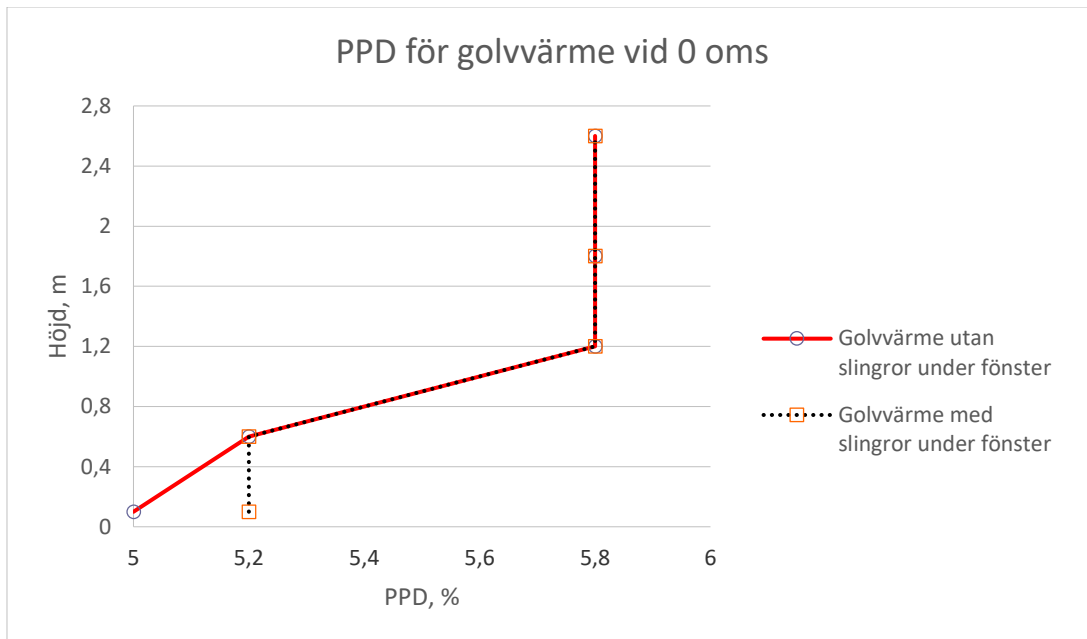
Figur 6.1 Skillnad på operativ temperatur mellan golvvärme vid 0 oms.

PMV för golvvärmesystem vid 0 oms/h som funktion av höjden som visar en skillnad mellan 0 – 0,2 PMV från höjden 0,1–2,6 m vilket representerar ett förutspått utlåtande av den termiska komforten



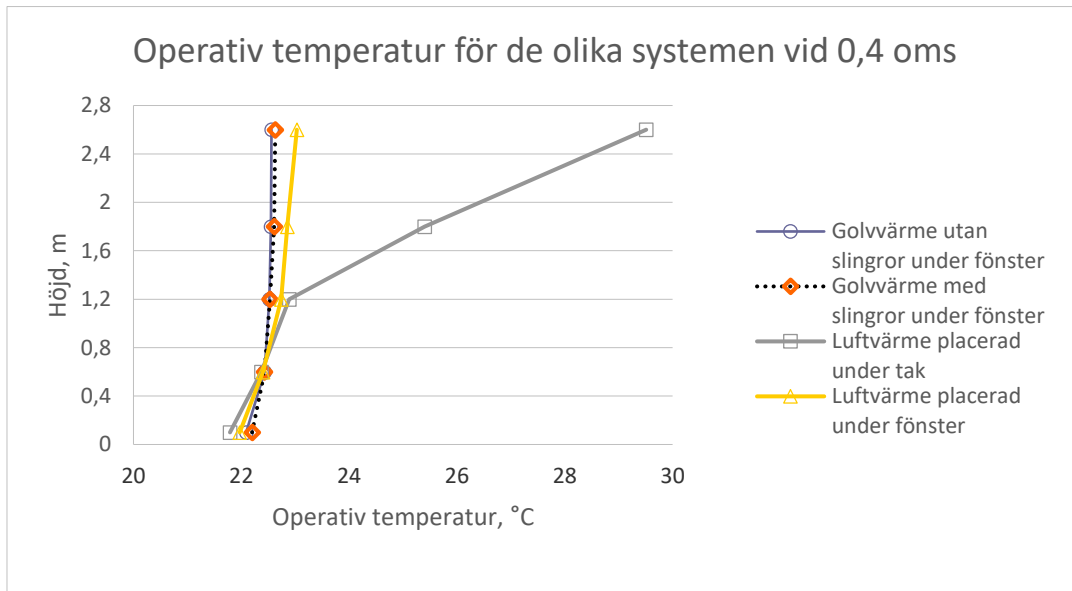
Figur 6.2 Skillnad i PMV för golvvärme vid 0 oms.

PPD för golvvärmesystem vid 0 oms/h som funktion av höjden som visar en skillnad mellan 5 – 5,8 % från höjden 0,1–2,6 m vilket representerar en förutspådd missnöjdhet av den termiska komforten



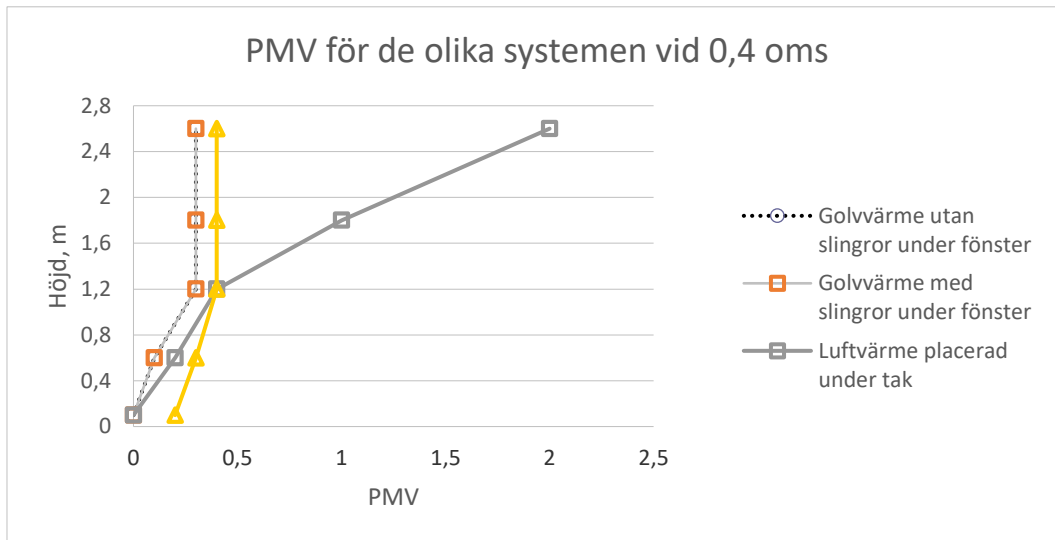
Figur 6.3 Skillnad på PPD för golvvärme vid 0 oms

Operativa temperaturen för de olika systemen vid 0,4 oms/h som funktion av höjden, figuren visar en skillnad på en operativtemperatur från ca 22-29 °C där luftvärme placerat på den bakväggen visar en tydlig avvikelse från de andra systemen på grund av placeringen av den ingående luften.



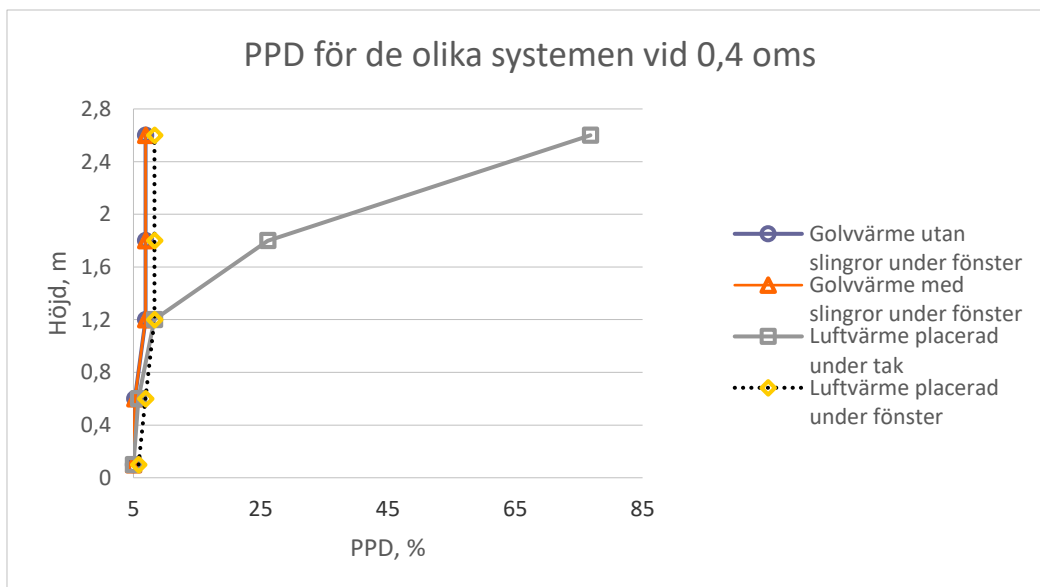
Figur 6.4 Skillnad på operativ temperatur för golvvärme och luftvärme vid 0,4 oms.

PMV för de olika systemen vid 0,4 oms/h som funktion av höjden som visar en skillnad mellan 0 – 2 PMV från höjden 0,1–2,6 m vilket representerar ett förutspått utlåtande av den termiska komforten. Där luftvärme placerad på den bakreväggen ger ett mycket högre PMV värde under taket.



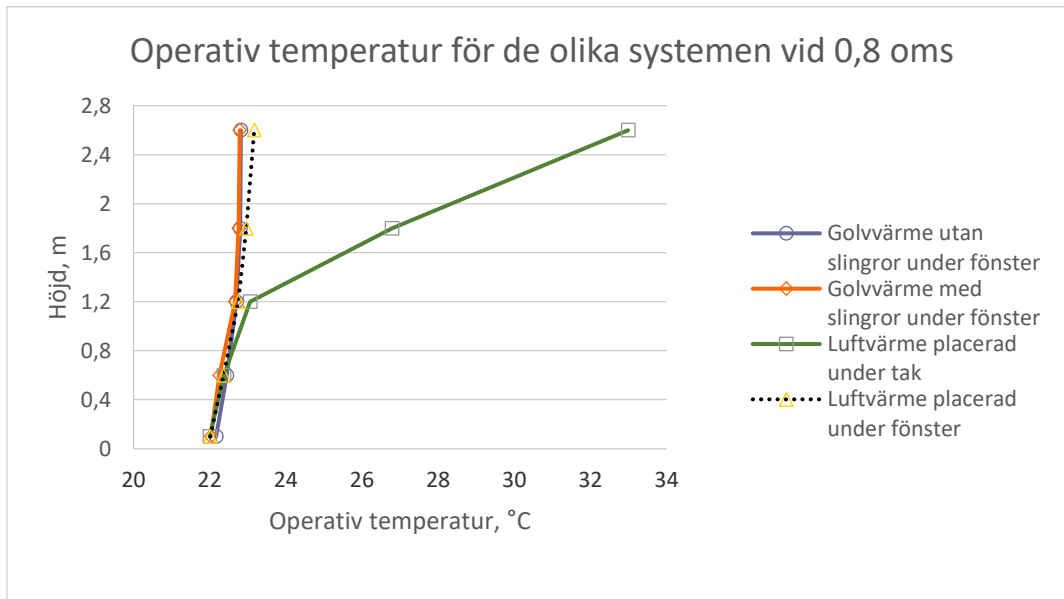
Figur 6.5 Skillnad på PMV för golvvärme och luftvärme vid 0,4 oms.

PPD för golvvärmesystem vid 0,4 oms/h som funktion av höjden som visar en skillnad mellan 5 – 70 % från höjden 0,1–2,6 m vilket representerar en förutspådd missnöjdhet av den termiska komforten. Där luftvärme placerad på den bakreväggen ger en tydlig ökning vid högre höjder vilket är på grund av den varma ingående luften som introduceras till rummet.



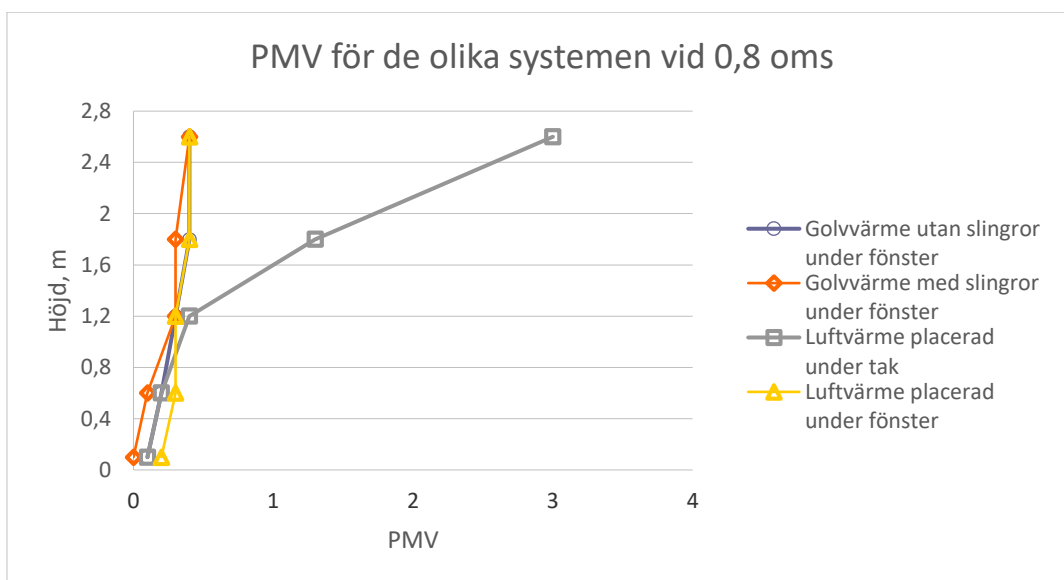
Figur 6.6 Skillnad på PPD för golvvärme och luftvärme.

Operativa temperaturen för de olika systemen vid 0,8 oms/h som funktion av höjden, figuren visar en skillnad på en operativtemperatur från ca 22–33 °C där luftvärme placerat på den bakväggen visar en tydlig avvikelse från de andra systemen på grund av placeringen av den ingående luften.



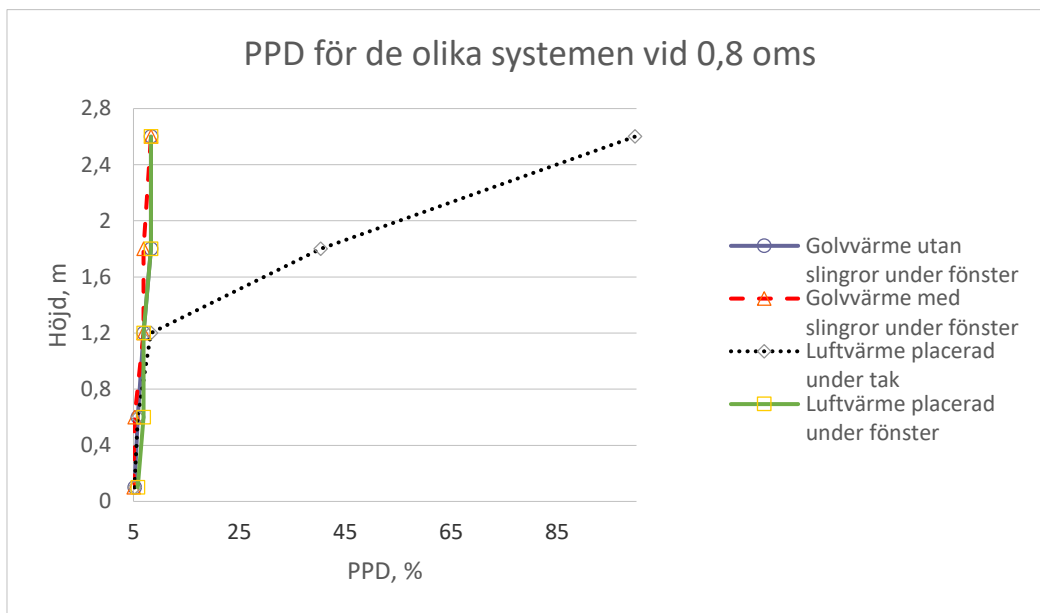
Figur 6.7 Skillnad på operativ temperatur för golvvärme och luftvärme vid 0,8 oms.

PMV för de olika systemen vid 0,8 oms/h som funktion av höjden som visar en skillnad mellan 0 – 3 PMV från höjden 0,1–2,6 m vilket representerar ett förutspått utlåtande av den termiska komforten. Där luftvärme placerad på den bakväggen ger ett mycket högre PMV värde under taket.



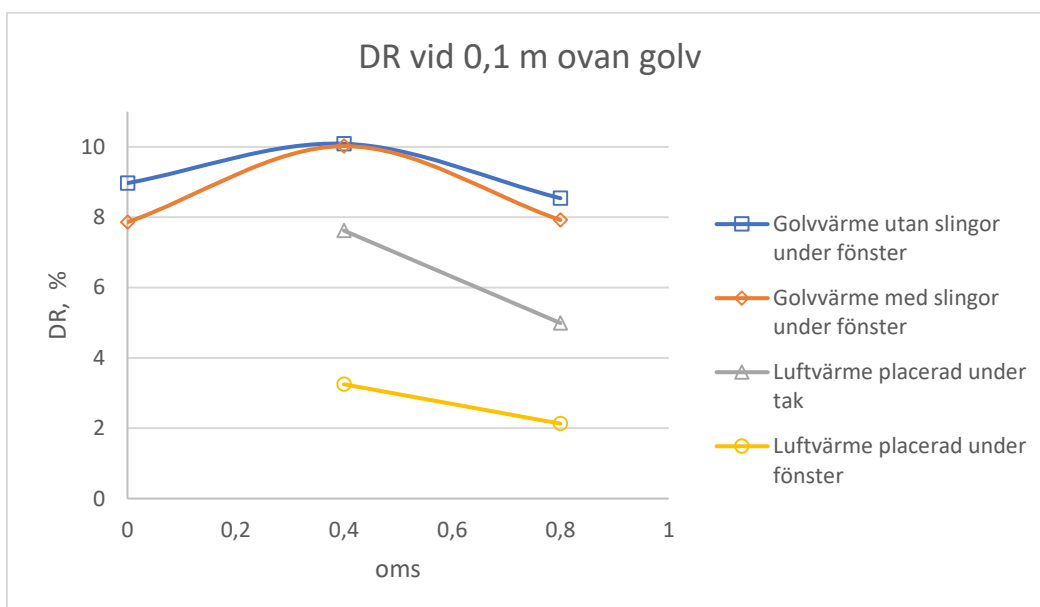
Figur 6.8 Skillnad på PMV för golvvärme och luftvärme vid 0,8 oms.

PPD för golvvärmesystem vid 0,8 oms/h som funktion av höjden som visar en skillnad mellan 5 – 100 % från höjden 0,1–2,6 m vilket representerar en förutspådd missnöjdhet av den termiska komforten. Där luftvärme placerad på den bakväggen ger en tydlig ökning vid högre höjder vilket är på grund av den varma ingående luften som introduceras till rummet.



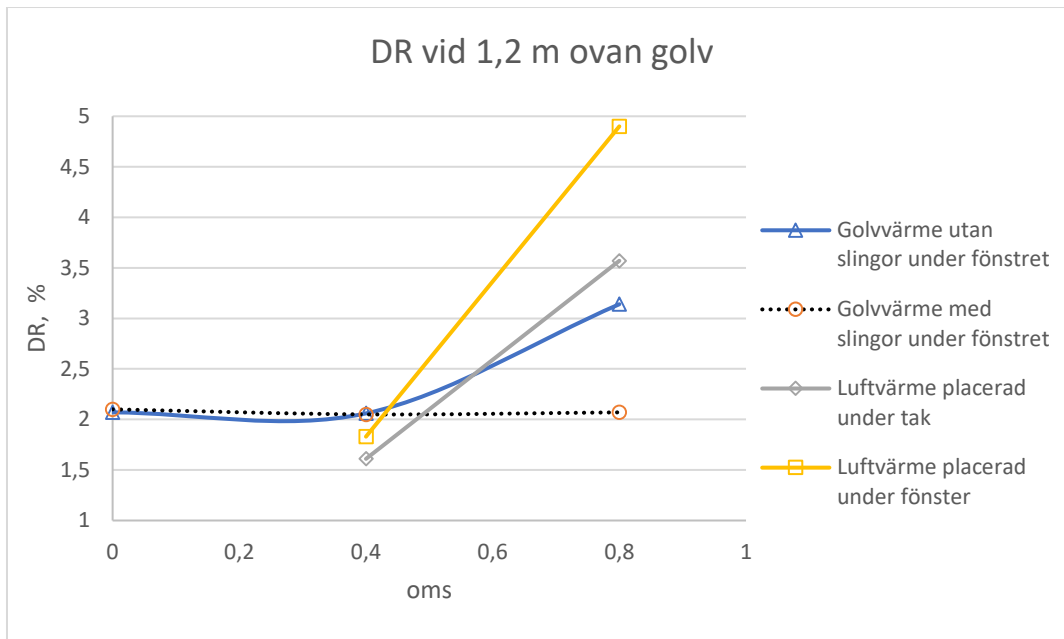
Figur 6.9 Skillnad på PPD för golvvärme och luftvärme vid 0,8 oms.

Dragindex för de olika uppvärmningssystemen som funktion av luftomsättning vid 0,1 m ovan golvet. I figuren representeras antalet missnöjda på grund av drag som varierar mellan 2–10%



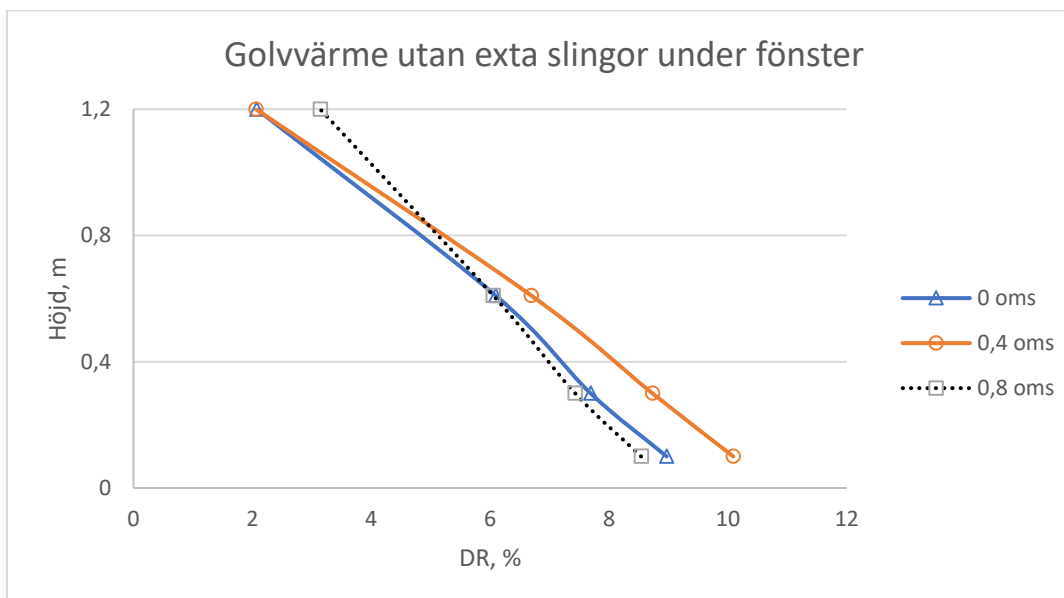
Figur 6.10 Skillnad i dragindex vid olika luftomsättningar.

Dragindex för de olika uppvärmningssystemen som funktion av luftomsättning vid 1,2 m ovan golvet. I figuren representeras antalet missnöjda på grund av drag som varierar mellan 1,5–5%



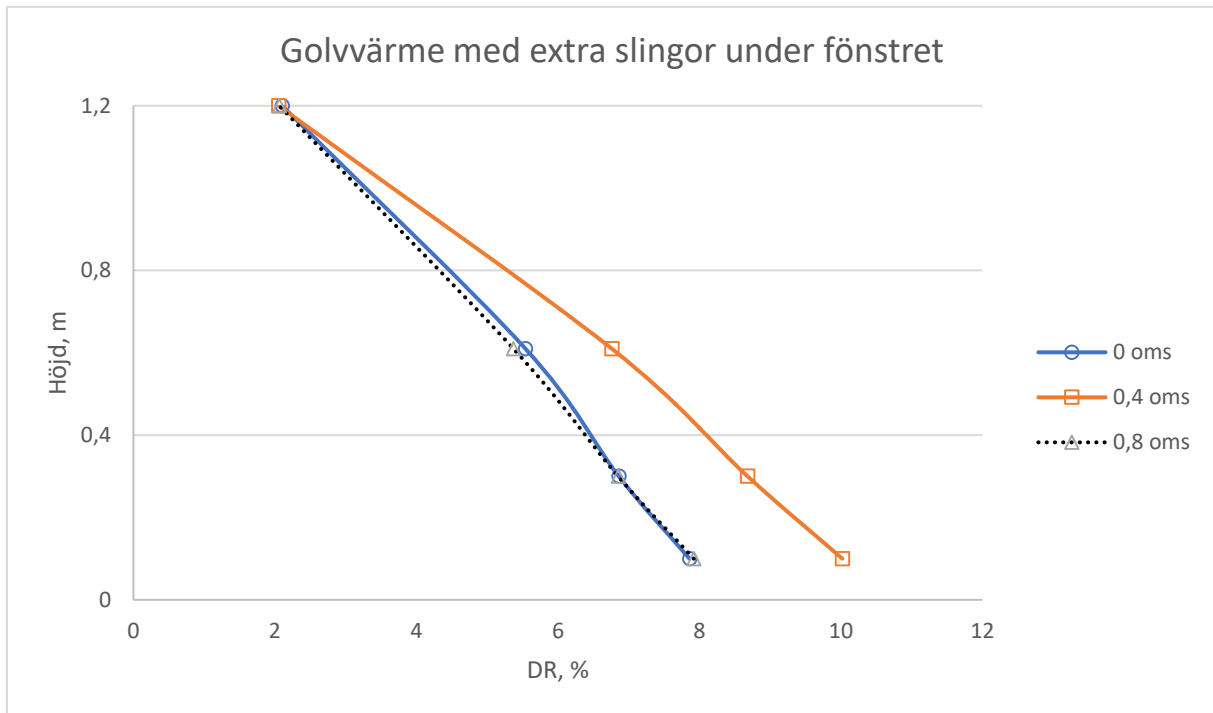
Figur 6.11 Skillnad i dragindex vid olika luftomsättningar.

Dragindex för golvvärme utan extra slingor under fönster som funktion av höjden för de olika luftomsättningarna. I figuren representeras antalet missnöjda på grund av drag som varierar mellan 2–10 % missnöjdhet mellan höjden 0,1 – 1,2 m.



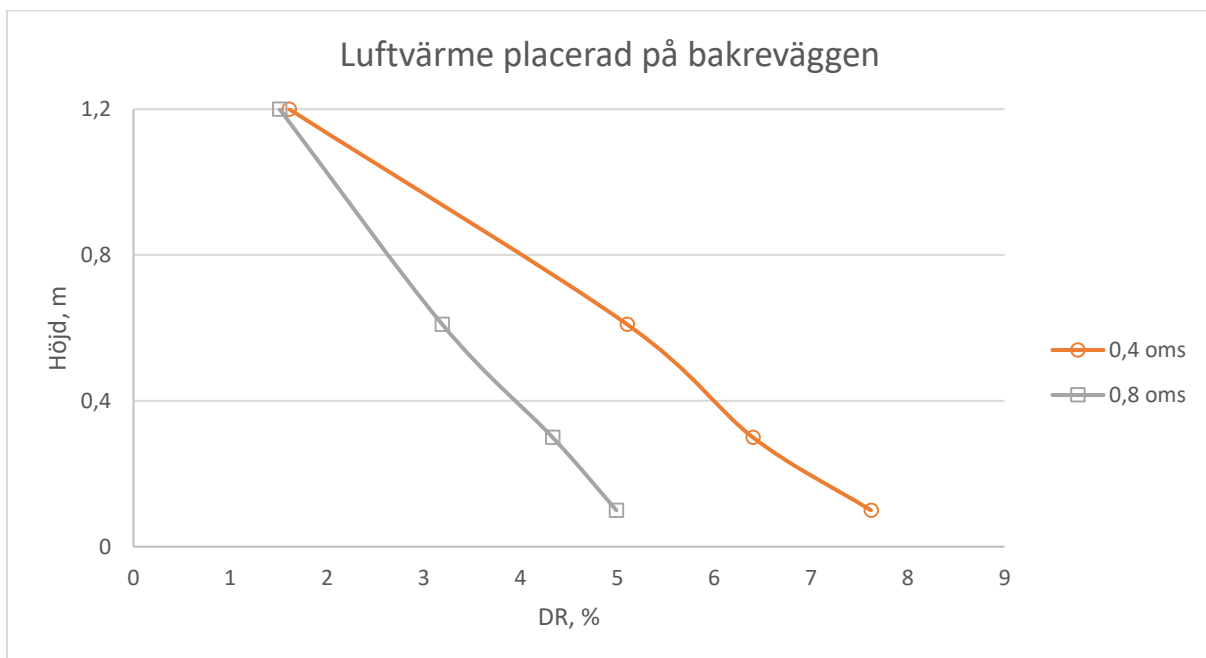
Figur 6.12 Skillnad i dragindex vid olika luftomsättningar.

Dragindex för golvvärme med extra slingor under fönster som funktion av höjden för de olika luftomsättningarna. I figuren representeras antalet missnöjda på grund av drag som varierar mellan 2–10 % missnöjdhet mellan höjden 0,1 – 1,2 m.



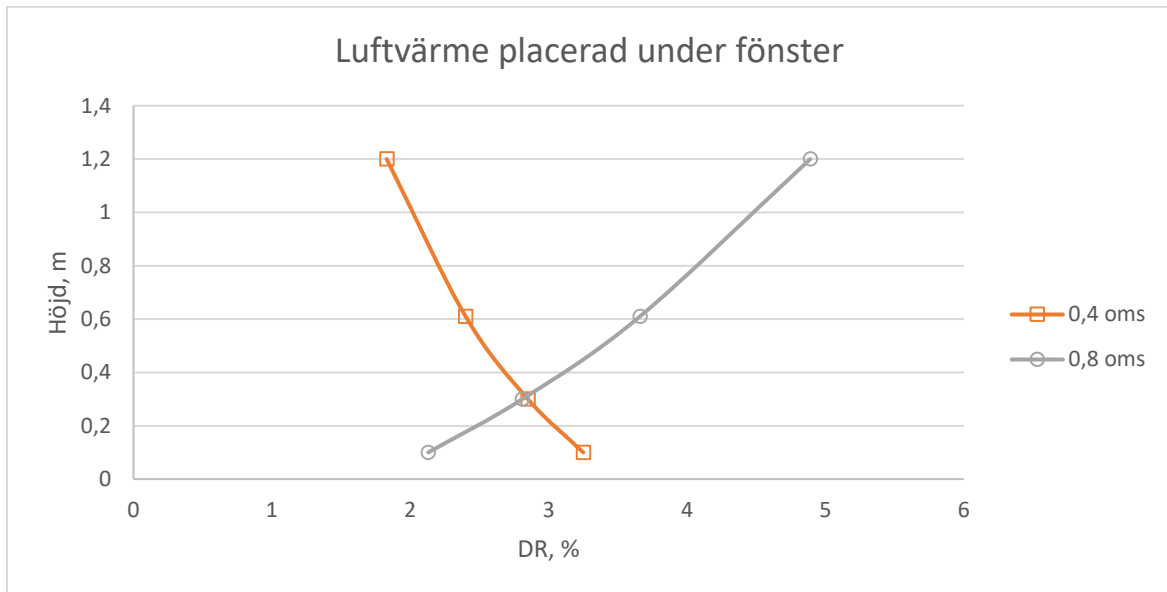
Figur 6.13 Skillnad mellan drag vid olika luftomsättningar med avsände på höjd.

Dragindex för luftvärme placerad på den bakreväggen som funktion av höjden för de olika luftomsättningarna. I figuren representeras antalet missnöjda på grund av drag som varierar mellan ca 1,5–8 % missnöjdhet mellan höjden 0,1 – 1,2 m.



Figur 6.14 Skillnad mellan drag vid olika luftomsättningar med avsände på höjd.

Dragindex för luftvärme placerad under fönster som funktion av höjden för de olika luftomsättningarna. I figuren representeras antalet missnöjda på grund av drag som varierar mellan ca 2–5 % missnöjdhet mellan höjden 0,1 – 1,2 m.



Figur 6.15 Skillnad mellan drag vid olika luftomsättningar med avsnäde på höjd.

7 ANALYS

I undersökning hur den termiska komforten är i ett rum under förutsättningarna som innefattar kontrollerade mätningar på rumsnivå har beräkningarna utförts via Excel program med parametrar från tidigare utfört arbete av Olesen (1980) om termiska komforten i ett rum med olika uppvärmningssystem. Detta har gett resultat där den termiska komforten inte skiljer mycket från de valda uppvärmningssystem men ett mer jämnt klimat kan anses från golvvärmen då luftvärme systemet placerat under på bakväggen under taket är mer skiljbara från de andra uppvärmningssystemen.

Där det är skillnad mellan de två olika systemen och hur deras uppvärmning förmåga är, golvvärme värmer upp via strålning och luftvärme via konvention. I resultatkapitlet ser vi en tydlig skillnad hur luftvärme som är placerat på bakväggen att det uppstår mycket missnöjdhet vid högre höjder se figur 6.6. Detta beror då på att luftens inkommande temperatur är mycket högre än rummets temperatur och då stannar kvar under taket vilket medför en sämre omblandning av värmen o rummet. I figur 6.6 är det skillnad mellan luftvärme placerad på bakväggen och de andra systemen där luftvärme placerad på den bakväggen skiljer sig mer från de andra systemen på grund av dess utstrålnings temperatur blir högst precis under taket där utblåset är placerat. Det som visas i figur 6.6 är procentuellt antal missnöjda (PPD-index) med avseende på höjden från 0,1–2,6 m, vid 2,6m så stiger PPD-index upptill ca75% detta beror på att vid den höjden kommer den ingående tilluften att ha mycket högre temperatur när den introduceras till rummet.

Detta är förväntat och kommer inte att påverka den termiska komforten för detta faller utanför måtten av vistelsezonen. Dock redan vid 2 m som gränsen för vistelsezonen har PPD-index för luftvärmesystemet som är placerat under taket ett värde på ca 40 % vilket som är för högt då bra värde för PPD ligger på 10%, se fig. 5.2 warm air 4.1.

I figur 6.6 visas att de två golvvärmesystemen som har undersökt där den ena är med utan extraslingor under fönstret och den andra med extra slingor under fönster som är där för att kompensera mot kallras. De två systemen har mycket god PPD, PMV, operativ temperatur och DR-index vilket kan ses i diagrammen i resultatkapitlet, se fig. 5.2 floor heating 3.1 och 3.2. Luftvärme som är placerad under fönster har mycket goda värden för PPD, PMV, operativ temperatur och DR-index vilket är placerat för att motverka kallraset från fönster, se fig. 5:2 warm air 4.2. Detta varierar också på grund av de olika luftomsättningsmängderna som har undersökt där vi ser i figur 6.10 som visar förändringen i missnöjdheten av den termiska komforten där det visar hur ventilationen spelar roll.

Det som framstår i figur 6.9 där PPD- index ökar för luftvärme placerad på bakväggen när infiltrationen ökat från 0,4 till 0,8 oms per timme detta beror på att mängden luft med dess temperatur som tillkommer i rummet ökar, ökar även temperaturen i rummet.

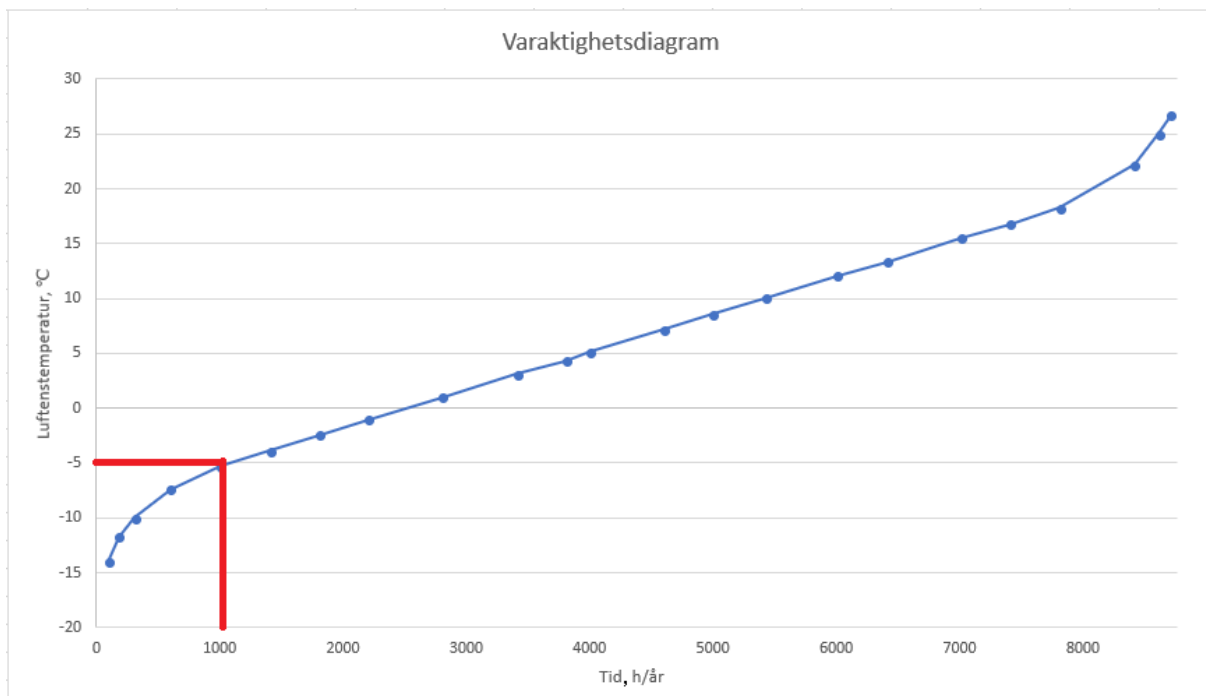
Figur 6.13-15 visar dragindex med avseende på höjd, alla diagram visar samma mönster där dragindex ökar närmare golvet. Detta beror på att luftcirkulation som uppstår på grund av naturlig konvektion eller köldbryggor sker närmast rummet ytor.

Jämför vi golvvärmesystemet med extra slingor med golvvärme utan extra slingor under fönstret blir resultatet minimala och i stort sett inga skillnader. Det bevisar att båda system har en god termisk komfort ur dragindex synpunkt och det samma gäller för luftvärme. När det gäller att det blir små skillnader mellan olika systemen vid 0,8 oms kan det bero på olika faktorer som instrument fel, mänskliga faktor eller att det systemet med extra slingor under fönstret motverkar kallras se figur 6.10. När det gäller luftvärmesystem som är placerad under fönster har den lite högre dragindex jämför med de andra systemen och det kan bero på att den ingående luften ligger för nära mätpunkten i rummet se fig 5.2 warm air 4.2.

Luftvärmesystem som är placerad under fönstret hjälper till att motverka kallras som bildas från fönstret och resultatet ser man i diagrammet 6:10 som visar minst antal missnöjdhet.

När det gäller golvvärmesystem ser resultatet likadana ut för både golvvärmesystem utan extra slingor och systemet med extra slingor underfönster. Anledningen till att båda golvvärmesystem har ett högre dragindex kan vara att ventilationsluften som kommer in i rummet är kallare vilket medför att luften kommer börja cirkulera i rummet på grund av temperaturskillnaden. Den kalla luften kommer sjunka ner och den varma luften kommer röra sig uppåt. Där vi ser i figur 6.10 för golvvärmesystemen är dragindex mindre än 10 % vilket är omärkbart och uppfyller kraven för kategori A för drag.

Med dessa beräkningar visar det att den termiska komforten kommer att vara mycket god vid $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ men då det kan bli mycket kallare än $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i Sverige under vinterhalvåret så har vi kollat på ett varaktighetsdiagram för behovet av uppvärmningen i Stockholm området under ett år se figur 7.1 För uppvärmning med lågtemperatursystem har vi undersökt med en utetemperatur på $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vilket vi har motiverat att uppvärmningssystemen klara en god termisk komfort vid $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ så kan systemet användas till ca 90% av årets uppvärmningssäsong.



Figur 7.2 visar där behovet av uppvärmning överstiger förmågan för lågtemperatursystemet.

Detta tyder att 10% av året kommer det behövas extra uppvärmning men det sällan blir långvariga temperaturer under $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i Stockholmsregionen anses det att kunna stödja den termiska komforten under hela året.

7.1 VALIDERING MOT ANDRA UNDERSÖKNINGAR

Med att validera detta arbetet mot andra undersökningar kan resultaten granskas och se om det sammanfaller eller avviker.

Enligt undersökningen av Karlsson & Ståhl (2012) från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har de utför mätningar av lågtemperatur uppvärmning av golvvärme i ett rum. I denna undersökning visas liknande resultat för golvvärme som i våran undersökning där skillnaden i operativ temperatur är väldigt liten samt att DR-index faller samman vilket varierar beroende på hur lufthastigheten varierar i rummet.

I en enkätundersökning av Levin & Kumlin (2015) på uppdrag från Stockholmshem har de gjort en uppföljning av nollenergi flerbostadshus där de har undersökt hur de boende upplevt inomhus klimatet. I enkätundersökningen har de fått ut 19 av 25 svar på enkäterna då det visar att 90 – 95 % av hyresgästerna är nöjda med den termiska komforten.

I enkätundersökningen såg resultaten ute enligt tabell 7.1 och 7.2.

Tabell 7:1 Visar enkätsvar för undersökning av termisk komfort för sommarhalvår.

Sommarhalvår	
Mycket dåligt	0
Dåligt	1
Acceptabelt	4
Bra	11
Mycket bra	3

Tabell 7:2 Visar enkätsvar för undersökning av termisk komfort för vinterhalvår.

Vinterhalvår	
Mycket dåligt	2
Dåligt	0
Acceptabelt	7
Bra	7
Mycket bra	4

Detta visar att för de som deltog i undersökningen av Levin & Kumlin (2015) på uppdrag av Stockholmshem är majoriteten nöjda med den termiska komforten där byggnaden har uppvärmningssystem som drivs av låg temperaturteknik. Detta tyder på att den termiska komfort är bra i bostäderna, men att den termiska komfort är omöjlig att uppnå för all då många människor tycker olika vad de anses som att vara termisk komfort.

I Ruud & Lundin (2004) undersökning från SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut har de undersökt om det går att fylla uppvärmningskraven hos radhus utan traditionella uppvärmningssystem. I deras arbete mäter de operativ temperatur, yttemperaturen på botten våning och första våningen. Det som de har undersökt är just luftvärmesystem och dess kapacitet att uppnå en behaglig termisk komfort. I deras undersökning uppfylls den termiska komforten i hela bostaden där många värden som de har beräknat skiljer sig marginellt med våra resultat. I deras undersökning av den termiska komforten på bostads nivå stöter de på problem vid badrummet. Detta beror på att i badrum är det oftast inget tilluftsdon installerad. Vilket gör det svårt för den inkommande varmluften att spridas i de utrymmen där dörrar är stängda och skiljer luftomblandningen mellan rummen.

Detta kan ses som problematiskt med luftvärme som golvvärme inte stöter på, där luftvärme är beroende av att den varma luften måste komma i kontakt med all luft i bostaden för att värma hela bostaden. Detta kan lösas med en överluftsv ventil som sprider in den uppvärmda luften även när dörren är stängd.

Vid närmare jämförelse av våra beräknade resultat och andra utförda undersökningar ser vi att resultaten stämmer in med små avvikelser. Enkätundersökningen stärker våra beräknade resultat att lågtemperaturteknik uppfyller en god termisk komfort i en bostad.

8 SLUTSATSER

I undersökningen har vi kommit fram till följande slutsats. Skillnaden mellan de olika uppvärmningssystemen har marginell skillnad där vi har jämfört operativ temperatur, PMV, PPD och DR-index vilket har slutsatsen att det termiska klimatet i våran undersökning är mycket god.

I jämförelse med andra undersökningar har resultaten av vår undersökning nått goda resultat där de sammanfaller med andra undersökningar men små avvikelser.

Vid val av uppvärmningssystem som har gett bäst termisk komfort är det golvvärme med extraslingor under fönstret vilket ger ett bättre PMV och PPD värde till skillnad mot vad luftvärme systemen ger.

I Drag synpunkt så ger golvvärmen lite högre dragindex men då det är låga värden enligt klassnings kategorin A vilket är drag <15 % enligt tabell 4.4

9 REKOMMENDATIONER

I vårt arbete har vi bara undersökt den termiska komforten från utvalda uppvärmningssystem där vi har ej beaktat energianvändningen på grund av val av uppvärmningssystem.

Detta skulle vara intressant att undersökas vidare i ett framtida examensarbete.

Beswic : [Fotografi]

https://www.google.se/search?q=PPD+index&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi3xo6qncHaAhXLkSwKHaTBDV4Q_AUICigB&biw=1745&bih=863#imgrc=JGM1C67Jc9PNcM:

[Hämtad 2018- 05-18]

Boverket: [fotografi]

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/termiskt-klimat/> [Hämtad 2018-06-07]

Boverket:<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/termiskt-klimat/> [Hämtad 2018-06-07]

Karlsson, H & Ståhl, F. (2012) *Termisk komfort i lågenergihus och passivhus*. SP Rapport 2012:13

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962677/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad 2018-05-01]

Levin, P & Kumlin, T. (2015) *Uppföljning av byggnadsteknik och energianvändning*

<http://www.bebostad.se/library/1807/slutrapport-passivhuset-trettondagen-1.pdf>

[Hämtad 2018-05-01]

Olesen, B.W. (1980) *THERMAL COMFORT IN A ROOM HEATED BY DIFFERENT METHODS*

<http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/Olesen%20et%20al%201980%20Thermal%20comfort%20in%20a%20room%20heated%20by%20different%20methods.pdf> [Hämtad 2018-05-15]

PAE Engineers, (2015) [Fotografi]

<https://www.pae-engineers.com/news/articles/a-holistic-approach-to-thermal-comfort>

[Hämtad 2018-05-18]

Persson, T. (2000). *Lågtemperaturvärmesystem-En kunskapsöversikt*. Borlänge: EKOS publikation (ISSN 1401-7555)

PPD och PMV formel ISO 7730, (2005) *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*

<https://www.sis.se/api/document/preview/907006/> [Hämtad 2018-06-7]

Nilsson, H. (2005) *PMVcalc v2 English*. Gävle universitet: reviderad 2005-09-15.

https://www.google.se/search?q=PMVcalc_v2_English&oq=PMVcalc_v2_English&aqs=chrome..69i57.442j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8 [Hämtad 2018-05-01]

Ruud, S & Lundin, L. (2004) *Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem*
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962284/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad 2018-06-07]

Slideplayer : [Fotografi]

https://www.google.se/search?biw=1536&bih=720&tbm=isch&sa=1&ei=q93VWuydJ4ibsAHD1YrQBw&q=Operativ+temperatur&og=Operativ+temperatur&gs_l=psy-ab.3..0i30k1j0i24k1l3.242909.257019.0.257514.64.28.19.13.16.0.87.1190.23.26.0...0...1c.1.64.psy-ab..7.54.1260.0..0j0i10k1j0i19k1j0i30i19k1j0i5i30i19k1j0i10i30k1j0i5i30k1j0i8i30k1.35.POR-03WDjrY#imgrc=OTG0i6-fsqKRhM: [Hämtad 2018-05-17]

Swema (2018). Anemometer-Drög. Tillgänglig:

<http://www.swema.se/instrument.php?p=SWA%2003&k=Lufthastighet>[Hämtad 2018-05-22]

Warfvinge, C. & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. (1:14 uppl.). Lund: Studentlitteratur.

Bilaga 1

DR indexberäkning

Golvvärme Jämnfördelad

Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %	Ute temp °C	meter från golvet
0,14	0	21,8	8,97		
0,16	0,4	21,8	10,1		
0,13	0,8	21,6	8,54		
Golvvärme med extra slingor under fönster					
Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %		
0,12	0	22,1	7,86		
0,16	0,4	21,9	10,0		
0,12	0,8	21,5	7,92		
Luftvärme bakreväggen				-5	0,1
Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %		
0,11	0	21,7	7,11		
0,11	0,4	21,5	7,62		
0,08	0,8	21,4	4,99		
Luftvärme under fönster					
Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %		
0,07	0	22,4	3,72		
0,06	0,4	22,3	3,25		
0,05	0,8	22,2	2,13		

Golvvärme jämnfördelad

Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %	Ute temp °C	meter från golvet
0,05	0	22,6	2,07		
0,05	0,4	22,6	2,06		
0,06	0,8	22,7	3,14		
Golvvärme med extra slingor under fönstret					
Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %		
0,05	0	22,4	2,10		
0,05	0,4	22,7	2,05		
0,05	0,8	22,6	2,07		
Luftvärme bakreväggen					
				-5	1,2
Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %		
0,05	0	25,6	1,20		
0,05	0,4	25,1	1,61		
0,08	0,8	25,7	3,57		
Luftvärme under fönster					
Medellufthastighet, m/s	oms	Lufttemperatur, °C	DR, %		
0,05	0	23,7	1,87		
0,05	0,4	23,9	1,83		
0,09	0,8	24,1	4,90		

Golvvärme Jämnfördelad, luftomsättning 0

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,14	21,8	8,97
0,30	0,12	22,4	7,69
0,61	0,10	22,5	6,09
1,20	0,05	22,6	2,07

Golvvärme Jämnfördelad, luftomsättning 0,4

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,16	21,8	10,09
0,30	0,14	22,2	8,73
0,61	0,11	22,6	6,69
1,20	0,05	22,6	2,06

Golvvärme Jämnfördelad, luftomsättning 0,8

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,13	21,6	8,54
0,30	0,11	22,1	7,43
0,61	0,10	22,4	6,05
1,20	0,06	22,7	3,14

Golvvärme med extra slingor under fönstret, luftomsättning 0

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,12	22,1	7,86
0,30	0,11	22,4	6,86
0,61	0,09	22,5	5,54
1,20	0,05	22,4	2,10

Golvvärme med extra slingor under fönstret, luftomsättning 0,4

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,16	21,9	10,02
0,30	0,14	22,3	8,68
0,61	0,11	22,5	6,76
1,20	0,05	22,7	2,05

Golvvärme med extra slingor under fönstret, luftomsättning 0,8

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,12	21,5	7,92
0,30	0,10	22,0	6,85
0,61	0,09	22,4	5,37
1,20	0,05	22,6	2,06

Luftvärme bakväggen, luftomsättning 0

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,11	21,7	7,12
0,30	0,01	22,4	6,08
0,61	0,08	23,6	4,41
1,20	0,05	25,6	1,52

Luftvärme bakväggen, luftomsättning 0,4

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,11	21,5	7,62
0,30	0,10	22,3	6,40
0,61	0,08	22,5	5,10
1,20	0,05	25,1	1,61

Luftvärme bakväggen, luftomsättning 0,8

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,08	21,4	4,99
0,30	0,07	21,9	4,33
0,61	0,06	23,5	3,19
1,20	0,05	25,7	1,51

Luftvärme under fönster, luftomsättning 0

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,07	22,4	3,72
0,30	0,06	23,0	3,25
0,61	0,06	23,8	2,67
1,20	0,05	23,7	1,87

Luftvärme under fönster, luftomsättning 0,4

Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,06	22,3	3,25
0,30	0,06	23,1	2,85
0,61	0,06	23,7	2,40
1,20	0,05	23,9	1,83

Luftvärme under fönster, luftomsättning 0,8

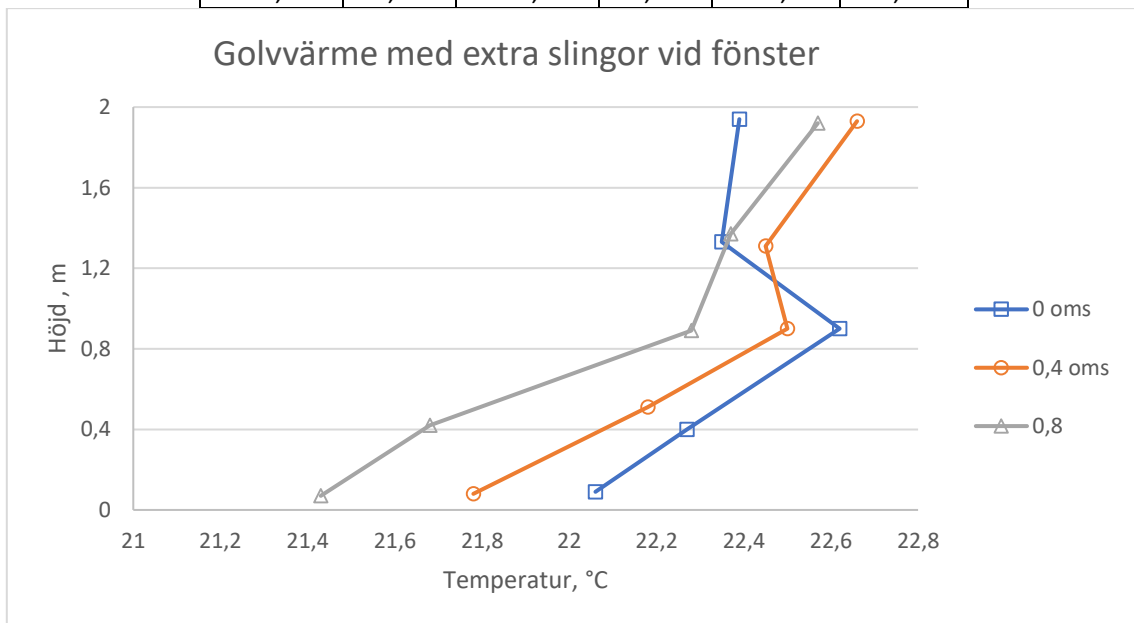
Höjd, m	Medelufthastighet, m/s	Lufttemperatur, °C	DR, %
0,10	0,05	22,2	2,13
0,30	0,06	22,9	2,81
0,61	0,07	23,6	3,66
1,20	0,90	24,1	4,89

Bilaga 2

Temperaturskillnad med avseende på höjd

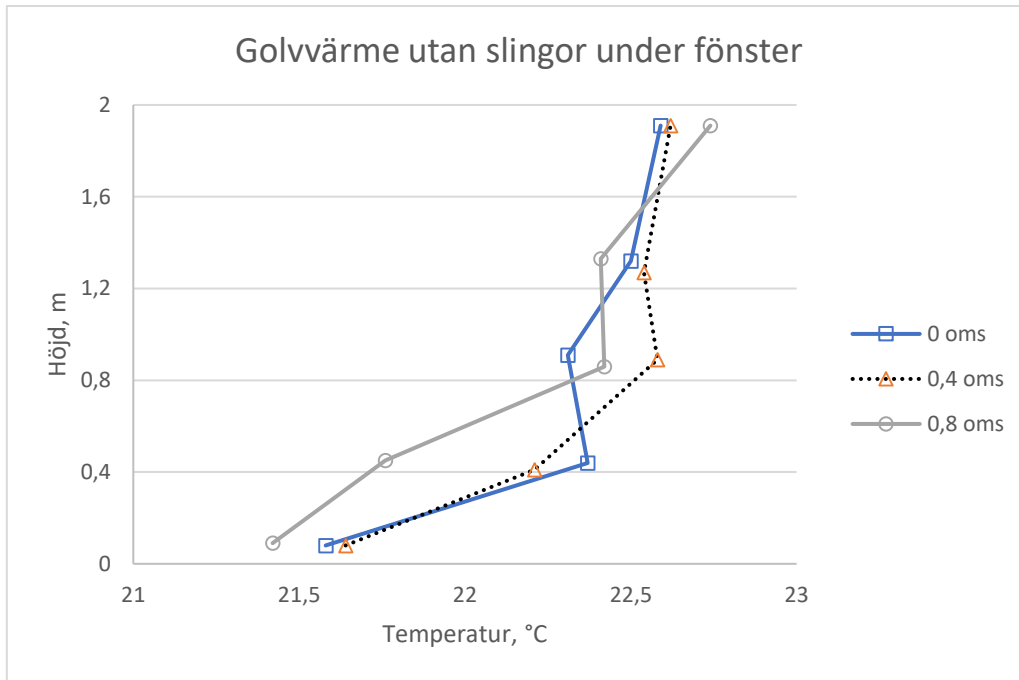
Golvvärme med extra slingor vid fönster

Ute temperatur -5 °C					
0 oms		0,4 oms		0,8 oms	
x	y	x	y	x	y
22,1	0,09	21,8	0,08	21,4	0,07
22,3	0,40	22,2	0,51	21,7	0,42
22,6	0,90	22,5	0,90	22,3	0,89
22,4	1,33	22,5	1,31	22,4	1,37
22,4	1,94	22,7	1,93	22,6	1,92



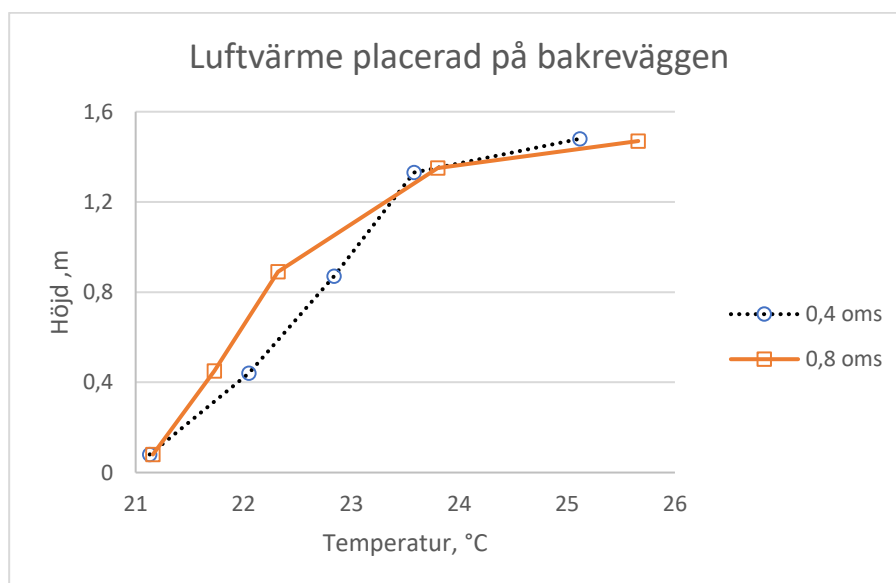
Golvvärme utan slingor under fönster

Ute temperatur -5 °C					
0 oms		0,4 oms		0,8 oms	
x	y	x	y	x	y
21,6	0,08	21,6	0,08	21,4	0,09
22,4	0,44	22,2	0,41	21,8	0,45
22,3	0,91	22,6	0,89	22,4	0,86
22,5	1,32	22,5	1,27	22,4	1,33
22,6	1,91	22,6	1,91	22,7	1,91



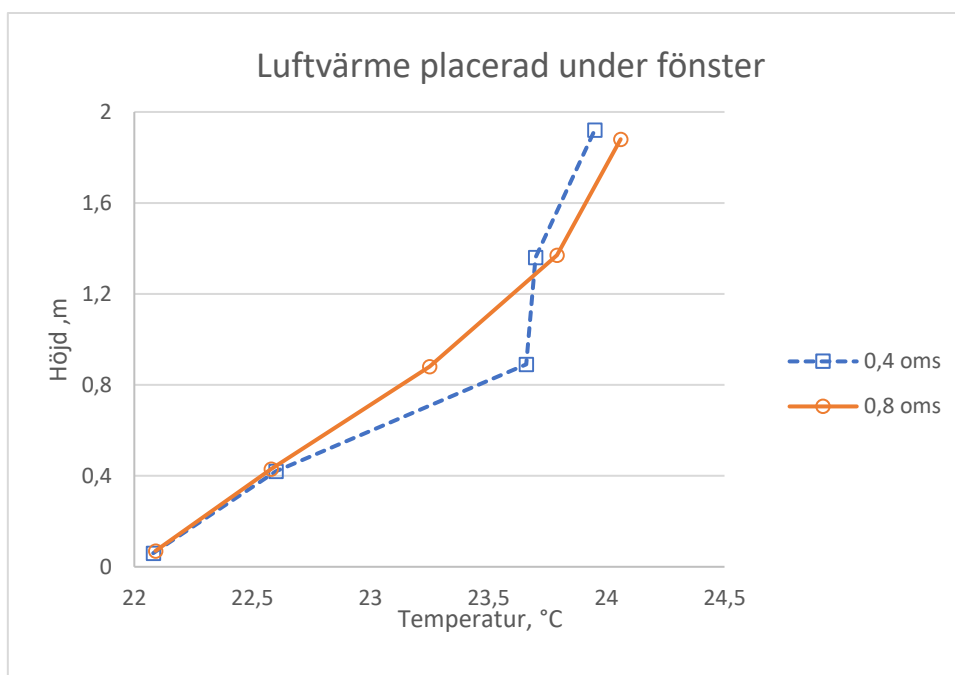
Luftvärme placerad under bakreväggen

Ute temperatur -5 °C			
0,4 oms		0,8 oms	
x	y	x	y
21,1	0,08	21,2	0,08
22,2	0,44	21,7	0,45
22,8	0,87	22,3	0,89
23,6	1,33	23,8	1,35
25,1	1,48	25,7	1,47



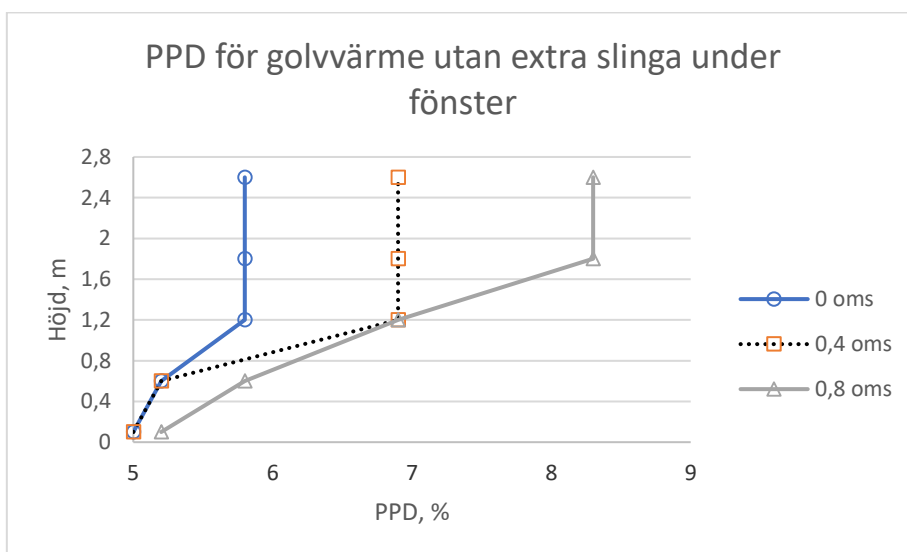
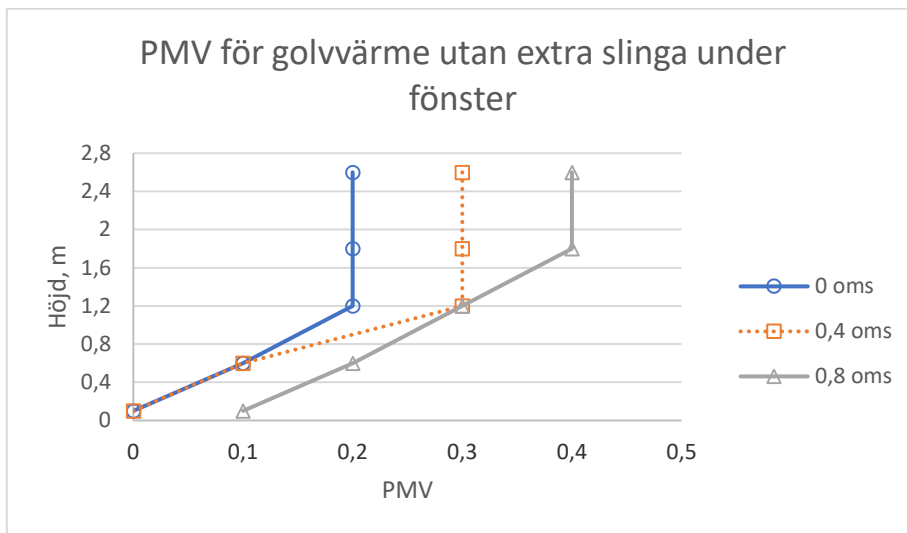
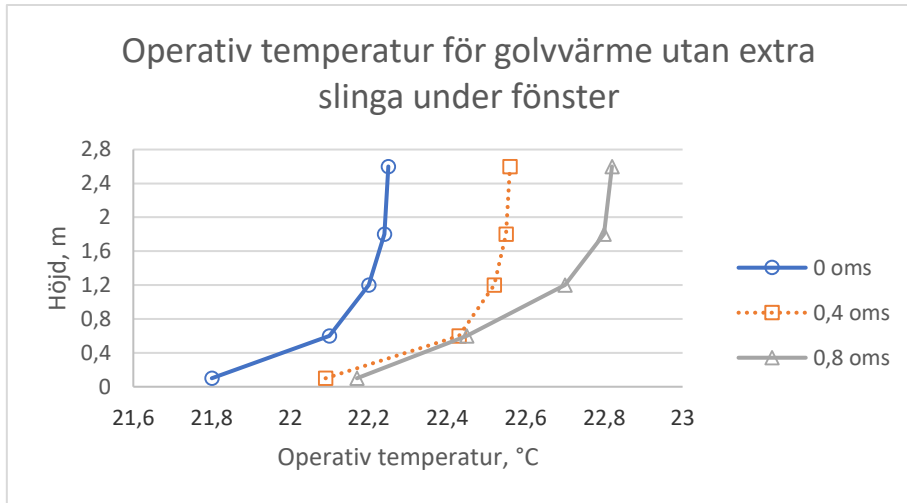
Luftvärme placerad under fönster

-5			
0,4	oms	0,8	oms
x	y	x	y
22,1	0,06	22,1	0,07
22,6	0,42	22,6	0,43
23,7	0,89	23,3	0,87
23,7	1,36	23,8	1,37
24,0	1,92	24,1	1,88

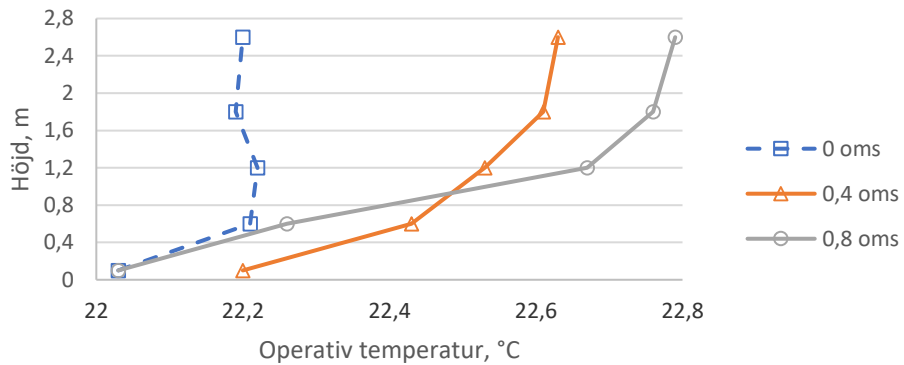


Bilaga 3

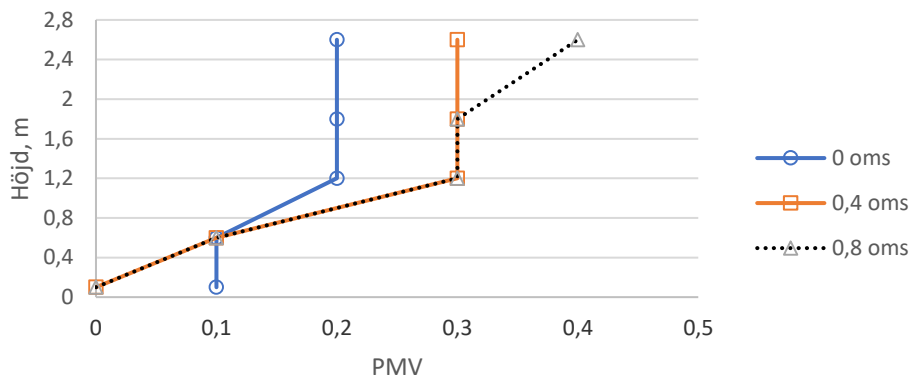
Operativ temperatur, PMV och PPD diagram för luftvärm och golvvärme vid olika luftomsättningar



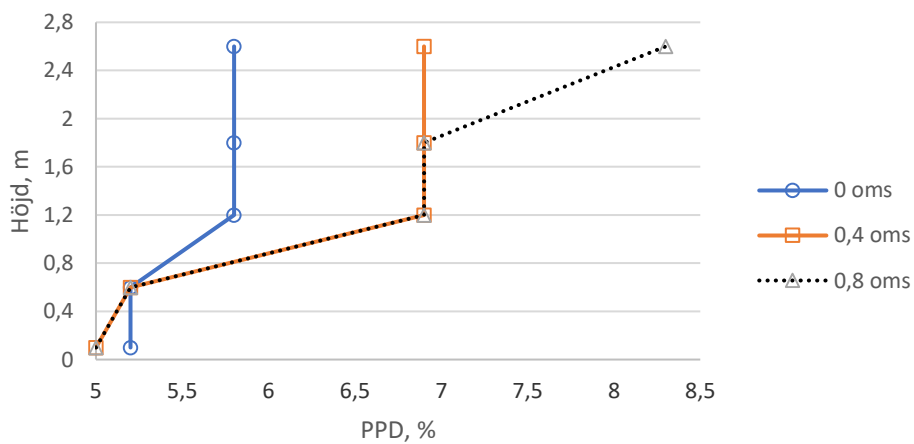
Operativ temperatur för golvvärme med extra slingror under fönster



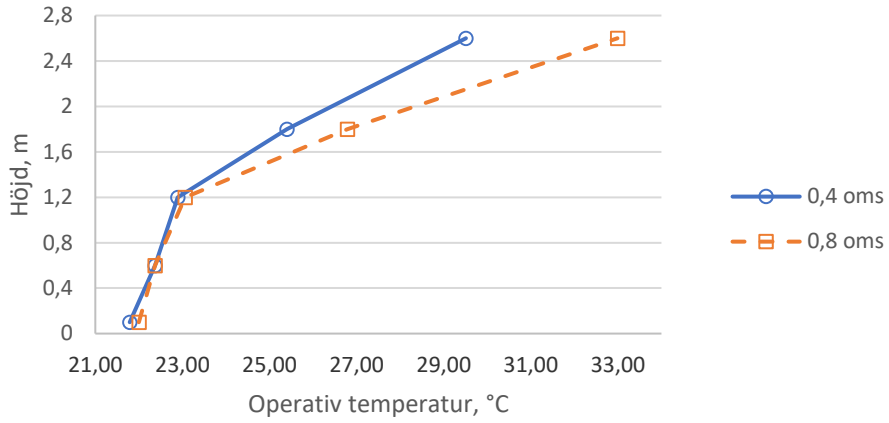
PMV för golvvärme med extra slingror under fönster



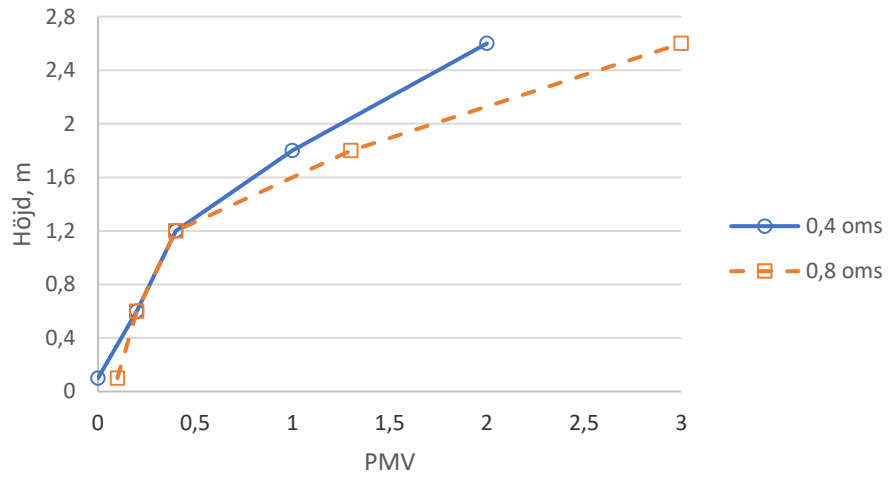
PPD för golvvärme med extra slingror under fönster



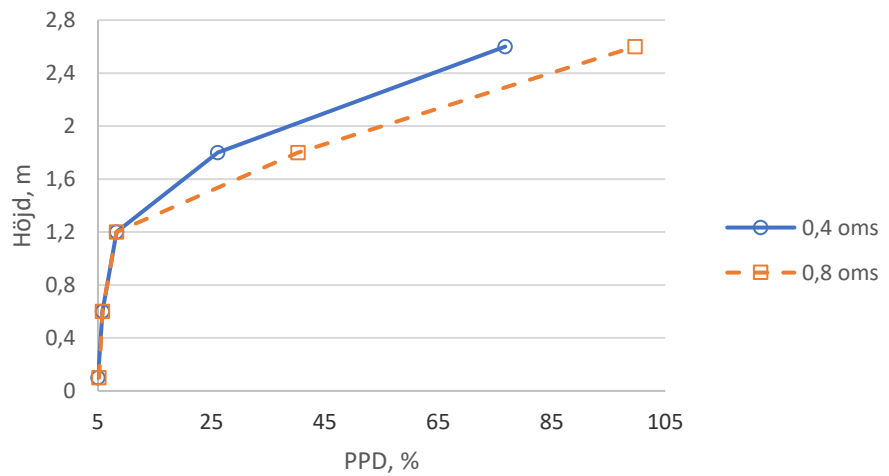
Operativ temperatur för luftvärme placerad vid bakvägg



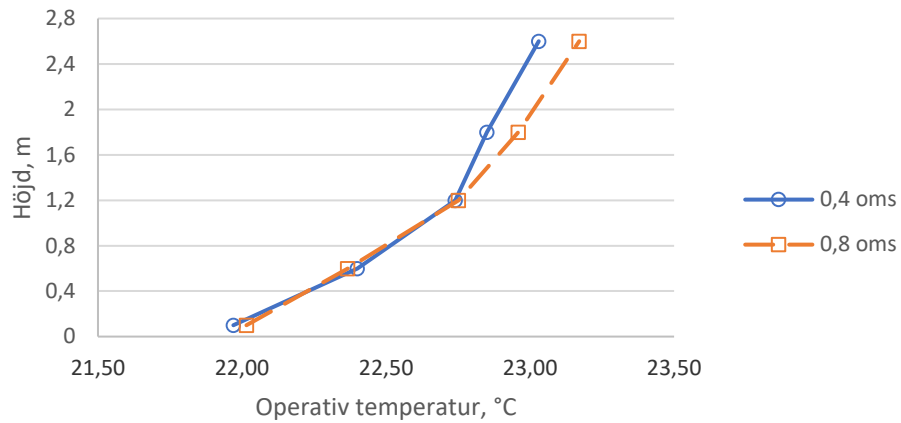
PMV för luftvärme placerad vid bakvägg



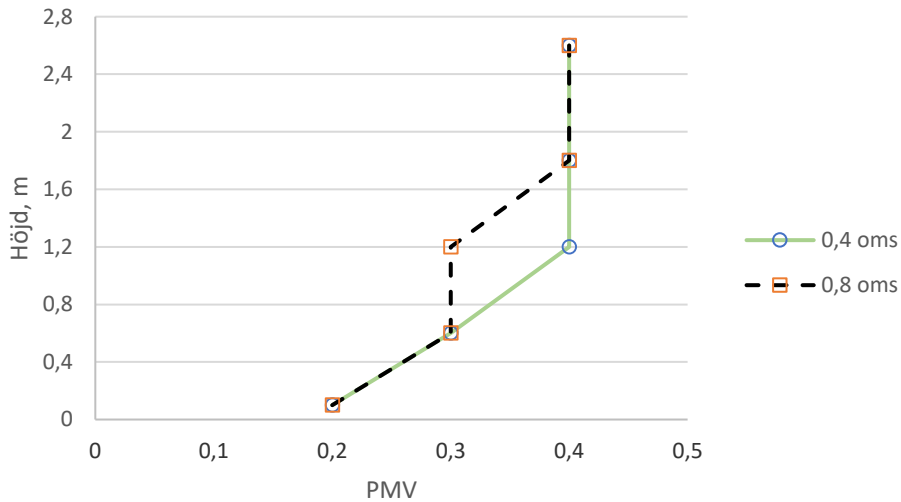
PPD för luftvärme placerad vid bakvägg



Operativ temperatur för luftvärme placerad under fönster



PMV för luftvärme placerad under fönster



PPD för luftvärme placerad under fönster

