



HØGSKOLEN I OSLO

***Avd. for ingeniørutdanning
Energi og miljølinjen***

GRUPPE

1

TILGJENGELIGHET

Åpen

Pilestredet 35
N-0130 OSLO

Telefon: 22 45 32 00
Telefax: 22 45 32 05
<http://www.iu.hio.no/>

SEMESTERNAVN:

KLASSE

5 RA

SKOLEÅR 2008/2009

OPPGAVE NR DETTE SKOLEÅR. 1

OPPGAVENS TITTEL:

"Vurdering av termisk komfort nær kalde glassflater ved målinger og spørreundersøkelse"

DATO

26.11.2009

ANTALL SIDER / BILAG

88/14

FORFATTER:

Øivind Gård og Tore Maurset

VEILEDER

Per Heiselberg

Ida Bryn

UTFØRT I SAMARBEID MED

Universitetet i Aalborg

KONTAKTPERSONER

Henrik Brohus

Per Heiselberg

Konsentrat

I oppgaven beregnes den termiske komforten i nærheten av glassflater ved vinterforhold ved hjelp av ISO 7730:2005. Det undersøkes hvordan U-verdien til vindusglass, temperaturforhold og høyden på vindusglass påvirker den termiske komforten. Beregningsmetoden i ISO 7730:2005 for vurdering av termisk komfort blir også vurdert. Det ble gjennomført en spørreundersøkelse med 30 personer, for å undersøke om det er gjensidig påvirkning mellom generell termisk diskomfort og lokal termisk diskomfort.

Komforten ved vindusglasset med U-verdi på 1,2 W/m²K var påvirket av utetemperatur, mens komforten ved vindusglasset med U-verdi på 0,4 W/m²K var lite påvirket av utetemperatur. Av resultatene fra spørreundersøkelsen ble det registrert forskjell mellom middelverdiene for beregnet- og opplevd komfort. Studentenes funn er at folk opplevde de termiske omgivelsene kaldere enn det som ble beregnet av komfortloggeren, men forskjellen er ikke signifikant med et signifikansnivå på 5 %. Dette kan forklares med at for få personer deltok i undersøkelsen og at det var stor spredning i resultatene grunnet syvtrinns oppløsning på PMV-skalaen (ISO 7730: 2005). Studentenes mistanke om at det er en gjensidig påvirkning mellom generell termisk diskomfort og lokal termisk diskomfort står sterkere, selv om statistikken sier at forskjellen ikke er signifikant.

3 STIKKORD Norsk

Termisk komfort

Engelsk

Thermal comfort

Lokal termisk diskomfort

Local thermal discomfort

Kalde glassflater

Cold glazed surfaces

Sammendrag

I denne oppgaven undersøkes det termiske miljøet i nærheten av glassflater ved vinterforhold ved hjelp av ISO 7730:2005. Studentene å undersøke hvordan vinduet som passivt tiltak kan bidra til et tilfredsstillende termisk miljø uten oppvarmingskilde under vinduet. Det undersøkes hvordan følgende parametere påvirker den termiske komforten:

- To forskjellige vindusglass (U-verdi på 1,2 og simulert U-verdi på 0,4 W/m²K)
- Ulike temperaturforhold (0, -10 og -20 °C).
- Ulike glasshøyder (1,50, 1,25 og 1,00 m)

For å analysere de ulike parameternes påvirkning på den termiske komforten, ble det gjennomført både målinger, analytiske beregninger og spørreundersøkelse.

For å undersøke om det var forskjell mellom beregnet og opplevd termisk komfort ble spørreundersøkelsen med 30 personer gjennomført. Studentene mistenkte at strålingsasymmetri og trekk, som kan forårsake lokal diskomfort, vil påvirke den generelle termiske komforten (for hele kroppen). Det ble undersøkt om det er gjensidig påvirkning mellom generell termisk komfort og parametere som forårsaker lokal termisk diskomfort.

Det gikk frem av resultatene fra komfortmålinger at den termiske diskomforten ved vindusglasset med U-verdi på 1,2 W/m²K øker med økende glasshøyde og minkende utetemperatur. Komforten ved vindusglasset med U-verdi på 0,4 W/m²K blir derimot lite påvirket av utetemperatur og glasshøyde.

Strålingsasymmetrien og trekk ved hode og ankler ble målt utenfor de grenseverdier som forårsaker lokal termisk diskomfort.

Av resultatene fra spørreundersøkelsen ble det registrert forskjell mellom middelverdiene til beregnet- og opplevd komfort. Studentenes funn er at testpersonene opplevde de termiske omgivelsene kaldere enn det som ble beregnet av komfortloggeren, men forskjellen er ikke signifikant med et signifikansnivå på 5 %. Dette kan forklares med at for få personer deltok i undersøkelsen og at det var stor spredning i resultatene. Den store spredningen skyldes at testpersonene benyttet en syvtrinns PMV-skala (ISO 7730: 2005), mens komfortloggeren benytter en kontinuerlig PMV-skala.

Studentenes mistanke om at det er en gjensidig påvirkning mellom generell termisk diskomfort og lokal termisk diskomfort står sterkere, selv om statistikken sier at forskjellen ikke er signifikant. For å kunne si sikkert om det er forskjell mellom beregnet og opplevd komfort er det behov for flere undersøkelser med flere testpersoner.

Dersom det benyttes vindusglass med lav U-verdi vil det ikke være nødvendig med oppvarmingskilde under vinduet for å ivareta termisk komfort. Som passivt tiltak anbefales det at inneklimate etter klasse A (ISO 7730: 2005) oppfylles, da det ikke lenger er reguleringsmuligheter, slik det var med oppvarmingskilden.

Summary

In this thesis the thermal environment near a cold vertical glazing is assessed using ISO 7730:2005. The students wish to investigate if a well insulated glazing may be used as a passive measure for obtaining thermal comfort without a heat source beneath the window. The students have also investigated how the following parameters influence the thermal comfort:

- The U-value of the glazing (a U-value of 1.2 W/m²K and a simulated U-value of 0,4 W/m²K is tested)
- Outdoor temperature (0, -10 og -20 °C)
- Glazing height (1.50, 1.25 og 1.00 m)

Measurements, analytical calculations and a survey were used for analyzing the influence of the different parameters.

A survey with 30 subjects was conducted, to investigate if there were any discrepancies between experienced thermal comfort and calculated thermal comfort. The students suspected a mutual influence between local discomfort parameters (as radiant asymmetry and draft) and general thermal discomfort.

Radiant asymmetry and draught at the head and ankles were measured outside the threshold limits for causing local thermal discomfort. The results of the comfort measurements indicate that the thermal discomfort near the glazing with a U-value of 1.2 W/m²K increases with decreasing temperatures and increasing glazing height. Thermal comfort near the glazing with a U-value of 0.4 W/m²K is hardly influenced by outdoor temperature and glazing height. With regards to thermal comfort, heat sources beneath windows seem unnecessary if a sufficiently insulated glazing is used. In order to obtain thermal comfort without a heat source it is suggested that category A (ISO 7730: 2005) for the thermal environment is achieved. This is due to the lack of regulation ability, when only using highly insulated glazing.

The results from the field study indicated discrepancies between experienced and calculated thermal comfort. The student found that the test subjects experienced the thermal environment to be slightly cooler than calculated, using measured data and ISO 7730:2005. The difference between experienced and calculated thermal comfort was however not significant on a 5 % level of significance. The students believe that this insignificance could be explained by too few test subjects and the fact that ISO 7730:2005 uses a continuous PMV-scale while a seven point PMV-scale was used in the questionnaire.

It is still suspected that the recorded difference between experienced and calculated thermal discomfort is caused by mutual influence between local thermal discomfort and general thermal discomfort. Further studies are necessary to explore the possible mutual influence between local and general thermal discomfort.

Forkortelser

AMV	Actual Mean Vote
DR	DR [%]
KI	Konfidensintervall
clo	Måleenhet for bekledning
ET	Effective Temperature [K]
PD	Percent Dissatisfied [%]
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percent Dissatisfied
RH	Relativ fuktighet [%]
SPSS	Programvare for statistisk analyse
TU	Turbulensintensitet [%]

Ordforklaringer

Anemometer	Type måleinstrument som brukes til å måle vindhastighet	s.19
Avhengig variabel	Variabelen det undersøkes om har sammenheng mellom andre variable.	s.25
Ekvivalent Temperatur	Den operative temperatur i stille luft	
Indexdata	Brukes om resultater som komfortloggeren settes opp til	
Kaldras	Luftbevegelser som oppstår grunnet en kald overfalte	
Komfort	Betegnelser på fravær av klager	
Komfortlogger	Brukes om Thermal Comfort Data logger - Innova 1220	s.19
Korrelasjon	Brukes når det er sammenheng mellom flere parametere	s.25
Generell termisk komfort	Termisk komfort for hele kroppen.	
Lokal termisk diskomfort	Diskomfort som skyldes lokale påvirkninger på kroppen.	
Operativ temperatur	Brukes som mål for menneskers opplevde temperatur. Avhenger av lufttemperatur og omgivelsenes strålingstemperatur.	
Strålingsasymmetri	Forskjell mellom plan strålingstemperatur for to sider beregnet på grunnlag av måledata.	s.17
Termisk	Brukes som beskrivelse av varme prosesser.	
Termisk komfort	En sinnstilstand som kjennetegnes med fravær av termisk diskomfort. Omfatter både generell termisk komfort og lokal termisk komfort.	
Tørrkule temperatur	Luftens temperatur uten påvirkning av fuktighet	s.38
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient [W/m ² K]	
Vindu	Både vindusglass, ramme og karm	
Vindusglass	Kun glasskonstruksjonen med gassfylling og spacer	
Våtkule temperatur	Luftens temperatur ved mettet vanninnhold	s.38

Forord

Denne oppgaven er utført av 2 studenter på energi og miljølinjen ved avdeling for ingeniørfag på Høgskolen i Oslo, i samarbeid med Universitetet i Aalborg. Hensikten med oppgaven er å beregne komforten ved to forskjellige typer vindusglass, samt vurdere om ISO 7730:2005 gir en tilfredsstillende vurdering av den termiske komforten.

Takk til:

Professor Ida Bryn (Høgskolen i Oslo) og Professor Per Heiselberg (Universitet i Aalborg) for god oppfølging og inspirasjon.

Knut Rangvald Skulberg for hjelp med statistikk og spørreundersøkelse

Øystein Andersen for hjelp med tilrettelegning av laboratoriet og målerutstyr

Sturla Rolfsen og Professor Oddbjørn Sjøvold for koordinering med Aalborg Universitet.

Oslo, 16.11.2009

Øivind Gård

Tore Maurset

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	14
1.1	Oppgavebeskrivelse	14
1.2	Relevant litteratur	15
1.2.1	Termisk komfort	15
1.2.2	Kaldras.....	15
2	Teori	16
2.1	Termisk komfort.....	16
2.2	Lokal termisk diskomfort	17
2.2.1	DR.....	17
2.2.2	Strålingsasymmetri	17
2.2.3	Vertikal temperaturdifferanse	17
2.2.4	Kaldt gulv	17
2.3	Termodynamikk ved vinduet	18
2.3.1	Energitransport igjennom vindusglass	18
2.3.1.1	Konveksjon i gasslaget mellom vindusglassene	18
2.3.1.2	Stråling mellom glassflatene.....	18
2.3.1.3	Ledning igjennom glasspaceren	18
2.3.2	Kaldras.....	18
2.4	Målerinstrumenter	19
2.4.1	Thermal Comfort Data logger – INNOVA 1221	19
2.4.1.1	Lufthastighetsmåler.....	19
2.4.1.2	Lufttemperaturmåler	20
2.4.1.3	Strålingsasymmetri måler	20
2.4.1.4	Fuktmåler	21
2.4.1.5	Operativ temperatur.....	21
2.4.2	Q-Trak	22
2.4.3	PC logger 3100.....	22
2.5	Teori for forsøk med testpersoner og spørreundersøkelse	24
2.5.1	Bakgrunn for gjennomføring av spørreundersøkelse	24
2.5.2	Deskriptiv statistikk	24
2.5.3	Analytisk statistikk.....	24
2.5.3.1	Korrelasjon	25
2.5.3.2	Lineær regresjon.....	25
2.5.4	Hensikt.....	25
3	Metode.....	26
3.1.1	Oppbygning av inneklimalaboratoriet	26
3.2	Målersituasjoner for komfortmålinger	28
3.2.1	Måling ved forskjellige u-verdi.....	28
3.2.2	Måling ved forskjellige glasshøyder	28
3.3	Oppstilling av måleinstrumenter	29
3.3.1	Måling av lufttemperatur i rommet.....	29
3.3.2	Måling av overflatetemperatur langs med midten av vindusglasset	29
3.3.3	Måling av kaldras.....	30
3.3.4	Måling av termisk komfort.	31
3.4	Gjennomføring av målecase.....	32
3.5	Beregning av termisk komfort	33
3.5.1	Beregning av PMV.....	33
3.5.2	Beregning av PPD	33
3.6	Beregning av lokal termisk diskomfort.....	33
3.6.1	Draft rating (DR)	33
3.6.2	Strålingsasymmetri	33
3.6.3	Vertikal temperaturdifferanse	34
3.6.4	Kaldt Gulv.....	34
3.7	Beregning av lufthastighet ved karm.....	34
3.8	Metode for spørreundersøkelsen	35

3.8.1	Generelt	35
3.8.2	Utvalget	35
3.8.3	Fysiske forutsetninger	35
3.8.4	Gjennomføring av spørreundersøkelse	36
3.8.5	Databehandling	36
3.8.5.1	Beregning av AMV	36
3.8.5.2	Beregning av PMV	36
3.8.5.3	Statistisk behandling	37
3.8.6	Valg av statistisk metode	37
4	Pilotmålinger	38
4.1	Analyse av PMV fra komfortloggeren	38
4.2	Kontroll av relativ fuktighets beregning.	39
5	Usikkerhet	41
5.1	Betraktninger	41
5.1.1	Oppbygging av inneklimalaboratoriet og kuldebroer	41
5.1.2	Konsekvens av ufullstendig ventilasjonsanlegg	41
5.1.3	Konsekvens av uhensiktsmessig plassering av inntak og avkast	41
5.1.4	Lufttemperaturens påvirkning på komfortmålinger	42
5.1.5	Lufthastighetsmålerens følsomhet for strømningsretning	42
5.1.6	Forflytning av målepunkter for måling av kaldras	42
5.1.7	Manglende kalibrering av hastighetsmåler	42
5.1.8	Måling av overflatetemperatur	43
5.1.9	Plassering av komfortmåler	43
5.1.10	Styring av kjøleaggregat	43
5.1.11	Simulering av U-verdi	43
5.1.12	Komplikasjoner med komfortloggeren	44
5.1.13	Behandling av data	44
5.1.13.1	Komfortdata	44
5.1.13.2	PPD og PPD-(R) aktivitetskorrigeret	45
5.1.13.3	Draft Ratning	45
5.2	Eksempel på usikkerhetsberegning	46
5.2.1	Fremgangsmåte	46
5.2.1.1	Tilfeldige feil	46
5.2.1.2	Systematiske feil	46
5.2.1.3	Den resulterende totale usikkerhet	46
5.2.1.4	Feilopphepning	47
5.2.2	Usikkerhet for DR ved gulv.	48
5.3	Følsomhetsanalyse for DR	51
5.3.1	DR som funksjon av lufthastigheten.	51
5.3.2	DR som funksjon av lufttemperaturen.	51
5.3.3	DR som funksjon av turbulensintensitet	52
6	Resultater	53
6.1	Målt PPD i Inneklimalaboratoriet	53
6.2	Lokal diskomfort	57
6.2.1	DR ved gulv	57
6.2.2	DR ved nakkehøyde	60
6.2.3	Kaldras hastighet ved karm	61
6.3	Kaldras hastighet ved gulv	64
6.4	Lokal diskomfort	67
6.4.1	Strålingsasymmetri	67
6.4.2	Vertikal temperaturdifferanse	68
6.5	Resultater fra spørreundersøkelse	69
6.5.1	Deskriptiv Statistikk	69
6.5.1.1	Litt om utvalget	69
6.5.1.2	Beregnet og opplevd komfort	69
6.5.1.3	Temperaturutvikling under gjennomføring av spørreundersøkelse	70
6.5.1.4	Fysiske påvirkninger	70

6.5.1.5	Nedkjølte kroppsdeler.....	70
6.5.2	Analytisk Statistikk	71
6.5.2.1	Korrelasjon	71
6.5.2.2	Lineær Regresjon.....	71
7	Diskusjon.....	72
7.1	Vurdering av metode for termisk komfort.	72
7.1.1	Liggende eller stående vindu.....	72
7.1.2	Laboratoriets utforming og mangler	72
7.1.3	Flytting av hastighetsmålere under forsøk.....	72
7.1.4	Kalibrering av lufthastighetsinstrumenter.....	73
7.1.5	Simulering av U-verdi.....	73
7.1.6	Kjøleromsaggregat.....	73
7.1.7	Valg av målepunkt til lufthastighet for beregning av DR ved gulv.....	74
7.2	Termisk komfortmålinger.....	75
7.2.1	U-verdiens påvirkning på PPD	75
7.2.2	Middelstrålingstemperaturens påvirkning på PPD	75
7.2.3	Glasshøydens påvirkning på PPD	75
7.2.4	Årsak til avvikende målepunkter.....	76
7.2.4.1	Målepunktet "glasshøyde på 1,25, -10 °C og U-verdi på 1,2 W/m ² K" sammenlignet andre med øvrige målerpunkter ved -10 °C.....	76
7.2.4.2	Målepunkt "glasshøyde på 1,5m, -20 °C og U-verdi på 0,4 W/m ² K" sammenlignet med øvrige målinger ved U-verdi på 0,4 W/m ² K.....	77
7.3	Lokal Diskomfort	78
7.3.1	Draft Rating	78
7.3.2	Kaldrashastigheter.....	78
7.3.3	Strålingsasymmetri	79
7.3.4	Vertikal temperaturdifferanse	79
7.3.5	Kalde Gulv	79
7.4	Vurdering av metode for spørreundersøkelse.	80
7.4.1	Beregning av bekledning	80
7.4.2	Varighet av forsøk	80
7.4.3	Bruk av personer fra energi og miljø	80
7.4.4	Formulering av spørsmål i spørreskjema	80
7.4.5	Valg av spørsmål	81
7.5	Diskusjon av spørreundersøkelsens resultater	82
7.5.1	Forskjell mellom opplevd og beregnet komfort	82
7.5.1.1	Oppløsningen av PMV skala.	82
7.5.1.2	Utvalgets størrelse	82
7.5.2	Vurdering av sammenhengen mellom bekledning og opplevd komfort	82
7.6	Sammenhengen mellom den generelle termiske komforten og lokal termisk diskomfort.....	84
7.6.1	Standarders beregning av termisk komfort	84
7.6.2	Vurdering etter resultater fra spørreundersøkelse	84
7.7	Forutsetninger for fjerning av oppvarmingskilde under vinduet.....	85
8	Konklusjon.....	86
9	Kilder.....	87

Figurliste

FIGUR 1: THERMAL COMFORT DATA LOGGER - INNOVA 1221	19
FIGUR 2: MÅLERPROBE FOR LUFTHASTIGHET – MM0038	19
FIGUR 3: MÅLERPROBE FOR LUFTTEMPERATUR - MM0034	20
FIGUR 4: MÅLERPROBE FOR TEMPERATUR ASYMMETRI – MM0036	20
FIGUR 5: MÅLERPROBE FOR FUKTMÅLING - MM0037	21
FIGUR 6: MÅLERPROBE FOR OPERATIV TEMPERATUR – MM0060.	21
FIGUR 7: Q-TRAK MÅLER. MÅLER LUFTHASTIGHET, TEMPERATUR OG FUKTIGHET.	22
FIGUR 8: PC LOGGER 3100 BRUKES FOR MÅLING AV OVERFLATETEMPERATURER.	22
FIGUR 9: PMV SKALA	24
FIGUR 10: INNEKLIMALABORATORIET.....	26
FIGUR 11: SKISSE AV VEGG MOT KJØLEROM. VISER UTSPARINGSMÅL.....	27
FIGUR 12: ILLUSTRASJON AV Plasseringene for overflatetemperaturmålere på vindusglasset. For bilde i full størrelse se Vedlegg 3.....	29
FIGUR 13: ILLUSTRASJON AV Plasseringene for lufthastighetsmålere. For bilde i full størrelse se Vedlegg 4.....	30
FIGUR 14: ILLUSTRASJON AV Plasseringene av lufthastighetsmålere. For bilde i full størrelse se Vedlegg 5.	31
FIGUR 15: OPPSTILLING AV INSTRUMENTER OG TESTPERSON VED GJENNOMFØRING AV FORSØK	35
FIGUR 16: PPD SOM FUNKSJON AV RELATIV FUKTIGHET. (1,2 MET, 1 CLO, 0,2 m/s, 20,4 °C T _{LUFT} , 18,8 °C T _{STRÅLING}).....	39
FIGUR 17: DR SOM FUNKSJON AV LUFTHASTIGHEN.....	51
FIGUR 18: DR SOM FUNKSJON AV LUFT TEMPERATUR	52
FIGUR 19: DR SOM FUNKSJON AV TURBULENS INTENSITET	52
FIGUR 20: PPD SOM FUNKSJON AV UTETEMPERATUR VED U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER.....	54
FIGUR 21: PPD SOM FUNKSJON AV UTETEMPERATUR VED U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER.....	54
FIGUR 22: PPD SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSOVERFLATE VED U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER.	55
FIGUR 23: PPD SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSOVERFLATE VED U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER.	55
FIGUR 24: PPD SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDEN VED U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATUR.....	56
FIGUR 25: PPD SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDEN VED U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATUR.....	56
FIGUR 26: DR VED GULV SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSOVERFLATE FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI 1,2 W/M ² K.	57
FIGUR 27: DR VED GULV SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSOVERFLATE FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K.	57
FIGUR 28: DR VED GULV SOM FUNKSJON AV UTETEMPERATUR FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K.....	58
FIGUR 29: DR VED GULV SOM FUNKSJON AV UTETEMPERATUR FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K.....	58
FIGUR 30: DR VED GULV SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDEN FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATUR. U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K.....	59
FIGUR 31: DR VED GULV SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDEN VED FORSKJELLIGE UTETEMPERATUR. U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K.....	59
FIGUR 32: DR VED NAKKE SOM FUNKSJON AV UTETEMPERATUR VED FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K.	60
FIGUR 33: DR VED NAKKE SOM FUNKSJON AV UTETEMPERATUR VED FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K.....	60
FIGUR 34: LUFTHASTIGHET (MÅLT OG BEREGNET) OG TURBULENSINTENSITET VED KARM. PLOTTET SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSFLATE FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K.....	61
FIGUR 35: LUFTHASTIGHET (MÅLT OG BEREGNET) OG TURBULENSINTENSITET VED KARM. PLOTTET SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSFLATE FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K.....	61
FIGUR 36: LUFTHASTIGHET (MÅLT OG BEREGNET) OG TURBULENSINTENSITET VED KARM. PLOTTET SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDE FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER. U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K.....	62

FIGUR 37: LUFTHASTIGHET (MÅLT OG BEREGNET) OG TURBULENSINTENSITET VED KARM. PLOTTET SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDE FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER. U-VERDI PÅ $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	62
FIGUR 38: HASTIGHETSPROFIL VED KARM SOM FUNKSJON AV MÅLERPOSISJON FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER OG GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. (P1 VED VINDUSKARM).....	63
FIGUR 39: HASTIGHETSPROFIL VED KARM SOM FUNKSJON AV MÅLERPOSISJON FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER OG GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. (P1 VED VINDUSKARM).....	63
FIGUR 40: LUFTHASTIGHET, TURBULENSINTENSITET OG DR VED GULV. PLOTTET SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSFLATE FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	64
FIGUR 41: LUFTHASTIGHET, TURBULENSINTENSITET OG DR VED GULV. PLOTTET SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM ROMLUFT OG VINDUSFLATE FOR FORSKJELLIGE GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	64
FIGUR 42: LUFTHASTIGHET, TURBULENSINTENSITET OG DR VED GULV. PLOTTET SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDE FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER. U-VERDI PÅ $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	65
FIGUR 43: LUFTHASTIGHET, TURBULENSINTENSITET OG DR VED GULV. PLOTTET SOM FUNKSJON AV GLASSHØYDE FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER. U-VERDI PÅ $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	65
FIGUR 44: HASTIGHETSPROFIL VED GULV SOM FUNKSJON AV MÅLERPOSISJON FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER OG GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. (P1 VED GULV).....	66
FIGUR 45: HASTIGHETSPROFIL VED GULV SOM FUNKSJON AV MÅLERPOSISJON FOR FORSKJELLIGE UTETEMPERATURER OG GLASSHØYDER. U-VERDI PÅ $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. (P1 VED GULV).....	66
FIGUR 46: PPD SOM FUNKSJON AV PMV, MED BEREGNET GJENNOMSNTTLIGE PMV VERDIER (VED 1 CLO OG BEREGNET CLO), AMV OG TILHØRENDE 95 %-KONFIDENSINTERVALLER	70
FIGUR 47: PPD SOM EN FUNKSJON AV OPERATIV TEMPERATUR VED 1,2 MET, 1 CLO, 0,1 M/S OG 50 % RH.	76

Tabelliste

TABELL 1: VISER REKKEFØLGEN PÅ GJENNOMFØRINGEN AV ALLE MÅLECASER. FRA 1 TIL 18.	32
TABELL 2: SAMMENLIGNING AV MÅLT PMV OG PPD MOT KONTROLLBEREGNET PMV OG PPD. MÅLING FRA 12.06.2009.	38
TABELL 3: KONTROLL AV AVLEST RELATIV FUKTIGHET FRA KOMFORTLOGGER, MANUELT BEREGNET RELATIV FUKTIGHET OG RELATIV FUKTIGHET AVLEST MED IX-DIAGRAM.	40
TABELL 4: EKSEMPEL PÅ INSTRUMENTUSIKKERHET FOR Q-TRAK LUFT OG HASTIGHETSMÅLER. (SE VEDLEGG 12)	48
TABELL 5: MÅLINGENES TILFELDIGE FEIL FOR TEMPERATURMÅLER BEREGNET UT I FRA MÅLINGER AV TEMPERATUREN VED GULV.	48
TABELL 6: BEREGNET SYSTEMATISKE FEIL FOR TEMPERATUR.	48
TABELL 7: BEREGNET RESULTERENDE FEIL FOR TEMPERATUR.	49
TABELL 8: BEREGNET FEILOPPHOPNING FOR DR VED GULV. (SE VEDLEGG 13).....	49
TABELL 9: BEREGNET TOTALE FEILOPPHOPNING FOR DR VED GULV.	50
TABELL 10: MÅLT STRÅLINGSASYMMETRI OG DIFFERANSEN MELLOM VINDUSFLATENS OVERFLATETEMPURTUR OG ROMLUFTENS.	67
TABELL 11: BEREGNET MISSFØRNYDE (PD) SOM FUNKSJON AV TEMPERATURFORSKJELL MELLOM LUFTTEMPERATUREN MÅLT VED NAKKE OG GULV.	68
TABELL 12: FREKVENSFORDELING AV "TERMISKE" DATA. (N=30)	69
TABELL 13: FØLELSE AV OM DET BLE KALDERE ELLER VARMERE I PROSENT (N=30)	70
TABELL 14: FORDELING AV OPPLEVDE FYSISKE PÅVIRKNINGER: STRÅLINGSASYMMETRI, LUFTBEVEGELSER OG LUFTFUKTIGHET I PROSENT (N=30).....	70
TABELL 15: FORDELING AV OPPLEVD NEDKJØLT NAKKE, HÅNDELEDD OG ANKLER I PROSENT	70
TABELL 16: LINEÆR REGRESJON (IKKE-JUSTERT OG JUSTERT FOR KJØNN, ALDER OG FORETRUKNE TERMISKE OMGIVELSER).....	71
TABELL 17: MIDDEL STRÅLINGS TEMPERATUR SOM FUNKSJON AV ΔT OVERFLATE - ROMLUFT TEMPERATUR. I FORHOLD TIL 20 °C VEGG OG LUFTTEMPERATUR OG ET VINKELFORHOLD FOR VINDUET PÅ 18 %.....	75
TABELL 18: UTVALG AV OPERATIV TEMPERATUR VED KOMFORTMÅLINGER	76
TABELL 19: PPD ENDRING PGA OPERATIV TEMPERATUR SAMMENLIGNET MED FIGUR 24. FOR U-VERDI PÅ 1,2 W/M ² K OG -10 °C	77
TABELL 20: UTVALG AV OPERATIV TEMPERATUR VED KOMFORTMÅLINGER FOR U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K	77
TABELL 21: PPD ENDRING PGA OPERATIV TEMPERATUR SAMMENLIGNET MED FIGUR 25. FOR U-VERDI PÅ 0,4 W/M ² K OG -20 °C	77
TABELL 22: DIFFERANSE MELLOM OPPLEVD (AMV) OG BEREGNET KOMFORT (PMV). PMV OG AMV VERDIENE ER HENTET FRA TABELL 12.	82

Formelliste

FORMEL 1: BEREGNING AV GLASSETS OVERFLATETEMPERATUR.....	28
FORMEL 2: BEREGNING AV UTETEMPERATUR (KJØLEROMSTEMPERATUR) SOM FUNKSJON AV OVERFLATETEMPERATUR.....	28
FORMEL 3: PPD SOM FUNKSJON AV PMV.....	33
FORMEL 4: MISFORNØYDE SOM FUNKSJON AV LUFTHASTIGHET OG LUFTTEMPERATUR. FOR T_A MELLOM 20 °C TIL 26 °C. $V_A < 0,05$ M/S OG T_U MELLOM 10 % TIL 60 %.	33
FORMEL 5: MISFORNØYDE SOM FUNKSJON AV STRÅLINGSASYMMETRI VED KALD VEGG. FOR $\Delta T_{PR} < 15$ °C.....	33
FORMEL 6: MISFORNØYDE SOM FUNKSJON AV VERTIKAL TEMPERATURDIFFERANSE. FOR $\Delta T_{A,V} < 8$ °C.....	34
FORMEL 7: RELATIV FUKTIGHET SOM FUNKSJON AV DUGGPUNKTEMPERATUR (T_D) OG LUFTTEMPERATUR (T_A).....	39
FORMEL 8: MÅLINGENS STANDARDFEIL.....	46
FORMEL 9: MÅLINGENS TILFELDIGE FEIL.....	46
FORMEL 10: SUMMERING AV SYSTEMATISKE FEIL.....	46
FORMEL 11: SUMMERING AV RESULTERENDE TOTALE USIKKERHET.....	46
FORMEL 12: FORMEL FOR DR.....	47
FORMEL 13: DEN PARTIELL DERIVERTE AV DR MED HENSYN PÅ LUFTHASTIGHETEN.....	47
FORMEL 14: DEN PARTIELL DERIVERTE AV DR MED HENSYN PÅ LUFTTEMPERATUREN.....	47
FORMEL 15: TOTAL FEILOPPHOPNING. UTTRYKKENE I PARENTES ER FEILOPPHOPNING FOR LUFTHASTIGHET OG TEMPERATUR.....	47

Vedleggsliste

VEDLEGG 1: BEREGNING AV U-VERDI VED ISOLERING UTENPÅ VINDU

VEDLEGG 2: BEREGNING AV OVERFLATETEMPERATUR – UTETEMPERATUR.

VEDLEGG 3: PLASSERING AV TEMPERATURMÅLERE

VEDLEGG 4: PLASSERING AV LUFTHASTIGHETSMÅLERE

VEDLEGG 5: PLASSERING AV KOMFORTMÅLER

VEDLEGG 6: BEREGNING AV PMV, PPD OG DR

VEDLEGG 7: BEREGNING AV KALDRAS

VEDLEGG 8: CLO-TABELL

VEDLEGG 9: SPØRREUNDERSØKELSE

VEDLEGG 10: BEHANDLING AV SPØRREUNDERSØKELSE

VEDLEGG 11: USIKKERHETSBEREGNING - MÅLEDATA

VEDLEGG 12: USIKKERHETSBEREGNING - MÅLEINSTRUMENT

VEDLEGG 13: USIKKERHETSBEREGNING - FEILOPPHOPNING

VEDLEGG 14: BEREGNING AV VINKELFORHOLD

1 Introduksjon

1.1 Oppgavebeskrivelse

I bygninger med utstrakt bruk av glass på fasaden forekommer det ofte et høyt energiforbruk og det kan oppstå komfortproblematikk ved sommer- og vinterforhold. I denne oppgaven undersøkes forholdene i nærheten av store glassflater ved vinterforhold. Studentene ønsker følgende problemstillingen besvart:

Hvordan kan man ved hjelp av gode vindusglass oppnå tilfredsstillende termisk komfort uten oppvarmingskilde ved vinduet?

Personer som sitter ved glassfasader klager ofte over termisk diskomfort på grunn av kaldstråling og kaldt trekk fra de kalde glassflatene. Disse fenomenene kalles strålingsasymmetri og trekk, og fører til det som kalles for lokal termisk diskomfort. I bygg som angivelig tilfredsstillende ISO 7730:2005, gir brukere tilbakemelding om at komforten ikke er tilfredsstillende. Ofte blir dette kompensert for med en høyere lufttemperatur, slik at personer som sitter ved glassflater skal oppleve det termiske miljøet som tilfredsstillende.

Økningen i lufttemperatur kommer ofte fra radiator under vinduet, som danner en varm oppadgående luftstrøm for å kompensere for trekket. Denne oppvarmingen som skyldes lokal termisk diskomfort, forekommer selv om det ikke er et reelt oppvarmingsbehov. I verste fall brukes det ytterligere energi for å fjerne denne overskuddsvarmen med et kjøleanlegg.

For å oppfylle tiltaksmodellen i de nye tekniske forskriftene må det benyttes vinduer med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller lavere (TEK 2007). I denne oppgaven undersøkes den termiske komforten etter (ISO 7730: 2005) ved:

- To forskjellige vinduer (U-verdi på $1,2$ og $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Ulike temperaturforhold (0 , -10 og $-20 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Ulike glasshøyder ($1,50$, $1,25$ og $1,00 \text{ m}$)

For å etterprøve ISO 7730:2005 har det blitt gjennomført en spørreundersøkelse. Det mistenkes at den termiske komforten for hele kroppen vil påvirkes dersom flere forhold som forårsaker lokal termisk diskomfort opptrer samtidig. I ISO 7730:2005 vurderes den termiske komforten for hele kroppen og den termiske komforten for utsatte deler av kroppen (lokal termisk komfort) hver for seg. I en revisjon av ISO 7730:1994 (Olesen og Parsons 2002) blir det skrevet: *"There is very little information on the combined effect of general thermal comfort and local thermal comfort."* Forfatterne av denne oppgaven ønsker å undersøke om termisk komfort for hele kroppen og lokal termisk komfort burde vurderes separat eller om de burde sees i sammenheng.

Målet med oppgaven er å undersøke sammenhengen mellom opplevd komfort og beregnet termisk komfort ved vinduer, for å ivareta komfort ved vinduer selv uten oppvarmingskilde under vindu. Studentene ønsker å undersøke hvordan vinduets høyde, U-verdi og utetemperatur påvirker den termiske komforten

Utviklingsarbeidet skal være basert på forsøksoppstillinger på konkrete case som simulerer diskomfort / komfort i nærheten av store og kalde overflater. I testoppsettet vil vi undersøke hvordan passive tiltak som glasshøyden og u-verdi begrenser diskomfort ved kalde overflater.

For å analysere de ulike parameterens påvirkning på den termiske komforten, vil det bli gjennomført både laboratorieforsøk og analytiske beregninger. Resultatene sammenliknes for å undersøke om det er samsvar mellom teoretiske beregninger og praktiske forsøk.

1.2 Relevant litteratur

1.2.1 Termisk komfort

Professor P. O. Fanger utga i 1970 boken "Thermal Comfort" som legger grunnlaget for den moderne forståelsen av termisk komfort. Her defineres komfortligningen, hvor kroppen betraktes som en enhet som utveksler varme med omgivelsene. Boken beskriver betingelsene for hvordan mennesker opplever termisk komfort, metoder for å vurdere termiske forhold basert på fysiske (lufttemperatur, middel strålingstemperatur, lufthastighet og luftfuktighet) individuelle (bekledning og aktivitet) komfortkriterier. Fanger definerer PMV- og PPD-indeks, som er sentrale i dagens mest brukte standarder for vurdering av termisk komfort (ASHRAE Standard 55:2004 og ISO 7730:2005).

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". Er et resultat av Fangers arbeid og andre publikasjoner som er gitt ut for å optimalisere modellen for vurdering av termisk komfort. I standarden benyttes indeksene PMV og PPD for til å vurdere det termiske miljøet. PMV (Predicted Mean Vote) defineres som en gjennomsnittspersons vurdering av det termiske miljøet og angis med en syvdelt skala, hvor -3 er veldig kaldt, 3 er veldig varmt og 0 er nøytral. PPD (Predicted Percent Dissatisfied) angir hvor mange prosent som vil være misfornøyde ved et gitt termisk miljø.

Viktige oppdateringer av standarden har vært knyttet til lokal nedkjøling av ulike kroppsdel, som også kalles lokal termisk diskomfort. Modeller for vurdering av følgende parametere for lokal termisk diskomfort blir vurdert i ISO 7730:2005

- Trekk ved nakke. Modellen ble introdusert etter laboratorieundersøkelser hvor mennesker ble utsatt for ulike trekkforhold (Fanger, Melikov et al. 1988)
- Strålingsasymmetri. Modellen ble introdusert etter laboratorieundersøkelser hvor mennesker ble utsatt for ulike strålingsforhold (Fanger, Ibsen et al. 1985)
- Vertikal temperaturredifferanse. Modellen ble introdusert etter laboratorieundersøkelser hvor mennesker ble utsatt for ulike temperaturer ved hode og ankel(Olesen, Scholer og Fanger 1979)

1.2.2 Kaldras

Kaldt trekk fra kalde flater betegnes som kaldras. For å beregne lufthastigheter som oppstår i oppholdssonen på grunn av kaldras er finnes det lite formelverk. P. Heiselberg (1994) har utviklet empiriske formler for å beregne hastigheter i kaldraset ved oppholdssonen når den kalde flaten går helt ned til gulv.

Eimund Skaaret har ved hjelp av strømningsmekniske formler beregnet seg frem til maksimumshastigheter. I håndbok 48 oppgir Skaaret maksimums hastigheter ved ulike høyder på de kalde flatene og for ulike temperaturforskjeller mellom flatene og romluften.

Under komfortmålingene i denne undersøkelsen blir hastighetene målt ved karm og på gulv i oppholdssonen. I denne situasjonen avsluttes vindusglasset 50 cm over gulvnivå og karmen var 7 cm dyp. Da tet ikke går til gulv og karmen reduserer impulsen samtidig som den endrer retningen på kaldraset, vil ikke formelverket nevnt over egne seg til å beregning av hastighetene ved gulv i oppholdssonen.

2 Teori

2.1 Termisk komfort

Forståelsen av begrepet termisk komfort står sentralt i denne oppgaven. Termisk komfort kan beskrives som den følelsen man opplever når man er i fysiologisk likevekt med sine termiske omgivelsene. Lettere sagt er termisk komfort det man føler når man ikke føler termisk diskomfort.

De viktigste fysiske komponentene for hvordan termisk komfort oppleves er temperatur, lufthastighet og luftfuktighet, da disse komponentene har størst innflytelse på energitransporten mellom kroppen og omgivelse. En annen faktor som spiller inn er temperaturen til flatene som omgir en person. En person og omkringliggende flater stråler varme på hverandre, og dersom flatene er kaldere enn personen vil de strålingsenergien flatene overfører til personen være mindre enn strålingsenergien overfører til flatene. Dette gjør at personen får et netto energitap og kan gi en opplevelse av diskomfort.

Opplevelsen av termisk komfort er også avhengig av bekledningen og aktiviteten til person.

Bekledning gir et isolerende og skjermende lag som begrenser personens utveksling av varme til omgivelsene, En vanlig bekledd person vil tolerere lavere temperaturer enn en person i undertøy gjør. Dette skyldes bekledningens isolerende og skjermende effekt, som gjør luftlaget nær huden varmere. Varmetransporten øker med temperaturforskjellen mellom kroppens overflate og den omkringliggende luften, så med riktig bekledning tilpasses varmetransporten slik at kroppen ikke avgir mer varme enn det den produserer.

Kroppen produserer mer varme jo høyere aktivitetsnivå den holder. Dette innebærer at bekledning som føles komfortabel ved en gitt temperatur og aktivitet ikke nødvendigvis er komfortabel ved andre forhold.

Grovt sagt oppnås termisk komfort når kroppen klarer å kvitte seg med like mye varme som den produserer, men termisk diskomfort kan forekomme dersom man opplever store lokale forskjeller på kroppen.

Termisk komfort kan beregnes etter ASHRAE standard 55 eller ISO 7730. I begge standardene benyttes indeksene PMV og PPD til vurderingen av det termiske miljøet.

2.2 Lokal termisk diskomfort

Lokale termisk diskomfort beskrives i ISO 7730 som uønsket nedkjøling eller oppvarming av en bestemt kroppsdel. Personer ved lett arbeid er mest følsomme for lokal termisk diskomfort. Disse vil ha en termisk følelse nær nøytral. Når det oppleves lokal termisk diskomfort er det mest sannsynlig de samme personene som opplever termisk diskomfort og lokal termisk diskomfort. Siden det er de samme personene som ikke er tilfredse er det dermed ikke riktig å summere diskomfort fra de forskjellige kildene. Dette blir vurdert senere i oppgaven.

2.2.1 DR

Diskomfort grunnet trekk skyldes en kombinasjon av luftens hastighet og temperatur.

DR er basert på lufthastighet ved nakken. Ved ankler og hender vil modellen overestimere antall misfornøyde. Modellen gjelder for personer som er nær termisk nøytrale. Følelsen av trekk er mindre ved en aktivitet som er høyere enn stillesittende arbeid (>1,2 Met) og for personer som føler seg varmere en termisk nøytrale.

2.2.2 Strålingsasymmetri

At flatene som omgir en person ikke holder samme temperatur kalles for strålingsasymmetri. Bli forskjellen på temperaturen mellom flatene (eller strålingsasymmetrien) for stor, kan det gi en følelse av diskomfort.

2.2.3 Vertikal temperaturdifferanse

Ved høy vertikal lufttemperatur forskjell mellom nakke og ankler kan det oppleves diskomfort. De typiske høydene som det måles på tilsvarer 1,1 m og 0,1 m over gulv for en sittende person. Følelsen av diskomfort er avhengig av retningen på temperaturdifferansen. Personer er mest følsomme når temperaturen stiger fra gulv og oppover.

2.2.4 Kaldt gulv

Personer kan oppleve diskomfort når gulvet er for kaldt eller varmt. Når det benyttes lette innesko er det gulvets temperatur og ikke materialtypens varmeledningsevne av betydning. Dette på grunn av at skoene fungerer som isolasjon.

2.3 Termodynamikk ved vinduet

Vinduet består som regel av 2 eller 3 lags glass. I mellom glassene det en gassfylling. Det benyttes en spacer for å holde gassfyllingen i på plass og å holde vindusglassene fra hverandre. For å redusere varmestrålings tapet benyttes det lavemiterende belegg.

2.3.1 Energitransport igjennom vindusglass

2.3.1.1 Konveksjon i gasslaget mellom vindusglassene

Vinduet består typisk av 2 lags glass med en gassfylling i. Gassfyllingen kommer i kontakt med en varm overflate på innersidet og kald overflate på glasset mot utsiden. Siden varm gass stiger og kald synker vil vi få sirkulasjon av gass i mellom glasslagene. Gassen vil da transportere energi i igjennom vinduet. Effekten av energitransport på grunn av bevegelse av masse kalles konveksjon. Konveksjonen kan reduseres ved å bruke en tyngre gass som ikke beveger seg like lett.

2.3.1.2 Stråling mellom glassflatene

Energitransport via stråling skjer når to overflater har en ubalanse i strålingsutvekslingen dem i mellom. Mengde energi som stråler er blant annet avhengig overflatetemperaturen opphøyd i fjerde potens samt emisiviteten (strålingseffektiviteten) til overflatetypen. Strålingen kan reduseres ved å belegge overflaten med et tynt materiale som har en lavere emisivitet enn glasset.

2.3.1.3 Ledning igjennom glassspaceren

Temperaturen i randsonen er svært avhengig av materialtype og oppbygningen av spacer (Elmahdy 2003). Spacere er en "list" som holder vindusglassene fra hverandre og gassen i mellom glassene på plass. Energitransport når to objekter kommer i kontakt med hverandre kalles ledning. Når varm vindusflate kommer i kontakt med spacer og deretter kald vindusflate vil det oppstå en kuldebro langs spaceren. Ledningen kan reduseres ved å bruke et materiale som har dårligere varmeledningsevne.

2.3.2 Kaldras

Kaldras er lufthastighet som oppstår når luften blir avkjølt ved et legeme. Kald luft synker fordi kald luft har høyere tetthet enn varm luft.

For vinduer oppstår kaldras når vindusoverflatens temperaturer er lavere enn romluften. Siden den kalde glassflaten kjøler ned luften inntil vinduet vil luften begynne å falle.

De to største parameterne som påvirker lufthastigheten er glasshøyden og differansen mellom glassets overflate- og romlufttemperatur. Vinduets overflatetemperatur er avhengig av ute og inne temperaturen, samt innvendig varmeovergangstall.

Lufthastigheten vil øke nedover glassflaten. Dette skyldes at gravitasjonskreftene trekker den kalde luften ned, samtidig som overflatetemperaturen kjøler ned lufttemperaturen ytterligere. Siden gravitasjonskreftene påvirker kaldraset er Grashoffs tall av betydning.

(Heiselberg, Overby og Bjorn, The Effect of Obstacles on the Boundary Layer Flow at a Vertical Surface 1994)
(Skåret 2000)

2.4 Målerinstrumenter

Nedenfor følger en presentasjon over de målerinstrumentene som er blitt benyttet i oppgaven.

2.4.1 Thermal Comfort Data logger – INNOVA 1221

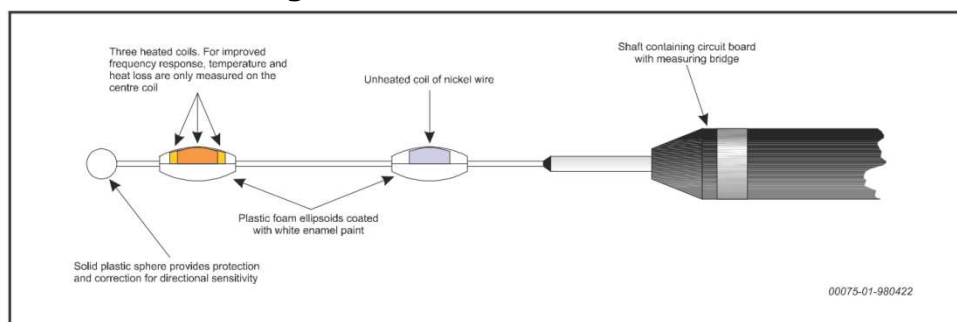


Figur 1: Thermal Comfort Data Logger - Innova 1221.

Komfort måles av Thermal Comfort data logger - Innova 1221 fra LumaSense Technologies. Illustrert i Figur 1

Instrumentet logger måledata og har mulighet til å kalkulere index data. Ved å koble til lufthastighetsmåler, temperaturmåler, fuktmåler, operativtemperaturmåler og strålingsasymmetrimåler kan komformåleren beregne PMV, PPD og DR i henhold til ISO 7730.

2.4.1.1 Lufthastighetsmåler



Figur 2: Målerprobe for lufthastighet – MM0038

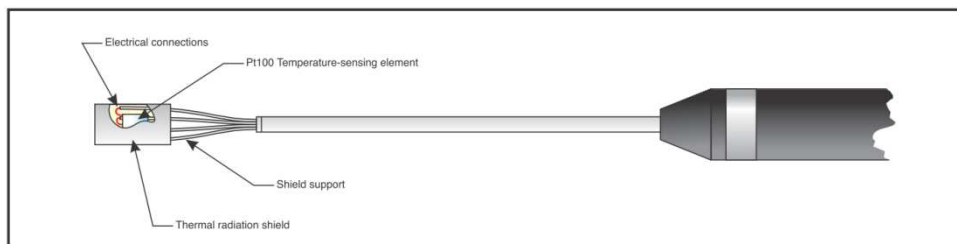
Måleproben er INNOVA sin MM0038 - Air Velocity Transducer (Illustrert i Figur 2) som kobles til INNOVA komfort logger.

Prinsippet baseres på konstant temperatur differanse anemometer. Lufthastigheten måles som en funksjon av varmetap for en oppvarmet legeme, ved å måle nødvendig effekt for å opprettholde en konstant temperaturdifferanse mellom to sensorer. Varmetap er også en funksjon av temperatur, strålingstapet til omgivelsene og luftretningen.

Ved å utforme måleproben som en kule ytterst så utelukker det feil pga. luftstrømninger parallelt med skaftet. Ved å ha to kuler settes den ene til å holde 15 °C mer enn den andre som holder lufttemperatur. Formen til kulene gjør at de ikke blir så følsomme for

luftretningen. Det er tre varmespoler i den oppvarmede kulen. Ved å måle effektforbruket til den midterste kulen bedres responsen til hastighetsmåleren.

2.4.1.2 Lufttemperaturmåler

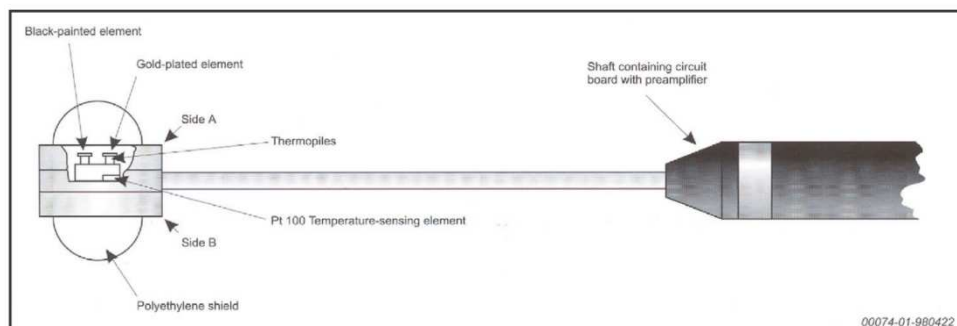


Figur 3: Målerprobe for lufttemperatur - MM034

Måleproben er INNOVA sin MM034 - Air Temperature Transducer (Illustrert i Figur 3.) som kobles til INNOVA komfort logger.

Den er bygget opp av en aluminiums sylinder som skjermer for strålingspåvirkning fra omgivelsene. Med en åpning i topp og bunn sørges det for god lufting rundt sensoren i midten. I senter sitter det en Pt100 motstands sensor. Denne gir et stabilt og nøyaktig signal. Ved å bruke 4 ledningers system kan det brukes en forlengningskabel uten å tape nøyaktighet.

2.4.1.3 Strålingsasymetri måler

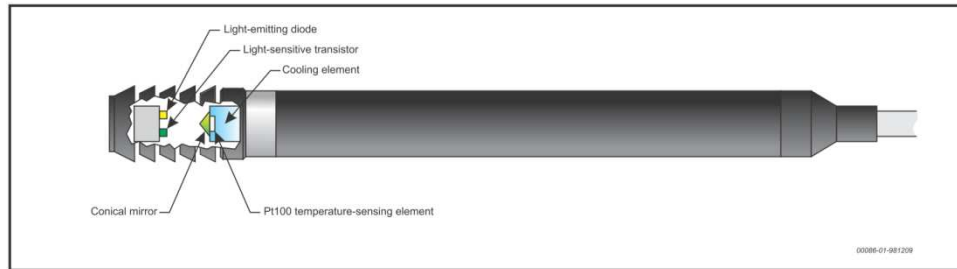


Figur 4: Målerprobe for temperatur asymmetri - MM036

Måleproben er INNOVA sin MM036 - Radiant Temperature Asymmetry Transducer (Illustrert i Figur 4) som kobles til INNOVA komfort logger.

Målerproben er bygget opp som to identiske deler som illustrert i Figur 4. I hver halvdel er det to elementer som er koblet til en senter blokk igjennom en "thermopile". Det ene elementet er reflekstivt gullbelagt og den andre er sortmalt. Det gulvbelagte elementet vil dermed avgi eller motta varme via konveksjon, mens det sorte elementet vil avgi eller motta varme via både konveksjon og stråling. Siden begge elementene sitter på samme blokk vil temperaturen være nesten lik. Differanse mellom temperaturene skyldes strålingsutvekslingen mellom måleren og omgivelsene.

2.4.1.4 Fuktmåler



Figur 5: Målerprobe for Fuktmåling - MM0037

Den absolutte Fuktigheten måles med modulen Humidity Transducer MM0037 (Illustrert i Figur 5) til Thermal Comfort Datalogger - Innova 1221 fra LumaSense Technologies. Den relative fuktigheten kan beregnes når lufttemperaturen i tillegg er kjent. Måleren består av LED diode, speil, temperatur sensor, lys føler og kjøleelement.

Et kjøleelement kjøler ned temperaturen på speilet. Temperaturen når duggpunktet og det dannes kondens på speilet. Lyset fra lysdioden som treffer speil uten dugg blir reflektert bort. Når kondens dannes på speilet brytes lyset diffust og blir registrert av lyssensoren. Ved å svinge temperaturen på speilet kan duggpunktet observeres.

Nøyaktigheten til målingen er avhengig av stabiliteten til temperatursensoren som måler speilets temperatur. Derfor benyttes det en PT100 sensor med høy stabilitet og nøyaktighet.

2.4.1.5 Operativ temperatur



Figur 6: Målerprobe for operativ temperatur – MM0060.

Den operative temperaturen kan måles med modulen Operative Temperature MM0060 (Illustrert i Figur 6) til Thermal Comfort Datalogger - Innova 1221 fra LumaSense Technologies.

Den evaluerer hvilken effekt objekter eller flater med varierende temperatur har på menneskekroppen. Den er designet med fire forhold i tankene.

Størrelsen er valgt slik at forholdet mellom varmetap gjennom stråling og konveksjon skal tilsvare menneskekroppen.

Formen er bestemt ut i fra behovet for å oppnå det samme vinkelforholdet til omgivelsene som et menneske har.

Farge og emisjonsfaktoren er valgt slik at langbølget stråling absorberes på lik linje som for hud og lyse klær.

Orientering er bestemt ut i fra om personen står (vertikal orientering), sitter (30° fra vertikal orientering) eller ligger (horisontal orientering).

2.4.2 Q-Trak



Figur 7: Q-Trak måler. Måler lufthastighet, temperatur og fuktighet.

Lufthastigheten, lufttemperaturen og relativ fuktighet måles med Q-Trak fra TSI. (Illustrert i Figur 7)

Instrumentet består av en målerproble som kan måle flere parametere samtidig. I oppgaven logget den lufthastighet, lufttemperatur og relativ fuktighet. I tillegg har instrumentet mulighet til å logge CO₂ og CO.

2.4.3 PC logger 3100.



Figur 8: PC Logger 3100 brukes for måling av overflatetemperaturer.

Overflatetemperaturen logges med PC logger 3100 fra Intab. (Illustrert i Figur 8). Instrumentet har 24 målepunkter som måler en relativ temperatur i forhold til instrumentet. I instrumentet er det derfor en absolutt temperaturmåler til bruk for å sammenligne mot de 24 målerpunktene.

Til hvert målepunkt kobles det til et termoelement tråd. Trådene består av to ledninger av forskjellige materiale. Disse avisoleres i enden og tvinnes sammen. Nå to metaller av forskjellige grunnstoff kommer i kontakt dannes det et spenningspotensial. Denne spenningen er avhengig av temperaturforskjellen til ledningen mellom kontaktpunktet og den enden som kobles inn i instrumentet.

Termoelementet klarer bare å måle temperaturforskjellen mellom målepunktet og instrumentet. Derfor brukes det en temperaturføler til i instrumentet. Disse sammenlignes så mot hverandre.

2.5 Teori for forsøk med testpersoner og spørreundersøkelse

2.5.1 Bakgrunn for gjennomføring av spørreundersøkelse

Formelverket som benyttes i ISO 7730:2005 for vurdering av termisk komfort baserer seg i stor grad på statistiske undersøkelser utført av P.O. Fanger under utarbeidelsen av Thermal Komfort (Fanger, 1970). Indeksene PMV og PPD er indikatorer på hvordan et utvalg personer opplever et gitt termisk miljø. PMV er en syvdelt skala som gir uttrykk for en gjennomsnittspersons opplevelse av det termiske miljøet (se Figur 9). PPD gir uttrykk for hvor mange prosent av et utvalg som vil være misfornøyd med det termiske miljøet. Når disse indeksene sammenliknes med voteringer fra spørreundersøkelser, benyttes ofte indeksene AMV (Actual Mean Vote) og PD (Percent Dissatisfied) (Charles, 2003).

-3	-2	-1	0	1	2	3
cold	cool	slightly cool	neutral	slightly warm	warm	hot

Figur 9: PMV skala

Flere undersøkelser har blitt gjennomført i felt og laboratorium for å etterprøve ISO 7730. Under følger eksempler på hvordan undersøkelser har blitt gjennomført for å etterprøve:

1. Enkeltparametere som inngår i komfortlikningen påvirker den termiske komforten (Palonen, Seppänen og Jaakkola 1993)
2. Anvendbarheten av standarder for termisk komfort i ulike termiske miljøer (Schiller et al(1988), (de Dear og Brager 1998), (de Dear og Fountain 1994), (Nicols og Humphreys 2002), (Spagnolo og de Dear 2003), (Han, et al 2007))
3. Hvordan utforming av bygg og tekniske systemer påvirker den termiske komforten ((Olesen, et al. 1980), (Melikov, Naydenov og Langkilde 2005))
4. Hvordan lokal termisk diskomfort beregnes etter ISO 7730 ((Fanger, Ipsen, et al. 1985), (Kähkönen 1991), (Griefahn, Künemund og U. 2000))

Ved hjelp av et laboratorieforsøk ønsket studentene å etterprøve punktene 2,3 og 4. Det mistenkes at den termiske komforten for hele kroppen vil påvirkes, dersom flere av parameterne som inngår i bestemmelsen av lokal termisk diskomfort opptrer samtidig. Selv om ingen føler direkte diskomfort på grunn av trekk, strålingsasymmetri, vertikal temperaturgradient eller kalde tak og gulv, antas det at den samlede virkningen vil påvirke den termiske komforten for hele kroppen

2.5.2 Deskriptiv statistikk

Deskriptiv statistikk er en systematisk organisering og presentasjon av tallmateriale. Denne delen skal beskrive hvordan datamaterialet fordeler seg. Den deskriptive delen kan omfatte middeltallet, standardavvik, standardfeilen til middeltallet, konfidensintervallet til middeltallet, skjevhet, kurtosis, median, maksimums- og minimumsverdi og intervall, antall observasjoner (n). (Løvås 1999).

2.5.3 Analytisk statistikk

Analytisk statistikk eller teoretisk statistikk er en matematisk disiplin knyttet til sannsynlighetsteori. Det finnes flere sannsynlighetsmodeller, som brukes til å beregne sannsynligheter og sammenhenger mellom to variable. For å teste H_0 behøves ikke flere utregninger enn det som beskrives i den deskriptive delen av statistikken. For å vurdere sammenhengen mellom to variable benyttes korrelasjon.

I oppgaven undersøkes det om det er sammenheng mellom beregnet PMV korrigeret for bekledding (clo) og opplevd termisk komfort og det benyttes korrelasjon og lineær regresjon.

2.5.3.1 Korrelasjon

I statistikk benyttes korrelasjon for å indikere hvor stor samvariasjon det er mellom to variable. Korrelasjonen angis ofte med en korrelasjonsfaktor (R). Korrelasjonsfaktoren er en tallverdi mellom -1 og 1, hvor fortegnet er avhengig av om retningen av korrelasjonen er positiv eller negativ. Ofte brukes betegnelsen korrelasjon om forhold der det er en lineær sammenheng mellom to variable, men i statistisk sammenheng beskriver korrelasjonen avhengigheten mellom to variable. Denne brede definisjonen har ført til at det finnes flere koeffisienter innenfor statistikken som beskriver ulike former for korrelasjon (Løvås 1999).

2.5.3.2 Lineær regresjon

Lineær regresjon er en multivariat metode for å se på lineære sammenhenger. Denne metoden kan benyttes ved normalfordeling av datamaterialet. Ved denne metoden vil en kunne justere for bakgrunnsvariabler som kjønn og alder. Alternativ til en slik multivariat analyse er å foreta mange analyser i forskjellige undergrupper (stratifisert analyse). Hensikten med den justerte multivariate analysen er at ikke tilfeldige skjevheter i utvalget eller andre fysiske faktorer skal føre til feil i analysen av det statistiske underlaget.

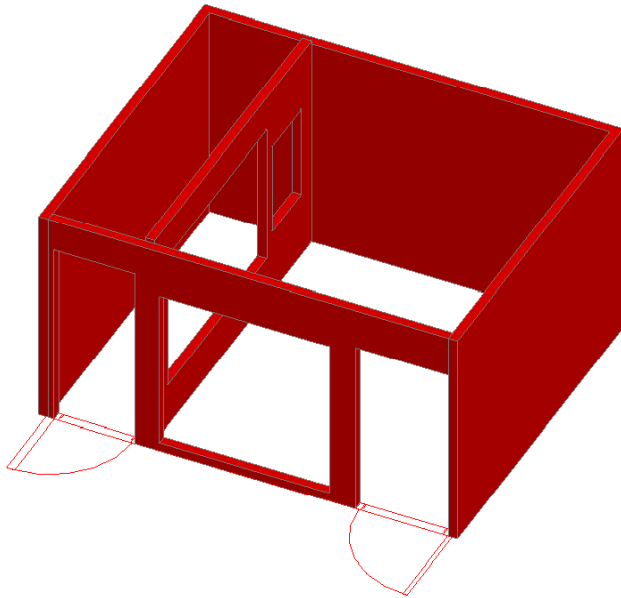
2.5.4 Hensikt

Resultatene fra spørreundersøkelsen sammenliknes med resultatene fra komfortloggeren, for å undersøke om det er signifikant forskjell mellom målt komfort og opplevd termisk komfort

3 Metode

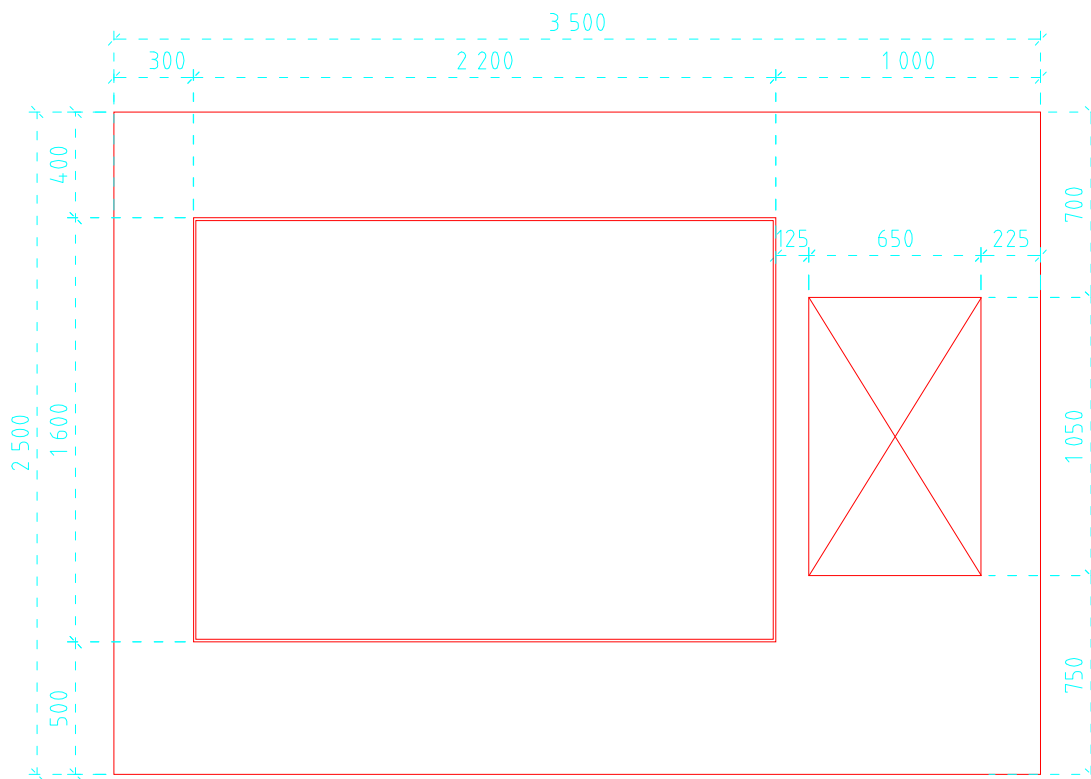
Kapitlet inneholder informasjon om oppbygning av Inneklimalaboratoriet, fremgangsmåten for komfortmåling, plassering av målerinstrumenter, beregning av komfort og metoden for spørreundersøkelse.

3.1.1 Oppbygning av inneklimalaboratoriet



Figur 10: Inneklimalaboratoriet

Inneklimalaboratoriet (se Figur 10) består av et oppholdsrom og et kjølerom. I veggen mellom rommene er det en utsparing på 2,2m x 1,6m for montasje av vindu (se Figur 11). Ved siden av vinduet er det en tett utsparing for andre forsøk. I kjølerommet benyttes et kjøleanlegg (med av-/på- regulering) levert av TeknoBlock (VTK203T). Oppholdsrommet har ballansert ventilasjon (omrørings prinsipp), gulvvarme (ikke brukt) og nedhengte lysarmatur fra taket.



Figur 11: Skisse av vegg mot kjølerom. Viser utsparingsmål

Utsparingen til vinduet ble fra fabrikken levert for liten. Dette skyldes at utsparingen er nøyaktig like stor som vindusglasset. Veggene er av polyuretan skum som ikke klarer å bære vinduet direkte. Det måtte derfor bygges en ramme til vinduglasset. Utsparingen ble manuelt utvidet til å gi plass til en 2 cm tykk sponplate. Sponplaten vil fungere som en kuldebru. Spaceren i vindusglasset fungerer også som en kuldebru. For å minimere kuldebroene ble det isolert med 5 cm tykke styrofoamplater på innsiden (varm siden av vinduet). Innsiden ble først valgt for å heve overflatetemperaturen. Dette resulterte i kondens på vinduet grunnet ledning fra glasset på den kalde siden, igjennom glassspaceren og videre i glasset parallelt med isolasjonen. Det 5 cm tykke isolasjonen opptok mesteparten av temperaturfallet og gav dermed lav temperatur på glasset ut mot oppholdsrommet. Da ble det besluttet å isolere begge sider av vinduet.

Veggene ble isolert fra gulv til vindu og vindu til tak. Dette for å gi en plan og fin flate som i minst mulig grad påvirker strømningene og best mulig representerer et typisk vindu med karm. Veggene ble også isolert ca 15 cm på høyre og venstre side av vinduet. Vedlegg 1 viser den resulterende u-verdien av veggene. Det ble besluttet å isolere med 3 lag styrofoamplater på glasset.

3.2 Målersituasjoner for komfortmålinger

3.2.1 Måling ved forskjellige u-verdi

Det benyttes et 2 lags glass med dimensjon 1,6m x 2,2m (H x B). Glasset har Argon gassfylling og U-verdi på 1,2 W/m²K. Det var opprinnelig planlagt å benytte 3 vindusglass med U-verdi fra 1,2 til 0,4 W/m²K. Men grunnet tidspress ble det valgt å simulere U-verdien på 0,4 W/m²K ved hjelp av justert overflatetemperatur.

Simulering av U-verdien gjøres ved hjelp av kjøleromstemperaturen. Glasset med U-verdi på 1,2 W/m²K benyttes.

Ved å benytte standard innvendig varmeovergangstall kan glassets overflatetemperatur (Formel 1) estimeres for -20 °C kjøleromstemperatur. Dette beregnes for både U-verdi på 1,2 og 0,4 W/m²K. Deretter beregnes den nødvendige kjøleromstemperaturen (Formel 2) for at et glass med U-verdi på 1,2 W/m²K skal gi den samme overflatetemperatur til et glass med U-verdi på 0,4 W/m²K ved -20 °C kjøleromstemperatur (se Vedlegg 2)

$$t_o = t_i - U \cdot R_i \cdot (t_i - t_u) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Formel 1: Beregning av glassets overflatetemperatur

$$t_u = \frac{t_o - t_i + R_i \cdot U \cdot t_i}{R_i \cdot U}$$

Formel 2: Beregning av utetemperatur (kjøleromstemperatur) som funksjon av overflatetemperatur

3.2.2 Måling ved forskjellige glasshøyder

Dette oppnås ved å isolere glasset nedover fra toppen og nedover. Vindusglasset har en høyde på 1,6 meter. Når vindusspacer isoleres bort vil fri tilgjengelig vindusflate være 1,5 m. For å simulere forskjellige glasshøyder benyttes isolasjonsmoduler på 0,25 meter isolering. Vinduet isoleres fra toppen ned til en høyde på 1,25 m og 1 m (Se Figur 12).

3.3 Oppstilling av måleinstrumenter

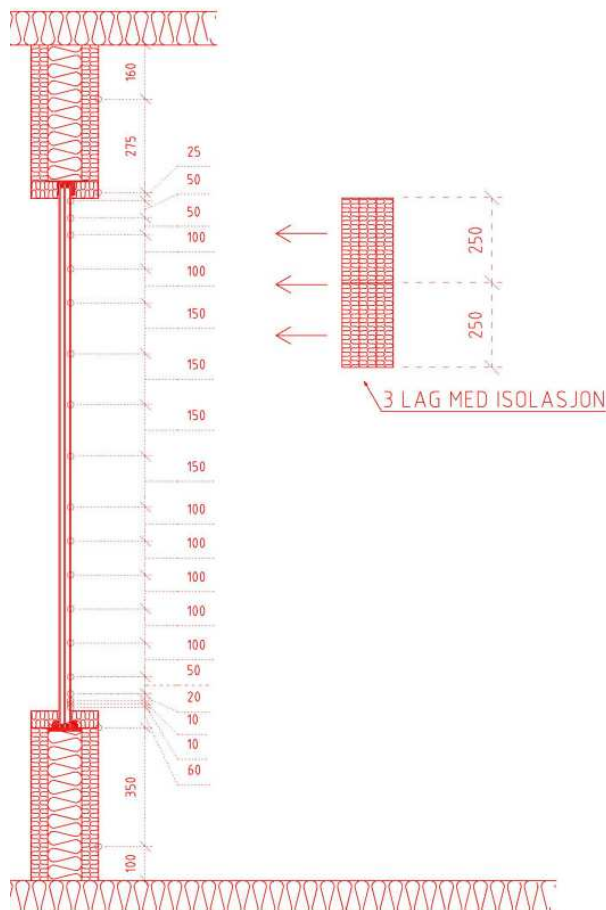
Følgene forhold ble logget under komfortloggingen.

3.3.1 Måling av lufttemperatur i rommet

Lufttemperaturen logges med en PC logger. Et termoelement måler lufttemperaturen ved siden av vinduet i 1 m høyde.

3.3.2 Måling av overflatetemperatur langs med midten av vindusglasset

Overflatetemperaturen logges med en PC logger. Målepunktene (bestående av termoelementer) fordeles utover vindusflaten. De plasseres tettere hvor det forventes en endring av overflatetemperaturen. Den forventede temperaturfordelingen langs en glassflate finnes i arbeid utført av (Larsson, Moshfegh og Sandberg 1999). Dette gir plassering av flere punkter langs glassets ytterkant og noen på isolasjon på vegg (se Figur 12).

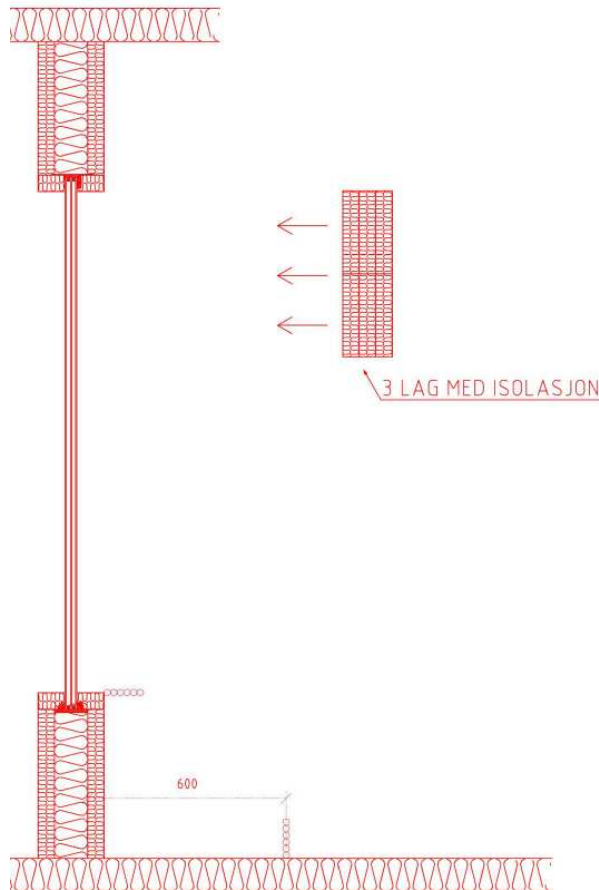


Figur 12: Illustrasjon av plasseringene for overflatetemperaturmålere på vindusglasset. For bilde i full størrelse se Vedlegg 3.

3.3.3 Måling av kaldras.

Det benyttes 3 stk Q-Trak instrumenter til å logge lufthastighetene ved gulv og 3 til for å logge verdiene samtidig ved karm (se Figur 13)

Instrumentene plasseres 1 cm fra gulv eller karm. De to neste plasseres med en innbyrdes avstand på 4 cm. Etter 15 minutter måling flyttes instrumentene 2 cm til siden. Dette for å få en større oppløsning på målingene uten at måleinstrumentene blokkerer for luftstrømningen.

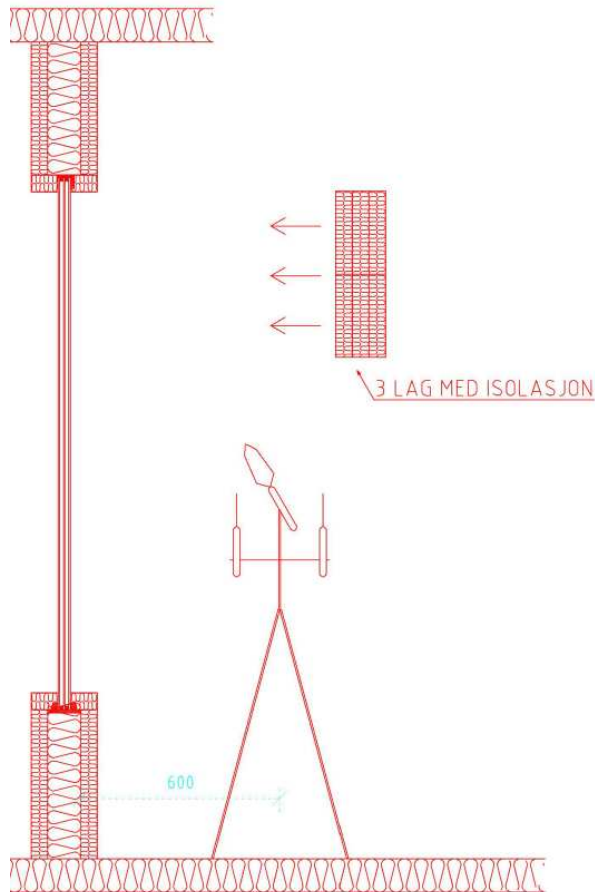


Figur 13: Illustrasjon av plasseringene for lufthastighetsmålere. For bilde i full størrelse se Vedlegg 4.

For målinger ved karm plasseres målerinstrumentene i rett utenfor nedre karm. For målinger ved gulv plasseres instrumentene 0,6 m fra vegg. (Tilsvarende grensen for oppholdssonen.) For å sikre at målerinstrumentene retning forholder seg riktig til luftstrømmens vektor blir instrumentets retning rotert til maks utslag oppnås.

3.3.4 Måling av termisk komfort.

Komfortmåleren settes opp til å logge forholdene for en stillesittende person 0,6 m fra midten av vindu (se Figur 14). Strålingsasymmetrimåler monteres i stativholder nærmest vindu og orienteres mot vinduet. Lufthastighetsmåler, fuktmåler og temperaturmåler monteres i et stativ. For en sittende person orienteres vinkelen til operativ temperaturmåler til 30 grader fra vertikal akse. Den settes til å peke mot vinduet.



Figur 14: Illustrasjon av plasseringene av lufthastighetsmålere. For bilde i full størrelse se Vedlegg 5.

3.4 Gjennomføring av målecase

Det gjennomføres totalt 18 målinger. Punkt 1 til 4 beskriver rekkefølgen i målingene mens Tabell 1 viser rekkefølgen på målingene

- 1) Temperaturen i kulderommet settes lik høyeste utetemperatur. Når stabile forhold inntreffer gjennomføres målinger ved full glassshøyde.
- 2) Fri glassshøyde justeres med en isolasjonsmodul og nye målinger gjennomføres. Dette gjentas til alle variasjoner av fri glassshøyde er målt.
- 3) Temperaturen i kjølerommet justeres ned til neste nivå. Punkt 1 gjennomføres på nytt. Når alle ønskede variasjoner av utetemperaturen er målt kan punkt 3 starte.
- 4) Prosessen begynner på nytt igjen med nye justeringer av temperaturen i kjølerommet for å simulere en annen U-verdi.

Tabell 1: Viser rekkefølgen på gjennomføringen av alle målecaseer. Fra 1 til 18.

	Faktisk U-verdi [W/m ² K]			Simulert U-verdi 0,4 [W/m ² K]		
	-20	-10	0	6,7	10,1	13,3
Kjølerom temp	-20	-10	0	6,7	10,1	13,3
Høyde						
1,5	1	4	7	10	13	16
1,25	2	5	8	11	14	17
1	3	6	9	12	15	18

3.5 Beregning av termisk komfort

3.5.1 Beregning av PMV

PMV beregnes i henhold til ISO 7730 (ligning 1 til 4). Måledata fra komfortloggeren (lufthastighet, lufttemperatur, operativ temperatur, strålings asymmetri, fuktighet) brukes i beregningen (se beregningseksempel for PMV og PPD i Vedlegg 6). På grunn av feil med målerinstrumentet ble luftfuktigheten bestemt manuelt med Q-Trak. Komfortloggeren logget data på sekund basis. For hvert sekund ble det beregnet en PMV verdi.

PMV beregnes i et Excel ark ved å bruke måledata fra komfortlogger og tilføye med informasjon om personenes aktivitetsnivå og bekledding.

3.5.2 Beregning av PPD

PPD beregnes i henhold til ISO 7730. Beregnet PMV på sekundbasis benyttes i formel for PPD (se Formel 3). Etter 30 min med PPD beregninger beregnes en gjennomsnittsverdi. (se beregningseksempel for PMV og PPD i Vedlegg 6)

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

Formel 3: PPD som funksjon av PMV

3.6 Beregning av lokal termisk diskomfort

3.6.1 Draft rating (DR)

DR beregnes i henhold til ISO 7730. Det benyttes gjennomsnittsverdier for lufthastighet og lufttemperatur, samt beregnet turbulens intensitet. (Se beregningseksempel for DR i Vedlegg 6)

Det beregnes DR ved nakkehøyde, gulv og karm. Ved Gulv og karm beregnes DR med loggede verdier fra Q-Trak (se Figur 7).

Ved nakkehøyde brukes loggende verdier fra komfortloggeren. Det benyttes måleprobe for luft hastighet (Figur 2) og lufttemperatur (Figur 3).

DR beregnes etter Formel 4.

$$DR = (34 - t_a)(v_a - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot v_a \cdot Tu + 3.14)$$

Formel 4: Misfornøyde som funksjon av lufthastighet og lufttemperatur. For T_a mellom 20 °C til 26 °C. $v_a < 0,05$ m/s og Tu mellom 10 % til 60 %.

3.6.2 Strålingsasymmetri

For å vurdere strålingsasymmetrien benyttes det målerutstyr som registrerer strålingsforskjellen mellom to halvdelar av et rom. Denne verdien logges kontinuerlig. I behandlingen av dataene ble middelveidien beregnet og sammenlignet mot krav til strålingsasymmetri fra en kald flate definert i ISO 7730.

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(6.61 - 0.345 \cdot \Delta T_{pr})}}$$

Formel 5: Misfornøyde som funksjon av strålingsasymmetri ved kald vegg. For $\Delta T_{pr} < 15$ °C

3.6.3 Vertikal temperaturdifferanse

Vertikal temperturdifferanse beregnes i henhold til ISO 7730.

Det benyttes gjennomsnittlige målerverdier og forutsettes at lufttemperaturen er konstant under målingene.

For å måle den vertikale temperaturdifferansen benyttes det to målerinstrumenter. En temperaturprobe er tilkoblet komfortloggeren for å logge i nakkehøyde. Den andre temperaturføleren er en frittstående Q-Trak 7565 som målte temperaturen ved anklene. Begge målerinstrumentene målte midt foran vinduet med en avstand på 0,6m.

Formel gjelder når temperaturen stiger fra ankler til nakke. Personer er mindre følsomme når temperaturgradienten byttes om.

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(5.76 - 0.856 \cdot \Delta T_{a,v})}}$$

Formel 6: Misfornøyde som funksjon av vertikal temperaturdifferanse. For $\Delta T_{a,v} < 8 \text{ }^\circ\text{C}$

3.6.4 Kaldt Gulv

Gulvets temperatur blir ikke vurdert.

3.7 Beregning av lufthastighet ved karm

Det beregnes en forventet lufthastighet ved karm. Til dette benyttes Tabell 5,2 i Skårets Ventilasjonsteknisk Håndbok. En Iterert utsnitt fra tabellen finnes i Vedlegg 7.

Temperaturdifferansen mellom romluft og vindusglassets overflatetemperatur brukes sammen med glasshøyden. Tabellen gir da lufthastigheten nederst på glasset.

3.8 Metode for spørreundersøkelsen

3.8.1 Generelt

Komfortloggeren målte operativtemperatur, middelstrålingstemperatur, luftfuktighet, lufttemperatur og lufthastighet. Ut ifra målte verdier kan komfortloggeren beregne et bredt utvalg av parametere: PMV, PPD, DR og PD.

Studentene ønsket å undersøke om det er signifikant forskjell mellom beregnet og opplevd komfort. For å sammenlikne beregnet og opplevd komfort benyttes hhv. PMV og AMV.

3.8.2 Utvalget

Spørreundersøkelsen ble gjennomført av 30 personer. Kjønn, alder og foretrukne termiske omgivelser ble registrert, Bekledningen til deltagerne i laboratorieforsøket ble beregnet i henhold til ISO-EN 7730:2005 (s.19-20). Under forsøket skulle det utføres stillesittende arbeid (1,2 met).

3.8.3 Fysiske forutsetninger

For øvrig gjaldt følgende fysiske forutsetninger:

- Temperaturen i kjølerommet: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatur i laboratoriet: $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Gjennomsnittlig overfatetemperatur på vinduet: $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Relativ fuktighet: 40 %
- Lufthastighet: $0,00\text{ m/s}$ (målt ved nakke)
- Middelstrålingstemperatur: $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Alle overstående parametere ble målt og logget under samtlige forsøk. Bildet under gir et inntrykk av instrumentoppstillingen og hvordan testpersonen ble plassert i forhold til vinduet.



Figur 15: Oppstilling av instrumenter og testperson ved gjennomføring av forsøk

3.8.4 Gjennomføring av spørreundersøkelse

Alle 30 personene som gjennomførte forsøket gikk igjennom prosedyren som trinnvis beskrives under:

1. Før forsøket startet ble bekledningen kartlagt etter ISO 7730:2005 tabell C.2 (Vedlegg 8).
2. Personene ble deretter bedt om å oppgi hvordan de følte seg før de gikk inn i laboratoriet. Til dette ble en 5-delt skala benyttet.
3. Etter personene kom inn i laboratoriet ble de bedt om å svare på spørsmål 1 i spørreundersøkelsen (se Vedlegg 9), som gikk ut på å beskrive hvordan de opplevde de generelle termiske omgivelsene i laboratoriet. Til dette benyttet en 7-delt skala (1 = veldig kaldt, 7 = veldig varmt og 4 = passe), tilsvarende PMV-skalaen (ISO 7730:2005).
4. Personen ble plassert foran vinduet i oppholdssonen (60 cm ut fra vegg) og utførte stillesittende arbeid i 30 min. Parallelt ble komforten målt av Komfortloggeren. Når det gjenstod 2 minutter av forsøket ble personen bedt om å fylle ut de resterende spørsmålene, som omhandlet opplevelsen av å sitte i nærheten av vinduet. For å besvare spørsmål 2 og 3 benyttet PMV-skala
5. Testpersonen ble bedt om å komme ut når "komfortloggeren" var ferdig med loggingen. Spørreundersøkelsen ble samlet inn.
6. Svarene fra spørreundersøkelsen ble deretter overført til et excel-ark, for senere å bli eksportert til et program som analyserer data statistisk (SPSS)

3.8.5 Databehandling

3.8.5.1 Beregning av AMV

For angivelsen av AMV-indeksen benyttet den samme skalaen som for PMV (se Figur 9).

AMV beregnes etter gjennomsnittet av besvarelsene for spørsmål 2 i spørreundersøkelsen:

"2. Hvordan opplevde du å sitte i nærheten av vinduet?"

3.8.5.2 Beregning av PMV

PMV-verdien beregnet av komfortloggeren kunne ikke brukes i resultatene på grunn av en feil i luftfuktighetsmåleren. Luftfuktigheten har innvirkning på PMV-verdien, så den relative fuktigheten måtte måles av to fuktighetsmålere (Q-Trak) parallelt med komfortmålingene. Denne ble målt til 40 % (± 2 %) for alle forsøk. PMV-verdien ble følgelig manuelt beregnet etter ISO 7730:2005 formel 1-4, hvor parametere som inngår ble målt av både komfortlogger og Q-Trak.

Som en følge av usikkerheten rundt valg av clo-verdi for testpersonene, ble det beregnet to PMV-verdier under hvert forsøk.

PMV ved 1 clo:

Komfortloggeren beregner en PMV-verdi ut ifra inputverdier som er programmert inn for målererien. Dette gjøres under alle forsøk uavhengig av personens bekledning. Det benyttet en bekledning på 1 clo.

PMV ved beregnet clo:

Ved beregningen ble 1 clo erstattet med testpersonens beregnede clo-verdi etter Tabell C.2 i ISO 7730:2005.

De øvrige fysiske parametere og aktivitetsnivået forble uendret.

Hvilken av PMV-verdiene som egner seg best for sammenlikning mot AMV blir drøftet nærmere under diskusjon av resultater.

3.8.5.3 Statistisk behandling

Til behandling av det statistiske underlaget benyttes SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versjon 16.0. SPSS utfører både den deskriptive og analytiske statistikken etter formler og metoder som beskrives i boken "Statistikk for Universiteter og Høgskoler" (Løvås 1999).

Under resultatdelen av oppgaven vil de deskriptive og analytiske resultatene presenteres hver for seg.

3.8.6 Valg av statistisk metode

Hypotesetesting er en statistisk metode, hvor en hypotese eller påstand settes på prøve. Første steg er å etablere en nullhypotese, H_0 , som er hypotesen det skal vurderes om det er grunnlag for å forkaste. H_0 formuleres slik at det forutsettes at det ikke er noen endring, og kalles dermed for konservativ. I denne oppgaven vil nullhypotesen være:

H_0 : Det er ikke signifikant forskjell mellom opplevd termisk komfort og termisk komfort beregnet etter ISO 7730 ved vinduet.

Det skal også etableres en hypotese som er komplementær til H_0 . Denne alternative hypotesen kalles H_1 og kan aksepteres dersom det viser seg at H_0 er falsk og dermed forkastes.

H_1 er hypotesen det forsøkes å underbygge og er formulert på en måte som indikerer endring. I dette tilfellet vil H_1 bli formulert slik:

H_1 : Det er signifikant forskjell mellom opplevd termisk komfort og termisk komfort beregnet etter ISO 7730 ved vinduet.

Dataunderlaget som benyttes for å vurdere hypotesene vil bestå av resultater fra spørreskjema (Vedlegg 10). Til å analysere det statistiske underlaget fra spørreundersøkelsene benyttes både deskriptiv og analytisk statistikk.

I denne oppgaven brukes deskriptiv statistikk til å:

- Generelt beskrive sammensetningen av datagrunnlaget fra spørreundersøkelsen
- Beskrive hvordan lokal diskomfort ble oppfattet slik at dette danner et grunnlag for diskusjon om hva som hadde størst påvirkning på komforten.

For å analysere sammenhenger mellom variabler benyttes korrelasjon og lineær regresjon. En ønsker å analysere om:

- Beregne om det er signifikant forskjell mellom opplevd komfort (AMV) og beregnet komfort (PMV)

4 Pilotmålinger

Formålet med pilotmålingene er å luke bort feil i metoden og bli kjent med målerinstrumenter.

Luftstrømningene i rommet ble observert med røykforsøk slik at målerinstrumentene skulle bli hensiktsmessig plassert. Det ble gjennomført en komplett måling med alle målerinstrumenter.

Det ble kontrollert at målerpunktene var plassert hensiktsmessig i forhold til det som skal måles. De beregnede PMV, PPD og DR fra komfortloggeren ble kontrollerte og vurdert.

I pilotmålingene ble følgende oppdaget.

- Resultater fra komfortloggerens fuktmåler viste feil. Dette skyldes defekt temperaturmåler. Dette gav feil PMV og PPD verdier. Dette ble oppdaget når PMV verdier ble manuelt beregnet og sammenlignet mot komfortlogger.
- Det ble dannet kondens på vinduet. Dette ble løst ved å isolere bort vinduskarmen begge sider av vinduet.
- Komfortloggeren beregner PPD-(R) som er en aktiviteskorrigert PPD. Denne avviker fra ISO PPD ved at lufthastigheten vektet for en høyere utskifting av luft mellom hud og klær. Dette skal være mer riktig for en høyere aktivitet. PPD-(R) ble ikke benyttet i oppgaven siden det vurderes for sittestillende aktivitet
- Det er vanskelig å kontrollere temperaturen i inneklimalaboratoriet da det ikke er varme eller kjølebatteri i ventilasjonsaggregatet.
- Inntaksrist og avkastrist ved siden av hverandre fører til omluft. Ristene er også utsatt for solbelastning.

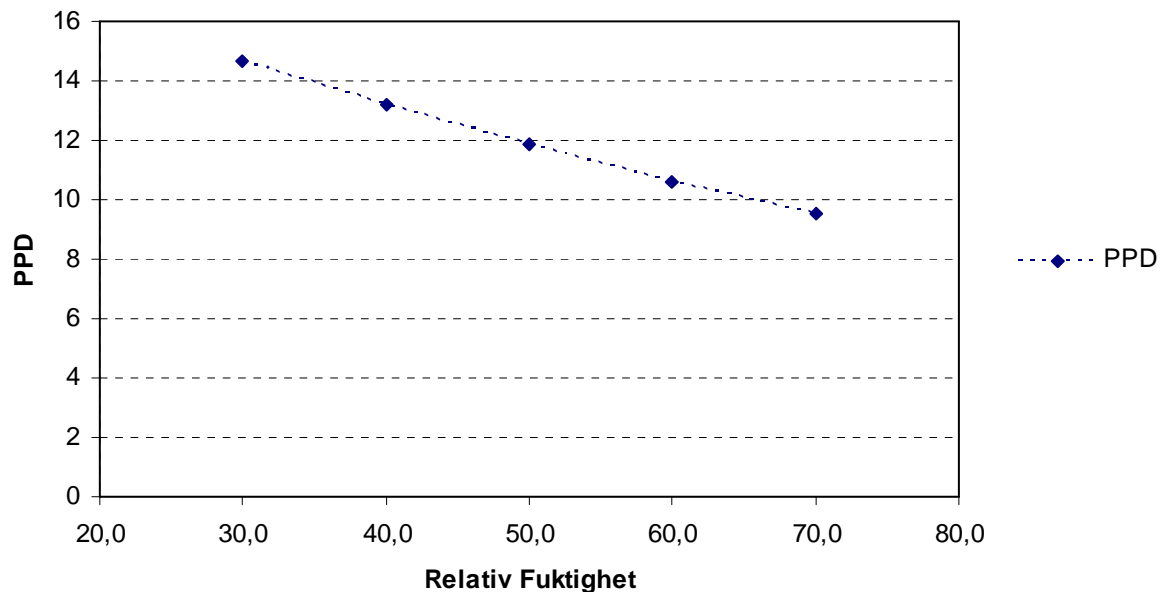
4.1 Analyse av PMV fra komfortloggeren

Komfortmåleren måler en mengde enkeltparametere. Disse blir brukt til å beregne indexdataene: PMV, PPD, turbulensintensitet og relativ fuktighet. Gruppen lagde et excel ark hvor rådata fra komfortmåleren blir brukt til å kontrollberegne indexdata. Det er gjennomført en kontroll av måledata fra pilotmålingen 12.06.2009. Utdrag er gjengitt i Tabell 2.

Tabell 2: Sammenligning av målt PMV og PPD mot kontrollberegnet PMV og PPD. Måling fra 12.06.2009.

Tidspunkt	PMV			PPD		
	Målt	Beregnet	Diff.	Målt	Beregnet	Diff.
17:45:13	-0,26	-0,53	0,27	6,36	10,8	4,44
17:46:33	-0,37	-0,54	0,17	7,39	11,2	3,81

Den observerte forskjellen mellom beregnet og målt PPD på 4,44 (se Tabell 2) skyldes relativ fuktighet beregningen. Relativ fuktighet beregnes på bakgrunn av våtpunkt temperaturen (også kalt duggpunkttemperatur) og lufttemperaturen. (Se beskrivelse av luftfuktighets sensor for beskrivelse av virkemåte). Lufttemperatursensoren ble observert til å ikke gi noen måledata og sendt inn til service. Relativ fuktighet er av stor betydning for beregning av PMV og PPD og kan føre til en endring på PPD med 5 prosentpoeng. (Se Figur 16).



Figur 16: PPD som funksjon av relativ fuktighet. (1.2 Met, 1 Clo, 0,2 m/s, 20,4 °C T_{luft} , 18,8 °C $T_{\text{stråling}}$)

4.2 Kontroll av relativ fuktighets beregning.

Relativ fuktighet er et uttrykk for andelen vandamptrykk i luften i forhold til det maks vandamptrykket luften kan ha ved en gitt temperatur. Fuktmålerinstrumentet måler duggpunkttemperatur og lufttemperaturmåleren måler lufttemperaturen. Ved hjelp av et IX-diagram kan RH leses ved å følge konstant fukt linjen til kryssning med tørretemperatur (lufttemperatur) linjen. Formel 7 bruker lufttemperatur og duggpunkt temperatur til å regne ut damptrykket. Umettet damptrykk er uttrykket over brøken (uttrykt ved hjelp av duggpunkttemperaturen). Mettet damptrykk er uttrykket under brøkestreken (uttrykt ved hjelp av lufttemperaturen). Relativ fuktighet blir dermed umettet damptrykk over mettet damptrykk. Verdiene stemmer overens med kontrollverdier fra IX-diagrammet

$$RH(T_d, T_a) := \frac{\frac{7.5 \cdot T_d}{237.7 + T_d}}{\frac{7.5 \cdot T_a}{237.7 + T_a}}$$

Formel 7: Relativ fuktighet som funksjon av duggpunkttemperatur (T_d) og lufttemperatur (T_a).

Måling 1 og 3 i Tabell 3 viser at det er feil i beregnet duggpunkt temperatur fra komfortloggeren. Dette skyldtes defekt duggpunkttemperaturmåler. Ved å sammenligne kolonne RH beregnet og RH fra IX diagram ses det at formel for beregning av RH (Formel 7) er korrekt.

Tabell 3: Kontroll av avlest relativ fuktighet fra komfortlogger, manuelt beregnet relativ fuktighet og relativ fuktighet avlest med IX-diagram.

Måling nr	Tid [TT:MM:SS]	Luft temp [°C]	Duggpunkt [°C]	RH for Komfort-logger [%]	RH Beregnet Formel 7 [%]	RH fra IX-diagram [%]	Kommentar
1	19:12:04	19,1	19,3	101	101,2	-	Feil
3	20:24:46	19,3	19,4	100	100,6	-	Feil
4	15:56:22	19,5	11,9	61	61,1	64	Ok
5	16:35:59	19,6	11,8	60	60,7	62	Ok
6	17:10:33	19,4	11,6	60	60,7	61	Ok
10	11:54:09	19,0	0	28	26,3	28	Ok
22	12:22:26	19,9	0,4	26	27,1	28	Ok
30	19:19:39	19,1	0,3	28	28,3	28	Ok

5 Usikkerhet

5.1 Betraktninger

5.1.1 Oppbygging av inneklimalaboratoriet og kuldebroer

Inneklimalaboratoriet var ikke klargjort for montasje av vinduet. Det ble bestilt en ny veggmodul med utsparing til vindu. Utsparingen var på samme størrelsen som vinduet uten karm. Siden veggmodulen er bygd opp av aluminium med polyuretanskum i midten, kunne ikke vinduet plasseres rett inn i utsparingen. Det måtte først bygges en karm. For å få plass til karm måtte utsparingen utvides. Ved varmeutvikling fra for eksempel elektrisk verktøy eller sag vil polyuretan danne giftig blåsyregass. Polyuretanskummet ble derfor manuelt fjernet. Den selvlagde karmen har ikke like gode isoleringsegenskaper som en vanlig karm med kuldebryter og vil dermed gi en kuldebro. Kondens og ising kunne observeres på innsiden av vinduet ved lufttemperatur i kjølerom på -20 °C.

For å eliminere ising fra karm, ble vindusglasset isolert med 5 cm tykk isolasjon i topp og bunn. Dette reduserte glasshøyden fra 1,6 m til 1,5 m. Siden glass har god varmeledningsevne, vil ikke isoleringen forhindre temperaturfall rundt ytterkantene av vindusglasset. Oppbyggingen av et vindusglass med spacer vil gi et temperaturfall langs kanten av vindusglasset. Dette temperaturfallet vil gjelde for et veldig lite område (ca 5 cm) og vil dermed ikke påvirke kaldraset i nevneverdig grad.

Får å få en jevn flate rundt vinduet ble det bygget en ramme rundt vinduet av styrofoamplater. Disse ble lagt utenpå vinduet og gikk helt opp til tak og ned til gulv (Figur 12). Styrofoamplatene forsetter 15 cm til siden for vindusglasset. Aluminiumsplatene leder varme godt og vil kunne gi en kuldebro, da disse går under isolasjonsplatene hvor temperaturen er lavere.

Alle kuldebroer av betydning ble isolert bort slik at bare vindusglassets overflatetemperatur forårsaket kaldras og redusert operativ temperatur.

5.1.2 Konsekvens av ufullstendig ventilasjonsanlegg

Ventilasjonsanlegget til laboratoriet har verken varme eller kjølebatteri. Det har kun en roterende varmegjennvinner, som fungerer svært dårlig til temperaturregulering. Dette førte til vanskeligheter med å opprettholde ønsket lufttemperatur i inneklimalaboratoriet.

Ventilasjonsanlegget hadde heller ikke isolerte kanaler, som førte til at tilluften endret temperatur før innblåsning i rommet. Dette ga enda mindre kontroll over tilluftstemperaturen.

Tilluftstemperaturen varierte med utetemperaturen. Ved måling kunne temperaturforholdene ute forandre seg og dermed endre tilluftstemperaturen. Dette hadde mest å si når målingene ble gjennomført på ulike tider av døgnet.

5.1.3 Konsekvens av uhensiktsmessig plassering av inntak og avkast

Luftinntaket og avkastet er plassert slik at det forekom kortslutning. Avstanden mellom luftinntak og avkast for Inneklimalaboratoriet er for kort. Denne detaljen skyldes er prosjekteringsfeil. Avkastluftens rist er vinklet slik at avkastluften blåses ned på inntaksristen og gir omluft.

Inntaksristen ble også utsatt for solbelastning utover ettermiddagen. Da ventilasjonsanlegget mangler kjølebatteri påvirket dette tilluftstemperaturen. I noen tilfeller førte temperturøkningen til at målinger måtte gjennomføres på nytt.

5.1.4 Lufttemperaturens påvirkning på komfortmålinger

Som en konsekvens av manglende kontroll på tilluftstemperaturen vil innetemperaturen på laboratoriet variere. Da lufttemperaturen er av vesentlig betydning for den termiske komforten, vil en gradvis økning av temperaturen utover dagen føre til en reduksjon i diskomfort.

Dette fikk konsekvenser for målingene. En reduksjon av termisk diskomfort kunne skyldes økende lufttemperatur og ikke den reduserte høyden av glassoverflaten. Den samme effekten av økt lufttemperatur, vil også gjelde for målinger hvor forskjellige U-verdier ble simulert. Målingene ble gjennomført på samme dag mellom kl 10 til 21. Det er forventet at utetemperaturen vil variere innenfor denne perioden.

5.1.5 Lufthastighetsmålerens følsomhet for strømningsretning

Strømningsforholdene som lufthastighetsmåleren er kalibrert for bør være lik strømningsforholdene som gjelder ved måling. Lufthastighetsmålere av type Q-Trak er følsomme for hastighetsvektoren. Målerproben må vinkles slik at luftstrømmen treffer proben slik den gjorde under kalibreringen.

Målerproben har en luftinngang for måling av lufthastigheter. Luftstrømmens hastighetsvektor må treffe vinkelrett på luftinngangen. Proben ble rotert slik at lufthastigheten ga mest mulig utslag på målerinstrumentet.

5.1.6 Forflytning av målepunkter for måling av kaldras

Måling av lufthastighetene ble gjort ved 2 posisjoner. Annet hvert målepunkt ble målt i hver posisjon. Dermed oppnås tilstrekkelig oppløsning i målerpunktene uten at instrumentene står for tett og påvirker strømningshastigheten i kaldraset. Ved røykforsøk ble det observert at luften strømmet over målerprobene, dersom målerprobene ble plassert for tett.

Ved hjelp av røykgass ble det observert at luftens strømningsretning ikke var lik for alle målepunktene. Strømningsretningen varierte med avstand fra karm. Målerprobene ble ikke justert for ny hastighetsvektor etter at probene ble forskjøvet til siden. Dette kan ha ført til en redusert lufthastighet for målinger ved karm. Ved gulv vil ikke hastighetsvektoren endres med målerpunktens avstand fra gulv.

Det ble i noen tilfeller observert ulike lufthastigheter ved posisjon 1 og 2 ved karm. Lufthastighetene i posisjon 1 var høyere enn i posisjon 2, som ga kaldraset et taggete hastighetsprofil. Da de fysiske forholdene var like i begge posisjonene burde det ikke påvirke hastighetsprofilen at målingene ble gjennomført etter hverandre i tid. Hadde studentene hatt mer tid ville det blitt gjennomført flere målinger for å undersøke fenomenet nærmere.

5.1.7 Manglende kalibrering av hastighetsmåler

For de første målingene ved vindusglass med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ble det observert godt samsvar med forventet og målt hastighet. For de siste målingene ved vindu med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ var hastighetene lavere enn beregnet. Da det er lenge siden instrumentene ble kalibrert (2007), mistenkes det at instrumentene er ute av kalibrering. Lufthastighetsmålere med termiske anemometere har lett for å komme ut av kalibrering. Instrumentene ble utsatt for mindre røykmengder fra en røykpimpett mellom forsøket med U-verdi på $1,2$ og $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Over tid kan røyk og støv brenne seg fast og påvirke kalibreringen av instrumentet.

5.1.8 Måling av overflatetemperatur

Det ble registrert at termoelementet nærmest taket målte en overflatetemperatur 2 °C høyere når kjøleanlegget var i drift. Denne verdien falt så tilbake når kjøleaggregatet stoppet. Termoelementet kan ha blitt utsatt for elektromagnetisk påvirkning. Ved inspeksjon ble det observert en kabelskinne i nærheten av termoelementet. De antas at den elektromagnetiske påvirkningen skyldes denne strømførende ledningen, da den forsyner kjøleanlegget med strøm.

Alle termoelementene er tilknyttet den samme PC-loggeren. Usikkerheten for temperaturføleren i PC-loggeren utgjør $\pm 0,5$ °C. Alle termoelementenes målte verdier blir beregnet relativt i forhold til denne temperaturføleren. Da verdiene fra alle termoelementene har den samme systematiske feilen vil temperaturredifferansen mellom termoelementene kun ha en usikkerhet på 0,1 °C (fra PC-loggerens datablad). Målerverdien for termoelementene kan dermed ha et totalt avvik på $\pm 0,6$ °C.

Ved en differanse mellom lufttemperaturen og overflatetemperatur på 1 °C vil en måleusikkerhet på 0,1 °C utgjøre 10 %. Lufttemperaturen måles også med termoelement.

5.1.9 Plassering av komfortmåler

Komfortmåleren skal måle den termiske komforten i oppholdssonen. Oppholdssonen er definert 0,6 m fra vegg. En sittende person er mest sårbar for diskomfort ved naken hud. Typiske følsomme områder er nakken og ankler. Dette skyldes at det er mange blodårer nær huden i nakken og ankene.

I et typisk kontor havner brukeren ofte nær vinduet. Det ble valgt å plassere komfortmåleren over grensen til oppholdssonen 0,6 m ut fra vinduet. Det var ikke tid til å gjennomføre målinger med komfortloggeren ved andre posisjoner. Det antas at reduserte vinkelforhold og kaldrashastigheter ville ført til lavere verdier for termisk diskomfort.

Det ble tidlig i prosjektet vurdert å måle komforten ved ankelhøyde. Dette ble ikke gjennomført da komfortloggeren er beregnet for å måle komforten i en høyde på 1,1 m.

5.1.10 Styring av kjøleaggregat

Kjøleaggregatet hadde begrenset reguleringsfrihet, da det kun er beregnet for å kjøle ned frysevarer. Det benyttet en av-/på regulering, som gjorde det vanskelig å holde en jevn temperatur i kjølerommet.

Det var heller ingen mulighet til å justere temperaturlavere enn -17 °C. Dette innebar at simulering av U-verdi ved justert overflatetemperatur måtte gjøres manuelt. PC-loggeren ble benyttet til å overvåke temperaturen på glassflaten og lufttemperaturen i kjølerommet. Kjøleaggregatet startet og stoppet etter beste evne for å opprettholde en temperatur i kjølerommet som ga ønsket overflatetemperatur. Grunnet tregheten i varmetransporten mellom laboratoriet og kjølerommet, ble den manuelle reguleringen av temperaturen en utfordring.

5.1.11 Simulering av U-verdi

U-verdien avhenger av flere forhold. Den avhenger blant annet av indre- og ytre overgangstall, antall glasslag, eventuelle lavemisjonsbelegg, gassfyllingens egenskaper og spaceren som skiller glasslagene fra hverandre.

Det indre- og ytre overgangstallet avhenger av varmetransporten gjennom konveksjon og stråling. Strålingsmengden øker med overflatens temperatur i en faktor i 4 potens.

Konveksjonen øker med økt vindushøyde og temperaturforskjell mellom flaten og romlufttemperatur.

Gassen i mellom vindusglassene endrer termiske egenskaper ved forskjellig temperaturer. Varme fraktes igjennom gassen som stråling og konveksjon. Dermed blir den også avhengig av temperaturen og vindushøyden.

Antall glass i et vindu påvirker hvor mye U-verdien endrer seg med når kjøleromstemperaturen endres fra 0 °C til -20 °C. Beregninger viser at to lags vindusglass vil endre u-verdi med 23 %, mens 3 lags vindusglass kun endret seg 7 %. Den oppgitte U-verdien er beregnet ved 0 °C med faste overgangstall for å kunne lette sammenligningen av forskjellige produkter.

Studentene hadde opprinnelig planlagt å benytte forskjellige vinduer. Grunnet tidsmangel ble det besluttet å simulere U-verdien på 0,4 W/m²K ved hjelp av innvendig overflatetemperatur. Dette hadde påvirkningen på kaldrasen og strålingsasymmetrien som et montert vindu med U-verdi på 0,4 W/m²K.

Det ble estimert overflatetemperatur med standard indre overgangstall. Deretter ble temperaturen i kjølerommet justert for å oppnå ønsket overflatetemperatur. Usikkerheten som oppstår ved at U-verdien varierer med endret utetemperatur og lufthastighet ses det bort i fra i beregningene. Usikkerheten knyttet ustabile temperaturforhold i Inneklimalaboratoriet har en langt større påvirkning på den totale usikkerheten.

5.1.12 Komplikasjoner med komfortloggeren

Det ble oppdaget feil på temperaturmåleren til komfortloggeren. Under forsøket ble det observert at utslaget fra komfortloggerens fuktmåler varierte mellom 26 % RF og 100 % RF. Fukttinnholdet måles ved å finne duggpunkttemperaturen og lufttemperaturen. Siden lufttemperaturen ble målt til 0 °C ble målt relativ fuktighet altfor høy.

Dette ble kompensert ved å beregne fuktnivået manuelt. I de siste målingene ble relativ fuktighet logget med flere instrumenter.

Det ble oppdaget at fuktmåleren regelmessig måtte renses. Fuktmåleren fungerer ved at duggpunktet registreres på et speil. Speilet kjøles ned til dugget opptrer. Et laserlys vil reflekteres bort fra et klart speil, men vil ved dugg brytes diffust og dermed registreres. Etter hvert samles forurensninger fra luften seg på speilet og påvirker brytningen av lyset. Speilet må derfor rengjøres ved jevne mellomrom. Et måleresultat på grunn av urent speil vil gi et sprang i fuktnivået og lett kunne oppdages.

Det registreres at det er en usikkerhet knyttet til estimering fuktnivået. En fuktforskjell på 10 % RF vil ved vanlige målerforhold utgjøre litt i overkant av 1 % PPD.

5.1.13 Behandling av data

5.1.13.1 Komfortdata

Ingen beregnede verdier fra komfortloggeren benyttes direkte i oppgaven. Feil på temperaturføler og fuktføler førte til at studentene etablerte et Excel-regneark som manuelt beregnet nye indeksdata.

De manuelt beregnede indeksdata stemte ikke 100 % med verdier fra komfortloggeren, selv om det ble benyttet samme målte verdier.

Metoden i Excel-regnearket er blitt kvalitetssikret ved å beregne komforten etter komfortligningen (ISO 7730:2005, ligning 1-4). Svarene ble kontrollert mot tabellverdier

i standarden. Resultatene fra Excel-regnearket og tabellverdiene stemte overens. Det antas at differansen mellom komfortloggeren beregnede verdier og de manuelt beregnede verdiene skyldes komfortloggerens beregningsmetoder.

De manuelle beregninger ligger nær verdiene beregnet av komfortloggeren. Forskjellen utgjorde mellom 0,5 og -1 % PPD. Som regel beregnet Excel-regnearket et lavere antall misfornøyde enn komfortloggeren.

5.1.13.2 **PPD og PPD-(R) aktivitetskorrigeret**

Komfortloggeren har to måter å beregne PPD på etter ISO 7730:2005. En PPD beregnes i henhold spesifisert aktivitet og en PPD-(R) som korrigerer for aktivitet medfølgende luftutskiftning mellom huden og klesplagget. PPD-(R) skal gi et riktigere bilde av komforten ved høyere aktivitet.

Ved å plote PPD og PPD-(R) i samme diagram som lufthastigheten under måling, synliggjøres hvordan lufthastigheten bidrar til økt termisk diskomfort ved en lav aktivitet (1,2 met). I resultatene benyttet kun PPD, da PPD-(R) ikke passer for forholdene som undersøkes i denne oppgaven.

5.1.13.3 **Draft Ratning**

Ved å benytte formelverket til DR ved gulv vil det mest sannsynlig bli en overestimering av antall misfornøyde. DR er definert ut i fra målinger gjort på en gruppe personer som er utsatt for trekk i nakken. Anklene er ofte mindre følsomme for trekk enn nakken. Dette skyldes at anklene er dekket til med bukser, sokker og sko som skjermer for trekk.

ISO 7730:2005 underestimerer sannsynligvis DR. Dette skyldes at testpersonene i Fangers undersøkelser oppholdt seg i trekken i 15 min før hastigheten ble endret (Fanger, Melikov, et al. 1988). Undersøkelser (Griefahn, Künemund og U. 2000), (Todde 2000) viser at antall misfornøyde på grunn av trekk først stabiliseres etter 50 min.

5.2 Eksempel på usikkerhetsberegning

Ved beregning av usikkerhet tas det hensyn til to typer feil. Tilfeldige feil og systematiske feil.

Tilfeldig feil skyldes at vi ikke klarer å måle den eksakte verdien. I stede måles en verdi som varierer rundt den faktiske verdien. Ved måling av en størrelse vil den målte verdien variere tilfeldig. Dette kan minskes ved å gjenta målingen mange ganger.

Systematiske feil kan være pga måleinstrumenter eller målemetoden. Dette er feil som gjenntas. For eksempel instrument usikkerhet eller måling av verdier utenfor kalibreringsområdet.

5.2.1 Fremgangsmåte

5.2.1.1 Tilfeldige feil

Målingens standardfeil beregnes etter Formel 8.

$$S_{\bar{x}} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1) \cdot n}}$$

Formel 8: Målingens standardfeil

Deretter beregnes målingens tilfeldige feil ved å bruke standardfeilen og gjennomsnittsverdi inn i Formel 9.

$$U_T = \frac{S_{\bar{x}} \cdot 100}{\bar{x}}$$

Formel 9: Målingens tilfeldige feil

5.2.1.2 Systematiske feil

Instrumenter hvor usikkerheten er oppgitt i en absolutt størrelse må konverteres til en relativ usikkerhet. Det gjøres ved å ta verdien til oppgitt usikkerhet delt på den målte verdien. (For analogt instrumentet benyttes fullt utslag i stede for målte verdi.)

Den totale systematiske usikkerheten beregnes av usikkerhet for instrument og målemetode (Formel 10).

$$U_s = \sqrt{U_{instr}^2 + U_{metode}^2}$$

Formel 10: Summering av systematiske feil

5.2.1.3 Den resulterende totale usikkerhet

Finnes ved å summere usikkerhetene fra tilfeldige feil og systematiske feil etter pytagoras læresetning (Formel 11).

$$U_R = \sqrt{U_T^2 + U_s^2}$$

Formel 11: Summering av resulterende totale usikkerhet

5.2.1.4 Feiloppbopning

Mår måleverdiene brukes i en funksjon kan vi beregne hvor mye usikkerheten til de forskjellige måleparameterne påvirker resultatet.

Ved å partiell derivere funksjonen for DR (Formel 12) med hensyn på de to målte parameterne v_a og t_a kan det finnes hvor mye v_a (Formel 13) og t_a (Formel 14) påvirker den totale feiloppbopningen (Formel 15).

$$DR = (34 - t_a)(v_a - 0.05)^{0.62} \cdot (0.37 \cdot v_a \cdot Tu + 3.14)$$

Formel 12: Formel for DR

$$\frac{d}{dv_a} DR \rightarrow -\frac{0.62(37.0SD + 3.14) \cdot (t_a - 34)}{(v_a - 0.05)^{0.38}}$$

Formel 13: Den partiell deriverte av DR med hensyn på lufthastigheten

$$\frac{d}{dt_a} DR \rightarrow -(37.0SD + 3.14) \cdot (v_a - 0.05)^{0.62}$$

Formel 14: Den partiell deriverte av DR med hensyn på lufttemperaturen

$$e_{DR} = \sqrt{\left(\frac{d}{dv_a} DR \cdot e_{v_a}\right)^2 + \left(\frac{d}{dt_a} DR \cdot e_{t_a}\right)^2}$$

Formel 15: Total feiloppbopning. Uttrykkene i parentes er feiloppbopning for lufthastighet og temperatur

5.2.2 Usikkerhet for DR ved gulv.

Dette avsnittet omhandler usikkerhetsberegning til DR ved gulv for måling 1-12 (U-verdi på 1,2 W/m²K, med varierende utetemperatur og glasshøyde). Et eksempel på beregning av instrumentets usikkerhet er beregnet i Tabell 4. Tabell 5 og Tabell 6 gjelder for lufttemperaturmålinger. Tilsvarende beregninger er gjort for lufthastighetsmålinger (se Vedlegg 11).

Tabell 4: Eksempel på instrumentusikkerhet for Q-Trak luft og hastighetsmåler. (se Vedlegg 12)

Q-trak Lufthastighet	Usikkerhet	Målt størrelse [m/s] eller [°C]	Relativ Usikkerhet
	3 %	0,3	0,9 %
	0,015 m/s	hvis størst	5,0 %
Q-trak Temperatur	0,3 °C	20	1,5 %

Den tilfeldige feilen beregnes i Tabell 5 etter Formel 9.

Tabell 5: Målingenes tilfeldige feil for temperaturmåler beregnet ut i fra målinger av temperaturen ved gulv.

	TAirAvg	SD _T	Antall	Standardfeil	Tilfeldige Feil
Måling 1	18,199	0,078	900	0,0026	0,014 %
Måling 2	17,955	0,065	900	0,0022	0,012 %
Måling 3	18,094	0,191	900	0,0064	0,035 %
Måling 7	19,545	0,068	900	0,0023	0,012 %
Måling 8	19,949	0,050	900	0,0017	0,008 %
Måling 9	20,156	0,073	900	0,0024	0,012 %
Måling 10	17,771	0,095	900	0,0032	0,018 %
Måling 11	18,113	0,100	900	0,0033	0,018 %
Måling 12	18,004	0,079	900	0,0026	0,015 %

Den systematiske feilen i Tabell 6 beregnes etter Formel 10

Tabell 6: Beregnet systematiske feil for temperatur

	Relativ Usikkerhet Instrument	Usikkerhet Metode	Systematisk Feil
Måling 1	1,6 %	0	1,6 %
Måling 2	1,7 %	0	1,7 %
Måling 3	1,7 %	0	1,7 %
Måling 7	1,5 %	0	1,5 %
Måling 8	1,5 %	0	1,5 %
Måling 9	1,5 %	0	1,5 %
Måling 10	1,7 %	0	1,7 %
Måling 11	1,7 %	0	1,7 %
Måling 12	1,7 %	0	1,7 %

Tilfeldige feil (Tabell 5) og systematiske feil (Tabell 6) brukes i beregningen av resulterende totale feil (Tabell 7) etter Formel 11.

Tabell 7: Beregnet resulterende feil for temperatur

	Tilfeldige Feil	Systematisk Feil	Resulterende Total Feil
Måling 1	0,014 %	1,6 %	1,6 %
Måling 2	0,012 %	1,7 %	1,7 %
Måling 3	0,035 %	1,7 %	1,7 %
Måling 7	0,012 %	1,5 %	1,5 %
Måling 8	0,008 %	1,5 %	1,5 %
Måling 9	0,012 %	1,5 %	1,5 %
Måling 10	0,018 %	1,7 %	1,7 %
Måling 11	0,018 %	1,7 %	1,7 %
Måling 12	0,015 %	1,7 %	1,7 %

De partielle deriverte beregnes etter Formel 13 og Formel 14 for henholdsvis temperatur og lufthastighet. Feiloppbygningen for temperatur og lufthastighet er produktet av den partiell deriverte og den resulterende totale feilen og beregnes i Tabell 8.

Tabell 8: Beregnet feiloppbygning for DR ved gulv. (se Vedlegg 13)

	For temperatur			For lufthastighet		
	Resulterende Total Feil	Partiell deriverte d/dt	Feiloppbygning Temperatur	Resulterende Total Feil	Partiell deriverte d/dv	Feiloppbygning Lufthastighet
Måling 1	1,6 %	1,62	2,67 %	8,8 %	81	716 %
Måling 2	1,7 %	1,29	2,15 %	10,3 %	85	882 %
Måling 3	1,7 %	2,23	3,71 %	11,0 %	93	1024 %
Måling 7	1,5 %	1,13	1,74 %	12,1 %	92	1108 %
Måling 8	1,5 %	0,67	1,01 %	16,8 %	119	2002 %
Måling 9	1,5 %	0,88	1,31 %	15,4 %	113	1742 %
Måling 10	1,7 %	1,31	2,22 %	12,2 %	101	1227 %
Måling 11	1,7 %	0,88	1,47 %	17,3 %	144	2496 %
Måling 12	1,7 %	0,71	1,18 %	18,5 %	152	2810 %

Feiloppnopning totalt for DR summeres etter Formel 15.

Tabell 9: Beregnet totale feiloppnopning for DR ved gulv.

	Feiloppnopning Temperatur	Feiloppnopning Lufthastighet	Feiloppnopning Totalt for DR
Måling 1	2,67 %	716 %	716 %
Måling 2	2,15 %	882 %	882 %
Måling 3	3,71 %	1024 %	1024 %
Måling 7	1,74 %	1108 %	1108 %
Måling 8	1,01 %	2002 %	2002 %
Måling 9	1,31 %	1742 %	1742 %
Måling 10	2,22 %	1227 %	1227 %
Måling 11	1,47 %	2496 %	2496 %
Måling 12	1,18 %	2810 %	2810 %

Den totale feiloppnopningen i beregning for draft utgjør mellom 716 % og 2810 % (se Tabell 9). Usikkerhetene for rådataene og instrumentet utgjør kun 1,7 % på det meste (se Tabell 7).

Den høye usikkerheten skyldes den partiell deriverte av DR. DR er en empirisk formel som er tilpasset måledata. Dette vil kunne medføre at usikkerheten blir relativt høy sammenlignet med en ikke-empiriske formel.

Den deriverte er stigningstallet til funksjonen. Siden funksjonen er beregnet for å operere med en lufthastighet på under 0,5 m/s vil dette gi et stort stigningstall. (Stigningen er økning per 1 m/s). Ved 1 m/s lufthastighet er DR oppi 250 %.

På den andre siden er jo lufttemperaturen beregnet til å variere i størrelsesorden 20-26 °C. Dette gir en DR på 5 %.

Stigningstallet (den partiell deriverte) er vesentlig større for lufthastighet enn lufttemperatur. Den totale feiloppnopningen er produktet av den partiell deriverte og den resulterende totale feilen. Dette resulterer i at usikkerheten også blir tilsvarende større. Lufthastigheten har dermed vesentlig større innflytelse på DR.

En alternativ metode for beregning av usikkerhet benytter standardavviket isteden for resulterende totale feil. Siden det er den partiell deriverte av DR som trekker usikkerheten opp vil ikke den alternative metoden med standardavvik hjelpe.

5.3 Følsomhetsanalyse for DR

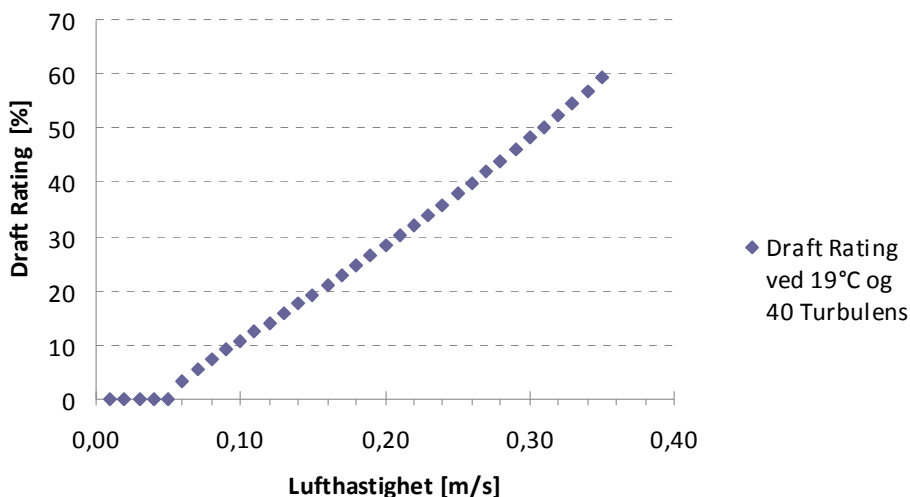
Følsomhetsanalysen er gjennomført for å kunne si noe om hvor mye enkeltparametere påvirker DR. DR er avhengig av de tre faktorene lufttemperatur, lufthastighet og turbulensintensitet. Når DR beregnes som funksjon av lufthastigheten, settes lufttemperaturen og turbulensintensiteten lik konstant. DR beregnes etter Formel 4 s.33.

Følgende konstanter brukes i følsomhetsanalysen.

Lufttemperatur	19,0 °C
Lufthastighet	0,1 m/s
Turbulens intensiteten	40 %

5.3.1 DR som funksjon av lufthastigheten.

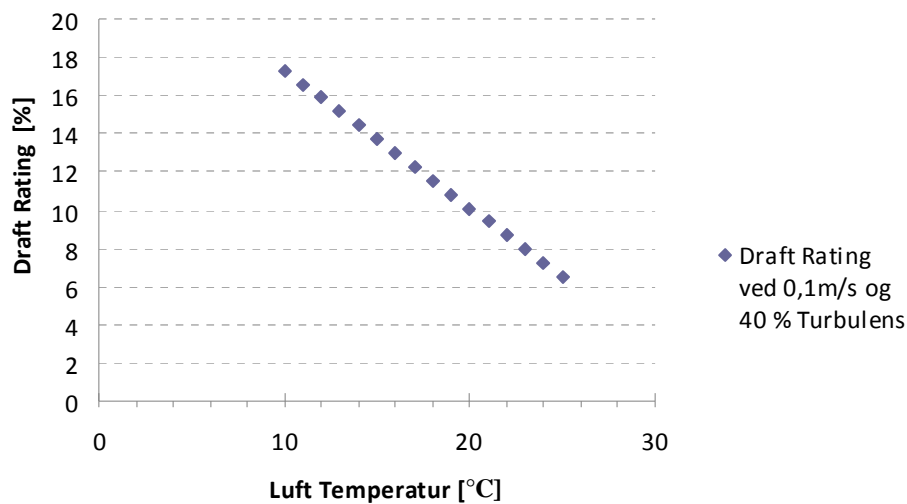
Ved lufthastigheter mellom 0,0 til 0,05 m/s oppleves det ikke trekk. Fra 0,05 m/s og høyere øker DR nesten med en konstant størrelse (se Figur 17), som blir gradvis litt større. Ved hastighet fra 0,08 m/s til 0,16 m/s er den stigningstallet lik 1,7 % missfornøyde pr 0,01 m/s. Stigningstallet er på 2,0 % missfornøyde ved hastighet på 0,25 m/s til 0,27 m/s. Ved andre konstanter blir stigningstallet litt endret.



Figur 17: DR som funksjon av lufthastigheten

5.3.2 DR som funksjon av lufttemperaturen.

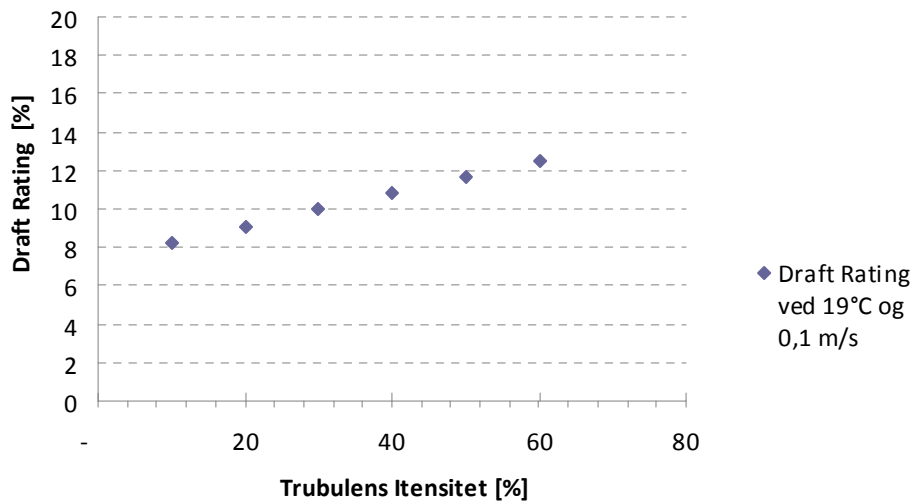
Ved endring av lufthastigheten endres DR lineært (se Figur 18). Stigningstallet er på -0,7 % per °C. Ved andre lufthastigheter og turbulens intensitet vil stigningstallet endre seg. Lufttemperatur opp til 34 °C gir trekk. Temperatur over 34 °C gir etter Formel 4 ingen trekk.



Figur 18: DR som funksjon av luft temperatur

5.3.3 DR som funksjon av turbulensintensitet.

Ved endring av turbulensintensiteten endres DR lineært (se Figur 19). Stigningstallet er på 0,9 %. Ved andre konstanter blir stigningstallet litt endret. Modellen gir lavere trekk ved lav turbulensintensitet.



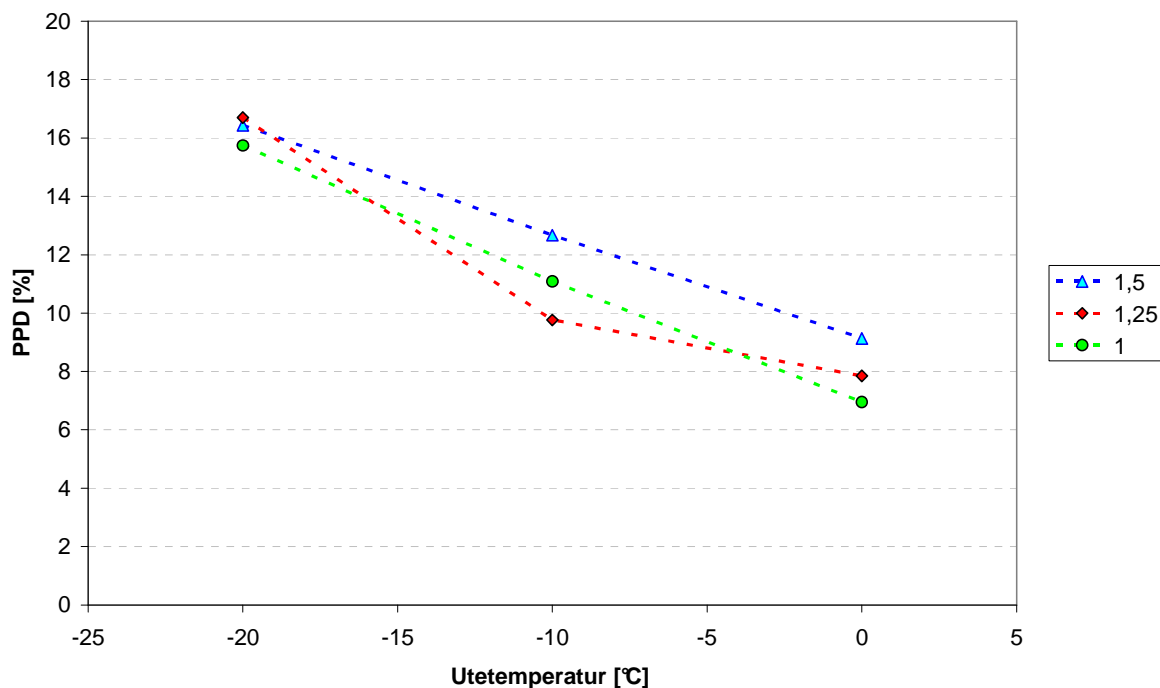
Figur 19: DR som funksjon av turbulens intensitet

6 Resultater

6.1 Målt PPD i Inneklimalaboratoriet

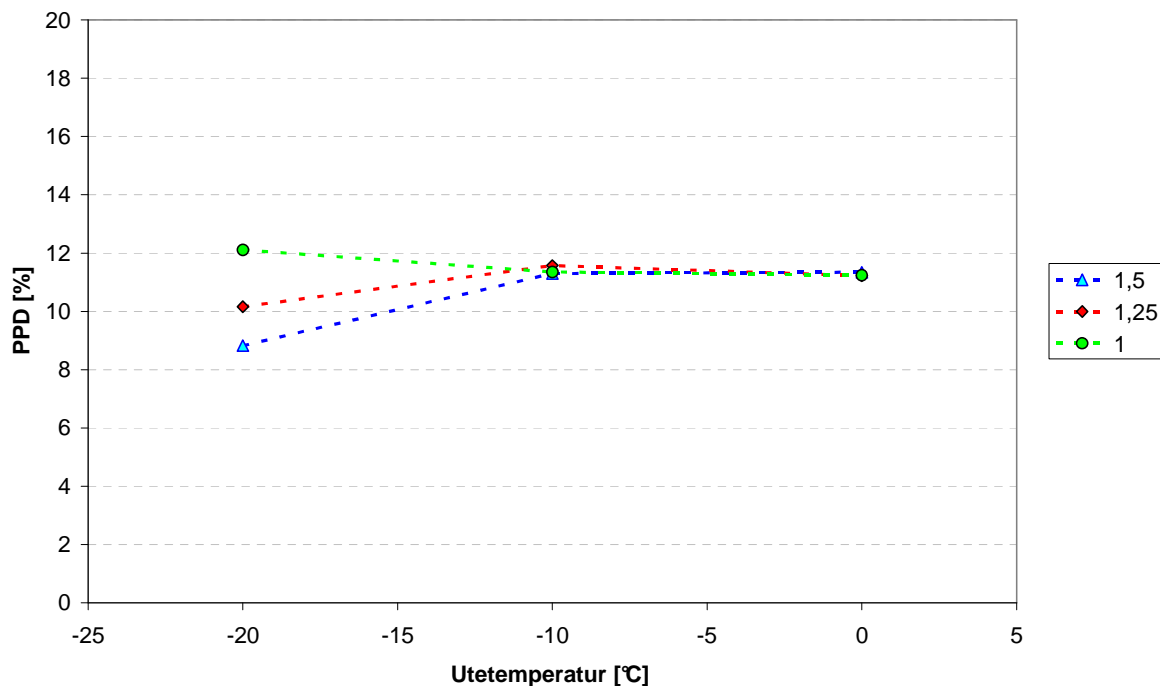
Figur 20 og Figur 22 viser de samme måleverdiene. Forskjellen er skalaen som brukes langs x-aksen. I aksene til Figur 20 brukes utetemperaturen som ble forsøkt oppnådd. I Figur 22 brukes den målte temperaturoffersansen mellom romluft og glassoverflaten i x-aksen. Dette gir et litt annerledes og mer riktig plassering av punktene i x-akse retning. Figur 24 presenterer de samme verdiene sortert etter glasshøyde.

For vindusglass med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ øker PPD med fallende utetemperatur (se Figur 20).



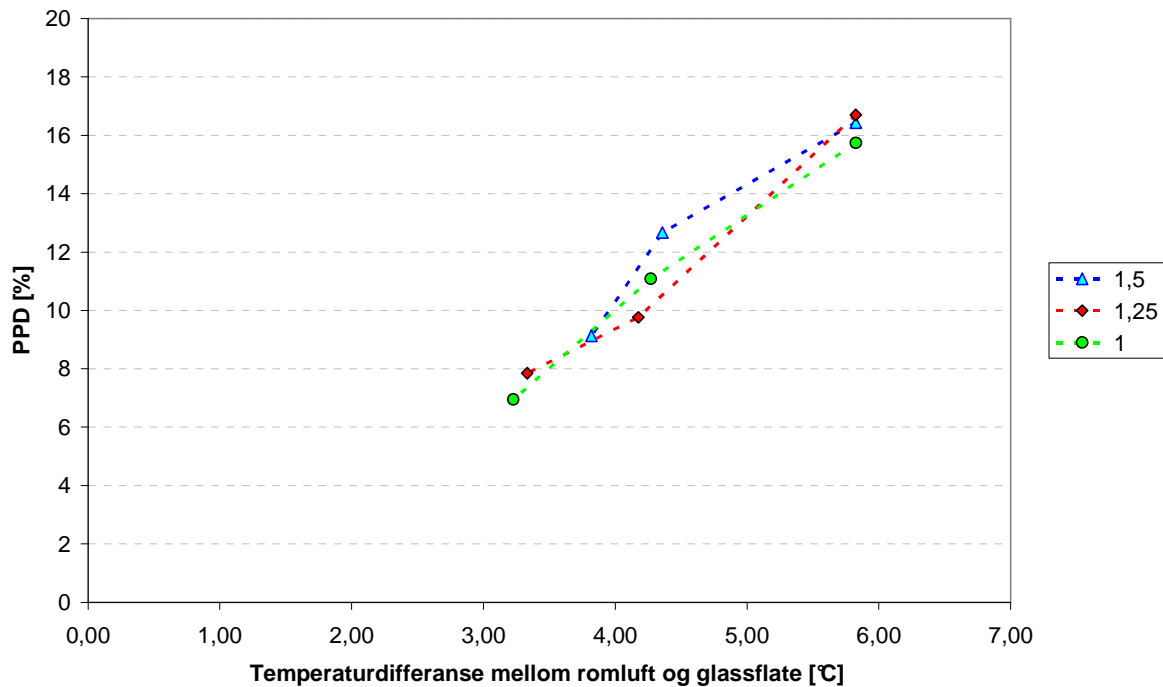
Figur 20: PPD som funksjon av utetemperatur ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for forskjellige glasshøyder.

For vindusglass med u-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er PPD stabil ved fallende utetemperatur (se Figur 21)



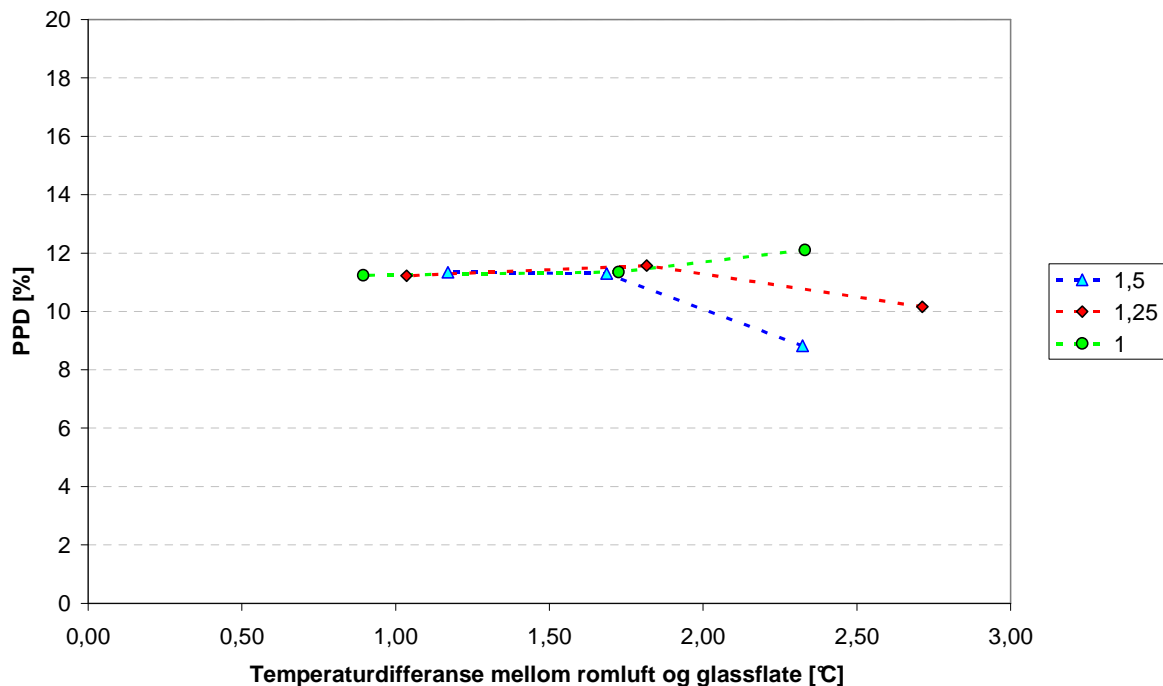
Figur 21: PPD som funksjon av utetemperatur ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ for forskjellige glasshøyder.

Glasshøyden påvirker ikke PPD for et vindusglass med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ og med en lav temperaturdifferanse mellom romluft og glassflaten. Ved høy temperaturdifferanse påvirkes komforten av glasshøyden (se Figur 22).



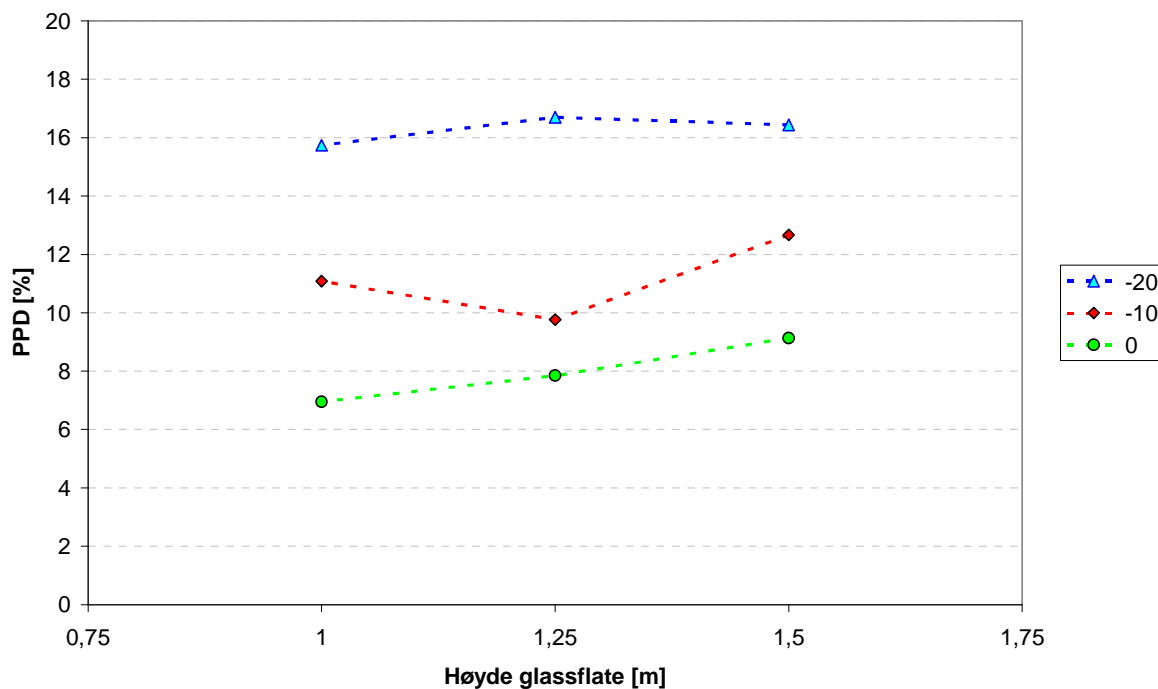
Figur 22: PPD som funksjon av temperaturforskjell mellom romluft og vindusoverflate ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for forskjellige glasshøyder.

For vindusglass med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ endres ikke PPD seg ved endringer av temperaturdifferanser mellom romluft og overflatetemp (se Figur 23). Ved høy temperaturdifferanse er det en spredning av PPD målingene.



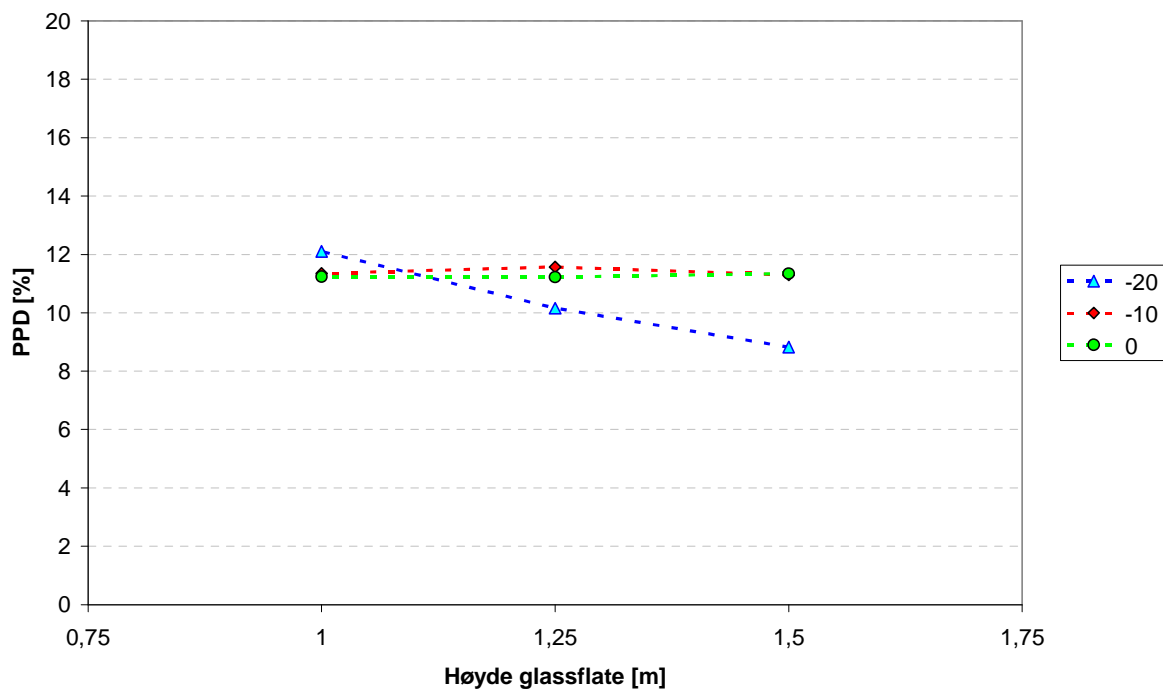
Figur 23: PPD som funksjon av temperaturforskjell mellom romluft og vindusoverflate ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ for forskjellige glasshøyder.

En økning i glasshøyden gir en økning i PPD ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Figur 24).



Figur 24: PPD som funksjon av glasshøyden ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for forskjellige utetemperatur.

En økning i glasshøyden gir ingen endring i PPD ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Figur 25).



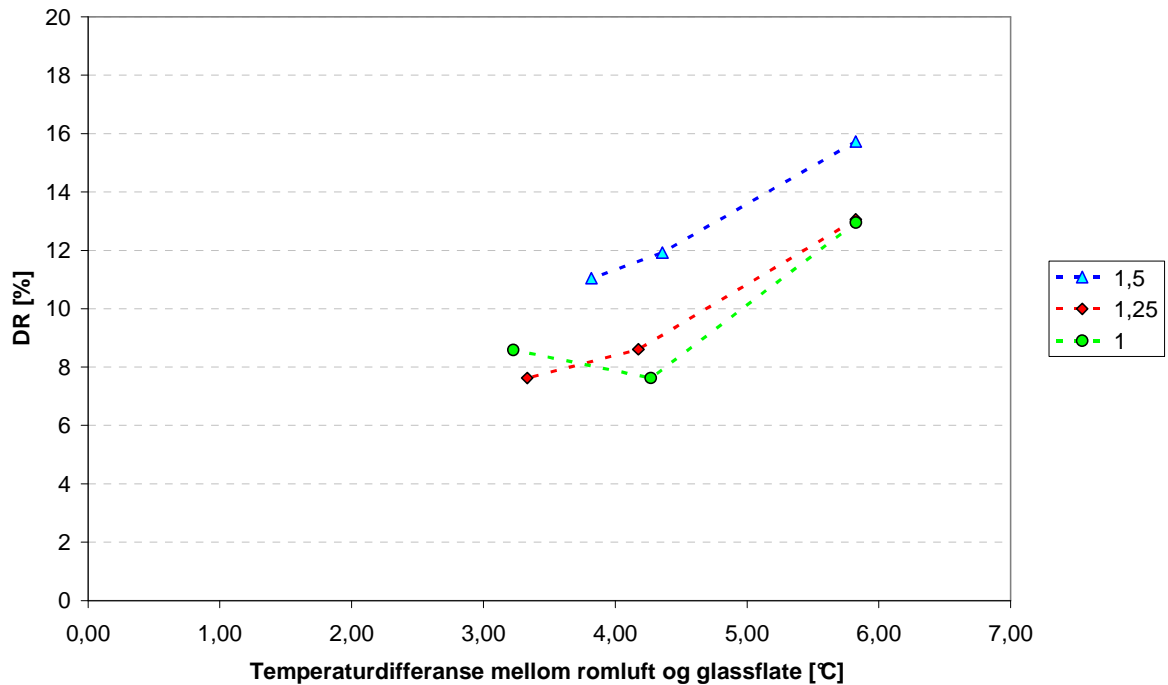
Figur 25: PPD som funksjon av glasshøyden ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ for forskjellige utetemperatur.

Måling med glasshøyde på "1,5m, -20 °C og U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, glasshøyde på 1,25", "-10 °C og u-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ " og "glasshøyde på 1,5m, -20 °C og U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ " mistenkes å ligge for lavt i forhold til omkringliggende målinger.

6.2 Lokal diskomfort

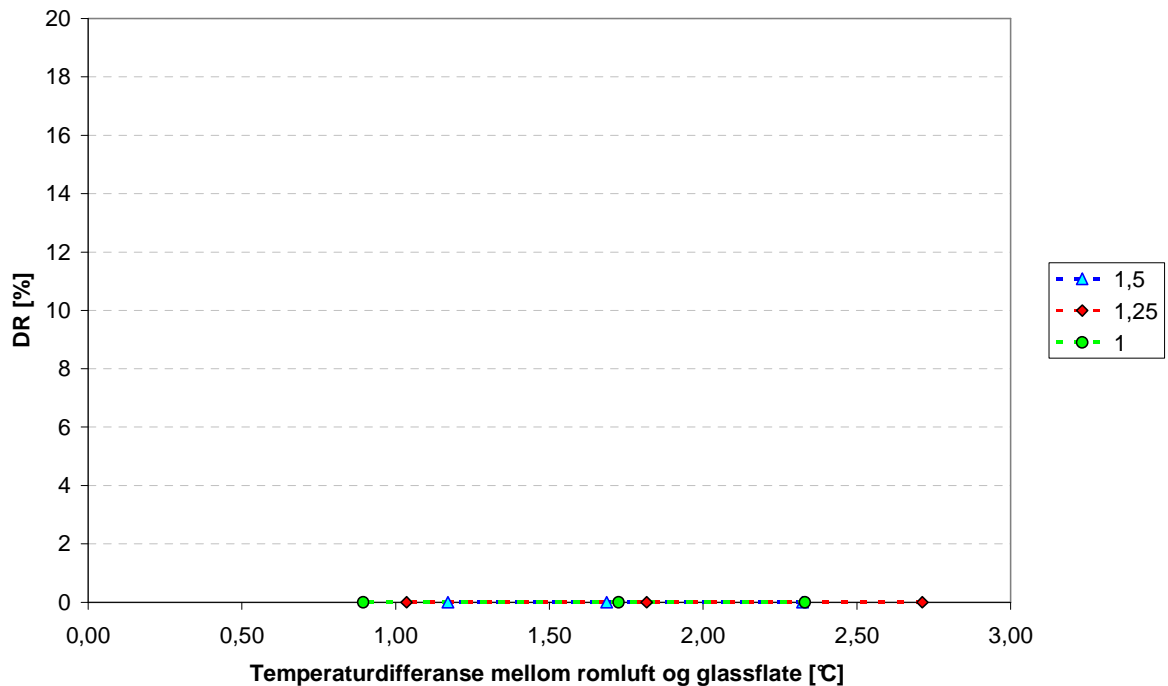
6.2.1 DR ved gulv

DR reduseres ved lavere differanse mellom romluft og overflatetemperatur ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Figur 26)



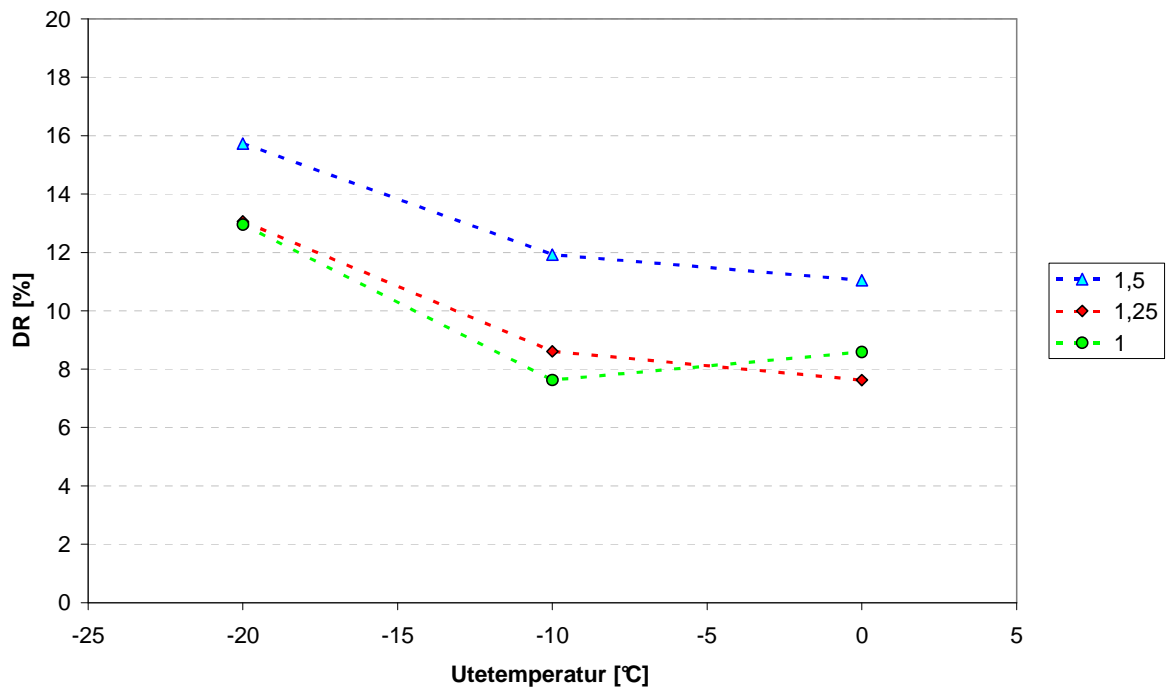
Figur 26: DR ved gulv som funksjon av temperaturskjell mellom romluft og vindusoverflate for forskjellige glasshøyder. U-verdi $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Målinger ved nakke gav ingen utslag for DR (se Figur 27, Figur 29 og Figur 31).

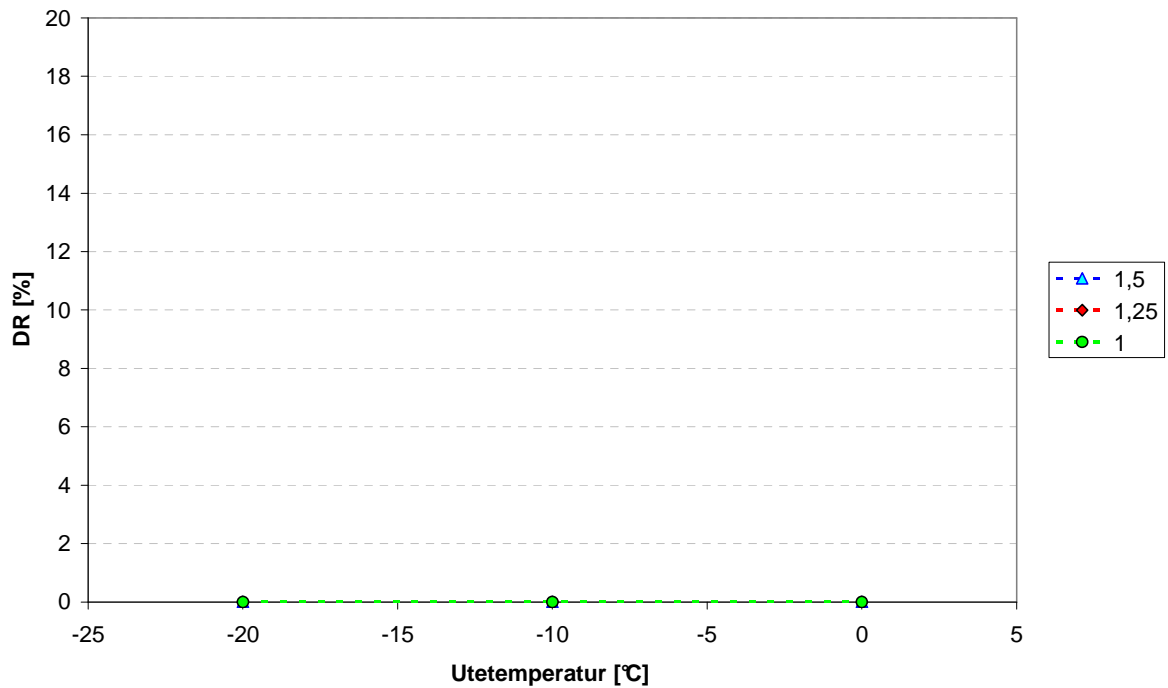


Figur 27: DR ved gulv som funksjon av temperaturskjell mellom romluft og vindusoverflate for forskjellige glasshøyder U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

DR øker for synkende utetemperatur ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Figur 28)

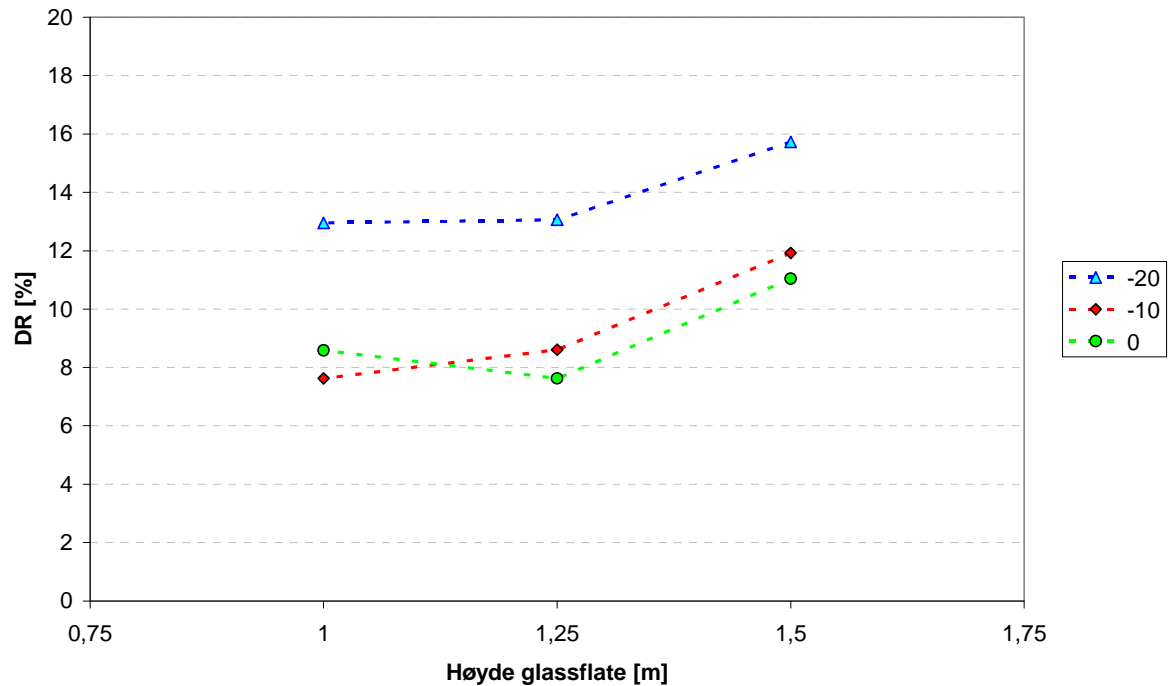


Figur 28: DR ved gulv som funksjon av utetemperatur for forskjellige glasshøyder. U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

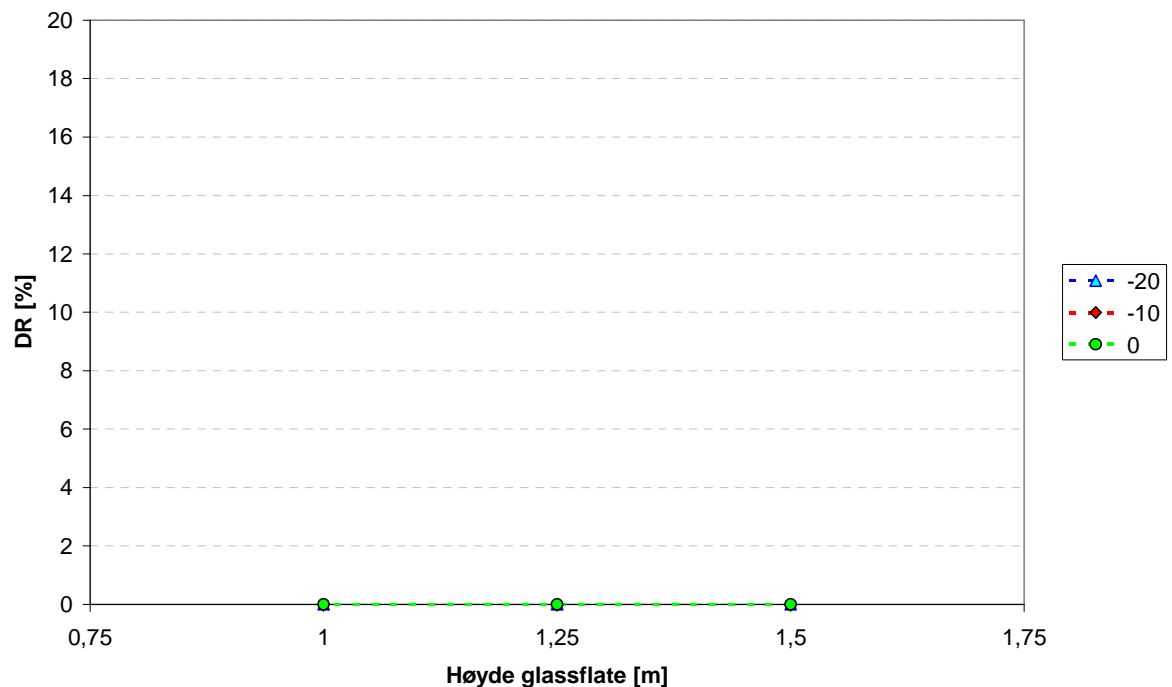


Figur 29: DR ved gulv som funksjon av utetemperatur for forskjellige glasshøyder. U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

DR er større ved glasshøyde på 1,5 m enn ved 1m for u-verdi på 1,2 W/m²K (se Figur 30).



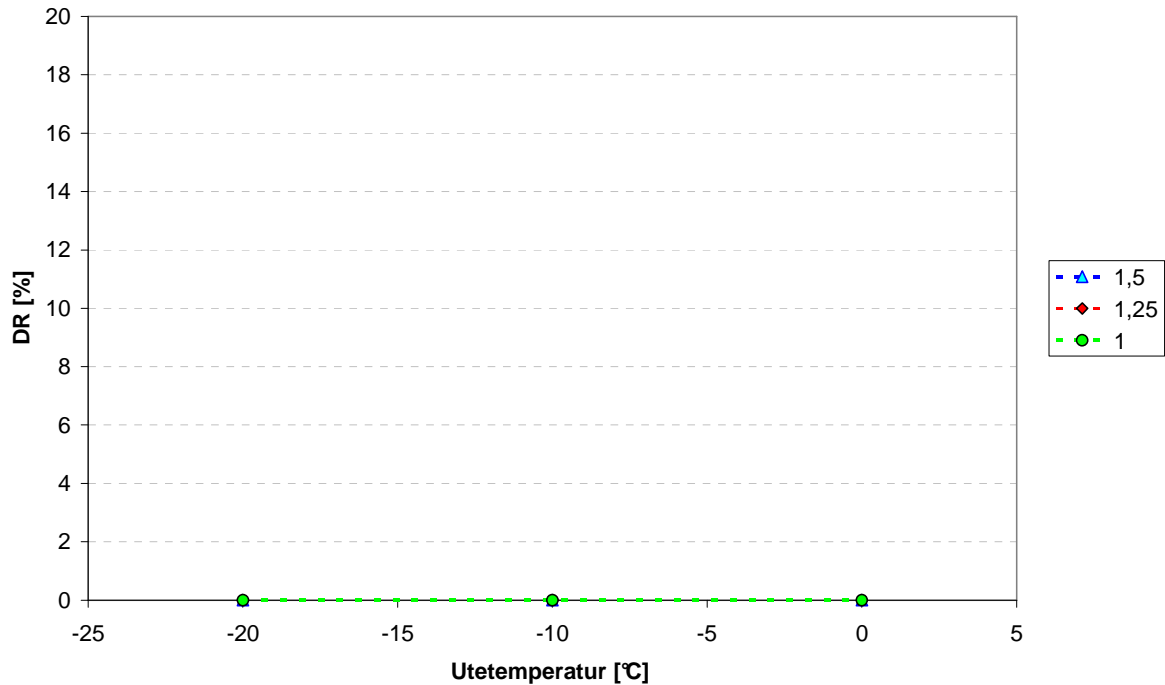
Figur 30: DR ved gulv som funksjon av glasshøyden for forskjellige utetemperatur. U-verdi på 1,2 W/m²K.



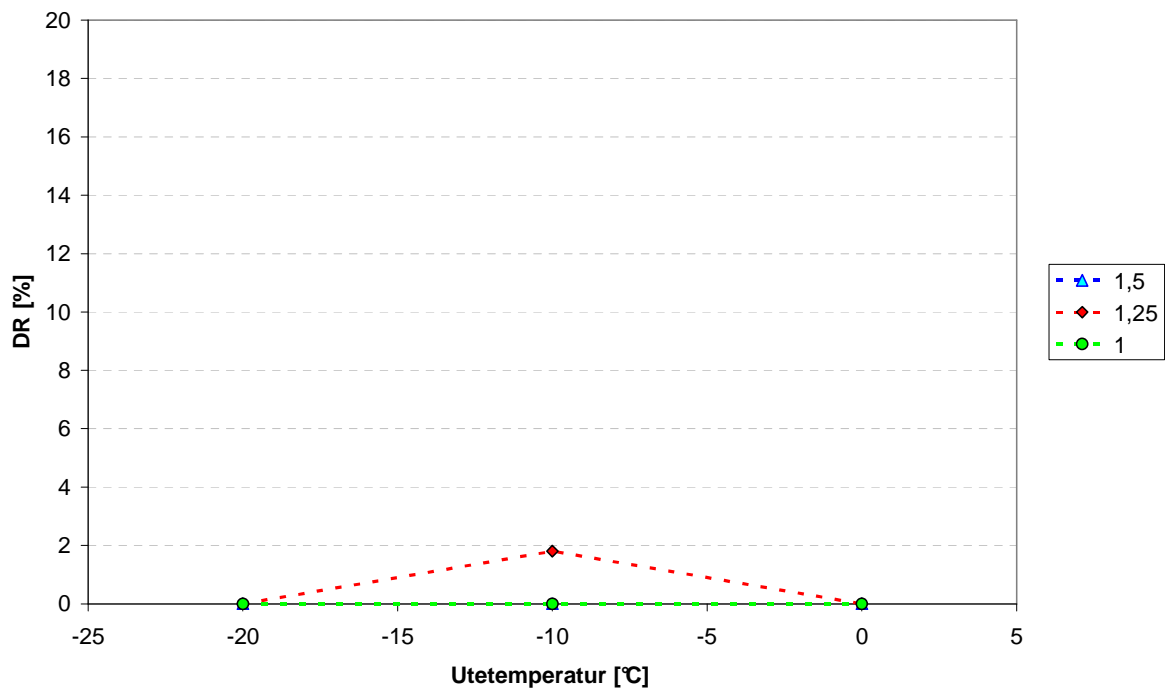
Figur 31: DR ved gulv som funksjon av glasshøyden ved forskjellige utetemperatur. U-verdi på 0,4 W/m²K.

6.2.2 DR ved nakkehøyde

Ved nakken gir DR ingen utslag ved U-verdi 1,2 W/m²K (se Figur 32). Det er nesten ingen utslag for DR ved U-verdi på 0,4 W/m²K (se **Figur 33**).



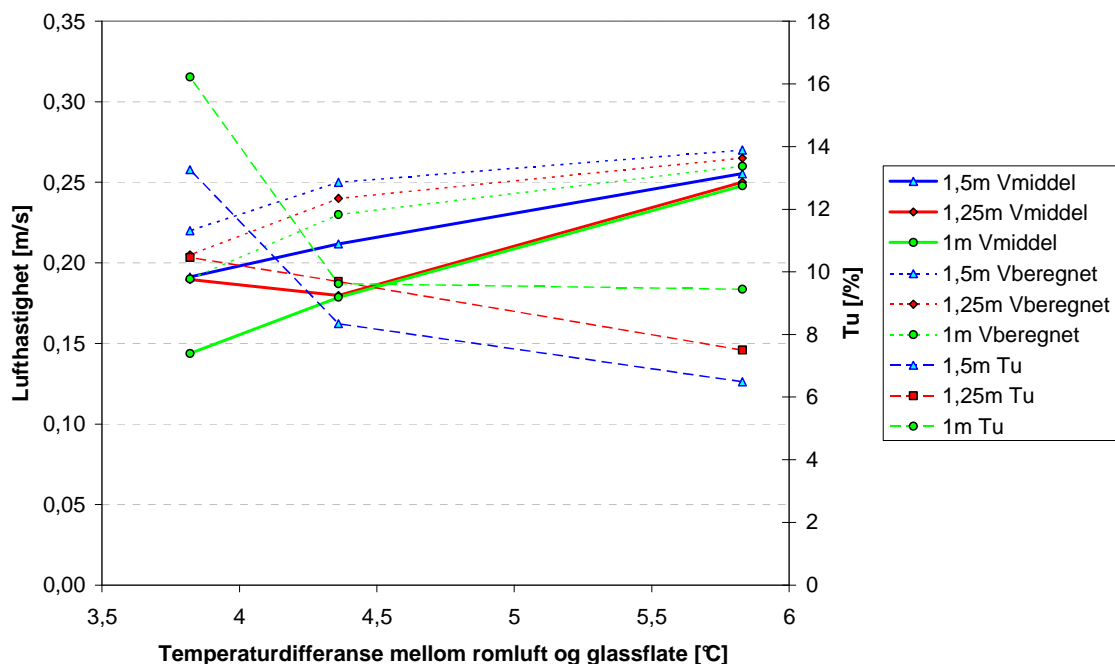
Figur 32: DR ved nakke som funksjon av utetemperatur ved forskjellige glasshøyder. U-verdi på 1,2 W/m²K.



Figur 33: DR ved nakke som funksjon av utetemperatur ved forskjellige glasshøyder. U-verdi på 0,4 W/m²K.

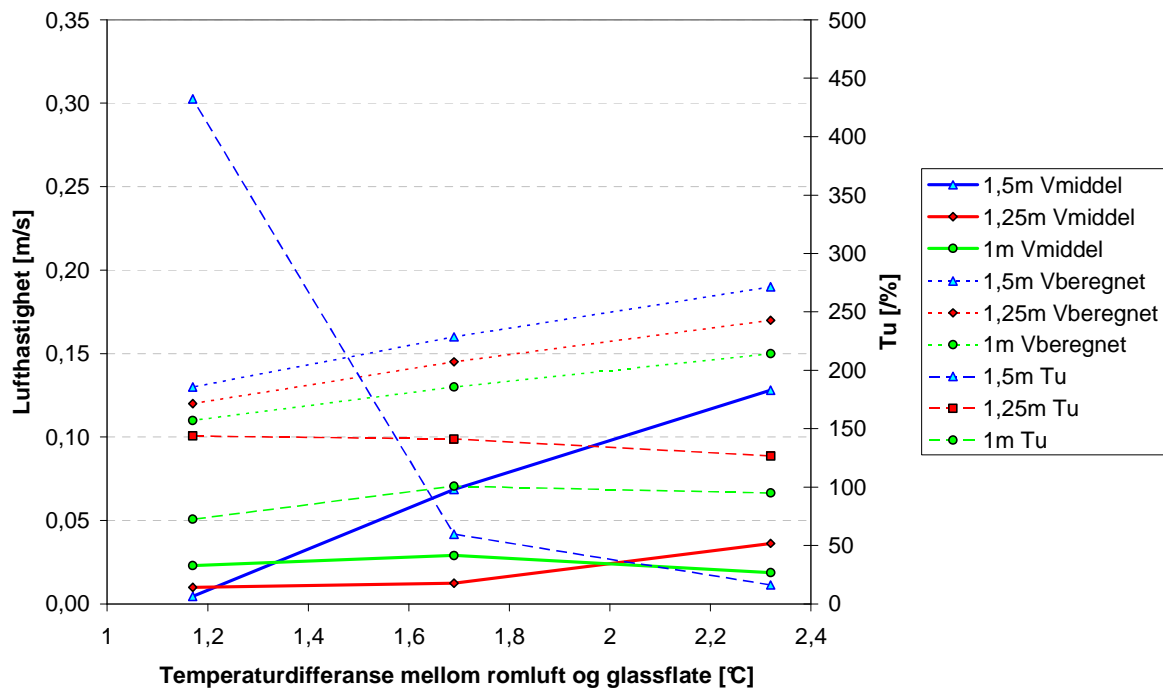
6.2.3 Kaldras hastighet ved karm

Ved lavere delta T mellom romluft og vindusflate blir lufthastigheten mindre ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Figur 34). Turbulensintensiteten er størst når lufthastigheten er lav.



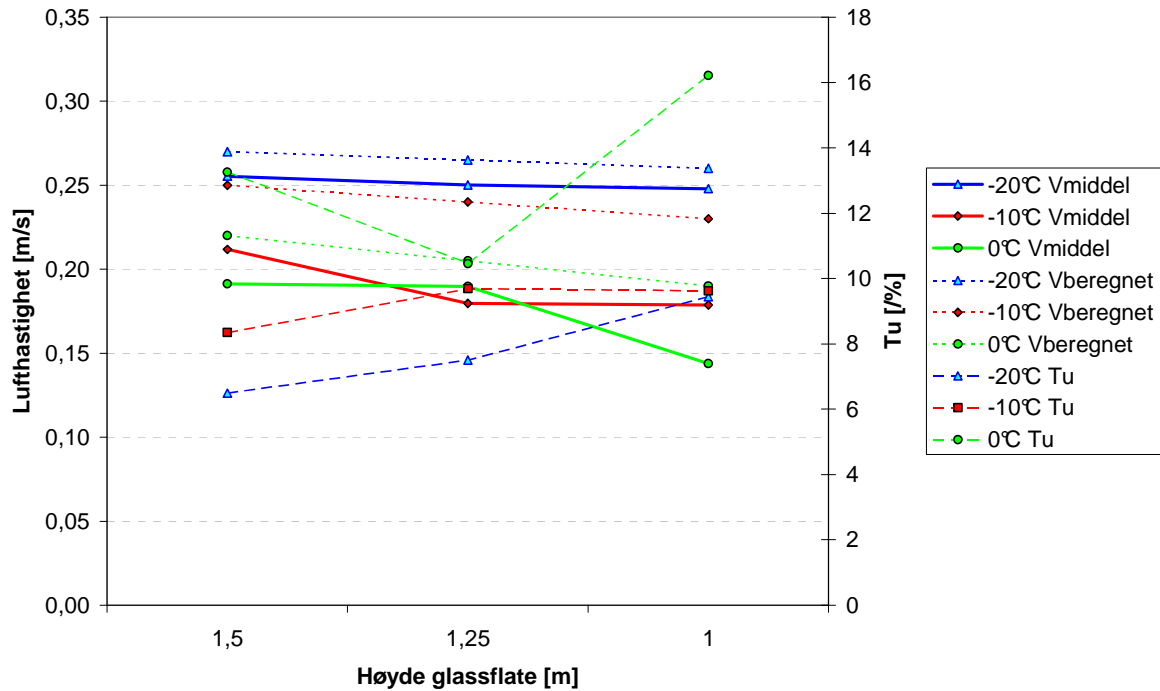
Figur 34: Lufthastighet (målt og beregnet) og turbulensintensitet ved karm. Plottet som funksjon av temperaturforskjell mellom romluft og vindusflate for forskjellige glasshøyder. U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

De målte lufthastigheter ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er lavere enn beregnede verdier (se Figur 35 og Figur 37)

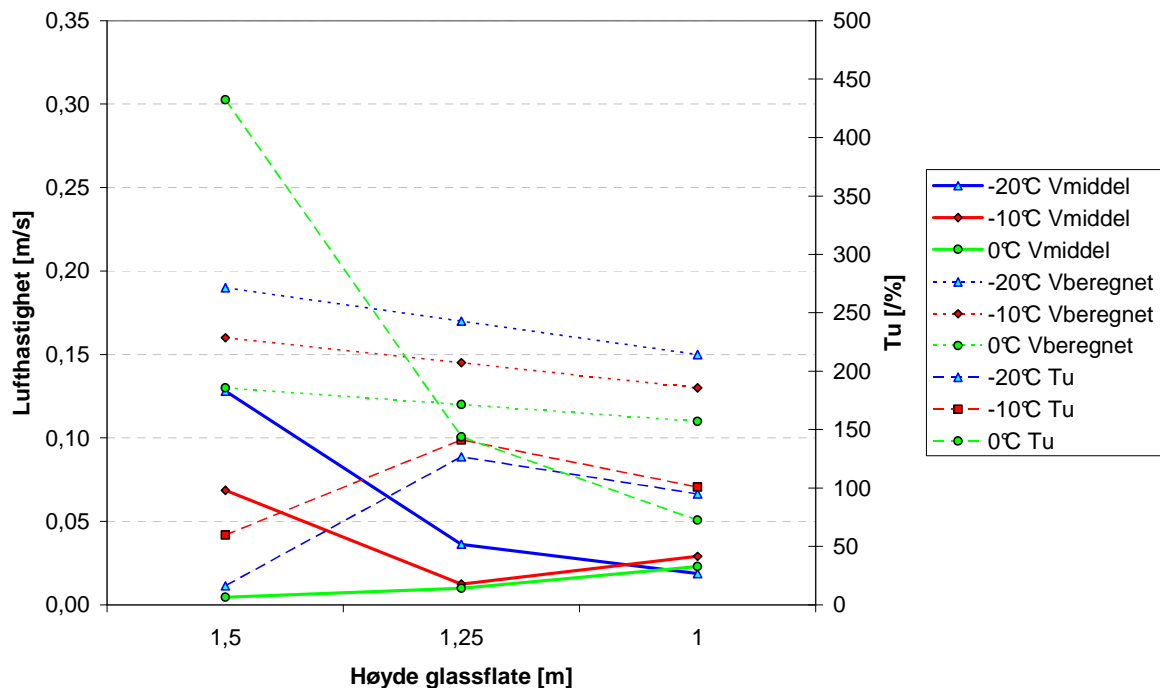


Figur 35: Lufthastighet (målt og beregnet) og turbulensintensitet ved karm. Plottet som funksjon av temperaturforskjell mellom romluft og vindusflate for forskjellige glasshøyder. U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

For vindu med u-verdi på 1,2 W/m²K synker lufthastigheten ved en redusert glasshøyde (se Figur 36).

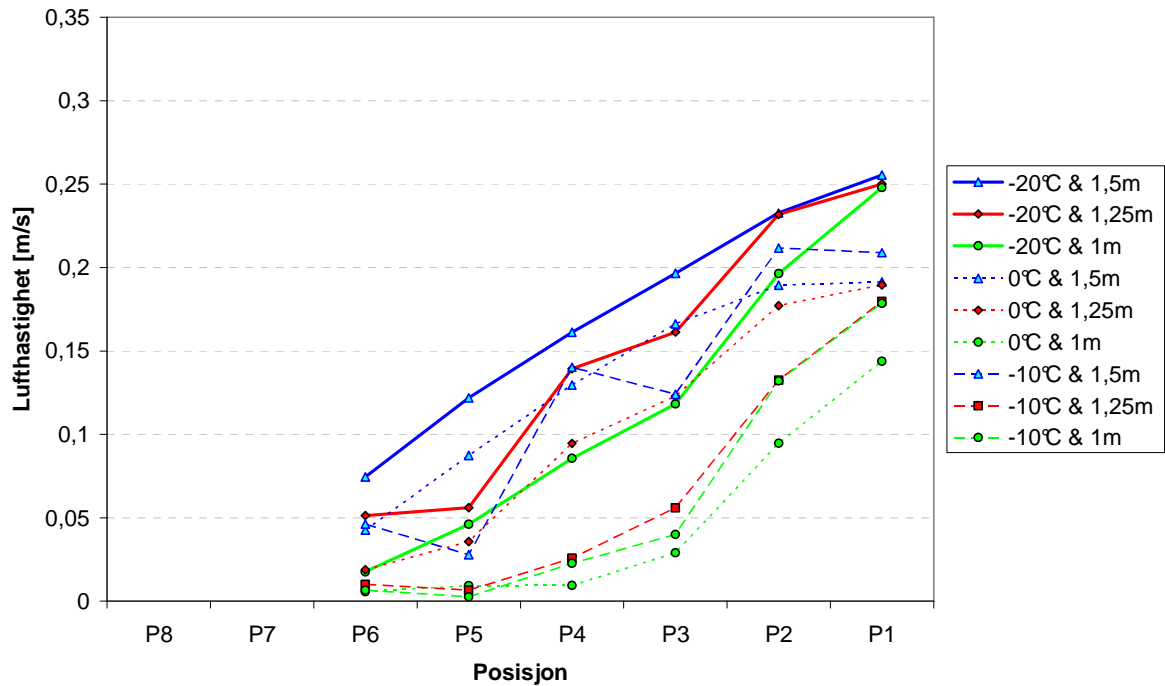


Figur 36: Lufthastighet (målt og beregnet) og turbulensintensitet ved karm. Plottet som funksjon av glasshøyde for forskjellige utetemperaturer. U-verdi på 1,2 W/m²K.

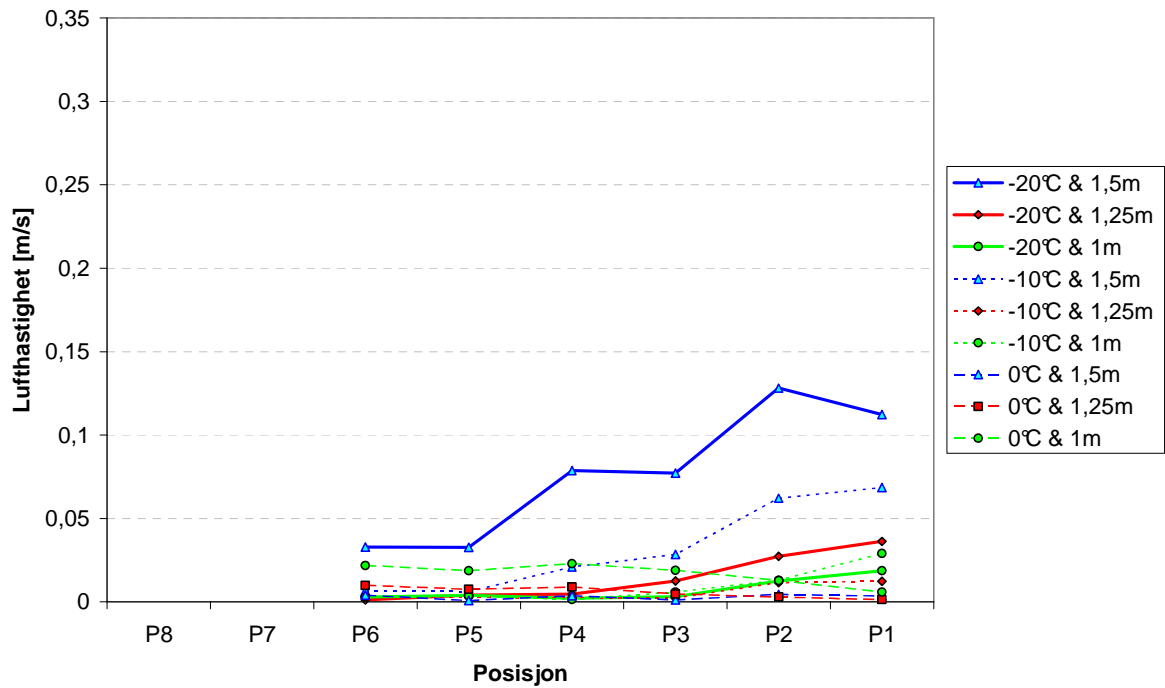


Figur 37: Lufthastighet (målt og beregnet) og turbulensintensitet ved karm. Plottet som funksjon av glasshøyde for forskjellige utetemperaturer. U-verdi på 0,4 W/m²K.

Hastighetsprofilen til 0 °C og 1,5m har en zigsak tendens hvor verdiene ikke danner en glatt kurve (se Figur 38). Lufthastigheten blir mindre når målepunktets avstand fra vegg øker (se Figur 38 og Figur 39).



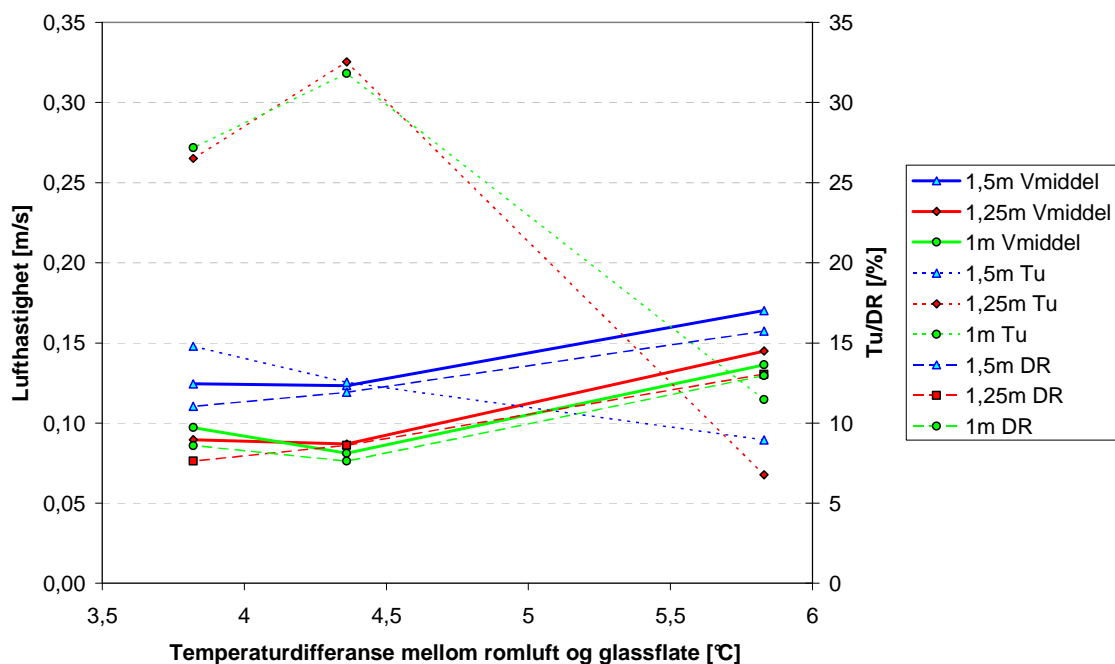
Figur 38: Hastighetsprofil ved karm som funksjon av målerposisjon for forskjellige utetemperaturer og glasshøyder. U-verdi på 1,2 W/m²K. (P1 ved vinduskarm)



Figur 39: Hastighetsprofil ved karm som funksjon av målerposisjon for forskjellige utetemperaturer og glasshøyder. U-verdi på 0,4 W/m²K. (P1 ved vinduskarm)

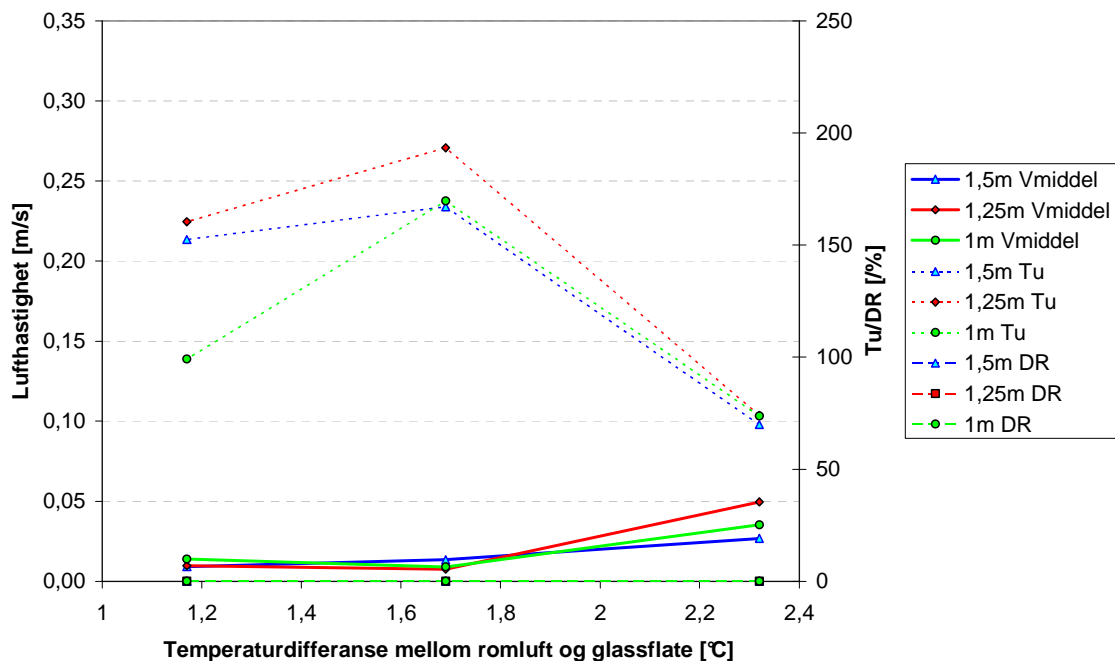
6.3 Kaldras hastighet ved gulv

Lufthastigheten og DR blir mindre ved synkende Delta T ved U-verdi på 1,2 W/m²K (se Figur 40).



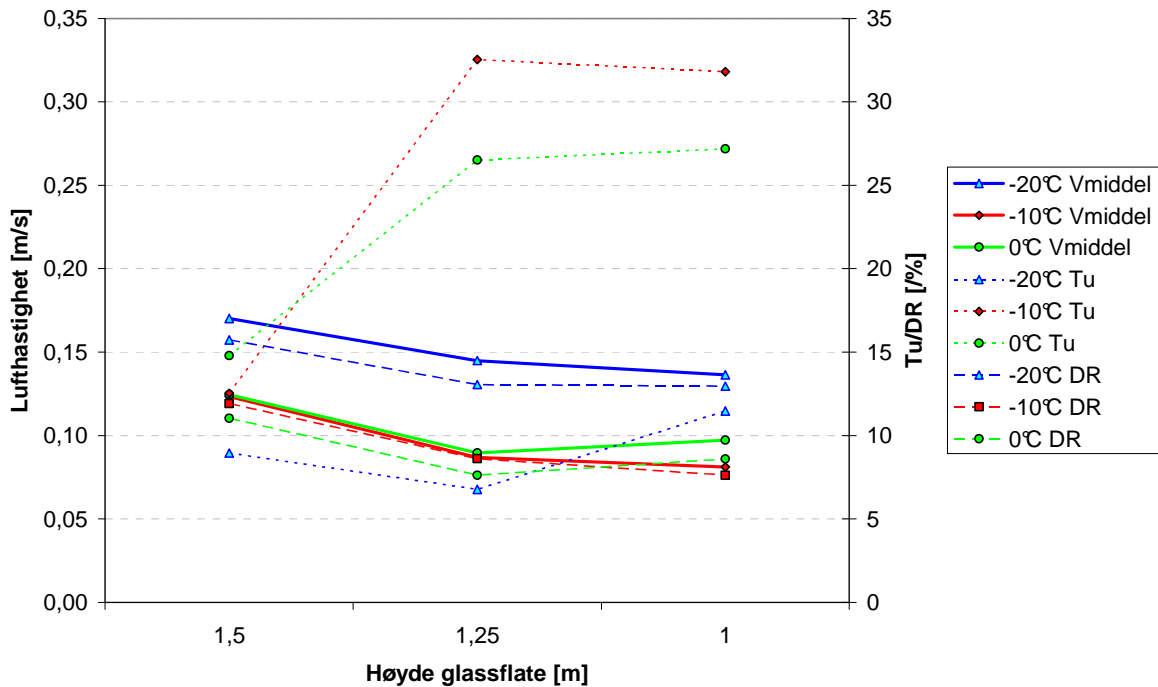
Figur 40: Lufthastighet, turbulensintensitet og DR ved gulv. Plottet som funksjon av temperaturforskjell mellom romluft og vindusflate for forskjellige glasshøyder. U-verdi på 1,2 W/m²K.

Det er ingen utslag på DR ved u-verdi på 0,4 W/m²K (se Figur 41). Ved høyeste Delta T er det en liten økning i lufthastigheten.

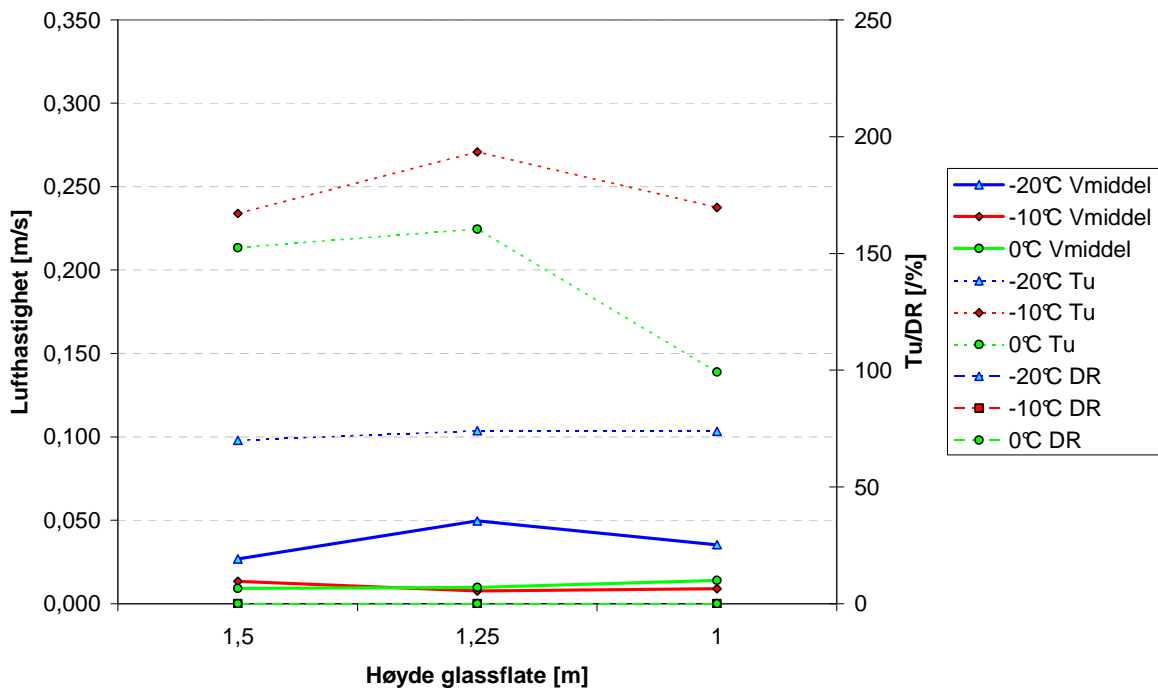


Figur 41: Lufthastighet, turbulensintensitet og DR ved gulv. Plottet som funksjon av temperaturforskjell mellom romluft og vindusflate for forskjellige glasshøyder. U-verdi på 0,4 W/m²K.

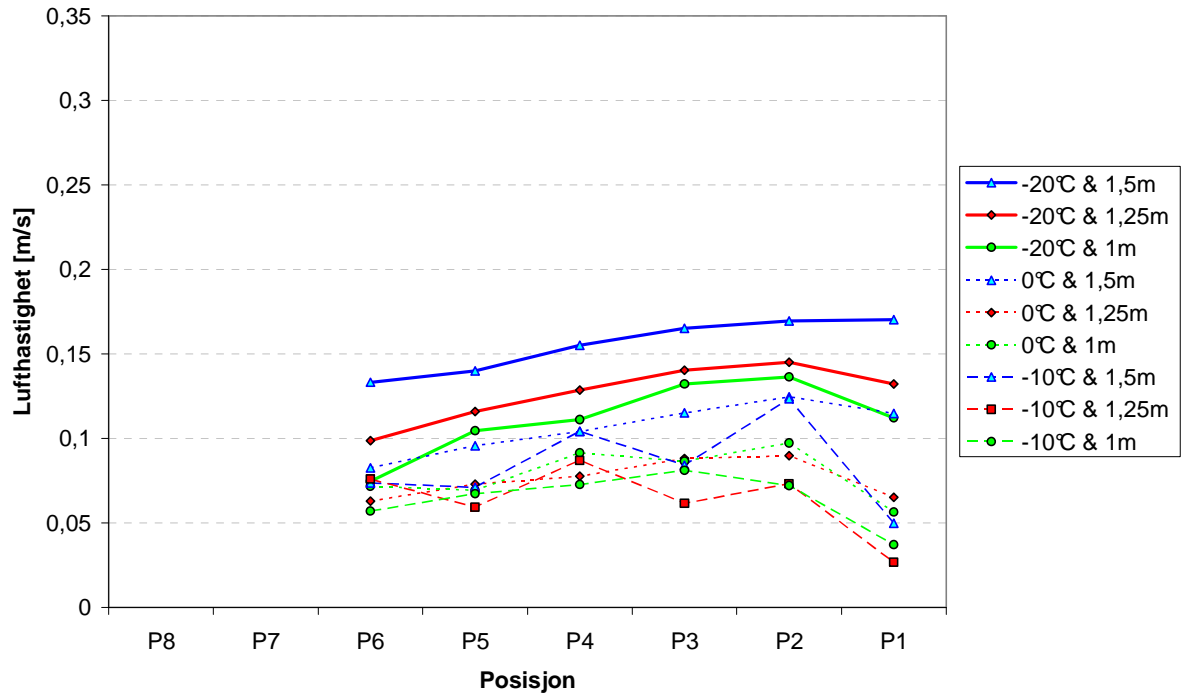
Ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ er det lavere lufthastighet ved glasshøyde på 1m enn på 1,5m (se Figur 42).



Figur 42: Lufthastighet, turbulensintensitet og DR ved gulv. Plottet som funksjon av glasshøyde for forskjellige utetemperaturer. U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er det ikke en klar sammenheng mellom lufttemperatur og glasshøyde (se Figur 43)

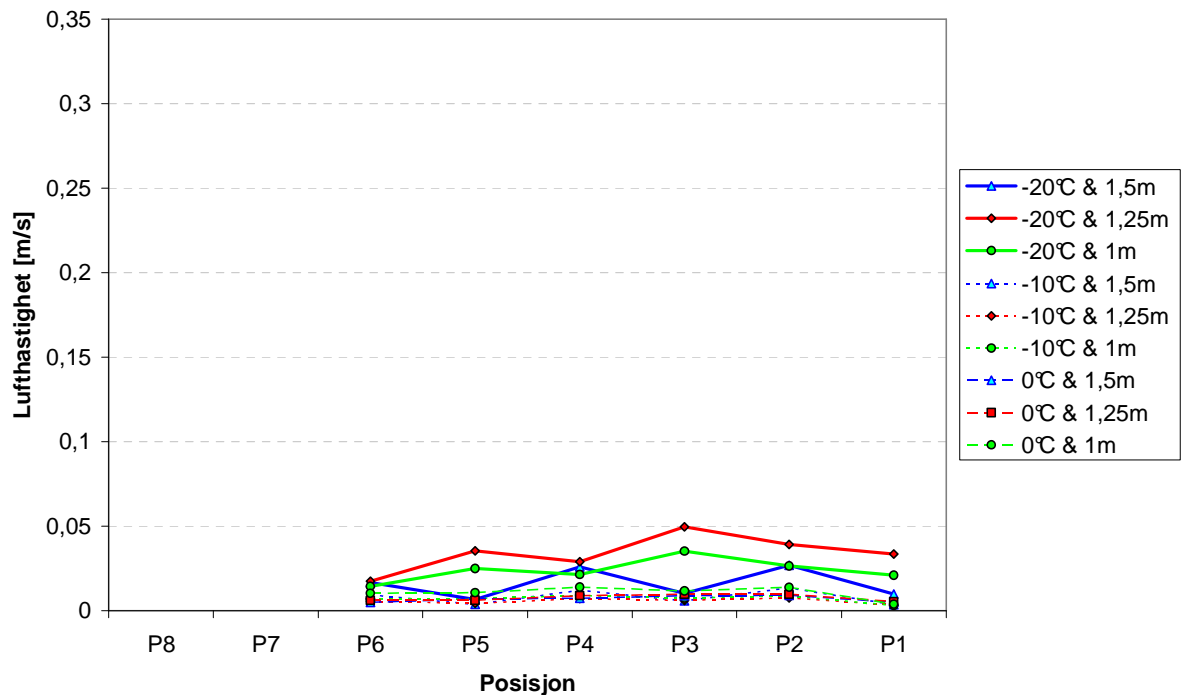


Figur 43: Lufthastighet, turbulensintensitet og DR ved gulv. Plottet som funksjon av glasshøyde for forskjellige utetemperaturer. U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. For u-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ er lufthastigheten ved gulv er litt redusert i forhold til maks verdi. Lufthastigheten reduseres så med større avstand til gulv (se Figur 44).



Figur 44: Hastighetsprofil ved gulv som funksjon av målerposisjon for forskjellige utetemperaturer og glasshøyder. U-verdi på 1,2 W/m²K. (P1 ved gulv)

For U-verdi på 0,4 W/m²K er lufthastigheten gjevt over lav og uendret av avstand fra vegg (se Figur 45)



Figur 45: Hastighetsprofil ved gulv som funksjon av målerposisjon for forskjellige utetemperaturer og glasshøyder. U-verdi på 0,4 W/m²K. (P1 ved gulv)

6.4 Lokal diskomfort

6.4.1 Strålingsasymmetri

Årsaken til strålingsasymmetrien er overflatetemperaturen til vindusglasset. Antall misfornøyde beregnes etter Formel 5. En strålingsasymmetri på under 6 °C vil ikke gi noen misfornøyde.

Overflatetemperaturen er lavest når u-verdien er høyest og kjøleromstemperaturen lavest (måling nr 1 i Tabell 10). Den ugunstigste strålingsasymmetrien på 4,15 °C oppstår når U-verdien til vindusglasset er på 1,2 W/m²K samtidig som kjøleromstemperaturen er -20 °C.

Tabell 10: Målt strålingsasymmetri og differansen mellom vindusflatens overflatetemperatur og romluftens.

Måling nr	Kjøleroms- temperatur [°C]	Glass- høyde [m]	U-verdi [W/m ² K]	Δ T (Glassflate - romluft) [°C]	Strålings- asymmetri [°C]
1	-20,0	1,50	1,2	5,83	4,15
2	-20,0	1,25	1,2	5,83	4,12
3	-20,0	1,00	1,2	5,83	3,77
10	-10,0	1,50	1,2	4,36	3,27
11	-10,0	1,25	1,2	4,17	3,23
12	-10,0	1,00	1,2	4,27	2,96
7	0,0	1,50	1,2	3,82	2,69
8	0,0	1,25	1,2	3,33	2,39
9	0,0	1,00	1,2	3,23	2,15
22	-20,0	1,50	0,4	2,32	1,45
23	-20,0	1,25	0,4	2,71	1,44
24	-20,0	1,00	0,4	2,33	1,36
25	-10,0	1,50	0,4	1,69	1,18
26	-10,0	1,25	0,4	1,82	1,05
27	-10,0	1,00	0,4	1,73	1,03
28	0,0	1,50	0,4	1,17	0,79
29	0,0	1,25	0,4	1,04	0,68
30	0,0	1,00	0,4	0,89	0,57

6.4.2 Vertikal temperaturdifferanse

Antall missfornøyde på grunn av vertikal temperaturdifferanse beregnes etter Formel 6.

Temperaturdifferansen måles mellom nakke og gulv. Den største vertikale temperaturdifferansen er på 1,7 °C som gir 1,3 % missfornøyde (se Tabell 11).

Tabell 11: Beregnet missfornøyde (PD) som funksjon av temperaturforskjell mellom lufttemperaturen målt ved nakke og gulv.

Måling nr	Kjøleroms- temperatur [°C]	Glass- høyde [m]	U-verdi [W/m ² K]	Luft temperatur			PD [%]
				Ved nakke [°C]	Ved gulv [°C]	Delta T [°C]	
1	-20,0	1,50	1,2	19,3	18,0	1,3	1,0
2	-20,0	1,25	1,2	19,3	17,9	1,4	1,0
3	-20,0	1,00	1,2	19,4	18,1	1,3	1,0
10	-10,0	1,50	1,2	19,0	17,7	1,3	0,9
11	-10,0	1,25	1,2	19,6	18,0	1,7	1,3
12	-10,0	1,00	1,2	19,2	18,0	1,2	0,9
7	0,0	1,50	1,2	20,4	19,5	0,9	0,7
8	0,0	1,25	1,2	20,8	19,8	1,0	0,8
9	0,0	1,00	1,2	21,1	20,1	1,0	0,7
22	-20,0	1,50	0,4	20,0	19,5	0,4	0,4
23	-20,0	1,25	0,4	19,6	19,0	0,6	0,5
24	-20,0	1,00	0,4	19,1	18,7	0,4	0,4
25	-10,0	1,50	0,4	19,2	19,0	0,2	0,4
26	-10,0	1,25	0,4	19,1	18,8	0,3	0,4
27	-10,0	1,00	0,4	19,2	18,9	0,3	0,4
28	0,0	1,50	0,4	19,1	18,8	0,3	0,4
29	0,0	1,25	0,4	19,1	18,8	0,3	0,4
30	0,0	1,00	0,4	19,1	18,7	0,3	0,4

6.5 Resultater fra spørreundersøkelse

6.5.1 Deskriptiv Statistikk

I det følgende presenteres resultatene fra den deskriptive statistikken. Resultatene er kategorisert for å gi en ryddig oversikt over tallmaterialet.

6.5.1.1 Litt om utvalget

30 personer utførte undersøkelsen. Hovedbestanddelen av personene studerer eller jobber ved ingeniørutdanningen på Høgskolen i Oslo. Utvalget bestod av 10 kvinner og 20 menn. Alder varierer mellom 68 og 20 år. Gjennomsnittsalder er 33 år.

Gjennomsnittskvinnen og gjennomsnittsmannen i utvalget foretrekker termiske omgivelser på hhv. 0,4 (mellom nøytral og litt varmt) og -0,4 (mellom nøytral og litt kaldt).

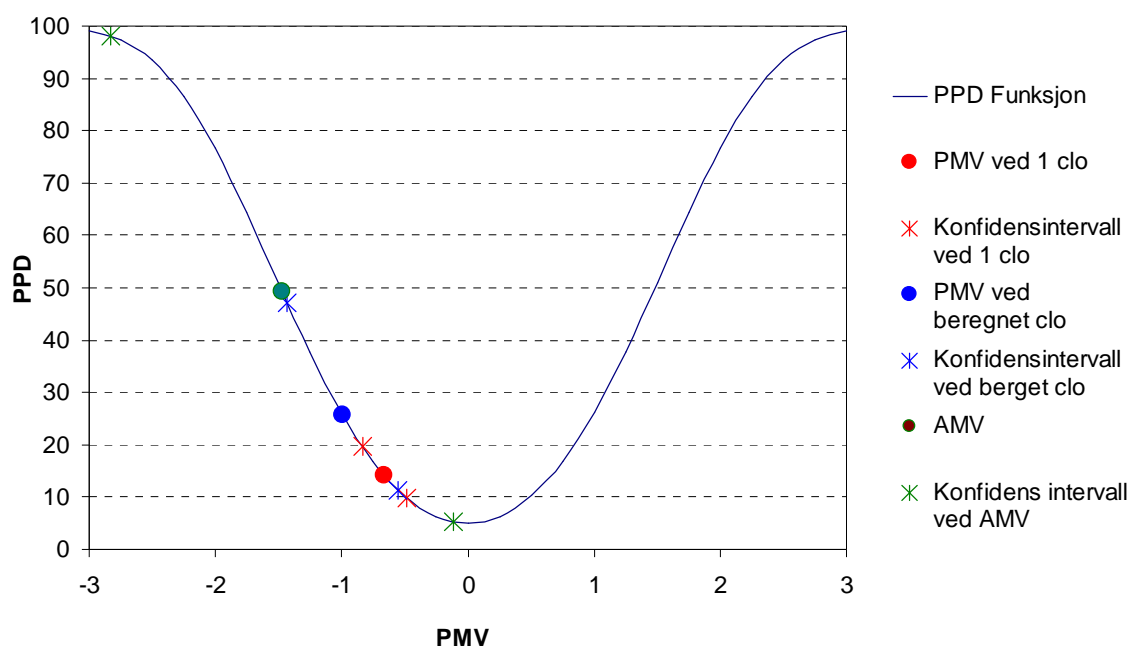
6.5.1.2 Beregnet og opplevd komfort

Tabell 12 inneholder maksimumsverdier, minimumsverdier, middelerverdier og standardavvik for beregnet- og opplevd termisk komfort. PMV ved 1 clo og PMV ved beregnet clo er beregnet etter komfortlikningen (ISO 7730:2005) med målerverdier hentet fra komfortlogger og Q-Trak (luftfuktighet). Opplevd termisk komfort er beregnet ut ifra dataunderlaget fra spørreundersøkelsen.

Tabell 12: Frekvensfordeling av "termiske" data. (n=30)

Variabel	Minimum	Maksimum	Gjennomsnitt	Standardavvik
PMV ved 1 clo	-0,83	-0,49	-0,66	.089
PMV ved beregnet clo	-1,41	-0,52	-0,99	0,22
AMV (Opplevd termisk komfort)	-3,00	0,00	-1,47	0,68

I Figur 46 presenteres middelerverdier for PMV ved 1 clo, PMV ved beregnet clo og AMV med tilhørende 95 % - konfidensintervaller. Det er ikke signifikant forskjell mellom AMV og noen av de beregnede PMV-verdiene, da de har overlappende konfidensintervaller.



Figur 46: PPD som funksjon av PMV, med beregnet gjennomsnittlige PMV verdier (ved 1 clo og beregnet clo), AMV og tilhørende 95 % - konfidensintervaller

6.5.1.3 Temperaturutvikling under gjennomføring av spørreundersøkelse

Det ble forsøkt å holde romtemperaturen mellom 19-20 °C under samtlige forsøk, men temperaturen kunne svinge med ± 1 °C. "Hvordan følte du temperaturen endret seg under forsøket?" var et av spørsmålene i spørreskjemaet. I Tabell 13 presenteres besvarelsene knyttet til dette spørsmålet.

Tabell 13: Følelse av om det ble kaldere eller varmere i prosent (n=30)

Variabel	Nei	Ja
Følelse av at det ble kaldere	40	60
Følelse av at det ble varmere	93	7

6.5.1.4 Fysiske påvirkninger

I siste del av spørreskjemaet skulle testpersonen angi om 6 forskjellige påstander stemmer bra eller dårlig overens med opplevelsen av å sitte i nærheten av vinduet. De 3 første påstandene vedrører følgende fysiske påvirkninger:

Strålingsasymmetri: "Jeg opplevde en kald følelse på den delen av kroppen som var mot kjølerommet."

Luftbevegelse: "Jeg følte generelt at det var en del luftbevegelser i rommet."

Luftfuktighet: "Jeg opplevde luften som tørr."

I Tabell 14 presenteres besvarelsene knyttet til påstandene over.

Tabell 14: Fordeling av opplevde fysiske påvirkninger: Strålingsasymmetri, luftbevegelser og luftfuktighet i prosent (n=30)

Fysisk påvirkning	Bra	Dårlig
Strålingsasymmetri	93	7
Luftbevegelser	20	80
Luftfuktighet	17	83

6.5.1.5 Nedkjølte kroppsdeler

I de 3 siste påstandene i spørreskjemaet vurderes kuldefølelsen på utsatte kroppsdeler. Tabell 15 viser hvor mange prosent som mente det passet bra eller dårlig at de følte seg kald på ankene, i nakken og på håndledd.

Tabell 15: Fordeling av opplevd nedkjølt nakke, håndledd og ankler i prosent (n = 30)

Nedkjølt kroppsdeler	Bra	Dårlig
Ankler	63	37
Nakke	33	67
Håndledd	33	67

6.5.2 Analytisk Statistikk

6.5.2.1 Korrelasjon

Det var ingen korrelasjon mellom variablene AMV, "PMV ved 1 clo" og "PMV ved beregnet clo".

6.5.2.2 Lineær Regresjon

I den multivariate analysen er lineær regresjon benyttet. Den avhengige variabelen er AMV. I den første raden er det foretatt en enkel analyse mot variabelen "PMV ved beregnet clo", det er her ingen justeringer for andre variabler. I de andre radene er det foretatt en tilsvarende analyse, men det er justert for "kjønn", "alder" og "foretrukne termiske omgivelser". Det er oppgitt både p-verdi og konfidensintervall (KI).

Tabell 16: Lineær regresjon (ikke-justert og justert for kjønn, alder og foretrukne termiske omgivelser)

Variabel	P-verdi*	Regresjonskoeffisient	95 % KI av regresjonskoeffisient	
			Nedre grense	Øvre grense
<i>Ikke-justert</i>				
PMV ved beregnet clo	0,544	0,115	-0,816	1,515
<i>Justert</i>				
PMV ved beregnet clo	0,677	0,085	-1,001	1,517
Kjønn	0,379	0,210	-0,388	0,986
Alder	0,827	0,047	-0,018	0,022
Foretrukne termiske omgivelser	0,469	0,170	-0,242	0,511

* Signifikansnivå = 0,05

7 Diskusjon

7.1 Vurdering av metode for termisk komfort.

7.1.1 Liggende eller stående vindu

Da studentene mottok veggmodulen som vinduet skulle monteres i, var utsparingen utformet slik at vinduet måtte monteres liggende istedenfor stående. I liggende stilling har vindusglasset en høyde på 1,6 m, mens på høykant er vindusglasset 2,2 m. Slik studentene ser det, vil det vært flere fordeler om vinduet hadde vært montert på høykant:

- Trekkforhold ved andre glasshøyder kunne vært testet. Med vindusglasset i liggende stilling ble det ikke observert endringer i trekkforholdene på grunn av glasshøyden.
- Dersom vindusglasset hadde blitt montert stående ned til gulv, kunne kjent formelverk blitt benyttet for beregningen av trekk i oppholdssonen (Heiselberg 1994).
- Det er en mer utbredt byggeskikk at vinduene føres ned til gulv, og resultatene ville dermed fått en bredere anvendelighet.

Studentene mener det er nødvendig å undersøke komforten ved større glassflater en de som ble testet i denne oppgaven. U-verdiene som ble testet med komfortmålinger er relativt lave. Dette fører til det må større glassflater til for å oppnå tilsvarende situasjon for strålingsasymmetri og trekk, enn for vinduer med høyere U-verdi.

7.1.2 Laboratoriets utforming og mangler

Inneklimalaboratoriet ved Høgskolen i Oslo har mangler som har gjort det vanskelig for studentene å klargjøre for målinger og opprettholde stabile forhold.

Studentene hadde ingen anledning til å styre ventilasjonsanleggets tilluftstemperaturen, da verken kjøle- og varmebatterier var koblet til. Utetemperaturen hadde dermed stor påvirkning på temperaturen i inneklimalaboratoriet. Med dette som utgangspunkt måtte studentene kontinuerlig følge med på tilluftstemperaturen og bruke omluft for å oppnå ønsket tilluftstemperatur ved måling. Det bør tilstrebes å få varme- og kjølebatteriene ved inneklimalaboratoriet i drift, slik at laboratorieforholdene blir forbedret og dermed forenkler for påfølgende studier.

Inneklimalaboratoriet er bygget opp av prefabrikkerte elementer av aluminium med en kjerne av polyuretan. Veggelementet som skulle skille inneklimalaboratoriet fra kjølerommet ble laget med en utsparing som akkurat passet vindusmålene, uten å ta hensyn til at konstruksjonen skulle bære et vindu. Dermed måtte studentene slisse ut en del av det prefabrikkerte veggelementet for å få plass til en sponplate som skulle bære vekten av vinduet.

Hadde høyskolen bestilt vindu med karm ville studentene brukt mindre tid på vindusmontasje og isolering av selvlagd karm. Studentene ville dermed fått anledning til å montere vindusglass med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, isteden for å simulere U-verdien ved å øke lufttemperaturen i kjølerommet og følgelig overflatetemperaturen på glassflaten. Det bør jobbes mot at veggmodulen blir tilpasset for at vinduer enkelt kan byttes ut, da det med dagens løsning er en vanskelig og tidkrevende prosess.

7.1.3 Flytting av hastighetsmålere under forsøk

Hastighetsmålerne (Q-Trak) ble flyttet under komfortmålingene, for å få en god oppløsning av hastighetsprofilen til kaldraset ved karm og ved oppholdssonen (se kapittel 0). Av ukjent grunn ble det i noen tilfeller målt større hastigheter etter studentene endret

plassering av hastighetsmålerne (se Figur 38 og Figur 44). Dersom studentene hadde hatt mer tid ville det blitt gjennomført flere målinger for å undersøke om utslaget skyldes systematiske eller tilfeldige feil. Dersom problemet hadde vedvart, kan det tyde på en systematisk feil i enten metoden eller i instrumentene. Hadde problemet løst seg ved ytterligere målinger, kan det tyde på at problemet skyldes en tilfeldig feil. Alternativt kunne det blitt kjørt lengre målerserier for å undersøke om hastighetene jevnet seg ut over tid og dermed ga mer troverdige hastighetsprofiler.

7.1.4 Kalibrering av lufthastighetsinstrumenter

Det mistenkes at målerinstrumentene for lufthastighet (Q-Trak) er kommet ut av kalibrering.

Lufthastighet målingene ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ var ganske nær beregnet lufthastighet (se Figur 34). Den påfølgende måleserien for U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ble forkastet grunnet solpåvirkning. En ny måleserie ble gjennomført for U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Denne nye måleserien, tatt ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, fikk mye lavere måleverdier enn forventningsverdi (se Figur 35). Siden målingene gikk over totalt 30 målinger, (inklusive de forkastede målingene), hver på 30 min, mistenkes derfor at instrumentene har vært påskrudd over så lang tid at de gradvis har kommet ut av kalibrering.

Gruppen hadde ikke tilgang til utstyr for kalibrering av instrumenter. For fremtidige oppgaver burde det etableres rutiner for å kalibrere instrumentene før målinger igangsettes.

7.1.5 Simulering av U-verdi

Simulering av U-verdi er ikke en optimal løsning. Isteden burde et vindu med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ vært benyttet. Dette da indre og ytre varmeovergangstall, varmetransport igjennom gassfyllingen og glassets strålingstemperatur alle er avhengige av temperaturen.

Det ble beregnet en ønsket overflatetemperatur ut i fra U-verdi, standard indre overgangstall, utetemperatur og innetemperatur. For å opprettholde riktig overflatetemperatur ble kjøleaggregatet startet og stoppet manuelt.

Oppløsningen på termoelementet er på $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Ved en temperaturforskjell mellom glassets overflate og romluft fra $3 \text{ }^\circ\text{C}$ til $1 \text{ }^\circ\text{C}$ blir usikkerheten stigende ved lave utetemperaturen. Manuell styring av kjøleaggregatet, liten oppløsning på temperaturføleren og at det tar tid å lede temperaturendringer igjennom glasset gjorde det vanskelig å oppnå stabil og nøyaktighet overflatetemperatur.

I forsøket burde glassets overflatetemperatur og lufttemperatur vært målt på både kald og varm side for å ha mulighet til å kontrollberegne glassets faktiske U-verdi.

7.1.6 Kjøleromsaggregat

Aggregatet har ikke mulighet for å justere temperaturen til ønskede nivåer. Det laveste setpunkttemperaturen er $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Kjølerommets temperatur svingte mellom $14 \text{ }^\circ\text{C}$ og $-19,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ved en setpunkt temperatur på $-18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Det anbefales et nytt kjøleanlegg som gir lavere temperatursvingninger og kan regulere ned temperaturen ned til $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

7.1.7 Valg av målepunkt til lufthastighet for beregning av DR ved gulv.

Det ble målt lufthastighet ved forskjellig avstand fra gulv. Det punktet hvor middel lufthastighet var høyest ble benyttet i beregningen av DR ved gulv. Dette punktet var stort sett målepunkt P2 (se Figur 47). Ved å benytte høyden 0,1 m over gulv vil DR bli lavere. Det er mer riktig å benytte 0,1 m fra gulv i et kontorbygg hvor personene bruker sko innendør og dermed er bedre isolerte hvor lufthastigheten er høyest. I lokaler hvor det kan forventes at personer ikke bruker sko er det mest fornuftig å bruke målepunktet hvor middel lufthastigheten er størst.

7.2 Termisk komfortmålinger

7.2.1 U-verdiens påvirkning på PPD

For vindusglass med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ øker PPD med fallende utetemperatur (se Figur 20). For vindusglass med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er PPD nesten konstant ved fallende utetemperatur (se Figur 21). Dette tyder på at komforten ikke påvirkes av utetemperaturen ved en U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Med en U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ble PPD målt til ca 11 % ved alle utetemperaturer. For U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ endres PPD fra 17 % til 7 %. Det er rimelig å anta at de laveste PPD verdiene burde oppstå ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. At PPD er lavere ved glassflaten med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ skyldes at temperaturforholdene endret seg under forsøket. Som tidligere nevnt hadde studentene manglende kontroll over temperaturforholdene.

Til tross for avvik som skyldes variasjon i temperaturforhold er den generelle trenden likevel fornuftig: Ved fallende utetemperatur øker PPD for U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, mens PPD er konstant for U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

7.2.2 Middelstrålingstemperaturens påvirkning på PPD

Det er en lineær sammenheng mellom U-verdi og differanse mellom romtemperatur og innvendig overflatetemperatur på glassflaten. For en U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil denne temperaturdifferensen utgjøre tredjedel temperaturdifferansen som ved en U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vinkelforholdet til vindusglasset utgjør 18 % ved en høyde på 1,5 m (se Vedlegg 14).

Ved -20 °C utetemperatur og U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er det en middelstråletemperatur $19,6 \text{ °C}$ (se Tabell 17). Strålings temperatur blir $0,4 \text{ °C}$ lavere enn romlufttemperatur. Og en operativ temperatur på $0,2 \text{ °C}$ lavere enn romlufttemperatur.

Tabell 17: Middel strålings temperatur som funksjon av ΔT overflate - romluft temperatur. I forhold til 20 °C vegg og lufttemperatur og et vinkelforhold for vinduet på 18 %.

6 °C	2 °C	1 °C	ΔT romtemperatur – overflatetemperatur
2,5	3,2	3,4	Temperaturandel fra vindusglasset
16,4	16,4	16,4	Temperaturandel fra resten av rom
18,9	19,6	19,8	Middel strålings temperatur

Ved 20 °C , $0,1 \text{ m/s}$, 50 % RH og 1 clo utgjør en differanse i operativ temperatur på $0,2 \text{ °C}$ en forskjell 1 PPD.

Ved utetemperatur på 0 °C er overflate temperatur 1 °C under romluft temperatur. Dette gir en PPD nedgang på 0,5 PPD i forhold til et rom uten vindu.

PPD endring på 0,5 er ganske lite og dermed oppnår til tilsynelatende konstant PPD.

7.2.3 Glasshøydens påvirkning på PPD

For U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ påvirker ikke glasshøyden PPD. For U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ er glasshøyden av betydning ved lave utetemperaturer. Ved høyere utetemperaturer påvirker ikke glasshøyden i nevneverdig grad.

7.2.4 Årsak til avvikende målepunkter

Følgende målepunkter ligger lavere enn øvrige målepunkter i samme måleserie:

- "glasshøyde på 1,5m, -20 °C og U-verdi på 1,2 W/m²K."
- "glasshøyde på 1,25m, -10 °C og U-verdi på 1,2 W/m²K"
- "glasshøyde på 1,5m, -20 °C og U-verdi på 0,4 W/m²K"

Nedenfor forklares årsaken til to av avvikene.

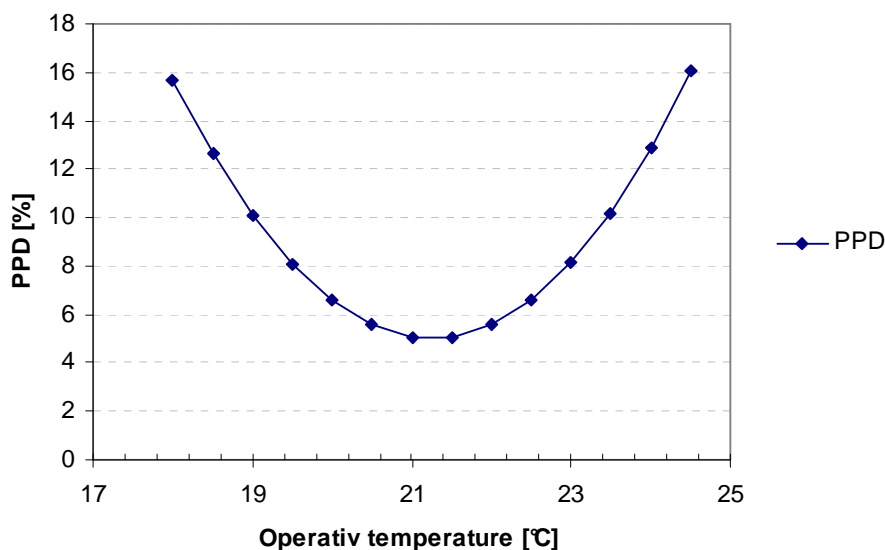
7.2.4.1 Målepunktet "glasshøyde på 1,25, -10 °C og U-verdi på 1,2 W/m²K" sammenlignet andre med øvrige målepunkter ved -10 °C

Tabell 18: Utvalg av operativ temperatur ved komfortmålinger

U-verdi [W/m ² K]	Utetemperatur [°C]	Glasshøyde [m]	Operativ temperatur [°C]
1,2	-10	1,5	18,4
1,2	-10	1,25	18,8
1,2	-10	1,0	18,7

Den operative temperaturen for målingen ved 1,25 m og -10 °C er høyest i måleserien ved -10 °C (se Figur 24 og Tabell 18). Dette er det samme punktet som mistenktes å ligge høyt.

For operative temperaturer under 21 °C øker PPD med synkende operativ temperatur. (se Figur 47).



Figur 47: PPD som en funksjon av operativ temperatur ved 1,2 Met, 1 clo, 0,1 m/s og 50 % RH.

Ved å beregne PPD manuelt med operativ temperatur på 18,8 °C og deretter 18,7 °C fås en differanse på 0,5 PPD. Ved å endre operativ temperatur 18,7 °C til 18,4 °C blir PPD differansen 1,8 (Se Tabell 19). Beregnet PPD endring (som funksjon av operativ temperatur) stemmer for målepunkt 1,5 m og 1 m, men forklarer ikke hele endringen i PPD nivå.

Tabell 19: PPD endring pga operativ temperatur sammenlignet med Figur 24. For U-verdi på 1,2 W/m²K og -10 °C

Operativ temperatur ved 1,5 m [°C]	Operativ temperatur ved 1,25 m [°C]	Operativ temperatur ved 1 m [°C]	Differanse i PPD grunnet operativ temperatur	Differanse i PPD fra Figur 24.
	18,8	18,7	0,5	1,3
18,4		18,7	1,8	1,6

7.2.4.2 Målepunkt "glasshøyde på 1,5m, -20 °C og U-verdi på 0,4 W/m²K" sammenlignet med øvrige målinger ved U-verdi på 0,4 W/m²K

Fra målinger ved U-verdi på 0,4 W/m²K er den operative temperaturen høyest (se Tabell 20) for glasshøyde på 1,5 m, og synkende for påfølgende målinger. En lavere operativ temperatur gir større PPD. Dette stemmer overens med PPD i se Figur 25.

Tabell 20: Utvalg av operativ temperatur ved komfortmålinger for U-verdi på 0,4 W/m²K

U-verdi [W/m ² K]	Utetemperatur [°C]	Glasshøyde [m]	Operativ temperatur [°C]
0,4	-20	1,5	19,9
0,4	-20	1,25	19,7
0,4	-20	1,0	19,3
0,4	-10 & 0	alle	19,2

I Tabell 21 sammenlignes PPD differanse mellom målepunktene i figur 22 og beregnet PPD differanse som skyldes ulik operativ temperatur. Siden størrelsene er ganske like forklarer den operative temperaturen grunnen til målingen ved -20 °C ikke ligger på flat PPD linje.

Tabell 21: PPD endring pga operativ temperatur sammenlignet med Figur 25. For U-verdi på 0,4 W/m²K og -20 °C

Operativ temperatur ved 1,5 m [°C]	Operativ temperatur ved 1,25 m [°C]	Operativ temperatur ved 1 m [°C]	Differanse i PPD grunnet operativ temperatur	Differanse i PPD fra Figur 25
	19,7	19,3	2,3	2,0
19,9		19,3	3,4	3,3

7.3 Lokal Diskomfort

7.3.1 Draft Rating

Oppholdssonen er definert til 0,6 meter fra vegg. Da en person sjelden sitter så nærme vinduet blir det ikke riktig å betrakte draft rating ved karm.

Draft ratingen er definert for lufthastigheter ved nakken (Fanger, Melikov, et al. 1988). Metoden baserer seg på empiriske målinger. Ved å bruke draft rating ved ankelen forventes det et høyere antall missfornøyde enn formelen gir (ISO 7730:2005). Anklene er mer isolerte fra omgivelser med sokker, bukser og sko. Men fysiologisk er de mer utsatte enn andre kroppsdeler da det er nye bein og sener samt lite muskler til å holde varmen.

Draft Rating ved gulv for U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ er høyere for glasshøyde på 1,5m enn 1m (se Figur 30). Ved en høyere glassflate vil kaldraset ha et lengre område å vokse på og dermed stiger lufthastigheten og DR.

DR øker med synkende utetemperatur (se Figur 28). Dette skyldes at synkende utetemperatur gir større temperaturredifferanse mellom romluft og vinduets overflatetemperatur (se Figur 26). Temperaturdifferansen er drivkraften til kaldraset og dermed øker og kaldrashastigheten ved synkende utetemperatur.

I Figur 26 er målepunktet ved $3 \text{ }^\circ\text{C}$ og glasshøyde på 1 m litt høyt i forhold til målepunktet ved 1,25 m glasshøyde. Det tros at dette skyldes tilfeldigheter og usikkerhet. I usikkerhetsbetraktninger til DR ses det at DR er veldig følsom for endringer så endringer i måleparametere. Siden inneklimalabben ikke har helt stabile forhold kan ingen sammenlignes direkte med en annen, men må ses i den større sammenheng i forhold til det som er forventet trend.

Ved Gulv fås det ingen utslag på draft ratingen ved u-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se Figur 27, Figur 29 og Figur 31). Null i DR forklares med at formel for Draft Rating (se Formel 4) ikke gir utslag for lufthastigheter under eller lik $0,05 \text{ m/s}$. Den maks målte lufthastigheten på $0,05 \text{ m/s}$ i Figur 41 gir dermed ingen utslag.

Lufthastighetene ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er mye lavere enn forventet. Det kan være på grunn av at måleinstrumentene er kommet ut av kalibrering. Dette vil også påvirke slik at det blir ukorrekt lite utslag på draft ratingen.

Det er nesten ingen utslag for DR ved nakkehøyde. For U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ er det ingen utslag. For U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ er det utslag ved $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ og 5 m med 2 % PPD. Ved hastigheter under $0,05 \text{ m/s}$ gir ikke Fangers DR formel utslag. Lufthastigheten her er målt til $0,053 \text{ m/s}$. Dette er såpass lite at tilfeldigheter kan ha gjort at lufthastigheten overskrider grenseverdien på $0,05 \text{ m/s}$ for utslag.

Da det er forventet at kaldraset følger vinduet nedover før det brytes og flyter ut over gulv, gir det mening at det ikke kommer større utslag av DR ved nakkehøyde.

7.3.2 Kaldrashastigheter

Lufthastighetene ved U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ er litt under beregnet nivå (se Figur 34). Dette kan skyldes usikkerheten i måleinstrumentene. Q-Trak instrumentet har et fastledd på usikkerheten på $0,015 \text{ m/s}$. Dette kan skyldes egenkonveksjon fra varmeelementene i anemometeret.

Ved en redusert differanse mellom romlufttemperatur og glassets overflatetemperatur måles en lavere lufthastighet (se Figur 34). Dette underbygges av teori for kaldras (Skåret 2000).

Hastighetsprofilen i Figur 38 viser en at lufthastigheten blir redusert med økende avstand til karm. Før målingen 0 °C og 1,5 m er hastighetsprofilen ikke glatt. Den har en taggete profil. Dette kan skyldes at annethvert målepunkt (P1, P3 og P5) er målt samtidig mens P2, P4 og P6 er blitt målt rett etterpå.

Siden målingene ikke er gjort i samme tidsrom kan forholdene i rommet ha endret seg. Ideelt burde alle målepunktene vært målt samtidig og over tilstrekkelig tid for å oppnå en glatt kurve for alle måleserier. Det ble antatt at forholdene i rommet ville stabilisere seg fort slik at 15 minutters måleperiode skulle være tilstrekkelig.

I følge strømningssteori vil viskositet og friksjon føre til lavere strømningshastigheter innerst ved karm. Dette kommer ikke tydelig frem i hastighetsprofilen målt ved karm (se Figur 38). Det kan skyldes at målingen er gjort ved karm, hvor luftstrømmen endrer retning bort fra glassflaten. Lavere lufthastigheter på grunn av viskositet og friksjon observeres for hastigheter målt ved gulv (se Figur 44).

Kaldras Hastighetene ved U-verdi på 1,2 W/m²K er avhengige av glasshøyde og utetemperatur. For måling ved U-verdi på 0,4 W/m²K blir lufthastigheten vesentlig mindre enn beregnet. Det mistenkes at målerinstrumentene er kommet ut av kalibrering (se kap 7.1.4)

DR ved gulv og karm blir høyere ved en høyere U-verdi, høyere glasshøyde og lavere utetemperatur.

7.3.3 Strålingsasymmetri

For å oppleve diskomfort på grunn av strålingsasymmetri må temperaturforskjellen være over 6 °C. Ingen av de målte verdiene (se Tabell 10) er i nærheten av grenseverdien for diskomfort. Ved en PD under 5 tilfredsstillende antall misfornøyde på grunn av strålingsasymmetri kategori A for termiske miljøer (Tabell A.1 ISO 7730:2005).

7.3.4 Vertikal temperaturdifferanse

Den største PD grunnet vertikal temperaturdifferanse ligger på 1,3 %. Denne PD inntraff ved en temperaturforskjell på 1,7 °C mellom ankel og nakke. Ved en PD under 3 tilfredsstillende antall misfornøyde på grunn av vertikal temperaturdifferanse kategori A for termiske miljøer (Tabell A.1 ISO 7730:2005).

7.3.5 Kalde Gulv

Kalde gulv ble ikke vurdert i denne i denne oppgaven.

7.4 Vurdering av metode for spørreundersøkelse.

7.4.1 Beregning av bekleddning

Det ble ikke benyttet en standard bekleddning på 1 clo under forsøkene, som er mest vanlig ved laboratorieforsøk (Charles 2003). Forsøksdeltagerne ble isteden oppfordret til å kle seg i hverdagslig bekleddning, som skulle omfatte undertøy, bukser, genser, sokker og sko. Etter studentenes skjønn skulle dette tilsvare en clo-verdi omkring 1, siden forsøket ble utført på høsten og det var lav utetemperatur ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Med dette ønsket studentene å undersøke hvordan clo-verdiene beregnet etter ISO 7730:2005 tabell C 2 påvirket den opplevde termiske komforten. Dersom det er liten eller ingen korrelasjon mellom bekleddningen og opplevd termisk komfort, kan det mistenkes at ISO 7730;2005 er for grov i inndelingen av clo-verdier for ulike klesplagg. For eksempel kan det være ulike meninger om en middels tjukk genser skal regnes som "Thick sweater" eller "sweater". Forskjellen mellom disse alternativene utgjør 0,07 clo. I standarden blir det heller ikke tatt hensyn til om en person bruker "short sleeved shirts" av ull eller bomull, som er stofftyper med forskjellige isoleringsegenskaper. Det observeres ofte avvik mellom beregnet og opplevd termisk komfort i feltundersøkelser. Dette skyldes at det er vanskelig å beregne nøyaktig clo-verdi (Charles 2003). Alternativt kunne clo-verdiene blitt beregnet etter ISO 9920:2007.

7.4.2 Varighet av forsøk

Forsøk med testperson varte i 30 min. Lengden på forsøket ble satt etter følgende vurderinger:

- Vanskelig å få tak i personer som er villige til å stille som testpersoner ved forsøk av lang varighet.
- Øvrige komfortmålinger var gjennomført over 30 min.
- Antall misfornøyde på grunn av eksponering for trekk slutter å øke etter 40 – 50 min. Likevel er det liten forskjell på antall misfornøyde på grunn av trekk etter 30 min som etter 40 min (Griefahn, Künemund og U. 2000).

Forsøket kunne hatt en varighet over 50 min, for at testpersonene skulle være lenge nok utsatt for det termiske miljøet. Etter 50 min slutter antall misfornøyde grunnet trekk å øke. Etter studentenes skjønn ville ikke dette hatt nevneverdig påvirkning på resultatene.

7.4.3 Bruk av personer fra energi og miljø

For å samle tilstrekkelig med personer til å gjennomføre spørreundersøkelsen, ble det benyttet testpersoner fra Høgskolen i Oslo. Disse var fortrinnsvis studenter og lærere fra Energi- og Miljølinjen ved høgskolen. Med denne bakgrunnen kan det spekuleres i om enkelte testpersoner kjenner til problematikken for termisk komfort som oppstår ved kalde flater, og at dette farger deres besvarelser. Testpersonene ble bedt om å svare oppriktig på spørsmålene, og det ble understreket at resultatene fra spørreundersøkelsen ikke har noen verdi dersom besvarelsen ikke reflekterer deres oppriktige subjektive mening.

Studentene sammenliknet besvarelsene fra studenter og lærere med besvarelser til testpersoner med annen bakgrunn, men det ble ikke funnet tendens til forskjeller mellom disse besvarelsene.

7.4.4 Formulering av spørsmål i spørreskjema

Ved utforming av spørreundersøkelser er spørsmålsformuleringene viktige. Dersom spørsmålsformuleringene er uklare er det en risiko for at de som fyller ut spørreskjemaet svarer på noe annet enn det som er hensikten med spørsmålet. I en kommentar til en artikkel (Oseland 1994) skrev Fanger (Fanger 1995)

...The problem is that the subjects in the British study were not asked about their thermal sensation. They were asked, "How would you rate the temperature of this room at the moment?" This is quite different from asking a person how he (his body) feels thermally (his thermal sensation. A person may very well judge the thermal environment to be cool and still he may feel warm, or vice versa.

Kritikken til Fanger gjelder også for spørsmål 2 i spørreundersøkelsen (se Vedlegg 9): "Hvordan opplevde du å sitte i nærheten av vinduet?", som danner grunnlaget for beregningen av AMV. Spørsmålet er ikke tydelig på om det menes hva personen mener om temperaturen eller hvordan personen føler seg. Isteden burde testpersonen blitt stilt et spørsmål som ikke kunne forstås som ledende eller uklart, f. eks "Hvordan føler du deg?". Om PMV-skalaen hadde blitt benyttet som svaralternativ, ville testpersonen forstått at det siktes til hvordan han eller hun følte seg i kroppen ved det gjeldende termiske miljøet. Spørsmål 1 i spørreskjemaet (se Vedlegg 9) burde også vært formulert mer presist. Besvarelsene på dette spørsmålet ble ikke benyttet i analysesammenheng, og blir derfor ikke drøftet nærmere.

7.4.5 Valg av spørsmål

Som nevnt i avsnittet over ble ikke resultatene fra spørsmål 1 benyttet i analysesammenheng.

Spørsmålet kunne f. eks vært erstattet med "Er du tilfreds med dine nåværende termiske omgivelser?". Besvarelsene på dette spørsmålet kunne blitt brukt til å undersøke om det er avvik mellom faktisk antall misfornøyde, og antall misfornøyde forutsatt av ISO 7730:2005 (hhv. PD og PPD).

Under bearbeidingen av resultatene hadde studentene flere ideer om forhold som kunne vært interessant å undersøke:

- Hvilken jobb og utdanning testpersonene hadde, for å undersøke om bakgrunnen til personene har påvirket besvarelsene.
- Om testpersonene ville skrudd på en oppvarmingskilde, dersom de hadde hatt en tilgjengelig.
- Hvilket plagg fra clo-tabellen i ISO:7730:2005 de ville tatt på seg dersom de kunne velge fritt, for å undersøke hvilke kroppsdeler som ble mest nedkjølt.

7.5 Diskusjon av spørreundersøkelsens resultater

7.5.1 Forskjell mellom opplevd og beregnet komfort

I Tabell 12 i den deskriptive delen av resultatene, blir beregningen av AMV, PMV ved 1 clo og PMV ved beregnet clo presentert. Differensen mellom middelveiden til AMV og PMV ved 1 clo utgjør 0,81 på PMV-skalaen, som igjen tilsvarer en PPD differanse på 35 % (Se Tabell 22).

Tabell 22: Differanse mellom opplevd (AMV) og beregnet komfort (PMV). PMV og AMV verdiene er hentet fra Tabell 12.

Variabel	AMV	PMV	Differanse (AMV-PMV)	Differanse i PPD
Differanse mellom AMV og PMV ved 1 clo	-1,47	-0,66	-0,81	35 %
Differanse mellom AMV og PMV ved beregnet bekledning	-1,47	-0,99	-0,48	23 %

Om man sammenlikner middelveiden for AMV med middelveiden for PMV ved beregnet clo utgjør differansen 0,49 på PMV-skalaen, som tilsvarer 23 % i PPD. Hvilken av de beregnede PMV-verdiene som egner seg best til sammenlikning blir drøftet i kapittel 7.5.2.

Selv om det er forskjell mellom AMV og de to middelveidene for beregnet PMV (ved 1 clo og beregnet clo) er det ikke signifikant forskjell (signifikansnivå på 5 %). Det er dermed ikke grunn til å forkaste H_0 .

Dette skyldes at det er stor spredning i resultatene fra spørreskjemaet.

7.5.1.1 Oppløsningen av PMV skala.

Spredningen skyldes at den 7-delte skalaen som benyttes i spørreskjemaet for beregning av AMV. Dette gir en grovere oppløsning enn den kontinuerlige skalaen som benyttes i ISO 7730:2005 for beregning av PMV.

Studentene vurderte om det burde vært benyttet en kontinuerlig skala. Det mistenkes at testpersoner vil ha vanskeligheter med å angi sin termiske komfort som en tallverdi mellom -1 og -2 når de føler seg et sted mellom "litt kald" og "kald".

7.5.1.2 Utvalgets størrelse

Med et utvalg på 30 personer kan sannsynlighetsteori knyttet til normalfordelingskurver benyttes, uten å undersøke om normalitetsbetingelsen er oppfylt (Løvås, 1999). Samtidig oppnås et statistisk underlag hvor det er knyttet en viss sikkerhet til resultatene.

Utvalget er derimot for lite til at konfidensintervallene kan benyttes til å si noe sikkert om det er avvik mellom beregnet og opplevd komfort. For å gjøre standardavvikene mindre og dermed konfidensintervallene smalere trengs et større utvalg enn det ble benyttet i denne undersøkelsen.

7.5.2 Vurdering av sammenhengen mellom bekledning og opplevd komfort

I den lineære regresjonen undersøkes det om det en lineær sammenheng mellom et utvalg av variable. Først undersøkes sammenhengen mellom kun PMV ved beregnet clo og AMV. Da regresjonskoeffisienten for den lineære regresjonen mellom PMV ved beregnet clo og AMV er 0,115, tyder det på at det ikke er en lineær sammenheng mellom de to variablene. Desto nærmere 0 regresjonskoeffisienten er jo mindre er den lineære sammenhengen.

Sammenhengen mellom PMV ved beregnet clo og AMV blir også undersøkt når det blir justert for "Kjønn", "Alder" og "Foretrukne termiske omgivelser". Justeres det for en eller

flere variable, blir det undersøkt om sammenhengen mellom den avhengige variabelen AMV og PMV ved beregnet clo kan forklares av andre variable.

Regresjonskoeffisientene for de øvrige variablene "Kjønn", "Alder" og "Foretrukne termiske omgivelser" er større enn regresjonskoeffisienten for "PMV ved beregnet clo" (se Tabell 16). Dette betyr at den lineære sammenhengen er større mellom AMV og de øvrige variablene.

Analysen viser at variabelen PMV ved beregnet clo ikke kan forklare den avhengige variabelen AMV. Det er altså ingen assosiasjon mellom de to variablene ved dette forsøket.

At det ikke er sammenheng mellom PMV ved beregnet clo og AMV kan tyde på at det er mangler ved metoden for beregning av clo etter ISO 7730:2005. Dersom beregningen av bekleddingen hadde vært korrekt er det forventet en sammenheng mellom PMV ved beregnet clo og AMV. I en artikkel (Charles 2003) blir beregning av clo beskrevet som en stor feilkilde ved feltundersøkelser:

"...Taken together, clo values present a source of concern for PMV calculations, and are likely to contribute to discrepancies between predicted and actual thermal sensation."

Etter studentenes vurdering er det mest riktig å sammenlikne AMV og PMV ved 1 clo, da samtlige av personene som gjennomførte undersøkelsen hadde en bekledding som tilsvarte 1 clo etter Tabell C.1 ISO 7730:2005. Beregnes bekleddingen etter tabell C.2 kan man oppnå helt andre clo-verdier. Ofte ligger beregnede clo verdier under 1 clo, selv om det ble regnet med et tillegg på 0,1 clo for stol.

7.6 Sammenhengen mellom den generelle termiske komforten og lokal termisk diskomfort

7.6.1 Standarders beregning av termisk komfort

Det finnes 2 måter å betrakte samspillet mellom lokal termisk diskomfort og termisk komfort:

- I ISO 7730:2005 står det at PPD, DR og PD ikke skal adderes, da det ofte er de samme menneskene som opplever lokal termisk diskomfort og termisk diskomfort for hele kroppen.
- ASHRAE standard 55 (2004) tillater ikke at PPD på grunn av generell termisk diskomfort overskrider 10 % da det forventes at ytterligere 10 % vil være misfornøyde på grunn av trekk.

De to mest brukte standardene for vurdering av termiske miljøer er i konflikt om PPD, PD og DR skal kvantifiseres for å finne det totale antall misfornøyde. Dette tyder på usikkerhet for beregning av det totale antall misfornøyde.

I en revisjon av ISO 7730:1994 (Olesen og Parsons 2002) blir det skrevet at det bør gjennomføres flere undersøkelser for å undersøke den gjensidige påvirkningen av forhold som skaper termisk diskomfort. Det påpekes videre at ISO 7730:1994 ikke kvantifiserer PPD på en tilfredsstillende måte, da standarden ikke beregner en "total PPD". Studentene har ikke lyktes med å finne litteratur om undersøkelser som er gjort på området eller endringer av ISO 7730 som berører beregning av PPD, PD og DR. Det mistenkes dermed at argumentene fremdeles gjelder.

ISO 7730:2005 beregner i dag PPD på grunn av generell termisk diskomfort og lokal termisk diskomfort hver for seg. I denne undersøkelsen observeres en differanse mellom middelverdien for opplevd termisk komfort og beregnet termisk komfort. Studentene mener denne differansen kan forklares med at lokal termisk diskomfort påvirker den generelle termiske komforten. Dersom fremtidige studier underbygger denne teorien vil det være behov for å endre beregningsmetoden for PPD og PMV i ISO 7730:2005.

7.6.2 Vurdering etter resultater fra spørreundersøkelse

Studentene mistenker at lokal diskomfort og generell termiske komforten for hele kroppen har en gjensidig påvirkning. Gjennomsnittsverdien for AMV ligger under godt under gjennomsnittlig beregnet komfort (0,81 og 0,48 for hhv PMV ved 1 clo og PMV ved beregnet bekledning)(se Tabell 22). Samtidig rapporterer testpersonene at de føler seg kalde på den delen av kroppen som var mot vinduet (93,3 %) og at de er kalde på anklene (63,3 %).

Lufthastigheter og strålingsasymmetri ble målt under komfortmålingene, hvor de samme fysiske forholdene som under spørreundersøkelsen var gjeldende. Beregningen av lokal diskomfort viste at strålingsasymmetri kun utgjorde 4,15 °C, som er utenfor området for diskomfort (ISO 7730:2005). DR ved ankelhøyde ble på det høyeste målt til 16 % grunnet kaldras.

7.7 Forutsetninger for fjerning av oppvarmingskilde under vinduet

Ved å fjerne oppvarmingskilden oppnås det et passivt system, hvor brukeren ikke har reguleringsmulighet for temperatur. I følge ISO 7730:2005 vil alltid 5 % være misfornøyde med det termiske miljøet. Dette skyldes at personer har ulike krav til optimal temperaturen i det termiske miljøet.

En person som opplever utilfredsstillhet med sine termiske omgivelser vil bruke temperaturregulatoren til å endre temperaturnivå. Hvis regulatoren forsvinner bør det derfor stilles høyere krav til kvaliteten av det termiske miljøet, minimum klasse A (ISO 7730: 2005). Ved å bruke et vindu med en lav U-verdi vil lokal diskomfort begrenses:

- Kaldras
Kaldras vil alltid oppstå ved overflatetemperaturer lavere enn romluften. For U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil størrelsen på kaldraset også være avhengig av glasshøyden. Det før høye vinduer bør kaldrassikring vurderes.
- Strålingsasymmetri
For vindu ved U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil overflatetemperaturen på vindusglasset være $2 \text{ }^\circ\text{C}$ lavere enn romlufttemperaturen (ved $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ utetemperatur og $20 \text{ }^\circ\text{C}$ innetemperatur). Dette vil ikke kunne gi diskomfort.
- Vertikal temperaturdifferanse
Skyldes som regel kaldras fra vinduet eller infiltrasjon igjennom utettheter. Lave U-verdier reduserer kaldras.

8 Konklusjon

For vinduet med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ påvirkes ikke den generelle komforten av utetemperaturen eller glasshøyden, samtidig som strålingsasymmetrien og kaldraset holdes utenfor grenseverdier som gir termisk diskomfort. Vinduet med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ga høyere verdier for trekk og strålingsasymmetri, samtidig som komforten ble påvirket av utetemperaturen og glasshøyden.

Ingen av målingene gir utslag for lokal diskomfort grunnet trekk ved nakken, trekk ved ankel, strålingsasymmetri eller vertikal temperaturgradient. Resultatene fra spørreundersøkelsen viste at 93 % var kald på siden av vinduet. 63 % opplevde en kald følelse på anklene. Det antas at de overnevnte følelsene av kulde kan forklares med henholdsvis strålingsasymmetri og kladrass. Samtidig observeres differansen mellom opplevd (AMV = $-1,47$) og beregnet komfort (PMV ved $1 \text{ clo} = 0,66$). Dette gir grunn til å mistenke at lokal termisk diskomfort påvirker termisk komfort. Det er det rimelig å anta at følelsen av diskomfort ville vært redusert ved glass med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I lys av resultatene fra komfortmålingene og spørreundersøkelsene så oppleves det termisk diskomfort ved vindusglass med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Komfortmålingene og spørreundersøkelsen taler for at vinduet med U-verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ egner seg som passiv løsning.

Med de store forskjellene i middelveidene for opplevd og beregnet komfort, mener studentene at det burde gjennomføres flere undersøkelser. Mistanken om at lokale påvirkninger kan påvirke den termiske komforten for hele kroppen gjelder fremdeles.

9 Kilder

ISO 7730: "Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation av the PMV and PPD indices and local comfort criteria." 2005.

ISO 9920:2007. "Ergonomics of the thermal environment -- Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble."

ASHRAE standard 55. "Thermal Environmental Condition for Human Occupancy." 2004.

Charles, K.E. "Fanger's Thermal Comfort and Draught Models." *Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada RR-162*, 2003.

de Dear, R. J., and M.E. Fountain. "Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate." *ASHRAE Transactions 1994, Vol 100, Part 2*, 1994.

de Dear, R., and G. S. Brager. "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference." *UC Berkeley: Center for the Built Environment*, 1998.

Elmahdy, A.H. "Effects of Improved Spacer Bar Design on Window Performance ." *National Research Council Canada*, 2003.

Fanger, P. O. "Comments on "A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer"." *Energy and buildings 22*, 1995: 89.

Fanger, P. O., B. M. Ipsen, G. Langkilde, N. K. Christensen, and S. Tanabe. "Comfort Limits for Asymmetric Radiation ." *Energy and Buildings 8 p. 228-236*, 1985.

Fanger, P. O., H. Melikov, H. Hanzawa, and J. Ring. "Air turbulence and sensation of draught." *Energy and Buildings, 12, 21-39.*, 1988.

Griefahn, B., C. Künemund, and Gehring U. "The significance of air velocity and turbulence intensity for responses to horizontal drafts in a constant air temperature of 23°C." *International Journal of Industrial Ergonomics 26 p. 639-649*, 2000.

Han, et al. "Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China." *Building and Environment 42*, 2007.

Heiselberg, P. "Stratified flow in rooms with a cold vertical wall." *Ashrae Transactions*, 1 16, 1994: 1155-1162.

Heiselberg, P., H. Overby, and E. Bjorn. "The Effect of Obstacles on the Boundary Layer Flow at a Vertical Surface." 1994.

Kähkönen, E. "Draught, Radiant Temperature Asymmetri and Air Temperature – a Comparison between Measured and Estimated Thermal Parameters." *Indoor air, 4, p 439-447.*, 1991.

Larsson, U., B. Moshfegh, and M. Sandberg. "Thermal Analysis of Super Insulated Windows." *Energy and Buildings 29*, 1999: 121-128.

Løvås, G. G. "Statistikk for universiteter og høyskoler." *Universitetsforlaget*, 1999.

Manz, H., and T. Frank. "Analysis of Thermal Comfort Near Cold Vertical Surfaces by Means of Computational Fluid Dynamics." *Indoor and Built Environment*, 2004.

Melikov, A., Pitchurov, G., K. Naydenov, and G. Langkilde. "Field Study on Occupant Comfort and the Office Thermal Environment in Rooms with Displacement Ventilation." *Indoor Air 2005:15 p.205-214*, 2005.

Nicols, J. F., and M. A. Humphreys. "The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments." *Energy and Buildings 34*, 2002.

Olesen, B. W, and Parsons. "Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730." *Energy and Buildings 34*, p. 537-538, 2002.

Olesen, B.W., E. Mortensen, J. Thorshauge, and B. Berg-Munch. "Thermal comfort in a room heated by different methods. ." *Laboratory of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark*, 1980.

Oseland, N.A. "A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer." *Energy and Buildings 21*, 1994: 45-54.

Palonen, J., O. Seppänen, and J Jaakkola. "The Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Thermal Comfort in the Office Environment." 1993.

Skåret, E. "Ventilasjonsteknisk håndbok." *Byggforsk, Håndbok 48*, 2000.

Spagnolo, J., and R. de Dear. "A Field Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi-Outdoor Environments in subtropical Sydney Australia." *Building and Environment 38*, p. 721-738, 2003.

TEK. "Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven." *Statens bygningstekniske etat (BE)*, 2007.

Todde, V. " Perception and Sensitivity to Horizontal Turbulent Air Flows at the Head Region." *Indoor Air, Volume 10 issue 4, pages 297-305*, 2000.