



**OsloMet – storbyuniversitetet**

**Institutt for Bygg- og energiteknikk – Energi og miljø i bygg**

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR. 6
-----------------

TILGJENGELIGHET Åpen
-------------------------

Telefon: 67 23 50 00

[www.oslomet.no](http://www.oslomet.no)

# MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL	DATO
Behovsstyrt ventilasjon (DCV) med kombinert CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring:  Er det med hensyn på inn klima fornuftig å styre behovsstyrte ventilasjonsanlegg etter en kurve med varierende settpunkt for CO <sub>2</sub> og temperatur?	23.05.2018
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 70 sider 22 vedlegg
FORFATTER	VEILEDER
Marie Flatmo Opsahl	Mads Mysen

UTFØRT I SAMMARBEID MED	KONTAKTPERSON
SINTEF BYGGFORSK	Mads Mysen

<b>SAMMENDRAG</b> Dagens styring av behovsstyrt ventilasjon (DCV) baserer seg stort sett på et fast settpunkt for CO <sub>2</sub> og temperatur. Styringsparameteren som når sitt settpunkt først blir styrende parameter. Denne oppgaven har undersøkt om DCV-styring etter varierende settpunkt for temperatur og CO <sub>2</sub> (kombinert CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring) kan forsvares med hensyn til inn klima. Det var ønskelig å validere kombinert CO <sub>2</sub> og temperaturstyring fordi det tidligere har blitt indikert at styringsstrategien treffer brukernes behov mer presist og med lavere energibruk. Det ble på bakgrunn av dette gjennomført en inn klimaundersøkelse med testpanel i klasserom som var i bruk av elever ved CO <sub>2</sub> - konsentrasjoner på 600 og 1100ppm ved 21°C og 24°C. Hensikten var å belyse om CO <sub>2</sub> -settpunktet kan økes ved lave romtemperaturer og vice versa, fordi dette er en konsekvens av kombinert styringsstrategi. Resultatene indikerte at oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ikke ble oppfattet som dårligere når CO <sub>2</sub> -konsentrasjonen steg i kalde rom, men at de ble oppfattet som dårligere når CO <sub>2</sub> -konsentrasjonen steg i varme rom. Resultatene indikerer også at temperaturstigning er en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet ved konstante CO <sub>2</sub> -konsentrasjoner. Basert på resultatene anbefales kombinert CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring som styringsprinsipp. For korrekt implementering av styringen anbefales det å sette opp en kombinert styringskurve med flere settpunkt enn hva som er vanlig i dag, og at VAV-spjeldene må være modulerende med en fri programmerbar kontroll og spesifiseres uten ettergangstid. Oppgaven har kun testet momentan oppfattelse av inn klima, og det anbefales derfor videre forskning rundt helsesyntomer og prestasjonstester over tid i samme type forsøk som oppgaven beskriver. Med hensyn til energiaspektet anbefales det å implementere styringen i et representativt bygg for å måle redusert energibruk og lønnsomhet.
--

3 STIKKORD
DCV
Kombinert CO <sub>2</sub> og temperaturstyring
Energibruk og inn klima

# Prosjektbeskrivelse

## Tittel:

Behovsstyrt ventilasjon med kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring.

## Veileder:

Mads Mysen, sjefsforsker på SINTEF Byggforsk.

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med SINTEF Byggforsk sitt forskningsprosjekt BESTVENT, som står for «*BEST demand-controlled VENTilation strategies to maximize air quality and minimize energy use in empty spaces*». Forskningsprosjektets hensikt er med andre ord å finne beste ventilasjonsstrategi for et godt inneklima og lavt energibruk.

## Mål:

Målet med oppgaven var å finne ut om romtilstandene som blir en konsekvens av kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil opprettholde et tilfredsstillende inneklima og treffe brukernes behov mer presist.

Målet skulle nås ved å gjennomføre en testpanelbasert spørreundersøkelse i klasserom som var tatt i bruk av elever, der oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ble vurdert ved fire ulike romtilstander; et klasserom med 21°C ved 600 og 1100ppm og et klasserom med 24°C ved 600 og 1100 ppm.

Ved resultater som indikerer en anbefalt styring etter varierende settpunkt vil man skape muligheten for å oppnå en energireduksjon, sett i forhold til å styre etter faste settpunkt for CO<sub>2</sub> og temperatur som er vanlig i dag.

## Hypoteser:

Hypotesene skulle undersøke om testpanelet opplevde forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort i kalde rom med ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, og i forhold til varme rom med ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Det skulle også undersøkes om testpanelet opplevde forskjell på oppfattet luftkvalitet og luktintensitet ved temperaturstigning når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen var konstant.

## Metoder:

Oppgavens metoder er basert på litteraturstudier, praktiske forsøk med testpanelbaserte spørreundersøkelser, luftmengdeberegning, kvantitativ statistisk analyse og kvalitative intervjuer

## Forord

Høsten 2017 var jeg selv en del av testpanelet i forsøk for BESTVENT, og ble med det introdusert for prosjektet. Jeg syntes det var spennende og smigrende å bli omtalt som «forsøkshelt» av forskerne på SINTEF. Jeg ble nysgjerrig og syntes det virket givende å jobbe med og finne beste ventilasjonsstrategi for et godt inn klima og lavt energibruk.

Da sjefsforsker Mads Mysen formidlet at BESTVENT trengte studenter til masteroppgaver, var jeg raskt på ballen om å melde min interesse. Mads kjente meg fra forelesninger i Ventilasjonsteknikk og gjennomføring av skisseprosjekt, og sammen fant vi en interessant problemstilling knyttet til kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring.

Jeg ønsker å takke Mads for muligheten, og for at han har vært en solid støtte gjennom hele prosessen, fra definering av problemstilling, gjennomføring av forsøk og veiledning underveis i oppgaven. Jeg ønsker også å takke Aileen Yang, postdoktor ved OsloMet, for gode tips til praktisk gjennomføring og strukturert skriving, og første-amanuensis i statistikk, Hugo Lewi Hammer, for hjelp til å forstå de statistiske testene.

På Fernanda Nissen skole ønsker jeg å takke assisterende rektor Normann Vik Øvrebø for tillatelse til å forstyrre i timene, og vaktmester Mohammad Hafiz Mohammad som alltid var blid og oppmuntrende og hjalp meg med å bære radiatorer inn og ut av klasserom tidlig på morgenen før arbeidsdagen hans hadde startet.

Takk til min tidligere kollega Gorm Jenssen i ÅF Norge og Stig Tveitane i KlimaControl AS som har gitt meg bredere forståelse med hensyn til hva som kreves av byggautomasjon ved kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring.

En stor takk rettes også til den beste medstudenten og venninnen man kan ha gjennom en masterstudie; Martine Borgen Haugland. Uten henne hadde ikke forsøket blitt like bra og motivasjonen ville lettere forsvunnet på kontor 413 i Forskningsveien 3b.

Til slutt ønsker jeg å rette den største takken til mine foreldre, Gry og Willi, som i fem år har støttet meg til å ta utdanning med små barn. Og min samboer Richard som har tatt seg av «alt» hjemme i eksamensperioder og perioder med intensiv oppgaveskriving. Sigve og Viktor, takk for at dere har forstått at mamma også har hatt lekser – nå blir det fint med en lang sommerferie før jeg er tilbake i arbeidslivet.

Marie Flatmo Opsahl

Oslo, 23.mai 2018

## Ordliste/nomenklatur

CAV:	Lite energieffektiv ventilasjonsstrategi som leverer konstant luftmengde uavhengig av brukernes behov.
VAV:	Ventilasjonsstrategi med variabel luftmengde.
DCV:	Energieffektiv ventilasjonsstrategi som styrer luftmengdene etter målt momentant behov på romnivå.
$V_{\min}$ :	Laveste luftmengde ved DCV.
$V_{\max}$ :	Høyeste luftmengde ved DCV.
CO <sub>2</sub> :	Karbondioksid; gass som fordunstes av mennesker og er primær forurensningskilde for inneklime.
PPM:	Parts per million, måleenhet for CO <sub>2</sub> .
CO <sub>2</sub> -settpunkt:	Styringsparameter for DCV basert på CO <sub>2</sub> -konsentrasjonen i rommet.
CO <sub>2</sub> -styrt DCV:	Styringsstrategi for DCV som styrer etter et fast CO <sub>2</sub> -settpunkt.
Temperatur-settpunkt:	Styringsparameter for DCV basert på temperaturen i rommet.
Temperaturstyrt DCV:	Styringsstrategi for DCV som styres etter et fast temperatur-settpunkt.
Bioeffluenter:	Kjemisk forbindelse som emitteres fra menneskekroppen (T. Godish, 1994).
PAQ:	Perceived Air Quality; oppfattet luftkvalitet.
SBS:	Sick Building Syndrom; når mennesker som befinner seg i en bygning blir syke.
IAQ:	Indoor Air Quality; innendørs luftkvalitet.
Somatisk symptom:	Legemlig symptom, kroppslig symptom.

Met:	Kroppens varmeproduksjon, der 1 met er ved sittestillende aktivitet.
Olf:	1 olf er forurensningen fra en standard person ved 1 met, med et gjennomsnittlig hudareal på 1,8 m <sup>2</sup> , hygienisk standard svarende til 0,7 bad per dag og skifter undertøy hver dag (P. O. Fanger, 1972).
Decipol:	1 decipol defineres som luktblastningen fra en kilde på 1 olf som ventileres med en luftmengde på 10 l/s (P. O. Fanger, 1972).
RQ:	Respirasjonskvotient; et dimensjonsfritt tall som definerer forholdet mellom antall mol CO <sub>2</sub> utskilt og antall mol O <sub>2</sub> forbrukt ved respirasjon av et substrat (UiO, 2011).
BMR:	Basal metabolsk rate; energien kroppen bruker for å opprettholde grunnleggende vitale funksjoner i lunger, hjerne, hjerte, fordøyelsessystem etc.
Olfaktometri:	Luktanalyse.
PPD:	Predicted Percentage og Dissatisfied; forventet andel misfornøyde ved en spørreundersøkelse.
PD:	Percentage Dissatisfied; faktisk andel misfornøyde ved en spørreundersøkelse.
PMV:	Predict Mean Vote; gjennomsnitt av testpanelets opplevde termiske følelse.
IQR:	Interquartile Range; variasjonsbredden i kvartiler som er de midterste 50% av de totale scorene ved en undersøkelse.

## Sammendrag

Dagens styring av behovsstyrt ventilasjon baserer seg vanligvis på et fast settpunkt for CO<sub>2</sub> og temperatur. Styringsparameteren som når sitt settpunkt først blir styrende parameter. Dagens styring fokuserer på temperatur og CO<sub>2</sub> isolert sett, og vektlegger ikke at kombinasjonen av disse kan påvirke hverandre med hensyn på inneklime.

En styringsstrategi med varierende settpunkt for CO<sub>2</sub> og temperatur gjør dette, og det har tidligere blitt indikert at styringen vil ha en energibesparende effekt og treffe brukernes behov mer presist. Denne oppgaven har derfor undersøkt om kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring kan forsvares, basert på resultatene fra en spørreundersøkelse relatert til momentan oppfattelse av inneklime.

Hypotesene i oppgaven omhandler om det er forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulike CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i kalde og varme rom, og om det er forskjell på oppfattet luftkvalitet og luktintensitet ved temperaturstigning når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant.

En testpanelbasert spørreundersøkelse i klasserom med elever tilstede ble gjennomført ved CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner på 600ppm og 1100ppm ved 21°C og 24°C, for å belyse om CO<sub>2</sub>-settpunktet kan økes ved lave romtemperaturer og vice versa. Testpanelet ble rekruttert fra masterutdanningen til Energi og Miljø i bygg ved OsloMet.

Resultatene indikerer at oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ikke oppleves som dårligere når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen stiger i kalde rom, men oppleves som dårligere når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen stiger i varme rom. Resultatene indikerer også at temperaturstigning er en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet ved konstant CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Styring mot et høyere CO<sub>2</sub>-settpunkt i rom med lav temperatur og et lavere CO<sub>2</sub>-settpunkt i rom med høy temperatur kan dermed forsvares.

Intervjuer med automatikkyndige aktører har resultert i en rekke kriterier for at styringen skal fungere optimalt. Det må settes opp kompensert kurve med flere settpunkter, og VAV-spjeldet må være modulerende med en fri programmerbar kontroll og spesifiseres uten ettergangstid.

Det anbefales videre forskning rundt inneklime relaterte symptomer over tid ved de samme romtilstandene som forsøket beskriver, ettersom oppgaven kun har testet momentan oppfattelse av inneklime. Det anbefales også å implementere styringen i et representativt bygg for å måle redusert energibruk.

## Abstract

Demand Control Ventilation (DCV)-control today is usually based on fixed set-points for CO<sub>2</sub> or temperature. The parameter that reaches its set-point first becomes the controlling parameter. This type of control does not account for how the parameters affect each other related to the indoor air quality (IAQ).

Combined CO<sub>2</sub> and temperature control with varying set-points for CO<sub>2</sub> and temperature can potentially have an energy-saving effect if the control is properly implemented. This thesis has investigated whether this control can be recommended, based on the results from a questionnaire related to indoor climate.

The hypotheses studied in this thesis are whether there is a difference in perceived air quality (PAQ), odour intensity and thermal comfort at different CO<sub>2</sub>-concentrations in cold and warm rooms, and if temperature rise is a factor that can result in poorer PAQ and odour intensity when the CO<sub>2</sub>-concentration is held constant.

A questionnaire with test panel in occupied classrooms has been conducted at CO<sub>2</sub> concentrations of 600ppm and 1100ppm in classrooms at 21°C and 24°C, to illustrate whether the CO<sub>2</sub> set-point can be increased at low room temperatures and vice versa. The test panel comprised of 16 individuals and was recruited from the Master's program of Energy and Environment in buildings at OsloMet.

The results indicate that PAQ, odour intensity and thermal comfort do not deteriorate when the CO<sub>2</sub>-concentration increases in cold rooms, but that they do in warm rooms. The results also indicate that temperature increase is a factor that results in poorer PAQ when the CO<sub>2</sub>-concentration is held constant. A DCV-control set to a higher CO<sub>2</sub> set-point in rooms at low temperature can therefore be recommended regarding to the results of rapid perception of IAQ.

Interviews with relevant actors working with building-automation have resulted in several criteria for implementing the suggested control. The control curve should include more set-points than today's norm, and the VAV damper must be modulated with a free programmable controller and not have a retirement time.

Further research on indoor climate related symptoms is recommended, where health symptoms and performance tests over time should be conducted, as this thesis has only tested rapid perception of IAQ. It is also recommended to implement the control in a representative building to measure the possible reduced energy consumption.

## Innhold

Forord.....	i
Ordliste/nomenklatur .....	ii
Sammendrag .....	iv
Abstract.....	v
Liste over figurer .....	ix
Liste over tabeller .....	x
1. Innledning .....	1
1.1 Energibruk og inneklime .....	1
1.2 Energibruk og ventilasjon.....	1
1.3 Tidligere forskning.....	2
1.4 Kombinert CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring i Norge .....	4
1.5 Masteroppgavens tilnærming.....	4
2. Teori .....	5
2.1 Bakgrunn .....	5
2.2 Termisk inneklime .....	5
2.2.1 Termisk PMV-indeks.....	6
2.2.2 Termisk PPD-indeks.....	7
2.3 Atmosfærisk inneklime .....	8
2.3.1 Oppfattet luftkvalitet og luktanalyse .....	9
2.3.2 Atmosfærisk PPD.....	10
2.4 Beregningsmetoder for luftmengdebehov .....	12
2.5 Styringsstrategier for ventilasjon .....	12
2.5.1 Konstant luftmengde (CAV) .....	12
2.5.2 Variabel luftmengde (VAV) .....	13
2.5.3 Behovsstyrt luftmengde (DCV).....	13
2.6 Styringsstrategier for DCV.....	13
2.6.1 Tilstedeværelse- og temperaturstyring.....	14
2.6.2 CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring.....	14
2.6.3 Kombinert CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring.....	15
2.6.4 Sensorplassering .....	16
3. Motivasjon og målsetting.....	17
4. Hypoteser .....	18
5. Metode.....	19
5.1 Praktisk forsøk.....	19
5.1.1 Feltlaben.....	19



5.1.2	Forsøksdesign.....	20
5.1.3	Testpanel.....	22
5.1.4	Valg av klasserom.....	22
5.1.5	Retningslinjer .....	23
5.1.6	Forsøksoppsett.....	24
5.1.7	Spørreskjema .....	24
5.1.8	Utstyrliste .....	25
5.1.9	Pilotforsøk.....	29
5.2	Ventilasjonsstrategi.....	29
5.3	Luftmengdeberegning.....	30
5.4	Statistikk.....	33
5.4.1	Konvertering av data.....	34
5.4.2	Valg av statistisk modell.....	36
5.4.3	Paret t-test i SPSS .....	37
5.4.4	Atmosfærisk PPD-analyse .....	38
5.4.5	Termisk PPD-analyse.....	39
5.5	Intervjuer.....	40
5.5.1	Intervju med automatikkrådgiver i ÅF Norge .....	40
5.5.2	Intervju med systemintegrator i KlimaControl AS .....	41
6.	Resultat .....	42
6.1	Faktiske forhold i feltlaben .....	42
6.1.1	Momentan romtemperatur og CO <sub>2</sub> .....	42
6.1.2	Antall personer og luftmengde per person.....	43
6.1.3	Relativ fuktighet .....	43
6.1.4	Utendørs forhold.....	44
6.2	Statistikk.....	45
6.2.1	Oppfattet luftkvalitet .....	45
6.2.2	Oppfattet luktintensitet .....	48
6.2.3	Oppfattet temperatur .....	51
6.2.4	Opplevelse av temperatur .....	54
6.3	Intervjuer.....	56
7.	Diskusjon .....	58
7.1	Faktiske forhold i feltlaben .....	58
7.2	Lav temperatur og ulik CO <sub>2</sub> -konsentrasjon.....	59
7.3	Høy temperatur og ulik CO <sub>2</sub> -konsentrasjon.....	60
7.4	Lav CO <sub>2</sub> -konsentrasjon og ulik temperatur.....	61

7.5	Høy CO <sub>2</sub> -konsentrasjon og ulik temperatur .....	63
7.6	Anbefalt styringsstrategi .....	63
7.7	Styrker og svakheter ved forsøket .....	65
7.7.1	Feltlaben.....	65
7.7.2	Forsøksdesign.....	65
7.7.3	Forsøksoppsett.....	66
7.7.4	Testpanel.....	66
7.7.5	Måleinstrumenter .....	67
8.	Fremtidig forskning og videre arbeid .....	68
8.1	Teoretiske anbefalinger .....	68
8.2	Praktiske anbefalinger.....	68
9.	Konklusjon.....	70
10.	Referanseliste.....	71
A.	Liste over vedlegg.....	74
A.1	PMV og met tabell.....	75
A.2	Funksjonsbeskrivelse for romregulering av klasserom .....	76
A.3	Informasjonsskriv til testpanelet .....	77
A.4	Komplett spørreskjema.....	78
A.5	Dokumentasjon – plug-in termostat.....	84
A.6	Dokumentasjon – Belimo ZTH.....	85
A.7	Dokumentasjon – Rotronic kalibreringsbevis .....	86
A.8	Timeplan for 8.klasse .....	87
A.9	Luftmengdeberegninger for forsøksdagen .....	89
A.10	Beregning for konvertering av kontinuerlige data.....	90
A.11	Konvertert datasett.....	94
A.12	KS-testen for parvise differanser .....	96
A.13	Inndata for parvise differanser .....	98
A.14	T-verdi tabell .....	100
A.15	Referat - Intervju med Gorm Jensen, ÅF Norge .....	101
A.16	Referat – Intervju med Stig Tveitane, KlimaControl AS .....	102
A.17	Skjema for antall personer.....	103
A.18	Skjema for målt temperatur, CO <sub>2</sub> og relativ fuktighet.....	104
A.19	SPSS – resultatfil for oppfattet luftkvalitet .....	105
A.20	SPSS – resultatfil for oppfattet luktintensitet .....	108
A.21	SPSS – resultatfil for oppfattet temperatur .....	111
A.22	SPSS – resultatfil for opplevelse av temperatur.....	114

## Liste over figurer

Figur 1 - Sannsynlig sammenheng mellom PMV og PPD .....	7
Figur 2 - PPD og ventilasjonsluftmengde .....	11
Figur 3 - PPD og CO <sub>2</sub> -konsentrasjon .....	11
Figur 4 - Kombinert CO <sub>2</sub> - og temperaturstyring.....	15
Figur 5 - Plantegning av Fernanda Nissen skole.....	20
Figur 6 - Planlagte verdier for CO <sub>2</sub> -konsentrasjon og temperatur.....	21
Figur 7 - Avmerking av utvalgte klasserom .....	23
Figur 8 - Tidslinje for forsøksoppsett .....	24
Figur 9- Spørsmål på spørreark .....	25
Figur 10 - Termostat og ribberørsovn .....	26
Figur 11 - Belimo ZTH .....	27
Figur 12 - Rotronic måleinstrument.....	28
Figur 13 - Utendørs værforhold på Storo 14.02.2018.....	44
Figur 14 - Boksdiagram for oppfattet luftkvalitet .....	45
Figur 15 - Boksdiagram for oppfattet luktintensitet .....	48
Figur 16 - Boksdiagram for oppfattet temperatur .....	51
Figur 17 - Boksdiagram for opplevelse av temperatur .....	54
Figur 18 - Forslag til styringskurve basert på oppgavens resultater .....	64

## Liste over tabeller

Tabell 1 - Maksimum og minimum romlufttemperatur.....	6
Tabell 2 - PMV-indeksen .....	6
Tabell 3 - Grenseverdier for CO <sub>2</sub> og luftmengder .....	8
Tabell 4 – Luktskala .....	10
Tabell 5 - Planlagte verdier for CO <sub>2</sub> -konsentrasjon og romtemperatur .....	21
Tabell 6 - Utstysrliste.....	26
Tabell 7 - Luftmengdeinnstillinger for ZTH.....	27
Tabell 8 - Met-verdier for ulike aktiviteter.....	31
Tabell 9 - Beregnet luftmengde .....	33
Tabell 10 – Rom-par for paret t-test relatert til hypoteser.....	37
Tabell 11 - Planlagt og momentant målt romtemperatur og CO <sub>2</sub> .....	42
Tabell 12 - Planlagt og faktisk antall personer og luftmengde per person.....	43
Tabell 13 - Momentant målt relativ fuktighet .....	43
Tabell 14 - Deskriptiv statistikk for oppfattet luftkvalitet.....	46
Tabell 15 - Paret t-test for oppfattet luftkvalitet .....	47
Tabell 16 - Deskriptiv statistikk for oppfattet luktintensitet.....	49
Tabell 17 - Paret t-test for oppfattet luktintensitet .....	50
Tabell 18 - Deskriptiv statistikk for oppfattet temperatur.....	52
Tabell 19 - Paret t-test for oppfattet temperatur .....	53
Tabell 20 - Deskriptiv statistikk for opplevelse av temperatur .....	55
Tabell 21 - Paret t-test for opplevelse av temperatur .....	56

# 1. Innledning

## 1.1 Energibruk og inneklima

Verdens energibruk er i sterk vekst, og det blir stadig vanskeligere å dekke etterspørselen etter energi. Samtidig står verden ovenfor en utfordring knyttet til reduksjon av klimagassutslipp og å stoppe den pågående utviklingen av global oppvarming.

Et av de viktigste tiltakene for å møte disse utfordringene er å fokusere på effektiv energibruk, der byggebransjen kan utgjøre en forskjell, ettersom bygninger i Norge står for nærmere 40% av landets totale energibruk (V. Novakovic et al., 2014).

Økte krav til energivennlige byggemetoder er i fokus, der de skjerpede energikravene i TEK17 setter en ny standard for energivennlige bygg. De beste løsningene er enda ikke funnet, men et skjerpet fokus på energi setter fart i utviklingen.

For fagfeltet «Energi og Miljø i bygg» er det i tillegg til fokus på energieffektivisering, avgjørende å vedlikeholde et godt inneklima. Energieffektive løsninger skal ikke gå på bekostning av helse og komfort for brukerne av bygget og det gjelder å finne frem til løsningene som ivaretar begge deler; både et energioptimalisert bygg og et godt inneklima over tid.

## 1.2 Energibruk og ventilasjon

Av bygningers totale energiregnskap utgjør energibruk til ventilasjonsvarme- og kjøling 15-20% av bygningens totale energiregnskap, og det er derfor ønskelig å finne den beste måten å styre ventilasjonsanlegget på. Implementering av behovsstyrt ventilasjon (DCV) med optimal styring kan mer enn halvere energibruken i forhold konstant luftmengde ventilasjonsanlegg (M. Mysen & P.G. Schild, 2014). DCV foretrekkes derfor i moderne bygg med energiambisjoner.

Et DCV-anlegg kan styres etter ulike parametere, der det er mest vanlig å styre etter et fast settpunkt for CO<sub>2</sub> og temperatur. Parameteren som når sitt settpunkt først er styrende parameter. Denne oppgaven skal undersøke mulighetene ved kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring, en lite utprøvd metode som i teorien er styringen som treffer brukernes behov mest presis og med lavest energibruk (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

Tanken bak kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring er at luftmengden reduseres når romtemperaturen er lav og økes når romtemperaturen er høy. Luftmengdereduksjon ved lav romtemperatur medfører en potensiell energireduksjon.

Styringen relatert til inneklimate styrkes av tidligere forskning har vist at redusert lufttemperatur er en viktig faktor for bedre oppfattet luftkvalitet (L. Fang et al., 2004). I tillegg har det blitt indikert at man er mer følsom for trekk/høy lufthastighet ved lave temperaturer (Jørn Toftum et al., 1998).

Teorien er altså klar; styring etter et høyere CO<sub>2</sub>-settpunkt ved lave innetemperaturer kan være fornuftig med tanke på både energibruk og inneklimate. *Så hvorfor gjør vi det ikke i dag?*

### 1.3 Tidligere forskning

Å anbefale reduksjon av luftmengder er en kontroversiell tanke, ettersom flere tidligere studier har indikert at reduserte luftmengder blant annet minker menneskers prestasjonsevne (J. S. Park & C. H. Yoon, 2011) og øker forekomsten av SBS-symptomer (M. G. Apte et al., 2000; O. A. Seppänen et al., 2004; P. Wargocki et al., 2000).

Det er allikevel verdt å merke seg at disse studiene ikke har holdt temperaturen konstant og lav under forsøkene der luftmengden har blitt redusert. Resultatene kunne derfor ha blitt annerledes hvis temperaturen for eksempel hadde vært konstant på 21°C.

En studie utført av (O. A. Seppänen et al., 2005) omhandlet forholdet mellom luftmengde og prestasjonsevne ved typisk kontor- og skolearbeid, der resultatene viste ikke uventet en forbedret prestasjonsevne når ventilasjonsluftmengden økte. Studien konkluderer allikevel med at «*Variasjoner i temperatur kan ha hatt en effekt på resultatene*».

En annen studie, utført av (H. Maula et al., 2017) omhandlet forholdet mellom variasjoner i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og endring i oppfattet luftkvalitet, prestasjonsevne og helsesyntomer. CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ble brukt som en indikator på bioeffluenter (forurensning fra mennesker) og testpanelet ble utsatt for to tester som varte i fire timer med henholdsvis 540 ppm og 2260 ppm. Gjennom studien ble temperaturen holdt konstant ved 23°C i begge tilfellene.

Resultatene viste en svak negativ effekt på visse prestasjonsoppgaver og en så vidt økt forekomst av tretthet og redusert arbeidsmengde ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Det ble ikke avdekket negativ effekt på helsesyntomer, og helsesyntomene var lave i begge

tilfeller. Oppfattet luftkvalitet og luktintensitet var forskjellig kun i begynnelsen av forsøkene, men utjevnet seg etter hvert. Studien benyttet en høyere verdi for øvre CO<sub>2</sub>-konsentrasjon enn hva denne oppgaven vil gjøre, og verdien ligger langt over kravene i norske forskrifter. Studien indikerte allikevel at når temperaturen var konstant på 23°C var det ikke store forskjellene i oppfattelsen av inn klima. Det hadde vært interessant å se om forskjellene hadde blitt mindre eller forsvant i det samme studiet ved for eksempel 21°C.

Det har også blitt utført innklimarelaterte studier der den varierende parameteren er temperatur, og resultatene tilsier en sammenheng mellom økt romtemperatur og dårligere oppfattet luftkvalitet, økt forekomst av SBS-symptomer og redusert prestasjonsevne (G. Clausen et al., 1993; L. Fang et al., 2004; L. Lan et al., 2011).

Det har blitt indikert at prestasjonsevnen øker ved temperaturer opp til 21-22°C og minker ved 23-24°C, og at den høyeste produktiviteten oppnås ved 22°C (O. A. Seppänen et al., 2006).

Det er verdt å merke seg at resultatene fra de nevnte studiene med varierende temperatur ikke har blitt vurdert i sammenheng med variasjoner i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon.

Litteraturstudier har vist at tidligere forskning i størst grad har basert seg på enten et fokus på variasjon i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon eller romtemperatur - og i liten grad en kombinasjon av disse for å undersøke om de faktisk påvirker hverandre.

I Singapore derimot har doktor K. W. Tham undersøkt sammenhengen mellom temperatur og luftmengde per person relatert til prestasjonsevne. Studien varierte romtemperaturen fra 22,5° til 24,5°C og ventilasjonen fra 5 til 10 l/s per person, som tilsvarer en forskjell på ca. 800 og 1200 ppm. Resultatene viste ikke signifikant forskjell i prestasjonsevne ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og lav temperatur, men signifikant forskjell ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og høy temperatur. (K. Tham, 2004; K. Tham & H. C. Willem, 2005).

Studiene fra Singapore indikerer dermed at luftmengden kan reduseres når romtemperaturen er lav uten å gå på bekostning av prestasjonsevne, og at luftmengden bør settes høyere når romtemperaturen er høy for å unngå redusert prestasjonsevne. Ved DCV-styring med kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring ville de akseptable romtilstandene i studien ha blitt ivaretatt.

## 1.4 Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring i Norge

Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring har tidligere blitt utprøvd ved Marienlyst skole i Drammen. Dette var Norges første skole med passivhusstandard og bygningen var dermed godt isolert og hadde en tett bygningskropp. Bygningskroppen reduserte energibehovet til oppvarming, men risikoen for overoppheting og dårlig inneluftkvalitet var større enn for en konvensjonell bygning. Målet med studien var å kartlegge overoppheting, og det faktum at opplevd luftkvalitet synker når romtemperaturen øker (A. Cablé et al., 2016).

Den kombinerte styringen ble sammenlignet med den eksisterende styringen på skolen som var CO<sub>2</sub>-styrt DCV (styring etter et fast settpunkt for CO<sub>2</sub>). Resultatene viste et akseptabelt oppfattet inneklime ved begge strategier, men noe forbedret ved den kombinerte styringsstrategien. Ved den kombinerte styringen sank også forekomsten av ubehag ved variasjoner i romtemperatur betydelig.

Studien konkluderte med at dersom styringen ble korrekt implementert vil kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring være en relevant styringsstrategi for skoler bygd etter passivhusstandard (A. Cablé et al., 2016). Det er ønskelig å se om dette er tilfellet også for konvensjonelle bygninger etter TEK17-standard.

## 1.5 Masteroppgavens tilnærming

Denne oppgaven skal basere seg på spørreundersøkelser relatert til momentan oppfattelse av inneklime ved CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner på 600 ppm og 1100 ppm, som tilsvarer en luftmengde på 5 l/s og 17 l/s per person, og temperaturer på 21 og 24 °C.

Spørreundersøkelsen omfatter spørsmål om oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort i klasserom med elever tilstede. Terskelverdiene for CO<sub>2</sub> og temperatur ble valgt ut fra grenseområdene for akseptable verdier i TEK 17, NS15251 og veiledning 444 (Arbeidstilsynet, 2016; Standard Norge, 2014; TEK17, 2017).

Hensikten med forsøket er å finne ut om testpanelet aksepterer en høyere CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved lave romtemperaturer enn ved høye romtemperaturer, noe som kan forsvare de inneklime relaterte konsekvensene ved å styre DCV-anlegg etter en kurve med varierende settpunkt (kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring).

Konsekvensen av oppgavens eventuelle validering av inneklime ved kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil være at styringen kan bli mer utbredt, og dermed kan medføre et energisparepotensial for bygninger med moderne DCV-anlegg.



## 2. Teori

Teori-kapitlet vil beskrive sentral teori knyttet til ventilasjonsteknikk og inneklima; fagfeltene som utgjør grunnlaget for store deler av oppgaven.

### 2.1 Bakgrunn

Innendørs luftkvalitet (IAQ) omhandler luftkvaliteten innenfor en bygningskonstruksjon, og kvaliteten på luften settes ofte i sammenheng med brukerne av bygget sin helse og komfort. Ventilasjonssystemet har som oppgave å filtrere luftforurensninger og fortynne forurensningskilder i innelufta slik at luftkvaliteten i bygningen tilfredsstiller gjeldende krav og oppleves som tilfredsstillende for brukerne av bygget. Kvalitet og styring av ventilasjonssystemet er derfor tett relatert til IAQ.

I Norge har ventilasjon vært en del av forskriftskravene siden utgivelsen av *Byggeforskriften 1969*. I 1987 kom *Bygningsforskriften* med en veiledning med konkrete krav til ventilasjonsluftmengder for yrkesbygg. I 1991 kom arbeidstilsynet med *Veiledning 444-Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen* og denne har blitt brukt som veiledning for prosjektering av luftmengder i over 25 år (S. Ingebrigtsen, 2016).

Gjennom de siste årene har økt fokus på energisparing gitt strengere krav til lufttette og godt isolerte bygninger. Bedre isolerte og tettere bygg skaper et behov for større ventilasjonsluftmengder for å opprettholde en akseptabel inneluftkvalitet.

Kravene til ventilasjon har derfor blitt strengere, og i dag er *TEK17* gjeldene forskrift for dimensjonering av luftmengder i Norge.

### 2.2 Termisk inneklima

Termisk inneklima omfatter rommets temperatur, luftfuktighet, ventilasjon, trekk og varmestråling (Store Norsk Leksikon, 2018). Termisk komfort er definert gjennom ASHRAE standard 55 som «tilstanden som uttrykker tilfredshet med det termiske miljøet og er vurdert ved subjektiv vurdering» (ASHRAE, 2016a).

Romtemperatur er en måleparameter som ofte brukes som styringsparameter i DCV-anlegg og anslår behovet for ventilasjonsluftmengde i et rom for å holde romtemperaturen under et visst settpunkt.

For å tilfredsstille et akseptabelt termisk inneklima har dagens forskrifter, veiledninger og standarder fastsatte krav til minimal og maksimal romtemperatur avhengig av om det er et tungt, middels, eller lett aktivitetsnivå.

Ved tungt arbeid er det ønskelig med lavere temperatur enn ved lett arbeid, ettersom varmeproduksjonen i kroppen (metabolismen) øker når aktivitetsnivået stiger (S. Ingebrigtsen, 2016). Tabell 1 viser anbefalt minimal og maksimal romlufttemperatur ved «lett arbeid» iht. dagens forskrifter (Arbeidstilsynet, 2016; Standard Norge, 2014; TEK17, 2017) som er relevant ved skole- og kontorarbeid.

Tabell 1 - Maksimum og minimum romlufttemperatur

Hentet fra	Minimal innendørs temperatur [°C]	Maksimal innendørs temperatur [°C]
TEK17, §13-4*	19	26
Veil. 444*	19	26
NS15251	20	26

\*forutsatt lett arbeid

### 2.2.1 Termisk PMV-indeks

Termisk PMV-indeks (Predict Mean Vote) er en indeks utviklet av P.O Fanger på grunnlag av inneklimaundersøkelser med et stort antall forsøkspersoner. PMV-indeksen viser ved hjelp av en skala forbindelsen mellom de termiske variablene og den termiske følelsen (P. O. Fanger, 1972; Stensaas. L., 2008; Detelin Markov, 2002)

Skalaen for termisk PMV-indeks er vist i tabell 2, der man ser at ideell termisk komfort ligger på 0 (Nøytralt). Ved inneklimaundersøkelser kan PMV-indeksen beregnes som et gjennomsnitt av testpanelets opplevde termiske følelse. De Norske standardene NS-EN ISO 7730 og NS15251 (kategori II) anbefaler at PMV-indeksen bør ligge mellom -0,5 og +0,5 (S. Ingebrigtsen, 2016; Standard Norge, 2006, 2014).

Tabell 2 - PMV-indeksen

Skala	Termisk følelse
-3	Hett/Svært varmt
-2	Varmt
-1	Litt varmt
0	Nøytralt
-1	Litt kjølig
-2	Kjølig
-3	Kaldt

Forventet PMV kan også leses av i en tabell som viser PMV som funksjon av operativ temperatur, bekledding og lufthastighet ved aktivitetsnivå 1,2met. Tabellen er gjengitt i vedlegg A.1 (Stensaas. L., 2008).

### 2.2.2 Termisk PPD-indeks

Den termiske PPD-indeksen forteller hvor stor prosentandel misfornøyde en må regne med å ha i en forsamling som i gjennomsnitt har gitt en viss PMV-votering relatert til deres termiske opplevelse i rommet (Stensaas. L., 2008).

Selv om  $PMV=0$  vil det alltid være minst 5% som ikke er helt fornøyd med det termiske inn klima. Sammenhengen mellom termisk PMV og PPD er vist i formel 1.1 (Stensaas. L., 2008)

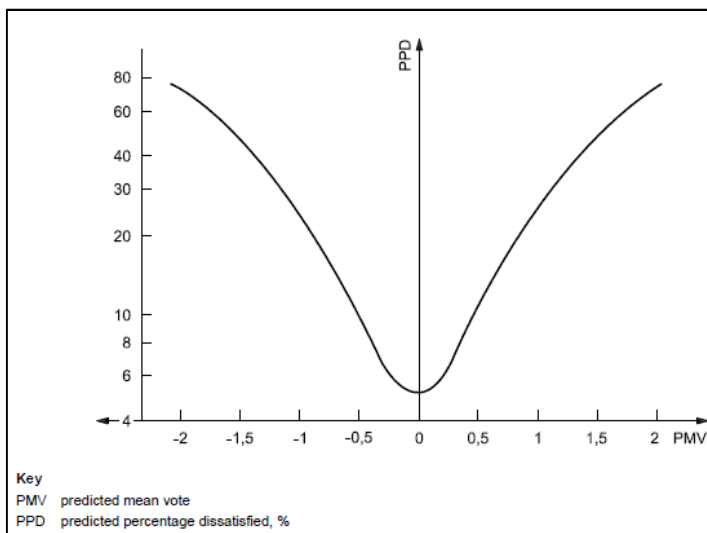
$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,3353*PMV^4 - 0,2179*PMV^2)} \quad [\%] \quad (1.1)$$

Der:

$PPD$  = Forventet andel misfornøyde [%]

$PMV$  = PMV-indeks [-]

De norske standardene NS-EN ISO 7730 og NS15251 (kategori II) anbefaler at PPD-indeks for termisk komfort skal holdes under 10% (Standard Norge, 2006, 2014) og figur 1 viser at dette tilsvarer en PMV-indeks på fra -0,5 til +0,5.



Figur 1 - Sannsynlig sammenheng mellom PMV og PPD

Kilde: NS-EN ISO 7730 (Standard Norge, 2006)

## 2.3 Atmosfærisk inneklima

Atmosfærisk inneklima omfatter luftens kjemiske og fysiske sammensetning av blant annet oksygen, nitrogen, karbondioksid (CO<sub>2</sub>), karbonmonoksid, nitrogenoksider, svoveldioksid, organiske gasser, støv og partikler (Store Norsk Leksikon, 2018).

Kvaliteten på det atmosfæriske inneklimaet påvirkes av fordunstninger og avsondringer fra det menneskelige legeme, og avdunstinger fra byggematerialer, møbler, vaskemidler etc.

Et menneske opptar ved respirasjon oksygen til blodet, og avgir CO<sub>2</sub> ved utånding. Det er utført betydelig forskning på forurensning fra mennesker, og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er i dag en akseptert måleparameter for menneskelig forurensning sett i sammenheng med menneskers metabolske aktivitet (X. Lin et al., 2014).

Ventilasjonssystemets oppgave er å fortynne disse forurensningene. Målt momentan CO<sub>2</sub>-konsentrasjon brukes derfor i dag som en indikator og styringsparameter for behovet for ventilasjon i et rom.

I Norge er det oppnevnt fastsatte krav til maksimal innendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og minimal tilført luftmengde i forskrifter, veiledninger og standarder (Arbeidstilsynet, 2016; Standard Norge, 2014; TEK17, 2017). Kravene varierer etter hvilken type materialer bygningen består av, der det skilles mellom lavt- medium- eller høyt-emitterende byggematerialer.

Tabell 3 viser anbefalt maksimal innendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og minimal tilført luftmengde per person og per kvadratmeter iht. dagens forskrifter.

Utendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ligger vanligvis mellom 350-450 ppm.

Tabell 3 - Grenseverdier for CO<sub>2</sub> og luftmengder

Hentet fra	CO <sub>2</sub> -grenseverdi [ppm]	CO <sub>2</sub> -verdi ute [ppm]	CO <sub>2</sub> -verdi inne [ppm]	Min. luftmengde [l/s per person]	Min. luftmengde [l/s per m <sup>2</sup> ]*
TEK17, §13-3	-	-	-	7,2	0,7
Veil. 444	<1000	400	1000	7	0,7
NS15251	Δ500	400	900	7	0,7

\*basert på lavemitterende materialer

### 2.3.1 Oppfattet luftkvalitet og luktanalyse

Det atmosfæriske inn klima kan bedømmes av et testpanel som gir sin vurdering basert på spørsmål om deres oppfattelse av luftkvalitet (PAQ) og luktintensitet i et rom.

Lukt spiller en stor rolle i opplevelsen av innendørs luftkvalitet. Lukt sprer seg i rommet fordi molekylene i luften beveger seg, og kolliderer. Hvor raskt denne spredningen skjer avhenger av både temperatur og lufthastighet. Ved høy lufthastighet sprer molekylene seg raskere og dermed spres lukten også raskere. Det samme er tilfellet ved høy romtemperatur fordi molekyler beveger seg raskere jo høyere temperaturen er (Store Norske Leksikon, 2017).

Luktanalyse eller olfaktometri er et nyttig verktøy for å vurdere lukt. Ved luktanalyse bedømmes lukten ved hjelp av et testpanel der nesen benyttes som en sensor for måling av opplevd luftkvalitet og luktintensitet. P.O Fanger introduserte tidlig luktanalyse som et verktøy for å bedømme inneluftkvaliteten (P.O. Fanger & B. Berg-Munch, 1983).

Europeisk standard for luktanalyse, NS-EN13725, beskriver ulike luktanalyseformer og setter krav til utførelse av målinger (Standard Norge, 2003).

Innenfor luktanalyse er det tre typer testpanel; ekspertpanel, trent testpanel og utrent testpanel.

Et ekspertpanel består av minst fire trene paneldeltakere med lang opplæringstid og olfaktometri som profesjon. Panelet har trente neser og er trent opp til å være objektive i sin bedømming av luktintensitet. Ekspertpanelet benyttes i liten grad innen ventilasjonsteknikk i dag fordi det er lite tilgjengelig og dyrt (Sensorisk studiegruppe, 2015).

Et trent testpanel består av fem til tyve paneldeltakere. For å kvalifisere seg til en trent testpaneldeltaker må man bestå en test der man skal plassere en ukjent konsentrasjon av butanol mellom kjente konsentrasjoner. Et trent testpanel ble benyttet i tidlige undersøkelser av luktintensitet og oppfattet luftkvalitet (P. O. Fanger et al., 1988).

Et utrent testpanel består av en tilfeldig og uavhengig samling av deltakere, med en foretrukket størrelse på over tyve personer (ASHRAE, 2017). Et utrent testpanel vil under testen oppgi subjektive evalueringer av oppfattet luftkvalitet og luktintensitet. Et utrent testpanel er enklere å oppdrive ettersom nesten hvem som helst kan delta.

Utrente testpanel er enklest å oppdrive og brukes derfor til et stort antall inn klimaundersøkelser og vurderinger av inneluftkvalitet og luktintensitet i dagens forskning.

### 2.3.2 Atmosfærisk PPD

Andelen misfornøyde (PPD) med det atmosfæriske inneklima avhenger av forurensningen i rommet, det vil i stor grad si rommets CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, og dermed også rommets tilførte luftmengde.

På samme måte som for vurdering av termisk inneklima har P.O Fanger innført en bestemmelsesskala ved bedømmelse av luktintensitet, som kan benyttes ved inneklimaundersøkelser (P. O. Fanger et al., 1986; Stensaas. L., 2008).

Skalaen for luktintensitet er vist i tabell 4.

Tabell 4 – Luktskala

Kilde: (P. O. Fanger et al., 1986; Stensaas. L., 2008)

Skala	Opplevelse av lukt
0	Ingen lukt
1	Svak lukt
2	Moderat lukt
3	Sterk lukt
4	Svært sterk lukt
5	Uutholdelig lukt

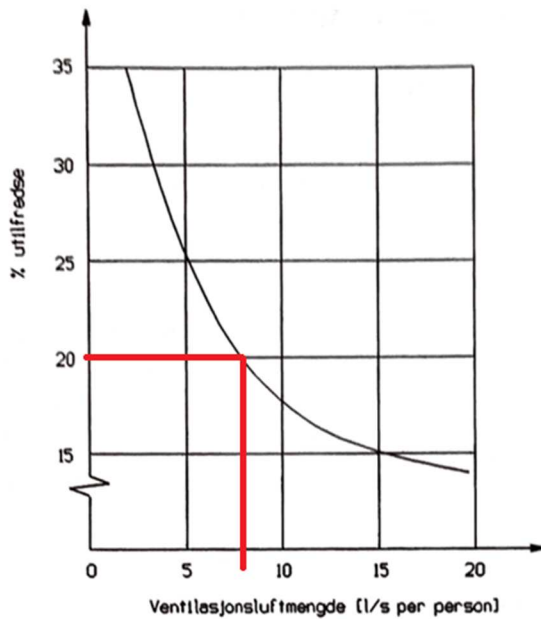
Skalaen viser at grensen for akseptabel luktintensitet ligger på 2 (Moderat lukt).

Personer som besvarer undersøkelsen med verdier på over 2 anses derfor som en del av den misfornøyde andelen med luktintensiteten.

Ettersom vurdering av luktnivå henger tett sammen med CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og tilført luftmengde er det utviklet grafer som viser hvilken forventet PPD som oppstår knyttet til lukt basert på ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og luftmengde.

For ventilasjon vil kravet på 7 l/s per person (nevnt i *kapittel 2.3 - Atmosfærisk inneklima*) tilsvare ca. 20% misfornøyde (PPD). Det samme gjelder for kravet til maksimal innendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (1000 ppm).

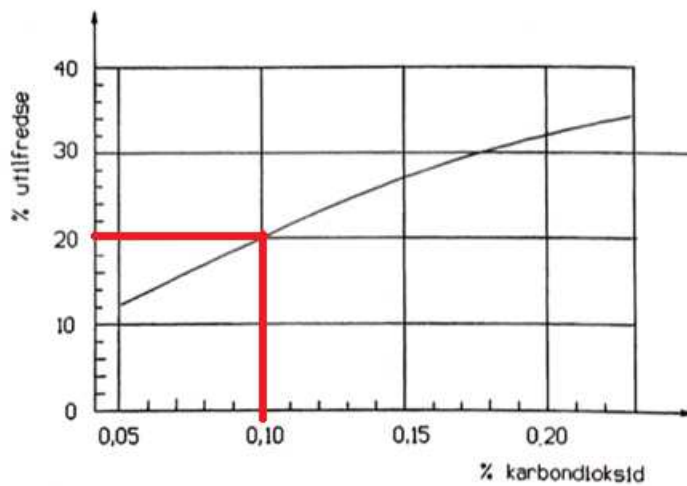
Sammenheng mellom PPD og ventilasjonsluftmengde er vist i figur 2 med avmerking på dagens krav til ventilasjon per person (7 l/s per person).



Figur 2 - PPD og ventilasjonsluftmengde

Kilde: (Stensaas. L., 2008)

Sammenheng mellom PPD og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er vist i figur 3 med avmerking på dagens krav til maksimal CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (1000 ppm).



Figur 3 - PPD og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon

Kilde: (Stensaas. L., 2008)

Figur 2 og 3 kan benyttes til å anslå forventet andel misfornøyde (PPD) dersom ventilasjonsluftmengde eller CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er kjent.

## 2.4 Beregningsmetoder for luftmengdebehov

Det finnes ulike beregningsmetoder for å dimensjonere nødvendig ventilasjonsluftmengde til et rom eller en bygning. I tillegg til at luftmengden skal tilfredsstillende minimumskrav til ventilasjon for personer og materialer i TEK 17, veil. 444 og NS15251 (nevnt i *kapittel 2.3 - Atmosfærisk inneklima*) skal tilført luftmengde sørge for at luften oppleves behagelig og helsefremmende for brukerne.

I kontorer og boliger er det mange ulike forurensningskilder tilstede i meget små konsentrasjoner. Det er usikkert hvordan den sammensatte virkningen av forurensningene er og i lavt emitterende bygninger vil forurensning fra personer være den primære forurensningskilden (S. Ingebrigtsen, 2016).

Forurensning fra personer skyldes fordunstninger og avsondringer fra det menneskelige legemet, omtalt som bioeffluenter. Luftmengdebehovet kan beregnes basert på olf og decipol, eller basert på CO<sub>2</sub>-produksjon (S. Ingebrigtsen, 2016).

Som et alternativ til å måle bioeffluenter fra personer måler man i dag CO<sub>2</sub>. Dette fordi den gjennomsnittlige CO<sub>2</sub>-produksjonen fra mennesker er kjent, som betyr at CO<sub>2</sub>-konsentrasjon kan benyttes for å styre luftmengden i et rom basert på personbelastning. Grunnventilasjon for materialer må da legges til (S. Ingebrigtsen, 2016).

Når CO<sub>2</sub>-produksjonen til menneskene som oppholder seg i rommet er kjent, kan CO<sub>2</sub> benyttes for å styre luftmengden basert på personbelastning.

Produksjon av CO<sub>2</sub> fra mennesker er avhengig av aktivitetsnivå, respirasjonsfaktor, energien kroppen trenger for å holde deg i live (BMR), temperatur og trykk (A. Persily & L. Jonge, 2017).

CO<sub>2</sub>-produksjon avhenger av menneskenes aktivitet og alder/størrelse. Ettersom voksne produserer 20% mer CO<sub>2</sub> enn barn, vil produsert CO<sub>2</sub>-forurensning variere avhengig av alderen på de som oppholder seg i rommet (V. Novakovic et al., 2014).

## 2.5 Styringsstrategier for ventilasjon

Det benyttes i dag tre ulike styringsstrategier for ventilasjon avhengig av type bygning og energiambisjon.

### 2.5.1 Konstant luftmengde (CAV)

Konstant luftmengde (CAV) er den enkleste og rimeligste styringsstrategien. Et CAV-anlegg leverer en konstant luftmengde til hvert rom, som er beregnet etter maksimal



belastning i rommet. Ventilasjonssystemet vil gå til maksimal effekt gjennom hele anleggets driftstid (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

Et CAV-anlegg har høyt energiforbruk, men lav investeringskostnad ettersom systemet ikke har behov for regulerbare komponenter og avanserte automatikkløsninger.

### 2.5.2 Variabel luftmengde (VAV)

Variabel luftmengde (VAV) er en mer avansert styringsstrategi hvor ventilasjonsluftmengden varierer på romnivå. Et VAV-anlegg varierer luftmengden etter forhåndsinnstilte spjeldposisjoner på for eksempel en lav, medium og høy luftmengde (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

### 2.5.3 Behovsstyrt luftmengde (DCV)

Behovsstyrt ventilasjon (DCV) er den mest avanserte og energieffektive styringsstrategien. Et DCV-anlegg tilfører luft til rommet etter et målt momentant behov på romnivå. DCV gir en automatisk reduksjon av inntaksluft når det faktiske behovet i bygget er målt til mindre enn det teoretiske behovet.

Når et rom er belastet med færre personer enn maksimal belastning vil DCV-anlegg automatisk redusere unødvendig ventilasjon med formål om å spare energi. For å måle det momentane behovet for luftmengde i et rom brukes normalt CO<sub>2</sub>- og temperatursensorer, som er innstilt på et fast settpunkt. Når måleparameteren når sitt settpunkt reguleres luftmengden trinnløst fra minimum ( $V_{\min}$ ) til maksimum ( $V_{\max}$ ) luftmengde (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

For denne oppgaven vil DCV være eneste aktuelle styringsstrategi å undersøke nærmere, ettersom hensikten med oppgaven er å kartlegge en mer energieffektiv regulering for DCV-anlegg og grensesnitt mellom  $V_{\min}$  og  $V_{\max}$ .

## 2.6 Styringsstrategier for DCV

I henhold til ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2016b) skal «*Et mekanisk ventilasjonsanlegg designes for å tilføre en minimal mengde uteluft til hvert rom, basert på antall personer i rommet og rommets areal*».

For å oppfylle dette kreves behovsstyring av ventilasjonen (DCV), og med det følger en kontinuerlig tilbakemelding på rommets tilstand. Det er utviklet ulike metoder for tilbakemelding, der styring etter tid, tilstedeværelse, temperatur, CO<sub>2</sub> eller VOC er de vanligste måleparametrene (S. Ingebrigtsen, 2016).

### 2.6.1 Tilstedeværelse- og temperaturstyring

Styring etter tilstedeværelse og temperatur baserer seg på at luftmengden i et rom styres mot dimensjonerende luftmengde når rommet er i bruk. Dette fordi en bevegelsesdetektor registrerer når det oppstår bevegelse i rommet.

Styringen innebærer ofte overventilering av rom som ikke brukes av maksimalt antall personer, og styringen egner seg derfor best for cellekontorer der det er enten ingen eller maksimalt en person tilstede. Fordelen med styringen er at den er enkel, med rimelige sensorer.

Ulempen med styringen er økt energibruk og at det kan oppstå ubehagelig trekk eller for lav temperatur når rommet okkuperes av et mindre antall personer enn det er dimensjonert for. Ulempen kan reduseres ved reduksjon av luftmengden ved lave temperaturer. Ved for høye temperaturer kan styringen gå over til temperaturstyrt luftmengde (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

### 2.6.2 CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring

CO<sub>2</sub>-styrt DCV er betegnelsen for når nødvendig tilført luftmengde i et rom bestemmes av målt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Målt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon blir gjerne brukt for å bestemme antall personer i et rom eller nivået av menneskenes forurensing. (X. Lin et al., 2014).

CO<sub>2</sub>-styrt DCV er en grundig akseptert metode å styre DCV-anlegg på. Styringen er basert på tre antakelser som omhandler ventilasjonsluftmengde per person, CO<sub>2</sub>-produksjon og produksjon av bioeffluenter. Antakelsene har blitt validert for å møte ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2016b; X. Lin et al., 2014).

I klasserom og andre rom med stor variasjon i antall brukere anbefales DCV styrt av både CO<sub>2</sub>- og temperatur. CO<sub>2</sub>-sensoren sikrer at luftmengden øker med antall personer (økt CO<sub>2</sub>-produksjon) og temperatursensorer sikrer et godt termisk inneklima (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

Med CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil DCV-enheten regulere mot grunnluftmengde når både CO<sub>2</sub>- og temperaturnivået i rommet er lavt. Ved stigende CO<sub>2</sub>-konsentrasjon eller temperatur økes luftmengden trinnløst mot maksimal verdi. Den høyeste verdien av CO<sub>2</sub> og temperatur bestemmer styresignalet, basert på forhåndsinnstilte settpunkt.

Det er vanlig å regulere mellom minimum ( $V_{\min}$ ) og maksimum ( $V_{\max}$ ) luftmengde når temperaturen i rommet stiger fra 24-26°C eller når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen stiger fra 600 til 1000 ppm (S. Ingebrigtsen, 2016).

### 2.6.3 Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring

Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil gi en mer presis styring enn tradisjonell en-parameterstyring mot enten CO<sub>2</sub> eller temperatur (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

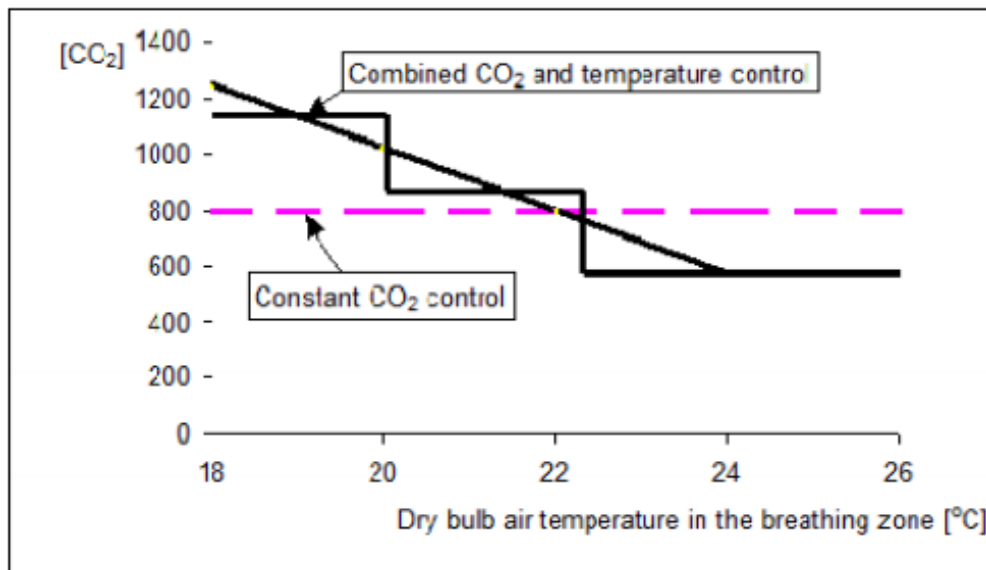
Styringen går ut på en proporsjonal sammenheng mellom CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og temperatur, der CO<sub>2</sub>-settpunktet settes til et høyere nivå ved «lave» romtemperaturer. Det vil si at luftmengden reduseres når temperaturen er relativt sett lav og motsatt.

Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring kan gjøre at man treffer brukernes behov mer presist og med riktigere energibruk.

Bakgrunnen for styringen er at studier har vist at lufttemperatur er den viktigste faktoren for oppfattet luftkvalitet (L. Fang et al., 2004) og at vi er mer følsomme for trekk ved lave temperaturer (Jørn Toftum et al., 1998).

På kalde dager vil overventilering kunne medføre unødvendig lav relativ fuktighet, økt forekomst av trekk og økt energibruk. Risikoen kan minimeres ved bruk av kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring.

Kombinert styring kan gjøres enten lineært/kontinuerlig eller stegvis. Figur 4 viser styringsprinsippet for lineær og stegvis kombinert styring med svarte heltrukne linjer, og tradisjonell konstant CO<sub>2</sub>-styrt DCV med lilla stiplet linje (M. Mysen & P.G. Schild, 2014).



Figur 4 - Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring

Kilde: (M. Mysen & P.G. Schild, 2014)

For at den kombinerte styringen skal fungere må den ikke gå på bekostning av innendørs luftkvalitet, termisk komfort eller helse for brukerne av bygget. Styringen er ikke bredt utbredt, men implementert på Marienlyst skole i Drammen med godt resultat (A. Cablé et al., 2016).

#### 2.6.4 Sensorplassering

Det er viktig at de ulike sensorene plasseres i et representativt målepunkt i rommet. Eksempelvis bør temperatursensor ikke plasseres på yttervegg, i direkte sollys eller ved en varmekilde og CO<sub>2</sub>- og VOC-sensor bør ikke plasseres i nærheten av søppelbøtter. Sensorene bør heller ikke stå i luftstrømmen fra tilluftsventilene, eller tett ved en dør som stadig står åpen for å unngå påvirkning som ikke er representativt for rommets tilstand (S. Ingebrigtsen, 2016; M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

Ideelt sett bør sensorene plasseres likt i alle soner og rom, slik at de målte verdiene er sammenlignbare. Det er også avgjørende at sensorene er kalibrert og representerer korrekt målt momentan verdi, for å oppnå den styringen man ønsker.

Representativt målepunkt varierer fra fortrenging- til omrøringsventilasjon. For fortrengningsventilasjon bør sensorene plasseres i normal pustehøyde, og i klasserom der elevene stor sett sitter vil dette være ca. 1 meter over gulv (S. Ingebrigtsen, 2016; M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

For omrøringsventilasjon er CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen relativt likt i hele rommet og anbefalt plassering er 1,6-1,7 meter over gulv. Dersom temperatursensor plasseres høyt i rommet bør temperatursettpunktet justeres noe opp ettersom varm luft stiger (S. Ingebrigtsen, 2016; M. Mysen & P.G. Schild, 2014).

### 3. Motivasjon og målsetting

Dagens praksis for styring av DCV-anlegg er enten mot et fast CO<sub>2</sub>-settpunkt eller en fast grenseverdi for romtemperatur. Styringen baserer seg på faste settpunkt for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og romtemperatur isolert sett, og tar ikke hensyn til om kombinasjonen av disse kan være avgjørende for opplevelsen av inneklime.

Med tanke på energibruk er ikke dagens styring den beste måten å styre et DCV-anlegg på. Dersom luftmengdene kan reduseres ved lave innetemperaturer uten å gå på bekostning av inneklime, vil vi ha et energisparepotensial. DCV-styringen som kan benyttes for å få dette til er kombinert CO<sub>2</sub> og temperaturstyring.

Målet med oppgaven var derfor å finne ut om romtilstandene som blir en konsekvens av kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil opprettholde et tilfredsstillende inneklime og treffe brukernes behov mer presist.

For å nå målet skal det gjennomføres et praktisk forsøk med testpanel på Fernanda Nissen skole i Oslo. Testpanelet skal vurdere momentant oppfattelse av luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulike CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner og romtemperaturer.

Ved resultater som indikerer en anbefalt styring etter varierende settpunkt vil man skape muligheten for å oppnå en energireduksjon, sett i forhold til å styre etter faste settpunkt for CO<sub>2</sub> og temperatur.

Resultatene fra forsøket vil dermed kunne belyse om en eventuell implementering av kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil gå på bekostning av inneklime eller ikke, og om denne styringen videre vil være å anbefale.

Motivasjonen for oppgaven er å formidle et bedre kunnskapsgrunnlag for hvordan CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og romtemperatur i kombinasjon påvirker oppfattelsen av inneklime.

Motivasjonen ligger også i at oppgavens resultater kan åpne opp for en mer energivennlig anbefalt styringsstrategi for DCV.

## 4. Hypoteser

Basert på målet med oppgaven og tidligere forskning ble det ble satt opp tre hypoteser som skulle testes gjennom en testpanelbasert spørreundersøkelse under det praktiske forsøket på Fernanda Nissen skole.

Det ble satt opp tre alternative hypoteser ( $H_1$ ,  $H_2$ , og  $H_3$ ) som ønskes underbygget gjennom den statistiske analysen av resultatene fra forsøket.

Det ble også satt opp tre nullhypoteser ( $H_{01}$ ,  $H_{02}$ , og  $H_{03}$ ) som ønskes forkastet gjennom den statistiske analysen av resultatene fra forsøket.

$H_1$ : Det er ikke forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulik  $CO_2$ -konsentrasjon, når rommets temperatur er 21-22°C.

$H_{01}$ : Det er forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulik  $CO_2$ -konsentrasjon, når rommets temperatur er 21-22°C.

$H_2$ : Det er forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulik  $CO_2$ -konsentrasjon, når rommets temperatur er 23-24°C.

$H_{02}$ : Det er ikke forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulik  $CO_2$ -konsentrasjon, når rommets temperatur er 23-24°C.

$H_3$ : Temperaturstigning er en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet når  $CO_2$ -konsentrasjonen er konstant.

$H_{03}$ : Temperaturstigning er ikke en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet når  $CO_2$ -konsentrasjonen er konstant.

## 5. Metode

For å underbygge de alternative hypotesene og forkaste nullhypotesene ble det gjennomført et forsøk på Fernanda Nissen skole i Oslo med et utrent testpanel. Testpanelet besvarte hver sin subjektive spørreundersøkelse. Besvarelsene gav grunnlag for kvantitativ statistisk analyse.

For å kvalitetssikre og være flere om feltarbeidet ble forsøket gjort i samarbeid med Martine Borgen Haugland, og hennes masteroppgave. Testpanelet besøkte totalt fire forskjellige klasserom på forsøksdagen, der to av klasserommene ble simulert for bruk i denne oppgaven.

Metode-kapitlet vil beskrive metodene for:

- Utførelse av det praktiske forsøket
- Valg av ventilasjonsstrategi
- Beregning av luftmengder
- Kvantitativ statistisk analyse
- Kvalitative intervjuer

### 5.1 Praktisk forsøk

BEST-VENT-prosjektet har tidligere god erfaring med å gjennomføre praktiske forsøk på Fernanda Nissen skole, og skolen ble derfor valgt som feltlab.

#### 5.1.1 Feltilaben

Fernanda Nissen skole er en ny barne- og ungdomsskole i Oslo, beliggende på Storo i bydel Sagene. Skolen stod ferdig våren 2016 og har et moderne, nytt og velfungerende DCV-anlegg som dermed er godt egnet for gjennomføring av et ventilasjonsteknisk forsøk.

Bygget er 9750 m<sup>2</sup> i L-formasjon, fordelt på tre etasjer og kjeller. På innsiden av L-formasjonen ligger skolegården godt skjermet for et ellers trafikkert område. Klasserommene er 60m<sup>2</sup>, har en takhøyde på 2,8 meter og er dimensjonert for 31 personer.

Skolen har et stort, moderne og ryddig teknisk rom for ventilasjon, og ventileres med totalt 9 ventilasjonsaggregater med en driftstid innstilt fra kl. 06.00-17.00, fem dager i uken.

Figur 5 viser plantegning av Fernanda Nissen skole (LARK Landskap, 2018).



Figur 5 - Plantegning av Fernanda Nissen skole.

Kilde: (LARK Landskap, 2018)

Hvert klasserom er utstyrt med en CO<sub>2</sub>-sensor og en temperatursensor som regulerer spjeldmotorene i VAV-enhetene parallelt via regulator slik at ønsket innstilt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og romtemperatur i rommet opprettholdes. Det største signalet fra temperatur- eller CO<sub>2</sub>-sensor er styrende for reguleringen.

Se vedlegg A.2 for funksjonsbeskrivelse av romregulering for klasserom på Fernanda Nissen skole.

Klasserommene har en forhåndsinnstilt prosjektert luftmengde for V<sub>min</sub> på 440 m<sup>3</sup>/h og for V<sub>max</sub> på 1250 m<sup>3</sup>/h. Temperatursettpunktet er i dag innstilt på 22°C og CO<sub>2</sub>-settpunktet på 500 ppm. Denne styringen medfører at DCV-anlegget stort sett regulerer til V<sub>max</sub> når rommene er i bruk.

### 5.1.2 Forsøksdesign

Det praktiske forsøket gikk ut på at et testpanel ble sendt inn i to forskjellige klasserom med ulik temperatur, i to testrunder med ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Klasserommene skulle være tatt i bruk av elever og det ene klasserommet skulle være oppvarmet på forhånd med ekstra varmekilder.



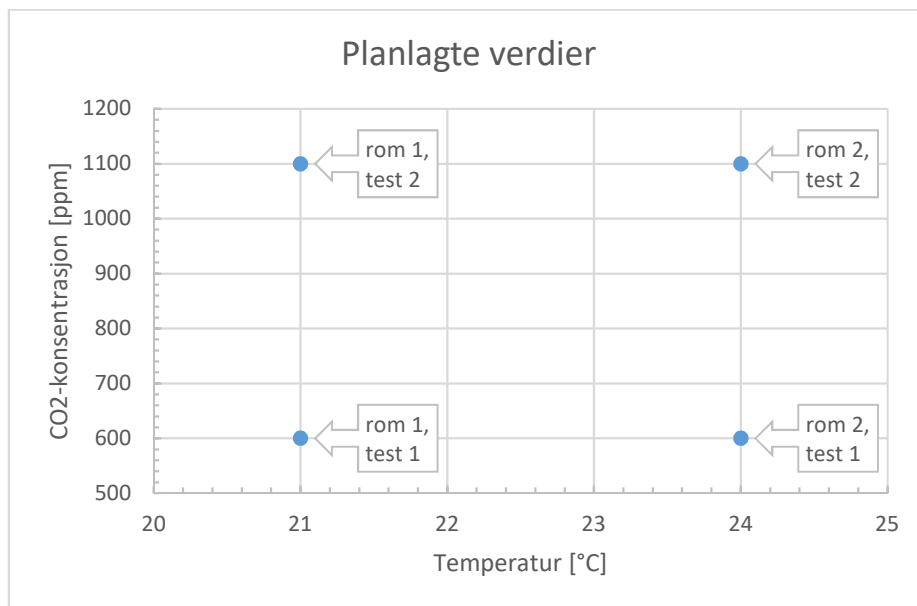
Første testrunde skulle være ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og andre testrunde ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Hver paneldeltaker skulle avgi sin subjektive score på et spørreskjema med inneklimate relaterede spørsmål, beskrevet nærmere i *kapittel 5.1.6 - Spørreskjema*.

Planlagte verdier for romtemperatur og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i de ulike klasserommene er vist i tabell 5.

Tabell 5 - Planlagte verdier for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og romtemperatur

Rom og testrunde	Planlagt romtemperatur [°C]	Planlagt CO <sub>2</sub> -konsentrasjon [ppm]
Rom 1, testrunde 1	21	600
Rom 1, testrunde 2	21	1100
Rom 2, testrunde 1	24	600
Rom 2, testrunde 2	24	1100

En visuell fremstilling av planlagte verdier for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og temperatur ved de ulike testrundene er vist i figur 6.



Figur 6 - Planlagte verdier for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og temperatur

### 5.1.3 Testpanel

Testpanelet ble ikke økonomisk kompensert, og rekrutteringen ble gjort i samarbeid med veileder Mads Mysen, som også underviser i ventilasjonsteknikk for første klasse på masterutdanningen i Energi og miljø i bygg ved OsloMet.

Mysen flyttet sin forelesning til feltlaben på forsøksdagen, og de 16 studentene som møtte opp utgjorde testpanelet for forsøket. Testpanelets aldersspenn var fra 22 til 30 år, og det var tolv menn og fire kvinner som deltok i forsøket.

Forsøksdagen ble i samarbeid med Mysen og assisterende rektor på Fernanda Nissen skole, Normann Øvrebø, satt til onsdag 14. februar 2018.

En uke før forsøksdagen ble det sendt ut et kort informasjonsskriv til testpanelet om hva som skulle foregå på forsøksdagen. Testpanelet ble bedt om å ikke ha på seg parfyme eller røyke i løpet av forsøksdagen. Dette for å unngå påvirkning på deres subjektive oppfattelse av inn klima. Fullstendig informasjonsskriv til testpanelet ligger i vedlegg A.3.

### 5.1.4 Valg av klasserom

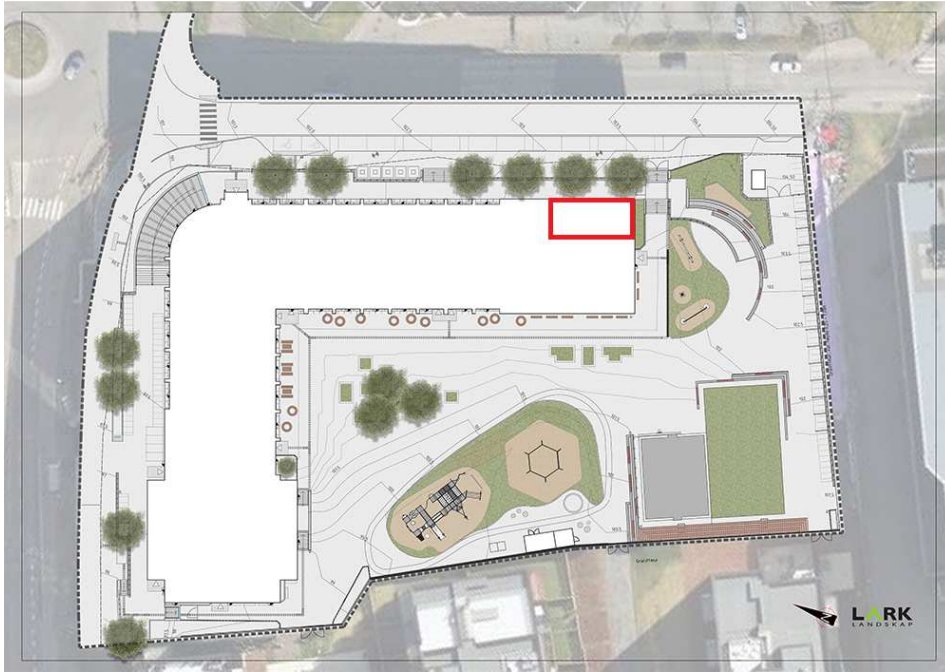
De aktuelle klasserommene ble nøye vurdert og valg ut basert på hva som ble ansett som best egnet for forsøket. Klasserommene ble valgt ut på grunnlag av at forholdene skulle være mest mulig like og helst uten direkte påvirkning fra solen på utsiden. Dette for å sannsynliggjøre at resultatene skulle kunne sammenlignes uten at andre faktorer enn simulert CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og romtemperatur kunne være årsaken til eventuelle forskjeller.

Det var derfor ønskelig at rommene skulle være omtrent like store, i nærheten av hverandre og tatt i bruk av elever med samme alder. Det ble også tatt hensyn til at fasaden ikke skulle vende mot sør for å minimere risiko knyttet til solpåvirkning.

Timeplanen ble grundig evaluert for å finne et passende tidspunkt å gjennomføre forsøket. Det måtte velges et tidspunkt der klassen ikke hadde hatt gym i timen før, hadde kunst og håndverk eller spiste matpakker underveis i testrundene. Dette for å unngå påvirkning fra spesiell lukt.

Basert på ovennevnte kriterier ble klasserom 200.48 tilhørende klasse 8A og 200.50 tilhørende klasse 8B valgt ut som feltlaber.

Klasserommene lå i andre etasje og er markert med rødt på figur 7.



Figur 7 - Avmerking av utvalgte klasserom

Kilde: (LARK Landskap, 2018)

### 5.1.5 Retningslinjer

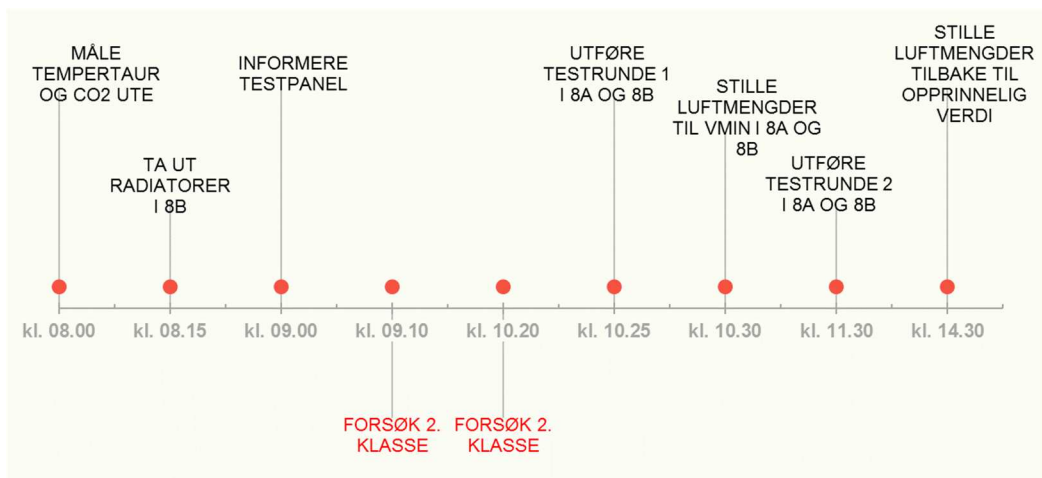
For å ivareta standardiserte metoder innen sensorikk ble det utarbeidet følgende retningslinjer som skulle overholdes underveis i testrundene (Sensorisk studiegruppe, 2015).

1. Testpanelet skulle oppholde seg i klasserommene maksimalt 60 sekunder for å unngå adaptasjon, som er tilvenning av luftkvalitet og lukt.
2. Klasserommene skulle besøkes tidligst 30 minutter etter at skoletimen hadde startet for å sikre stasjonære forhold.
3. Testpanelet skulle spre seg i klasserommet og ikke stå tett opp i andre personer når de besvarte spørreskjema for å unngå luktpåvirkning fra hverandre.
4. Testpanelet skulle ikke kommunisere med hverandre om deres subjektive oppfatning av rommene, for å unngå meningspåvirkning fra hverandre.
5. Rommet testpanelet befant seg i mellom forsøkene skulle være fullt ventilert.
6. Døren til klasserommet og døren inn til grupperom skulle under forsøksdagen holdes lukket for å unngå påvirkning på ønsket CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Det ble derfor hengt opp plakater på dørene dagen i forkant av forsøket, som informerte om at dørene måtte holdes lukket.

### 5.1.6 Forsøksoppsett

Forsøket ble videre planlagt i detalj. Figur 8 viser tidslinjen for hva som skulle skje til hvilken tid under forsøksdagen. Rød skrift indikerer forsøk som ikke er brukt i denne oppgaven, men gjennomført i forbindelse med samarbeidet med Borgen Hauglands masteroppgave.

Dagen før forsøket ble luftmengdene i de aktuelle klasserommene innstilt på  $V_{\max}$  slik at rommene hadde ønsket lav  $\text{CO}_2$ -konsentrasjon i første testrunde. Verdiene for  $V_{\min}$  og  $V_{\max}$  er nærmere beskrevet under *kapittel 5.3 – Luftmengdeberegning*.



Figur 8 - Tidslinje for forsøksoppsett

Kilde: Egenprodusert i Excel

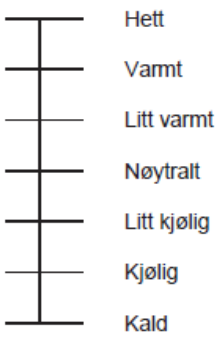
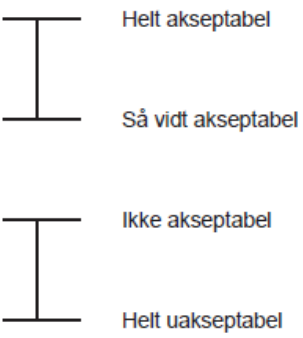
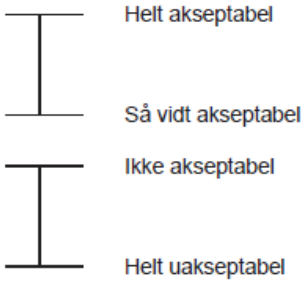
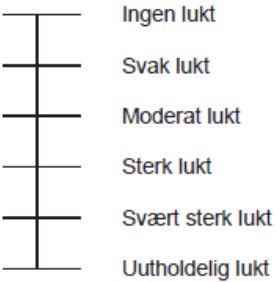
### 5.1.7 Spørreskjema

Det ble brukt et subjektivt spørreskjema for å evaluere inneklimate. På første side stod det informasjon om hvordan testpaneldeltakeren skulle besvare de forskjellige spørsmålene, og på andre side var det noen korte personlige spørsmål om alder, kjønn, om han eller hun var forkjølet og om han eller hun opplevde luktesansen sin som god, normal eller dårlig.

Spørreskjemaet bestod videre av åtte spørreark merket med forskjellige nummer relatert til klasserommene. På hvert spørreark var det fem spørsmål som omhandlet oppfattet luftkvalitet, oppfattet luktintensitet, oppfattet temperatur, opplevelse av temperatur og om personen ønsker at temperaturen skulle være høyere, ingen endring, eller lavere.

Spørsmålene på spørreskjema, og fremstillingen av disse er gjort i henhold til eksempelet beskrevet i NS15251, tillegg H, s.41 (Standard Norge, 2014).

Figur 9 viser spørreskjemaet som ble stilt til hver romtilstand.

<p>Hvor vil du plassere din opplevelse av temperaturen på denne skalaen?</p>  <p>Hvordan oppfatter du temperaturen?</p> 	<p>Hvordan ønsker du temperaturen?</p> <p>a) Høyere b) Ingen endring c) Lavere</p>
<p>Hvordan oppfatter du luftkvaliteten?</p> 	<p>Hvordan oppfatter du luktintensiteten?</p> 

Figur 9- Spørsmål på spørreark

Kilde: (Standard Norge, 2014)

Spørsmålene skulle besvares ved å sette en rett strek på skalaene til hvert spørsmål, og de samme spørsmålene ble gjentatt for hvert rom paneldeltakeren besøkte.

Hver paneldeltaker fikk tildelt en sammenstiftet blokk med komplett antall spørreskjema, påført et unikt ID-nummer, slik at det ikke skulle være mulig å blande besvarelsene i ettertid.

Komplett eksemplar av spørreskjema ligger i vedlegg A.4.

### 5.1.8 Utstysliste

I forbindelse med forsøket ble det brukt en rekke oppvarming- programmering- og måleutstyr for å styre og kontrollere luftmengder, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og romtemperatur til ønskelige verdier under hver testrunde.

Tabell 6 viser utstyrslisten for forsøket.

Tabell 6 - Utstyrsliste

Antall	Beskrivelse	Modell	Dokumentasjon
2	Ribberørsovner	600W	Fra SINTEF lab.
2	Plug-in termostat	Co-Tech 18-1245	Vedlegg A.5
4	Programmeringsverktøy for VAV-enhet	Belimo ZTH EU	Vedlegg A.6
1	Måleinstrument	Rotronic CP11	Vedlegg A.7
1	Skolens SD-anlegg	SIEMENS Desigo CC	-

#### 5.1.8.1 Utstyr til oppvarming

To ribberørsovner a 600W med tilkoblet termostat innstilt på 25°C ble satt inn i klasserommet til 8B etter endt skoledag klokken 16.00 ettermiddagen før forsøket. Ovnene ble fjernet fra klasserommet før skoledagen startet (kl. 08.15) onsdag 14. februar slik at ingen visuelt kunne se at det ene rommet var varmere enn det andre, og for at elevene ikke skulle skade seg på de varme ovnene.

Temperaturvaktens innstilling var basert på testing i forkant, som tilsa at den burde innstilles 1°C over ønsket temperaturverdi for å oppnå ønsket romtemperatur.

Termostat og ribberørsovn er vist i figur 10.



Figur 10 - Termostat og ribberørsovn

#### 5.1.8.2 Utstyr til ventilasjon

For å programmere ønsket luftmengde til klasserommene, ble det koblet et håndholdt programmeringsverktøy, kalt Belimo ZTH (se figur 11), til hvert VAV-spjeld sin servicekontakt. Hvert klasserom hadde to VAV-spjeld, et for tilluft og et for avtrekk.



Figur 11 - Belimo ZTH

ZTH-en ble brukt til å lese av aktuell luftmengde og endre luftmengden i rommet til ønsket nivå. ZTH-ene var festet til VAV-spjeldenes servicekontakt fra dagen før forsøket til forsøkets slutt for at det skulle være enkelt å endre på luftmengden underveis i forsøksdagen.

Endringen ble gjort mellom testrunde 1 og 2, når testpanelet ikke var tilstede, slik at de ikke skulle forstå at luftmengden ble endret til neste testrunde.

For å endre luftmengden ble ZTH-en innstilt med en beregnet verdi for  $V_{\min}$  og en beregnet verdi for  $V_{\max}$ . Videre ble den innstilt til å styre mot enten  $V_{\min}$  eller  $V_{\max}$  i henhold til hvilket besøk som stod for tur.

Tilluft- og avtrekksluftmengde ble innstilt på samme verdi for å oppnå balansert ventilasjon.

Tabell 7 viser luftmengdeinnstillingene for ZTH-ene for hver testrunde.

Tabell 7 - Luftmengdeinnstillinger for ZTH

Testrunde	Luftmengdeinnstilling for tilluft og avtrekks- VAV-enhet*	Styres mot
Klasse 8A-1 Lav temp., lav CO <sub>2</sub>	$V_{\max} = 1177 \text{ m}^3/\text{h}$	$V_{\max}$
Klasse 8A-2 Lav temp., høy CO <sub>2</sub>	$V_{\min} = 336 \text{ m}^3/\text{h}$	$V_{\min}$
Klasse 8B-1 Høy temp., lav CO <sub>2</sub>	$V_{\max} = 1247 \text{ m}^3/\text{h}$	$V_{\max}$
Klasse 8B-1 Høy temp., høy CO <sub>2</sub>	$V_{\min} = 356 \text{ m}^3/\text{h}$	$V_{\min}$

\*Beregning av luftmengder er beskrevet i *kapittel 5.3 – Luftmengdeberegning*.

### 5.1.8.3 Måleutstyr

For å måle momentan romtemperatur, relativ fuktighet og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på tidspunktene testpanelet besøkte klasserommene, ble det benyttet et håndholdt måleinstrument, kalt Rotronic (se figur 12). Målingen ble tatt rett før testpanelet kom inn i rommet slik at deres påvirkning på inneklimateet ikke skulle spille inn på målte verdier.



Figur 12 - Rotronic måleinstrument

Instrumentet var kalibrert 24.02.2017, som overholder det generelle minstekravet om å bruke måleutstyr som er kalibrert for mindre enn et år siden (SINTEF Byggforsk, 2015). Kalibreringsbevis for Rotronic-en ligger i vedlegg A.7.

### 5.1.8.4 SD-anlegget

Skolens SD-anlegg er av typen SIEMENS Desigo CC. SD-anlegget mottar endringer i temperatur og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon gjennom en temperaturgiver og en CO<sub>2</sub>-giver som er plassert på veggen 1,6 meter over gulv i hvert klasserom. Skolens ventilasjonssystem styres normalt av disse givernes målte verdier.

Under forberedelsene til forsøket var det ønskelig å validere CO<sub>2</sub>- og temperaturgiverne sin pålitelighet for å finne ut om de loggede verdiene fra SD-anlegget kunne kontrolleres mot de målte verdiene med Rotronicen.

Det ble derfor utført flere tester i forkant av forsøket i hvert klasserom. CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og temperatur ble målt ved stasjonære forhold med Rotronic, og sammenlignet med SD-anlegget. Stig Håvard Tveitane i KlimaControl AS hjalp oss å sette de aktuelle rommene til logging, slik at målte verdier kunne leses av direkte på PC i teknisk rom på Fernanda Nissen skole.

Resultatene viste at temperaturgiveren på SD-anlegget konsekvent viste 1,5-2°C høyere verdi enn målt verdi i begge klasserommene. Verdien for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på SD-



anlegget viste derimot for lav verdi (200-400 ppm) når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i klasserommene var over 700 ppm. Dette indikerer at SD-anlegget måler feil temperatur og at det sliter med å registrere endringer i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon like raskt som Rotronicen. Det er også en viss mulighet for at sensorene aldri har blitt kalibrert og kommer rett fra fabrikk.

Måleavvikene ble i tillegg kontrollert mot andre Rotronicer og Q-traker, som er et annet instrument for momentan måling av temperatur og CO<sub>2</sub>, for å validere at det var romsensorene som målte feil, og ikke den kalibrerte Rotronicen.

Foreslått krav til maksimalt måleavvik for CO<sub>2</sub>-sensor i området 300 til 1200 ppm er +/- 50 ppm. For temperatursensor i området 0-40°C er maksimalt foreslått måleavvik satt til +/- 0,5°C (Klæboe M.W. & Herrmann T.W, 2011; M. Mysen & P.G. Schild, 2013).

På grunnlag av den avdekkede feilen med for store måleavvik for romsensorene ble loggede verdier for temperatur og CO<sub>2</sub> fra SD-anlegget sett bort fra ved videre analyse, og målte verdier fra den kalibrerte Rotronic-en ble lagt til grunn for forsøket.

#### 5.1.9 Pilotforsøk

To dager før forsøksdagen ble det gjennomført et pilotforsøk der forsøksoppsettet ble gjennomført i sin helhet. Hensikten med pilotforsøket var å avdekke eventuelle svakheter eller utfordringer som kunne dukke opp på forsøksdagen.

Pilotforsøket ble gjort utenom skoletid, uten elever tilstede, og ingen svakheter ble avdekket. Retningslinjene og forsøksoppsettet som er beskrevet i *kapittel 5.1.4 – Retningslinjer*, og *kapittel 5.1.5 – Forsøksoppsett* ble derfor beholdt som de var.

## 5.2 Ventilasjonsstrategi

For å kunne sammenligne klasserommene var det nødvendig å definere hvilke CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner som skulle legges til grunn for testrunde 1 og 2. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene ble valgt utfra ytterpunktene innen CO<sub>2</sub>-styrt DCV.

For testrunde 1 var det ønskelig med så lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon som mulig i klasserommet. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen utendørs i Oslo ligger stort sett et sted mellom 400 og 500 ppm, noe som gjør det umulig å få CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen inne til å bli noe lavere enn dette. Realistisk sett vil CO<sub>2</sub>-konsentrasjon inne alltid være noe høyere enn ute, når rommene er i bruk. Derfor ble 600 ppm valgt som terskelverdi for testrunde 1.

For testrunde 2 var det ønskelig med så høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon som mulig. Det ville vært uetisk å styre CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen mot et mye høyere nivå enn hva forskriftene tillater, når klasserommet skulle benyttes til vanlig undervisning med elever tilstede på forsøksdagen. Dette fikk vi heller ikke tillatelse til av skolen. For å få så stor forskjell som mulig på CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene i testrunde 1 og 2, ble derfor terskelverdien satt til 1100 ppm for testrunde 2. DCV-spjeldene ble låst med ZTH til faste luftmengder for å unngå variasjoner i luftmengdene.

### 5.3 Luftmengdeberegning

For å beregne hvilke luftmengder som ville gi de ønskede CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene på 600 ppm og 1100 ppm, var det først nødvendig å beregne CO<sub>2</sub>-produksjon fra menneskene (elevene og læreren) som skulle oppholde seg i klasserommene under forsøkene.

Menneskenes CO<sub>2</sub>-produksjon ble beregnet med formel 4.1 (A. Persily & L. Jonge, 2017).

$$G_{CO_2} = RQ * BMR * M * \frac{T}{P} * 0,00021 \quad [l/s \text{ per person}] \quad (4.1)$$

Der:

$G_{CO_2}$	=	CO <sub>2</sub> -produksjon fra menneskene	[l/s per person]
$RQ$	=	Respirasjonsfaktor	[ - ]
$BMR$	=	Basal metabolsk rate	[MJ/dag]
$M$	=	Met	[met]
$T$	=	Temperatur	[°K]
$P$	=	Trykk	[kPa]

For å bruke formel 4.1 var det nødvendig å fastsette en rekke verdier:

**RQ:** Respirasjonskvotient: RQ er et dimensjonsfritt tall som definerer forholdet mellom antall mol CO<sub>2</sub> utskilt og antall mol O<sub>2</sub> forbrukt ved respirasjon av et substrat (UiO, 2011). Verdien avhenger av personens diett (A. E. Black et al., 1986). Basert på data for menneskelig ernæring i USA, og forholdet mellom fett, proteiner og karbohydratinntak ble RQ satt til 0,85 (J. D. Wright & C. Y. Wang, 2010).

**BMR:** Basal metabolsk rate definerer energien kroppen bruker for å opprettholde grunnleggende vitale funksjoner i lunger, hjerne, hjerte, fordøyelsessystem etc. Det vil si at BMR er energien kroppen trenger for å holde deg i live (E.Rotevatn, 2010). BMR avhenger av høyde, vekt og alder, og verdien for BMR er hentet fra tabell (A. Persily & L. Jonge, 2017) og ble satt til 7,02 MJ/dag for gutter 13-14 år, 6,03 MJ/dag for jenter 13-14 år, og 7,83 MJ/dag for den mannlige læreren som var mellom 30-40 år.

**Met:** Metabolisme (også kalt stoffskiftet) er energien som utvikles ved oksidasjonsprosessen i menneskekroppen. Energien går i størst grad med til indre varmeproduksjon (S. Ingebrigtsen, 2016).

Tabell 8 viser met-verdier for ulike aktiviteter.

Tabell 8 - Met-verdier for ulike aktiviteter

Kilde: (S. Ingebrigtsen, 2016)

Aktivitet	Varmeproduksjon [W/m <sup>2</sup> ]	Metabolisme [Met]
Liggende	46	0,8
Sittende, avslappet	58	1,0
Stående, avslappet	70	1,2
Sittende, rolig aktivitet	70	1,2
Stående aktivitet (lett arbeid)	93	1,6
Stående aktivitet (middels arbeid)	118	2,0
Middels aktivitet (tungt arbeid)	165	2,8
Elitesportaktivitet	870	15

Met-verdien ble satt til 1 for «sittende, avslappet» aktivitet som ble antatt for å være tilfellet under en skoletime.

**Temperatur, T,** ble satt til 21°C (294K) i beregningen for 8A og 24°C (297K) i beregningen for 8B.

**Trykk, P,** ble satt til 1 standardatmosfære, som tilsvarer 101 kPa.

Videre ble formel 4.2 brukt for å beregne nødvendig luftmengde.

$$\dot{V} = \frac{G_{CO_2} * 10^6}{C_{i,CO_2} - C_{u,CO_2}} * \frac{1}{\varepsilon_v} \quad [l/s \text{ per person}] \quad (4.2)$$

Der:

$\dot{V}$	=	Ventilasjonsluftmengde	[l/s per person]
$G_{CO_2}$	=	CO <sub>2</sub> -produksjon fra menneskene	[l/s]
$C_{i,CO_2}$	=	Krav til CO <sub>2</sub> -konsentrasjon innendørs	[ppm]
$C_{u,CO_2}$	=	CO <sub>2</sub> -konsentrasjon utendørs	[ppm]
$\varepsilon_v$	=	Ventilasjonseffektivitet	[ - ]

For å beregne luftmengde med formel 4.2 var det i tillegg til ønsket CO<sub>2</sub>-konsentrasjon inne og CO<sub>2</sub>-produksjon fra menneskene, nødvendig å definere CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ute, ventilasjonseffektivitet og antall personer som ville oppholde seg i klasserommet.

**CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ute:** Verdien ble basert på målestasjonsverdi for Blindern i Oslo, og satt til 400 ppm.

**Ventilasjonseffektivitet:** Forteller hvor godt rommet ventileres av den tilførte luften, og ble satt til 1, basert på tabell 8.4 i *Ventilasjonsteknikk, del 1* for omrøringsventilasjon (S. Ingebrigtsen, 2016).

**Antall personer:** Ble antatt utfra elevenes klasseliste og timeplan. Elevene i 8A skulle ha delt undervisning på tidspunktene for forsøket. For å kunne forutsi hvor mange elever som kom til å være tilstede på forsøksdagen ble elevene talt opp til samme tidspunkt en uke før forsøket, og dette antallet elever ble lagt til grunn for luftmengdeberegningen. Timeplanen for 8A og 8B ligger i vedlegg A.8.

Basert på formlene 4.1 og 4.2, ble luftmengdene per person multiplisert med antatt antall mennesker som belastet rommet (elever + lærer), og beregnet til verdiene som vist i tabell 9.

For fullstendig CO<sub>2</sub>-produksjon- og luftmengdeberegning se vedlegg A.9.

Tabell 9 - Beregnet luftmengde

Klasse	Ønsket CO <sub>2</sub> -konsentrasjon [ppm]	Luftmengde per person [l/s per person]	Antatt antall personer*	Total luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
Klasse 8A-1 Lav temp., lav CO <sub>2</sub>	600 ppm	17,2	18+1	1177
Klasse 8A-2 Lav temp., høy CO <sub>2</sub>	1100 ppm	4,9	18+1	336
Klasse 8B-1 Høy temp., lav CO <sub>2</sub>	600 ppm	17,3	19+1	1247
Klasse 8B-1 Høy temp., høy CO <sub>2</sub>	1100 ppm	4,9	19+1	356

\*basert på klasseliste og trukket fra 5 personer ved delt undervisning.

Ved beregning av luftmengder ble det ikke lagt til et tillegg for materialventilasjon, som er et krav for korrekt prosjektering av luftmengder. Dette var fordi klasserommene hadde lik størrelse og type materialer, og effekten av materialbelastning ble dermed neglisjerbar for forsøket, der hensikten var å vurdere forskjellen i luftkvalitet, luktintensitet og temperatur i klasserom med ulike CO<sub>2</sub>- og temperaturnivåer. Skolen har også vært i drift i over 2 år og det materialbelastningen anses dermed som avtatt.

#### 5.4 Statistikk

Før statistisk analyse ble det kontrollert at besvarelsene var komplette, noe de var, med unntak av at noen paneldeltakere hadde glemt å fylle ut sin alder. Resultatene fra besvarelsene ble videre registrert i et datasett.

For spørsmål om luftkvalitet, luktintensitet og temperatur, der paneldeltakeren skulle sette svaret som en strek på en skala, ble svarene registrert som kontinuerlige data i Excel. Kontinuerlige data er observasjoner av kontinuerlige variabler; kvantitative variabler der alle tallverdier innenfor et gitt intervall kan brukes for å angi et kjennetegn. (G.G Løvås, 2008). Resultatene ble registrert ved å måle hvor på skalaen testdeltakeren hadde satt sin vurdering.

For spørsmål om paneldeltakeren ønsket høyere, ingen endring eller lavere temperatur ble resultatet behandlet som kategoriske data, fordi disse svarene ikke var naturlig å behandle på en tallskala (G.G Løvås, 2008).

For intern kvalitetssikring ble alle data ble målt to ganger av to forskjellige personer og måleavvik justert deretter.

#### 5.4.1 Konvertering av data

For å gi et bedre sammenligningsgrunnlag med tidligere forskning var det nødvendig å konvertere skalaene for de kontinuerlige dataene.

Konverteringen gav totalt fire likninger.

##### 1. Ligningssett for oppfattet luftkvalitet:

Tidligere forskning på oppfattet luftkvalitet har benyttet en skala fra -1 til +1 for resultatene (S. Tsushima et al., 2018; P. Wargocki, 2004; Pawel Wargocki, 2001). Denne oppgaven har derfor konvertert dataene til tilsvarende skala.

Avstanden fra «så vidt akseptabel» til «helt akseptabel» for oppfattet luftkvalitet var fysisk 4,3 cm på utskriften. Det samme var avstanden fra «ikke akseptabel» til «helt uakseptabel».

Svarene ble registrert med positivt fortegn (fra 0 til +4,3) for svar fra «så vidt akseptabel» til «helt akseptabel» og med negativt fortegn (fra 0 til -4,3) for svar fra «ikke akseptabel» til «helt uakseptabel».

Den kontinuerlige skalaen ble videre konvertert til verdier mellom -1 og +1, der «så vidt akseptabel» ble satt til +0,01 og «helt akseptabel» satt til +1. «Ikke akseptabel» ble satt til -0,01 og «helt uakseptabel» ble satt til -1.

Ligningssettet for oppfattet luftkvalitet er vist i ligningssett 4.3:

$$f(x) = \begin{cases} 0,23x + 0,01, & \text{når } 0 \leq x \leq +4,3 \\ 0,23x - 0,01, & \text{når } -4,3 \leq x \leq 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

##### 2. Ligning for oppfattet luktintensitet

Avstanden fra «ingen lukt» til «uutholdelig lukt» var fysisk 9,3 cm på utskriften. Svarene ble registrert med positivt fortegn (fra 0 til 9,3).

Basert på P.O Fangers luktskala, nevnt i *kapittel 2.3.2 - Atmosfærisk PPD*, ble resultatene konvertert til verdier mellom 0 og +5, der verdien for «ingen lukt» ble satt til 0 og verdien for «uutholdelig lukt» satt til +5 (P. O. Fanger et al., 1986; Stensaas. L., 2008).

Ligningen for oppfattet luktintensitet er vist i ligning 4.4.

$$f(x) = \frac{5x}{9,3} \quad (4.4)$$

### 3. Ligningssett for oppfattet temperatur:

Avstanden fra «så vidt akseptabel» til «helt akseptabel» for oppfattet temperatur var fysisk 4,5 cm på utskriften. Det samme var avstanden fra «ikke akseptabel» til «helt uakseptabel».

Svarene ble registrert med positivt fortegn (fra 0 til +4,5) for svar fra «så vidt akseptabel» til «helt akseptabel» og med negativt fortegn (fra 0 til -4,5) for svar fra «ikke akseptabel» til «helt uakseptabel».

Den kontinuerlige skalaen ble som for oppfattet luftkvalitet videre konvertert til verdier mellom -1 og +1, der «så vidt akseptabel» ble satt til +0,01 og «helt akseptabel» satt til +1. «Ikke akseptabel» ble satt til -0,01 og «helt uakseptabel» ble satt til -1.

Ligningssettet for oppfattet temperatur er vist i ligningssett 4.5.

$$f(x) = \begin{cases} 0,22x + 0,01, & \text{når } 0 \leq x \leq +4,5 \\ 0,22x - 0,01, & \text{når } -4,5 \leq x \leq 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

### 4. Ligning for opplevd temperatur:

Avstanden fra «hett» til «kaldt» var fysisk 9,6 cm på utskriften. Svarene ble registrert med positivt fortegn (fra 0 til 9,6).

Basert på Fangers PMV-indeks (P. O. Fanger, 1972; P. O. Fanger et al., 1974; Stensaas. L., 2008) ble resultatene videre konvertert til verdier mellom -3 og +3, der verdien for «kaldt» ble satt til -3 og verdien for «hett» ble satt til +3

Ligningen for opplevelse av temperatur er vist i ligning 4.6.

$$f(x) = -\frac{6x}{9,6} + 3 \quad (4.6)$$

For fullstendig beregning av de lineære sammenhengene, se vedlegg A.10

Originalt datasett og beregnet konvertert datasett brukt til statistiske analyser er vist i vedlegg A.11.

#### 5.4.2 Valg av statistisk modell

For å sammenligne resultatene fra de forskjellige tilstandene i klasserommene, var det ønskelig å finne en statistisk modell som kunne belyse om det var signifikant forskjell mellom gjennomsnittsverdien i to og to datasett.

De mest pålitelige testresultatene for slike sammenligninger får man ved å bruke den parametriske modellen, paret t-test. For å benytte en paret t-test må hvert observasjonspar være statistisk uavhengig av de andre parene, og de parvise differansene må være tilnærmet normalfordelte (A. P. Field, 2013; G.G Løvås, 2008).

Antakelsen om normalfordeling er mindre viktig hvis man har mer enn 30 observasjoner (G.G Løvås, 2008), noe som er tilfellet i oppgavens forsøk der hvert observasjonspar har totalt  $16 \times 2 = 32$  observasjoner.

Siden utvalget ligger så vidt over 30 ble det allikevel testet om de parvise differansene faktisk var normalfordelt.

Dette ble gjort ved å først beregne den parvise differansen for hver score til hvert spørsmål og hvert rom. Videre ble *Kolmogorov-Smirnov testen* (heretter kalt KS-testen) benyttet for å vurdere normalfordelingen for hvert datasett med parvise differanser.

Resultatene fra KS-testen viste at alle de parvise differansene var signifikante ( $p > 0,05$ ) som vil si at dataene ikke er signifikant forskjellig fra normalfordelingen, og dermed mest sannsynlig er normalfordelte (A. P. Field, 2013).

Resultatene fra KS-testen ligger i vedlegg A.12 og beregning av parvise differanser i vedlegg A.13.

I tillegg til KS-testen ble det validert med Hugo Lewi Hammer, førsteamanuensis i statistikk ved OsloMet, at dataene i henhold til sentralgrenseteoremet mest sannsynlig også var normalfordelt. Sentralgrenseteoremet sier at gjennomsnittet av observasjonene vil være normalfordelt i alle tilfeller der utvalget er stort nok. I samråd med Hugo ble 32 observasjoner definert som «stort nok».



Angående kravet til at hvert observasjonspar må være statistisk uavhengig av de andre parene vil dette være tilfellet, ettersom hver paneldeltaker avga sin subjektive score gjennom alle testrundene.

På bakgrunn av den ovennevnte analysen og vurderingene oppfylder datasettet alle krav til å benytte seg videre av den parametriske modellen: paret t-test. Denne testen ble derfor konsekvent videre brukt for sammenligninger i oppgaven.

#### 5.4.3 Paret t-test i SPSS

Paret t-test ble brukt til statistisk analyse av alle datasettene for luftkvalitet, luktintensitet og temperatur. Dette fordi datasettene som nevnt oppfylte kriteriene for å kunne utføre testen, som var at hvert observasjonspar måtte være statistisk uavhengig av de andre parene, og at de parvise differansene må være tilnærmet normalfordelte.

Parene som ble brukt for sammenligning ved paret t-test var er vist i tabell 10 med henvisning til hvilken hypotese testen hadde som hensikt å underbygge

Tabell 10 – Rom-par for paret t-test relatert til hypoteser

Rom-par	Tilstander	Relatert til hypotese	Relatert til inneklimatefaktor
8A-1 og 8A-2	Lav temperatur, ulik CO <sub>2</sub>	H <sub>1</sub>	Luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort
8B-1 og 8B-2	Høy temperatur, ulik CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort
8A-1 og 8B-1	Lav CO <sub>2</sub> , ulik temperatur	H <sub>3</sub>	Luftkvalitet og luktintensitet
8A-2 og 8B-2	Høy CO <sub>2</sub> , ulik temperatur	H <sub>3</sub>	Luftkvalitet og luktintensitet

De konverterte datasettene ble lagt inn i beregningsprogrammet for statistikk SPSS, hvor paret t-test videre ble utført.

Resultatfilen fra SPSS for paret t-test forteller hvorvidt forskjellene i gjennomsnittverdi var signifikante; det vil si om forskjellene var store nok til å ikke bare være en tilfeldig forskjell (A. P. Field, 2013).

For å validere en eventuell signifikant forskjell var det tre kriterier i t-testene som måtte oppfylles:

### 1. p-verdien, p:

p-verdien skulle være mindre enn 0,05. Det vil si at sannsynligheten for at det vi observerer er en tilfeldig egenskap, heller enn å være en egenskap som gjelder for hele populasjonen, er mindre enn 5% (A. P. Field, 2013).

### 2. t-verdien, t:

t-verdi er gjennomsnittet av forskjellene delt på standardfeilen til forskjellene og frihetsgrader er prøvestørrelse, N, minus 1. Dvs.  $16-1=15$  i dette tilfellet der vi har 16 paneldeltakere. Signifikansnivå er hvor stor prosent man kan akseptere at det man observerer er en tilfeldig egenskap heller enn en tendens (A. P. Field, 2013). Denne ble valgt til 0,05, altså 5%. Tabell for t-verdier ved ulike frihetsgrader og signifikansnivå ligger i vedlegg A.14.

t-verdien i dette forsøket skulle være større enn absoluttverdien av 2,132, som er tabellverdien for t, lest av ved 15 frihetsgrader og 0,05 (2-tailed) signifikansnivå.

### 3. 95% konfidensintervall, CI:

Det 95% konfidensintervallet skulle ikke inneholde 0. Det vil si at konfidensintervallet skulle omfatte enten kun positive eller kun negative tall (A. P. Field, 2013).

#### 5.4.4 Atmosfærisk PPD-analyse

For spørsmål om oppfattet luftkvalitet og luktintensitet ble forventet andel misfornøyde (PPD) lest av for aktuelle romverdier av CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og luftmengde per person iht. figur 2 og 3 beskrevet i *kapittel 2.3.2 – Atmosfærisk PPD* og validert iht. NS15251.

Videre ble faktisk andel misfornøyde (PD) med oppfattet luftkvalitet beregnet med formel 4.7.

$$PD_{PAQ} = \frac{n_{neg}}{N_{total}} \quad [\%] \quad (4.7)$$

Der:

$PD_{PAQ}$	=	Faktisk andel misfornøyde med oppfattet luftkvalitet	[%]
$n_{neg}$	=	Besvarelser fra -0,01 til -1	[antall]
$N_{total}$	=	Totalt antall besvarelser = 16	[antall]

For oppfattet luktintensitet ble faktisk andel misfornøyde beregnet med formel 4.8. Besvarelser med verdi større enn 2 (moderat lukt) ble ansett som misfornøyde med luktintensiteten.

$$PD_{\text{luktintensitet}} = \frac{n_{\text{score}>2}}{N_{\text{total}}} \quad [\%] \quad (4.8)$$

Der:

$PD_{\text{luktintensitet}}$	=	Faktisk andel misfornøyde med luktintensitet	[%]
$n_{\text{score}>2}$	=	Besvarelser med verdi større enn 2	[antall]
$N_{\text{total}}$	=	Totalt antall besvarelser =16	[antall]

#### 5.4.5 Termisk PPD-analyse

Forventet andel misfornøyde (PPD) med termisk inneklime skulle iht. NS-EN ISO 7730 og NS15251 (Standard Norge, 2006, 2014) ligge under 10%. Denne verdien ble lagt til grunn for sammenligning med faktisk andel misfornøyde (PD).

Faktisk andel misfornøyde med oppfattet temperatur ble beregnet på samme måte som for oppfattet luftkvalitet, men med formel 4.9

$$PD_{\text{oppfattet temperatur}} = \frac{n_{\text{neg}}}{N_{\text{total}}} \quad [\%] \quad (4.9)$$

Der:

$PD_{\text{oppfattet temp.}}$	=	Faktisk andel misfornøyde med oppfattet temperatur	[%]
$n_{\text{neg}}$	=	Besvarelser fra -0,01 til -1	[antall]
$N_{\text{total}}$	=	Totale besvarelser =16	[antall]

For å beregne faktisk andel misfornøyde med opplevd temperatur måtte først gjennomsnittlig PMV-votering beregnes ved å legge sammen alle PMV-indeksene og dele på antall besvarelser med formel 4.10.

$$\overline{PMV} = \frac{PMV_1 + PMV_2 + \dots + PMV_n}{n} \quad [\%] \quad (4.10)$$

Der:

$\overline{PMV}$	=	Gjennomsnittlig PMV-votering	[-]
$PMV_n$	=	PMV-votering ved besvarelse n	[-]
$n$	=	Antall besvarelser	[antall]

Videre ble faktisk andel misfornøyde med oppfattet temperatur beregnet med formel 4.11

$$PD_{\text{opplevd temperatur}} = 100 - 95 * e^{-0,03353 * \overline{PMV}^4 - 0,2179 * \overline{PMV}^2} \quad [\%] \quad (4.11)$$

Der:

$PD_{\text{opplevd temperatur}}$	=	Faktisk andel misfornøyde med opplevd temperatur	[%]
$\overline{PMV}$	=	Gjennomsnittlig PMV-votering	[-]

## 5.5 Intervjuer

For å belyse automatikkdelen og få bredere forståelse og kompetanse rundt problemstillinger knyttet til kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring, ble det utført uformelle kvalitative intervjuer med kompetansepersoner innen byggautomasjon underveis i oppgaveprosessen.

Hensikten var å få relevant informasjon og bekrefte/avkrefte usikre momenter.

### 5.5.1 Intervju med automatikkrådgiver i ÅF Norge

Det ble utført et intervju med rådgivende ingeniør Gorm Jensen i ÅF Norge. Gorm har jobbet med elektro og automasjon i over 20 år, hvorav de siste 10 i byggeprosjekter.

Hensikten med intervjuet var å få klarhet i hva som kreves av automatikk for å få til kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring. Det ble også stilt spørsmål knyttet til gjennomførbarhet og utfordringer knyttet til styringen. Referat fra intervjuet ligger i vedlegg A.15.

### 5.5.2 Intervju med systemintegrator i KlimaControl AS

Det ble utført et intervju med systemintegrator Stig Håvard Tveitane i KlimaControl AS. Stig styrer SD-anlegget på Fernanda Nissen skole og har bred kompetanse innen systemforståelse og byggautomasjon.

Hensikten med intervjuet var å få klarhet i hva som kreves av automatikk, og også hva en kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring vil medføre av eventuelt ekstra arbeid for sluttbruker. Referat fra intervjuet ligger i vedlegg A.16.

## 6. Resultat

Resultat-kapitlet presenterer først momentant målte forhold i feltlaben sammenlignet med planlagte verdier for romtemperatur, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, antall personer, luftmengde per person, relativ fuktighet og utendørs forhold.

Videre fremstilles deskriptiv statistikk og statistisk analyse av resultatene for de ulike spørsmålene fra spørreskjema.

### 6.1 Faktiske forhold i feltlaben

På forsøksdagen ble momentant målte verdier for romtemperatur, CO<sub>2</sub>, relativ fuktighet og faktisk antall elever og lærere tilstede notert underveis gjennom testrundene.

Dokumentasjon ligger i vedlegg A.17 og A.18.

#### 6.1.1 Momentan romtemperatur og CO<sub>2</sub>

Tabell 11 viser en sammenstilling av planlagt og momentan målt romtemperatur og CO<sub>2</sub> på forsøksdagen.

Tabell 11 - Planlagt og momentant målt romtemperatur og CO<sub>2</sub>

Testrunde	Planlagt romtemperatur [°C]	Momentant målt romtemperatur [°C]	Planlagt CO <sub>2</sub> -konsentrasjon [ppm]	Momentant målt CO <sub>2</sub> -konsentrasjon [ppm]
8A-1 Lav temperatur Lav CO <sub>2</sub>	21	21,7	600	755
8A-2 Lav temperatur Høy CO <sub>2</sub>	21	22,2	1100	932
8B-1 Høy temperatur Lav CO <sub>2</sub>	24	23,3	600	775
8B-2 Høy temperatur Høy CO <sub>2</sub>	24	23,7	1100	1192

Tabellen viser at planlagte verdier stort sett samsvarte med momentant målte verdier. Den største forskjellen var i det kalde rommet med høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-2), der forskjellen på målt og planlagt temperatur var +1,2°C og målt og planlagt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon var -168 ppm.

### 6.1.2 Antall personer og luftmengde per person

Tabell 12 viser planlagt og faktisk antall personer og luftmengde per person på forsøksdagen.

Tabell 12 - Planlagt og faktisk antall personer og luftmengde per person

Testrunde	Planlagt antall personer (elever + lærer)	Faktisk antall personer (elever + lærer)	Planlagt luftmengde [l/s per person]	Faktisk luftmengde [l/s per person]
8A-1 Lav temperatur Lav CO <sub>2</sub>	18+1	18+2	17,2	16,3
8A-2 Lav temperatur Høy CO <sub>2</sub>	18+1	13+1	4,9	6,7
8B-1 Høy temperatur Lav CO <sub>2</sub>	19+1	18+1	17,3	18,2
8B-2 Høy temperatur Høy CO <sub>2</sub>	19+1	18+1	4,9	5,2

Tabellen viser at planlagte verdier samsvarte godt med målte verdier, med unntak av det kalde rommet med høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-2), der faktisk antall personer var 5 elever færre enn planlagt. Dette samsvarer med avviket i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon.

Fravær av elever påvirker naturligvis også luftmengden per person som i dette rommet fikk den største differansen med 1,8 l/s per person høyere luftmengde enn planlagt.

### 6.1.3 Relativ fuktighet

Relativ fuktighet ble ikke holdt kontrollert under forsøket, men verdien ble momentant målt for å validere at forholdene var akseptable.

Resultatene for relativ fuktighet på forsøksdagen er vist i tabell 13.

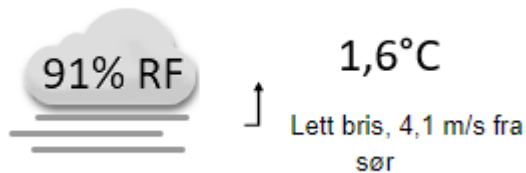
Tabell 13 - Momentant målt relativ fuktighet

Testrunde	Temperatur	CO <sub>2</sub> -konsentrasjon	Relativ fuktighet [%]
8A-1	Lav	Lav	27,9
8A-2	Lav	Høy	28,1
8B-1	Høy	Lav	26,5
8B-2	Høy	Høy	30,5

Momentant målt relativ fuktighet varierte mellom 26,5 og 30,5% i de fire romtilstandene, noe som er små variasjoner og innenfor et akseptabelt område. Ettersom variasjonene var små ble det valgt å se bort fra at entalpi kan ha spilt særlig stor rolle for resultatene.

#### 6.1.4 Utendørs forhold

Utendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, temperatur og relativ fuktighet ble momentant målt utenfor skolen på morgenen med Rotronic til 480ppm, 1,6°C og 91% RF. Til sammenligning var forutsatt utendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (som ble lagt til grunn i luftmengdeberegningen) 400 ppm.



Figur 13 - Utendørs værforhold på Storo 14.02.2018



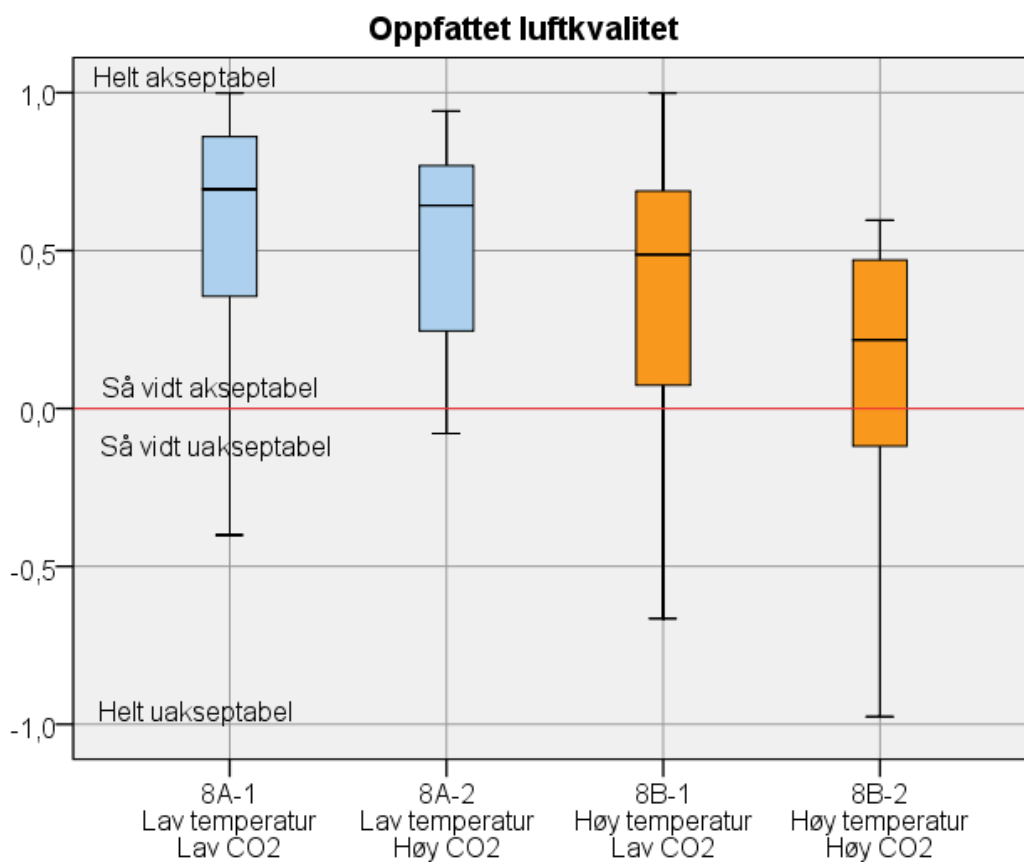
## 6.2 Statistikk

Det var totalt 16 besvarelser fra alle spørsmålene og disse legger grunnlaget for videre fremstilling av deskriptiv statistikk og statistiske analyser.

### 6.2.1 Oppfattet luftkvalitet

#### Deskriptiv statistikk:

Resultatene fra spørsmålet om oppfattet luftkvalitet varierte på en skala fra -1 (helt uakseptabel) til +1 (helt akseptabel). Grenseverdien mellom akseptabel og uakseptabel oppfattet luftkvalitet ligger på 0. Figur 14 viser boksdiagram for oppfattet luftkvalitet, med en rød linje for markering av grenseverdien.



Figur 14 - Boksdiagram for oppfattet luftkvalitet

Den svarte streken i boksene indikerer medianen, og boksdiagrammet viser at forskjellen på median er liten i det kalde rommet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2) og større i det varme rommet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2).

Boksdiagrammet viser at det varme rommet med høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2) har lavest verdi for median og kommer dermed dårligst ut i vurderingen av oppfattet

luftkvalitet. Denne romtilstanden er også den eneste der den fargede boksen som viser de midterste 50% av de totale scorene (variasjonsbredden i kvartiler) krysser uakseptabel grense.

Tabell 14 viser den deskriptive statistikken for oppfattet luftkvalitet som ligger bak boksdiagrammet.

Tabell 14 - Deskriptiv statistikk for oppfattet luftkvalitet

Testrunde	Gj. snitt	SD	Me-dian	Min. score	Maks. score	PPD basert på l/s [%]	PPD basert på CO <sub>2</sub> [%]	Faktisk PD [%]
8A-1 Lav temp. Lav CO <sub>2</sub>	0,582	0,376	0,694	-0,401	0,999	15	16	6,25
8A-2 Lav temp. Høy CO <sub>2</sub>	0,538	0,315	0,643	-0,079	0,942	21	19	6,25
8B-1 Høy temp. Lav CO <sub>2</sub>	0,380	0,426	0,487	-0,666	0,999	14	16	18,75
8B-2 Høy temp. Høy CO <sub>2</sub>	0,128	0,420	0,217	-0,976	0,597	25	24	37,5

Resultatene viser at det var liten variasjon i gjennomsnittverdi og median i det kalde rommet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2) og stor variasjon i gjennomsnittverdi og median i det varme rommet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2).

Dette indikerer at økningen i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon kun ble oppfattet som dårligere når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det varme rommet, noe som betyr at høy temperatur i kombinasjon med økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon påvirker oppfattet luftkvalitet negativt.

Andelen misfornøyde (PD) var lik, og under forventet andel misfornøyde (PPD) ved begge CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene i rommet med lav temperatur. For det varme rommet steg PD med økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og var større enn PPD.

For fullstendig resultatfil av deskriptiv statistikk fra SPSS for oppfattet luftkvalitet, se vedlegg A.19.

#### Statistisk analyse:

Statistisk analyse ble basert på resultatene fra parett-test med parene beskrevet i *kapittel 5.4.3 - Paret t-test i SPSS*.

Tabell 15 viser resultatene fra parett t-test for oppfattet luftkvalitet.

Tabell 15 - Parett t-test for oppfattet luftkvalitet

T-test	Testpar	$\Delta$ gjennomsnitt	95% Konfidensintervall	p-verdi
1. Lav temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8A-1 8A-2	0,043	-0,180, 0,267	0,687
2. Høy temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8B-1 8B-2	0,252	0,090, 0,415	0,005*
3. Lav CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-1 8B-1	0,202	0,011, 0,393	0,040*
4. Høy CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-2 8B-2	0,411	0,207, 0,615	0,001*

\*signifikant med  $p < 0,05$

Resultatet for t-test 1 viser at det ikke var signifikant forskjell ( $p=0,687$ ) i oppfattet luftkvalitet for rommet med lav temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2). Dette indikerer at testpanelet ikke merket forskjell på luftkvaliteten når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det kalde rommet.

I t-test 2, for rommet med høy temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2) er det signifikant forskjell i oppfattet luftkvalitet ( $p=0,005$ ), noe som indikerer at testpanelet oppfattet luftkvaliteten som dårligere når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det varme rommet.

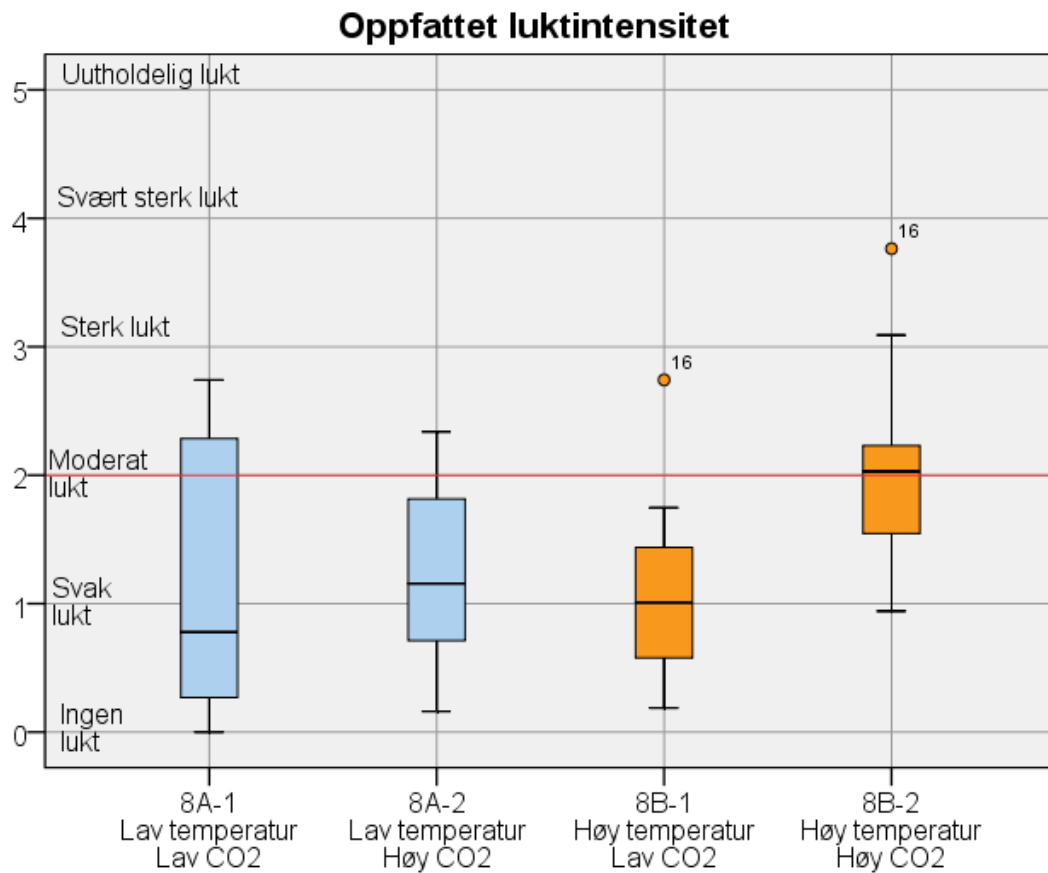
Resultatene viser signifikant forskjell ( $p=0,040$ ) i t-test 3 for lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved ulik temperatur (8A-1 og 8B-1), og signifikant forskjell ( $p=0,001$ ) i t-test 4 for høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved ulik temperatur (8B-1 og 8B-2). Dette indikerer temperaturstigning gir dårligere oppfattet luftkvalitet ved konstante CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner.

For fullstendig resultatfil av parett t-test i SPSS for oppfattet luftkvalitet, se vedlegg A.19.

## 6.2.2 Oppfattet luktintensitet

### Deskriptiv statistikk:

Resultatene fra spørsmålet om oppfattet luktintensitet varierte på en skala fra 0 (ingen lukt) til +5 (uutholdelig lukt). Grenseverdien til uakseptabel luktintensitet ligger på +2 (moderat lukt). Figur 15 viser boksdiagram for oppfattet luktintensitet, med en rød linje for markering av grenseverdien.



Figur 15 - Boksdiagram for oppfattet luktintensitet

Boksdiagrammet viser at rommet med høy temperatur og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2) kommer dårligst ut i vurderingen av oppfattet luktintensitet, og er det eneste rommet der medianen overstiger grenseverdien for akseptabel luktintensitet.

De runde sirklene utenfor boksdiagrammet viser at en person i testpanelet vurderte avvikende observasjoner for sterk lukt i det varme klasserommet (8B-1 og 8B-2).

Tabell 16 viser den deskriptive statistikken for oppfattet luktintensitet som ligger bak boksdiagrammet.

Tabell 16 - Deskriptiv statistikk for oppfattet luktintensitet

Testrunde	Gj. snitt	SD	Median	Min. score	Maks. score	PPD basert på I/s [%]	PPD basert på CO <sub>2</sub> [%]	Faktisk PD [%]
8A-1 Lav temp. Lav CO <sub>2</sub>	1,188	1,063	0,780	0,000	2,742	15	16	25
8A-2 Lav temp. Høy CO <sub>2</sub>	1,186	0,664	1,156	0,161	2,339	21	19	12,5
8B-1 Høy temp. Lav CO <sub>2</sub>	1,048	0,661	1,008	0,188	2,742	14	16	6,25
8B-2 Høy temp. Høy CO <sub>2</sub>	1,983	0,732	2,030	0,941	3,763	25	24	50

Resultatene viser at det var liten variasjon i gjennomsnittverdi og median i det kalde rommet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2) og stor variasjon i gjennomsnittverdi og median i det varme rommet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2).

Det varme rommet med høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2) hadde størst gjennomsnittverdi og median fikk dermed dårligst vurdering.

Andelen misfornøyde (PD) var uforventet stor, og større enn forventet andel misfornøyde (PPD) i rommet med lav temperatur ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1). Det var allikevel desidert størst andel misfornøyde i rommet med høy temperatur ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2), der PD var dobbelt så stor som PPD. Resultatet indikerer at høy temperatur i kombinasjon med økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon påvirker oppfattet luktintensitet negativt.

For fullstendig resultatfil av deskriptiv statistikk fra SPSS for oppfattet luktintensitet, se vedlegg A.20.

#### Statistisk analyse:

Statistisk analyse ble basert på resultatene fra paret t-test med parene beskrevet i *kapittel 5.4.3 - Paret t-test i SPSS*.

Tabell 17 viser resultatene fra paret t-test for oppfattet luktintensitet.

Tabell 17 - Paret t-test for oppfattet luktintensitet

T-test	Testpar	$\Delta$ gjennomsnitt	95% konfidensintervall	p-verdi
1. Lav temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8A-1 8A-2	0,002	-0,633, 0,636	0,996
2. Høy temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8B-1 8B-2	-0,934	-1,240, -0,628	0,000**
3. Lav CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-1 8B-1	0,139	-0,402, 0,681	0,591
4. Høy CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-2 8B-2	-0,796	-1,288, -0,304	0,004*

\*signifikant med  $p < 0,05$  \*\*signifikant med  $p < 0,001$

Resultatet for t-test 1 viser at det ikke var signifikant forskjell ( $p=0,996$ ) i oppfattet luktintensitet i rommet med lav temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2). Dette indikerer at testpanelet ikke merket forskjell på luktintensiteten når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det kalde rommet.

I t-test 2, for rommet med høy temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2) er det signifikant forskjell i oppfattet luktintensitet ( $p=0,000$ ). Dette indikerer at testpanelet oppfattet luktintensiteten som dårligere når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det varme rommet.

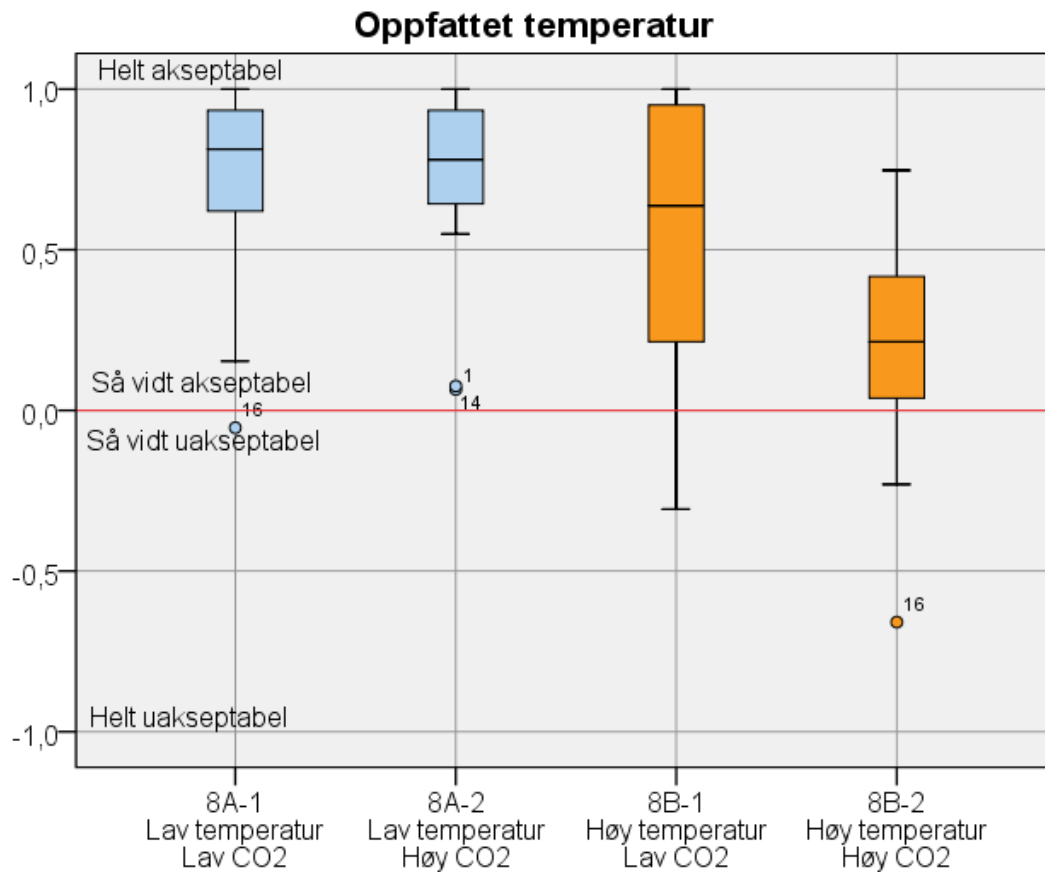
Resultatene viser ikke signifikant forskjell ( $p=0,591$ ) i t-test 3 for lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved ulik temperatur (8A-1 og 8B-1), men signifikant forskjell ( $p=0,004$ ) i t-test 4 for høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved ulik temperatur (8B-1 og 8B-2). Resultatene kan dermed verken avkrefte eller bekrefte at temperaturstigning gir dårligere opplevd luktintensitet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant.

For fullstendig resultatfil av paret t-test i SPSS for oppfattet luktintensitet, se vedlegg A.20.

### 6.2.3 Oppfattet temperatur

#### Deskriptiv statistikk:

Resultatene fra spørsmålet om oppfattet temperatur varierte på en skala fra -1 (helt uakseptabel) til +1 (helt akseptabel). Grenseverdien mellom akseptabel og uakseptabel temperatur ligger på 0. Figur 16 viser boksdiagram for oppfattet temperatur, med en rød linje for markering av grenseverdien.



Figur 16 - Boksdiagram for oppfattet temperatur

Boksdiagrammet viser at romtilstandene har en variasjonsbredde i kvartiler innenfor akseptabel skala for oppfattelse av temperatur. Det varme rommet med høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2) ligger lavest på skalaen og skiller seg tydelig fra det varme rommet med lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1) selv om målt temperatur var tilnærmet lik.

Boksdiagrammet viser også at det var noen avvikende observasjoner for oppfattet temperatur, der respondentene svarer at temperaturen var mindre akseptabel enn majoriteten av testpanelet.

Tabell 18 viser den deskriptive statistikken for oppfattet temperatur som ligger bak boksdiagrammet.

Tabell 18 - Deskriptiv statistikk for oppfattet temperatur

Testrunde	Gj. snitt	SD	Median	Min. score	Maks. score	Beregnet PD [%]
8A-1 Lav temp. Lav CO <sub>2</sub>	0,711	0,312	0,813	-0,054	1,000	6,25
8A-2 Lav temp. Høy CO <sub>2</sub>	0,723	0,291	0,780	0,065	1,000	0
8B-1 Høy temp. Lav CO <sub>2</sub>	0,553	0,440	0,637	-0,307	1,000	12,5
8B-2 Høy temp. Høy CO <sub>2</sub>	0,194	0,355	0,214	-0,659	0,747	25

Resultatene viser at det var liten variasjon i gjennomsnittverdi og median for rommet med lav temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2) og stor variasjon i gjennomsnittverdi og median for rommet med høy temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2).

Det varme rommet med høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2) hadde lavest gjennomsnittverdi og median og kom dermed dårligst ut i vurderingen av oppfattet temperatur.

Andelen misfornøyde (PD) oversteg anbefalingen om at termisk PPD skal ligge under 10% i det varme rommet ved begge CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene (8B-1 og 8B-2).

For fullstendig resultatfil av deskriptiv statistikk fra SPSS for oppfattet temperatur, se vedlegg A.21.

#### **Statistisk analyse:**

Statistisk analyse ble basert på resultatene fra paret t-test med parene beskrevet i *kapittel 5.4.3 - Paret t-test i SPSS*.

Tabell 19 viser resultatene fra paret t-tester for oppfattet temperatur.



Tabell 19 - Paret t-test for oppfattet temperatur

T-test	Testpar	$\Delta$ gjennomsnitt	95% konfidensintervall	p-verdi
1. Lav temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8A-1 8A-2	-0,012	-0,197, 0,174	0,896
2. Høy temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8B-1 8B-2	0,359	0,179, 0,539	0,001*
3. Lav CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-1 8B-1	0,158	-0,027, 0,343	0,088
4. Høy CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-2 8B-2	0,529	0,334, 0,724	0,000**

\*signifikant med  $p < 0,05$  \*\*signifikant med  $p < 0,001$

Resultatet for t-test 1 viser at det ikke var signifikant forskjell ( $p=0,896$ ) for rommet med lav temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2). Dette indikerer at testpanelet ikke merket forskjell på oppfattet temperatur i det kalde rommet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg.

For t-test 2 viser resultatet at det var signifikant forskjell ( $p=0,001$ ) for rommet med høy temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2), noe som indikerer at testpanelet oppfattet temperaturen som mindre akseptabel når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det varme rommet, selv om temperaturen var lik.

Resultatene indikerer at det merkes forskjell på termisk komfort ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i varme rom, men ikke i kalde rom.

For t-test 3 viser resultatet ikke signifikant forskjell ( $p=0,088$ ) på oppfattet temperatur i det kalde og varme rommet ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, selv om temperaturen steg.

Resultatet vil diskuteres videre under diskusjon.

For t-test 4 var oppfattelsen av temperatur forventet signifikant dårligere ( $p=0,000$ ) ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i rommet med høy temperatur enn i rommet med lav temperatur.

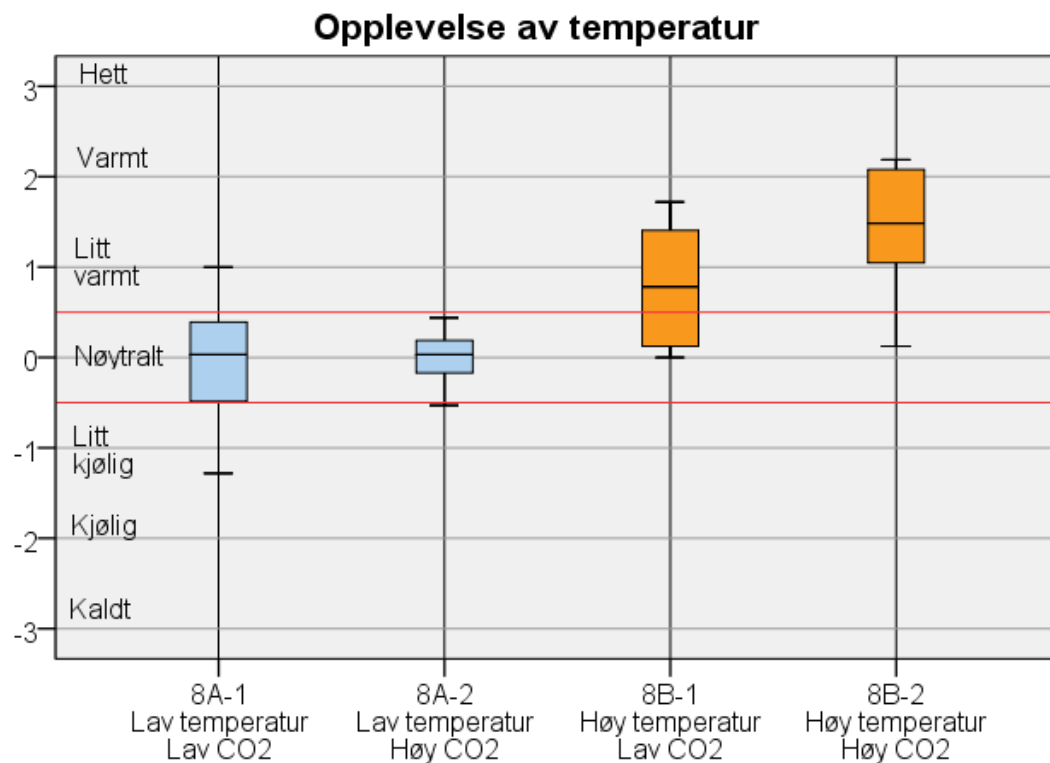
For fullstendig resultatfil av paret t-test i SPSS for oppfattet temperatur, se vedlegg A.21.

## 6.2.4 Opplevelse av temperatur

### Deskriptiv statistikk:

Resultatene fra spørsmålet om opplevd temperatur varierte på en skala fra -3 (kaldt), gjennom 0 (nøytralt) til +3 (hett). Akseptabelt nivå for gjennomsnittlig verdi av oppfattet temperatur (PMV-indeksen) ligger mellom -0,5 og +0,5.

Figur 17 viser boksdiagram for opplevelse av temperatur, med en rød linje for markering av grenseverdiene.



Figur 17 - Boksdiagram for opplevelse av temperatur

Boksdiagrammet viser at det kalde rommet (8A-1 og 8A-2) har en variasjonsbredde i kvartiler innenfor akseptabelt nivå for opplevd temperatur og at det varme rommet har en variasjonsbredde i kvartiler utenfor akseptabelt nivå. Det var også liten forskjell i opplevd temperatur i det kalde rommet, men større forskjell i det varme rommet.

Tabell 20 viser deskriptiv statistikk for opplevelse av temperatur som ligger bak boksdiagrammet.

Tabell 20 - Deskriptiv statistikk for opplevelse av temperatur

Testrunde	Gj. snitt/ PMV	SD	Median	Min. score	Maks. score	Beregnet PD [%]
8A-1 Lav temp. Lav CO <sub>2</sub>	-0,027	0,704	0,031	-1,281	1,000	5
8A-2 Lav temp. Høy CO <sub>2</sub>	-0,016	0,278	0,031	-0,531	0,438	5
8B-1 Høy temp. Lav CO <sub>2</sub>	0,783	0,644	0,781	0,000	1,719	18
8B-2 Høy temp. Høy CO <sub>2</sub>	1,480	0,606	1,484	0,125	2,188	50

For det kalde rommet (8A-1 og 8A-2) er PMV-indeksen for opplevd temperatur innenfor akseptabelt nivå, mens for det varme rommet (8B-1 og 8B-2) er PMV-indeksen oversteget akseptabelt nivå. Beregnet andel misfornøyde overstiger dermed kravet om maksimalt 10% PPD i det varme rommet.

Resultatet for det varme rommet ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-2) viser dårligst opplevd temperatur, ettersom gjennomsnittverdien er lengst unna 0 (nøytralt). Forskjellen fra det samme rommet ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1) er markant selv om temperaturen i de to rommene var tilnærmet lik.

For fullstendig resultatfil av deskriptiv statistikk fra SPSS for opplevelse av temperatur, se vedlegg A.22.

#### Statistisk analyse:

Statistisk analyse ble basert på resultatene fra parett t-test med parene beskrevet i *kapittel 5.4.3 - Paret t-test i SPSS*.

Tabell 21 viser resultatene fra parett t-tester for opplevelse av temperatur.

Tabell 21 - Paret t-test for opplevelse av temperatur

T-test	Testpar	$\Delta$ gjennomsnitt	95% konfidensintervall	p-verdi
1. Lav temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8A-1 8A-2	-0,012	-0,424, 0,401	0,953
2. Høy temperatur Ulik CO <sub>2</sub>	8B-1 8B-2	-0,697	-1,002, -0,393	0,000**
3. Lav CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-1 8B-1	-0,811	-1,223, -0,398	0,001*
4. Høy CO <sub>2</sub> Ulik temperatur	8A-2 8B-2	-1,496	-1,873, -1,120	0,000**

\*signifikant med  $p < 0,05$  \*\*signifikant med  $p < 0,001$

Resultatet for t-test 1 viser ikke signifikant forskjell ( $p=0,953$ ) for opplevd temperatur for rommet med lav temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8A-1 og 8A-2), noe som indikerer at testpanelet ikke merket forskjell på opplevd temperatur i det kalde rommet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg.

For t-test 2 viser resultatet at det var signifikant forskjell ( $p=0,000$ ) for opplevd temperatur i rommet med høy temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (8B-1 og 8B-2). Dette indikerer at testpanelet opplevde temperaturen som mindre akseptabel når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg i det varme rommet, selv om temperaturen var lik.

For t-test 3 og 4 var resultatene signifikant dårligere ( $p=0,001$  og  $p=0,000$ ) i det varme rommet, ved både lav og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon.

For fullstendig resultatfil av paret t-test i SPSS for opplevelse av temperatur, se vedlegg A.22.

### 6.3 Intervjuer

Intervjuer med kompetansepersoner innen fagfeltet byggautomasjon resulterte i bredere kunnskap omkring utfordringene knyttet til implementering og automatikkstyring ved kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring av DCV-anlegg.

Konklusjonen var at styringen er fullt mulig å få til i praksis, men den største utfordringen ligger i å få bransjen til å tenke på en ny måte, i tillegg til at en del systemer med innebygd automatikk må settes opp på en annen måte.

For å få til styringen må det settes opp en kompensert kurve som settpunkt kan hentes fra, noe som er vanlig for utekompensert regulering i varmeanlegg. Utfordringen ligger i at det må settes andre parametere for kurven. I stedet for utetemperatur som kompenserer et temperatursettpunkt i varmeanlegg, må romtemperatur kompensere et CO<sub>2</sub>-settpunkt i ventilasjonsanlegg.

For at løsningen skal bli så energieffektiv som mulig må VAV-spjeldet være modulerende med en fri programmerbar kontroll. Spjeldet kan altså ikke være av den enkleste typen som går fra  $V_{\min}$  til  $V_{\max}$  når settpunktet overskrides.

Det er heller ikke uvanlig at VAV-systemer har en ettergangstid, slik at når settpunkt er overskredet ligger de med økt luftmengde i en gitt tid. Reguleringen av VAV-spjeld må spesifiseres uten ettergangstid slik at man oppnår energisparingen man ønsker.

Det er som for annen DCV-styring nødvendig at romsensorene er kalibrert og montert på et representativt sted i rommet. Etersom styringen er mer komplisert og avhengig av korrekte momentant målte verdier, er dette et avgjørende punkt for å få til den styringen man ønsker, og at styringen blir så dynamisk som man ønsker.

For sluttbruker vil ikke kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring kreve noe mer arbeid, dersom systemet er implementert riktig.

## 7. Diskusjon

Målet med oppgaven var å undersøke om romtilstandene som er en konsekvens av den energibesparende styringsstrategien «kombinert CO<sub>2</sub> og temperaturstyring» vil opprettholde et tilfredsstillende inneklima og treffe brukernes behov mer presist.

Denne oppgaven har derfor undersøkt om CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen kan stige til omkring 1000 ppm når romtemperaturen er lav, uten å gå på bekostning av oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk opplevelse og oppfattelse av inneklima. De testpanelbaserte spørreundersøkelsene som ble utført i forbindelse med oppgaven indikerer at dette er tilfellet.

Opgaven har også undersøkt om temperaturstigning gir dårligere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant. Resultatene viste at dette var tilfellet for oppfattet luftkvalitet, men det kan ikke bekreftes for luktintensitet.

Under feltforsøket ble ikke det kalde og varme klasserommet besøkt under helt like CO<sub>2</sub>-differanser, ettersom planlagte verdier avvek noe fra faktisk momentant målte verdier. Dette kan ha påvirket resultatene, og vil bli diskutert videre.

I de kommende avsnittene vil diskusjonen omhandle hvordan oppgavens resultater kan ses i lys av tidligere forskning og hvilken betydning resultatene fra denne studien vil gi.

### 7.1 Faktiske forhold i feltlaben

Konsekvensen for at planlagte verdier avvek fra målte verdier for CO<sub>2</sub> og temperatur var at CO<sub>2</sub>- og temperdifferansen mellom lav og høy temperatur og lav og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ble mindre enn ønsket. Antallet personer og luftmengden per person i det kalde klasserommet er noe av årsaken til at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen ikke ble like høy som ønsket i testrunde 2. At utendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon var høyere enn antatt påvirket også luftmengdeberegningen som igjen kan ha vært årsaken til avvikene for CO<sub>2</sub>.

Større differanser hadde skapt en sterkere sikkerhet for å trekke konklusjoner ved paret t-test, men forskjellene er allikevel vurdert som gode nok for å kunne gi indikasjoner ved videre analyse. Denne vurderingen vil blir begrunnet nærmere under de ulike romtilstandene.

Dersom variasjonene i relativ fuktighet hadde vært større, og også dermed entalpi-variasjonene, ville det vært interessant å vurdere om dette kunne vært årsaken til noen av resultatene, ettersom tidligere forskning har indikert at entalpi også er en viktig

faktor for oppfattet luftkvalitet (L. Fang et al., 2004). Dette blir ikke vektlagt videre for diskusjon ettersom variasjonene var så små.

## 7.2 Lav temperatur og ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon

### **Oppfattet luftkvalitet og luktintensitet:**

Det var ikke signifikant forskjell på oppfattet luftkvalitet og luktintensitet i rommet med lav temperatur ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Dette indikerer at H<sub>01</sub> som sier at det er forskjell på oppfattet luftkvalitet og luktintensitet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon når temperaturen er 21-22°C kan forkastes.

Ettersom økning i CO<sub>2</sub>-konsentrasjon ikke gjorde noe utslag samsvarer forsøkets resultater med tidligere forskning som har indikert at lufttemperatur er den viktigste faktoren for oppfattet luftkvalitet (L. Fang et al., 2004).

Andelen misfornøyde (PD) ved spørsmålet om oppfattet luftkvalitet var like liten uavhengig av om CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen var lav eller høy, noe som bekrefter indikasjonen. For luktintensitet ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon var derimot PD uforventet høy. Årsaken kan ha vært at noen personer ble utsatt for en momentan ubehagelig luktpåkjening under testrunden, eller at de var usikre på hvordan de skulle besvare luktskalaen ettersom dette var i første testrunde. Ettersom testpanelet var lite (N=16) vil også prosentandelen misfornøyde fort stige dersom få personer krysser av på uakseptabel grense av skalaen.

Resultatene kan ha blitt påvirket av at CO<sub>2</sub>-differansen i testparene var lavere enn planlagt. Dette var utenfor forsøkets kontroll ettersom luftmengdeberegningen ble gjort på forhånd basert på antatt aktivitetsnivå, respirasjonskoeffisient, persontetthet og utendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Man kan spekulere i om en større CO<sub>2</sub>-differanse ville ført til at testpanelet ville merket forskjell ved lav og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon.

Allikevel bekrefter resultatene at en CO<sub>2</sub>-økning på ca. 20% ikke påvirker oppfattet luftkvalitet eller luktintensitet dersom romtemperaturen er lav.

### **Termisk inneklima:**

For spørsmålene om oppfattet og opplevd temperatur var det heller ikke signifikant forskjell ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Dette indikerer at H<sub>01</sub> som sier at det er forskjell på termisk komfort ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon når temperaturen er 21-22°C kan forkastes. Temperaturdifferansen var på 0,5°C og dermed så liten at den ikke anses for å kunne ha påvirket resultatet.

### **Anbefaling:**

På bakgrunn av de ovennevnte analyser og vurderinger anbefales det å styre DCV mot et høyt CO<sub>2</sub>-settpunkt ved lave romtemperaturer uten å gå på bekostning av oppfattet luftkvalitet, luktintensitet eller termisk komfort. Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring ivaretar dette styringsprinsippet og skaper også et energisparingspotensial.

I forsøket lå den høye CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen på 932 ppm, som er under anbefalt grenseverdi i NS15251 og veiledning 444, noe som forsvaret en anbefalt styring etter et tilsvarende høyt CO<sub>2</sub>-settpunkt ved lav romtemperatur.

### 7.3 Høy temperatur og ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon

#### **Oppfattet luftkvalitet og luktintensitet:**

Oppfattet luftkvalitet og luktintensitet var signifikant dårligere ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon enn ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i det varme rommet. Dette indikerer at H<sub>02</sub> som sier at det ikke er forskjell på oppfattet luftkvalitet og luktintensitet ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon når temperaturen er 23-24°C kan forkastes.

Indikasjonen bekreftes videre av at andelen misfornøyde (PD) var liten ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, men økte kraftig når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg. Det var med andre ord kombinasjonen av høy temperatur og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon som skapte en negativ oppfattelse av luftkvalitet og luktintensitet.

#### **Termisk inneklima:**

For spørsmålene om oppfattet og opplevd temperatur viste resultatene også signifikant dårligere resultater ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon enn ved lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Dette indikerer at H<sub>02</sub> som sier at det ikke er forskjell på termisk komfort ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon når temperaturen er 23-24°C kan forkastes. Temperaturdifferansen var på 0,4°C og dermed så liten at den ikke anses for å kunne ha påvirket resultatet.

Andelen misfornøyde med oppfattet og opplevd økte kraftig når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen steg. Ettersom temperaturdifferansen var neglisjerbar under forsøket, betyr det at kombinasjonen av høy temperatur og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon skaper negativ oppfattelse av det termiske inneklima.

Andelen misfornøyde (PD) var 12,5% og dermed litt større enn anbefalt andel på 10%, også for det varme rommet med lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Dette vektlegges ikke nærmere, ettersom det var en liten overskridelse av PPD og majoriteten av testpanelet var menn. Tidligere forskning har vist at kvinner foretrekker en varmere temperatur enn menn (K. Thunshelle, 2016).



**Anbefaling:**

Resultatene tilsier at det er nødvendig å se på CO<sub>2</sub> og temperatur i sammenheng når man skal vurdere inneklime. På bakgrunn av de ovennevnte analyser og vurderinger anbefales det å styre ventilasjonen etter et lavere CO<sub>2</sub>-settpunkt når romtemperaturen er høy for å oppnå tilfredshet med luftkvalitet, luktintensitet og termisk inneklime. Kombinert CO<sub>2</sub> og temperaturstyring ivaretar dette styringsprinsippet.

I forsøket lå den lave CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen på 775 ppm, noe som forsvarer en anbefalt styring etter et tilsvarende CO<sub>2</sub>-settpunkt ved rommets temperatur som var 23,3°C. Det hadde vært interessant å se hvor høyt temperaturen kunne steget ved denne CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen før respondentene ikke opplevde det som akseptabelt lenger, og dermed ved hvilken temperatur CO<sub>2</sub>-settpunktet burde settes enda lavere. For oppgaven vil en lineær sammenheng bli benyttet for å foreslå en styringskurve under *kapittel 7.6 – Anbefalt styringsstrategi*.

#### 7.4 Lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og ulik temperatur

**Oppfattet luftkvalitet og luktintensitet:**

Planlagte temperaturer på 21 og 24°C avvek noe fra målt verdi og klasserommet som skulle holde 21°C var generelt litt for varmt. Konsekvensen ble at den ønskede temperaturdifferansen i klasserommene på 3°C ble redusert til 1,6°C.

Årsaken til at temperaturen i det kalde rommet ble noe høyere enn planlagt kan være at varmepåvirkningen fra de interne lastene hadde større påvirkning enn antatt.

Varmepådrag fra radiatorene var også utenfor oppgavens kontroll, ettersom varmeanlegget var utekompensert og utetemperaturen varierte mye i perioden rundt forsøket.

Tidligere studier har vist at ved å senke lufttemperaturen 2-3 grader, fra 23-24°C til 21°C kan oppfattet luftkvalitet forbedres med en faktor på 2 (Ole Fanger, 2003). Endring i operativ temperatur på 1°C har tidligere blitt påvist samme effekt på termisk komfort som 2,4 decipol endring i oppfattet luftkvalitet (G. Clausen et al., 1993). På bakgrunn av dette vurderes temperaturdifferansen på 1,6°C som stor nok for å kunne indikere om temperaturstigning kan være årsaken til dårligere oppfattet luftkvalitet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant.

Resultatene viste at oppfattet luftkvalitet var signifikant dårligere ved høy temperatur enn ved lav temperatur når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen var lav. Dette indikerer at H<sub>03</sub> som sier

at temperaturstigning ikke er en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant kan forkastes. Indikasjonen forsterkes av at CO<sub>2</sub>-differansen var 15 ppm og dermed så liten at den er neglisjerbar for å ha kunnet påvirke resultatet.

For oppfattet luktintensitet var resultatet til motsetning ikke signifikant. Årsaken kan være den antatte momentane ubehagelige luktpåkjenningen i rommet med lav temperatur og lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (nevnt i *kapittel 7.1 - Lav temperatur, ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon*), men dette kan ikke fastslås. På bakgrunn av resultatet kan ikke H<sub>03</sub> som sier at temperaturstigning ikke er en faktor som gir dårligere oppfattet luktintensitet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant forkastes.

#### **Termisk inneklime:**

Opplevelsen av temperatur var ikke uventet signifikant dårligere i det varme rommet enn i det kalde rommet ved konstant CO<sub>2</sub>-konsentrasjon. Ettersom temperaturen steg var dette naturlig og forventet. Oppfattelsen av temperatur derimot, viste ingen signifikant forskjell mellom høy temperatur og lav temperatur, noe som kan indikere at så lenge luften var ren og lite forurenset ble ikke oppfattelsen av temperatur mer uakseptabel ved temperaturstigning.

Resultatet tilsier at CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og temperatur innvirker på hverandre, også for termisk oppfattelse av inneklime. Det er også verdt å merke seg at den høye romtemperaturen ikke var mer enn 23,3°C, noe som er innenfor anbefalt temperatur veiledning 444 og NS15251. Dersom temperaturen hadde vært høyere ville forskjellen kanskje også vært signifikant for oppfattet temperatur. Dette begrunner at CO<sub>2</sub>-settpunktet lineært bør synke med økt romtemperatur og styring etter varierende settpunkt er å foretrekke.

#### **Anbefaling:**

På bakgrunn av de ovennevnte analyser og vurderinger anbefales å styre DCV mot et lavt CO<sub>2</sub>-settpunkt ved høy romtemperatur. Dette for å minimere risikoen for at høy romtemperatur skal påvirke oppfattet luftkvalitet negativt, og for at oppfattelsen av temperatur ikke skal bli uakseptabel. Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring ivaretar dette styringsprinsippet.

## 7.5 Høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og ulik temperatur

### **Generelt for alle spørsmålene:**

Oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og oppfattet og opplevd temperatur var signifikant dårligere ved høy temperatur enn ved lav temperatur når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen var høy. Men for denne testrunden er det verdt å merke seg at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene i rommene ikke var konstante, som planlagt.

CO<sub>2</sub>-differansen som ideelt sett skulle vært neglisjerbar var 260 ppm høyere i det varme rommet enn det kalde. Dette gjør at det ikke er mulig å fastslå om det er den høye temperaturen eller den høye CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen som var utslagsgivende for resultatene. På bakgrunn av dette kan ikke resultatene indikere en forkastelse av H<sub>03</sub> som sier at temperaturstigning ikke er en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er konstant, som nevnt nettopp fordi CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i denne t-testen ikke var konstant.

### **Anbefaling:**

Uavhengig av om årsaken til de signifikante forskjellene var høy temperatur eller høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, kan det fastslås at romtilstanden ved høy temperatur og høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon kom dårligst ut for alle spørsmålene. Det anbefales derfor å styre DCV mot et lavere CO<sub>2</sub>-settpunkt når romtemperaturen er høy. Kombinert CO<sub>2</sub> og temperaturstyring ivaretar dette styringsprinsippet.

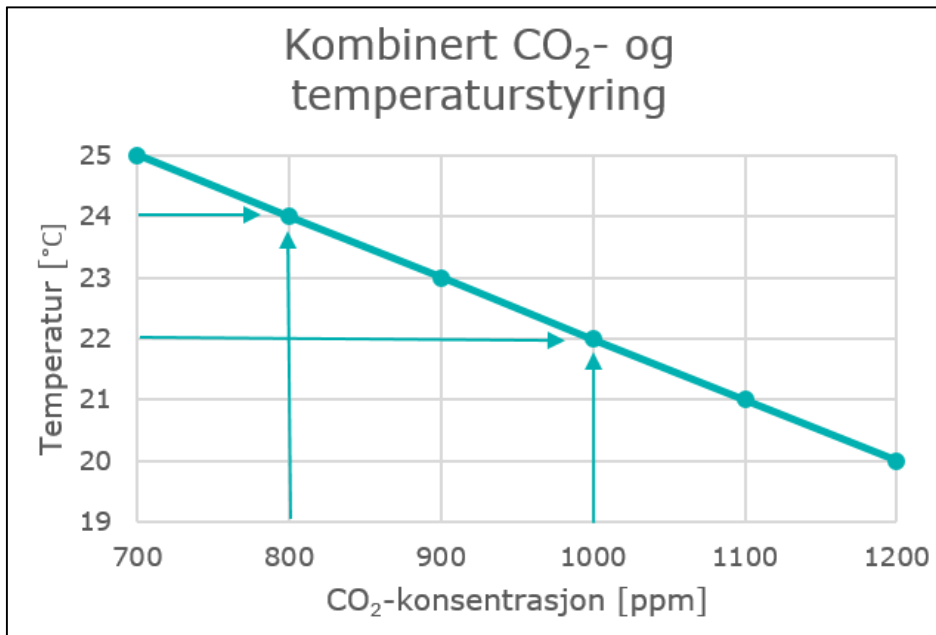
## 7.6 Anbefalt styringsstrategi

Ettersom oppgavens resultater tilsier at romtilstandene som blir en konsekvens av kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring opprettholder en tilfredsstillende momentan oppfattelse av inn klima har det blitt satt opp fire momenter som spesielt må hensyntas og vektlegges for å få til en vellykket implementering av styringen.

### **1. Styringskurve:**

Det må det settes opp en kompensert styringskurve som settpunkt hentes fra, noe som er vanlig for utekompensert regulering i varmeanlegg. utfordringen ligger i at det må settes opp andre parametere for kurven. I stedet for at utetemperatur kompenserer for turtemperatursettpunkt i varmeanlegg, må romtemperatur kompensere for CO<sub>2</sub>-settpunkt i ventilasjonsanlegg.

Forslag til styringskurve for kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring, med settpunkter basert på resultatene fra denne oppgaven er presentert i figur 18.



Figur 18 - Forslag til styringskurve basert på oppgavens resultater

Styringskurven er basert på resultatene fra t-tester ved ca. 22°C og 1000ppm og ca. 24°C og 800 ppm. De andre settpunktene i kurven er proporsjonalt relatert til disse.

## 2. VAV-spjeld:

For å få til styringen må VAV-spjeldet spesifiseres som modulerende med en fri programmerbar kontroller for at løsningen skal bli så energieffektiv som mulig. Spjeldet kan altså ikke være av den enkleste typen som går fra  $V_{\min}$  til  $V_{\max}$  når settpunktet overskrides.

I tillegg må reguleringen av VAV-spjeldene spesifiseres uten ettergangstid, slik at man oppnår energisparingen man ønsker ved at luftmengden reduseres momentant når settpunktet ikke lenger er overskredet.

## 3. Romsensorer:

Ved implementering av styringsprinsippet er det avgjørende at romsensorene er kalibrert og plassert på et representativt sted i rommet. Erfaringen fra forsøket tilsa at kalibrerte sensorer ikke var tilfellet i feltlaben, der det var store variasjoner på sensorenes målinger og håndholdte målinger med kalibrert måleutstyr. Ettersom en vellykket styring er avhengig av korrekte momentant målte verdier er dette et viktig moment for å lykkes.

#### 4. Driftspersonalet

Driftspersonalet ved bygget må informeres og opplæres i korrekt drift av DCV-anlegget. Dersom styringen er stilt inn fornuftig trenger ikke sluttbruker noe mer kompetanse enn ved styring etter faste settpunkt, og han/hun trenger ikke å stille på noe uansett.

#### 7.7 Styrker og svakheter ved forsøket

Styrker og svakheter ved forsøket ble vurdert før, underveis og i etterkant av forsøket.

##### 7.7.1 Feltlaben

Fernanda Nissen skole er et relativt nytt bygg som har vært i drift siden 2016. Emisjon fra nye byggematerialer anses derfor per i dag som avtatt. Feltlaben var to like store klasserom med samme type materialer og plassering. Byggematerialenes eventuelle påvirkning på resultatene ble derfor antatt som like liten for begge klasserommene. Klasserommene var også tatt i bruk av elever på samme alder, noe som skapte et godt sammenligningsgrunnlag for forsøket.

En svakhet ved feltlaben var at romsensorene mest sannsynlig aldri har blitt kalibrert og at skolens SD-anlegg derfor ikke viste reelle verdier for temperatur og CO<sub>2</sub>. Dette gjorde at forsøket var helt avhengig av momentant målte verdier med kalibrert måleutstyr.

##### 7.7.2 Forsøksdesign

En svakhet ved forsøksdesignet var at sammenligningsgrunnlaget ikke ble like godt som planlagt, fordi CO<sub>2</sub>- og temperaturdifferansene ideelt sett skulle vært likere og større enn de faktiske ble.

CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen avvek noe fra planlagt verdi og årsaken er mest sannsynlig at det var færre elever tilstede i spesielt det ene klasserommet, og at utekonsentrasjon for CO<sub>2</sub> ble målt til en høyere verdi på forsøksdagen enn antatt. Disse parametrene påvirket luftmengdeberegningen, som gjorde at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene avvek fra planlagt verdi.

Avvik fra de planlagte CO<sub>2</sub>-verdiene kunne vært unngått dersom persontettheten i klasserommene var kontrollert. Ideelt sett skulle antall elever tilstede vært bestemt og avtalt med skolen på forhånd. Dette var vanskelig å få til i feltlaben ettersom forsøksdagen var en vanlig skoledag og det var lite ønskelig fra skolens side at vi bestemte antall elever i klasserommene. Et kriterium for å få tillatelse til å ha forsøket på skolen var at skoledagen måtte gå som vanlig, noe som inkluderer en varierende persontetthet.

For å få til ønsket høy romtemperatur ble radiatorene testet ut flere dager og netter i forkant av forsøket. Termisk varmelagring i bygget medførte at høy temperatur var oppnåelig å få til. For lav temperatur var det derimot vanskeligere, fordi ventilasjonskjøling ikke var tilgjengelig for overstyring og det samme gjaldt varmeanlegget som i tillegg var utekompensert.

### 7.7.3 Forsøksoppsett

Gjennom forsøksdagen gikk forsøksprosedyren etter planen. Testpanelet fungere, og leverte besvarelser som de skulle. Klasserommets elever og lærere var godt informert på forhånd, og det oppsto ingen utfordringer med dem under testrundene. Retningslinjene for forsøket ble overholdt gjennom alle testrundene og spørreskjema var lett forståelig og godt forklart ettersom alle spørreskjema ble besvart på korrekt måte. Det tekniske utstyret var godt utprøvd, og fungerte som det skulle. Et grundig vurdert og nøye gjennomtenkt forsøksoppsett er årsaken til at forsøket gikk etter planen.

### 7.7.4 Testpanel

Testpanelet var et utrent testpanel som bestod av 16 studenter (4 kvinner og tolv menn) i alderen 22-30 år, noe som er innenfor anbefalt aldersgruppe for sensoriske metoder på 20-55 år (Sensorisk studiegruppe, 2015).

For å kvalitetssikre testpanelets vurderingsevne ville det vært mer ideelt med et trent testpanel, enn et utrent testpanel, men dette var vanskelig å oppdrive ettersom testpanelet ikke ble økonomisk kompensert.

Testpanelet var stort nok for statistisk analyse, men et større utvalg ville sikret oppgavens resultater. Det settes allikevel en begrensning til hvor stort et testpanel kan være i denne typen forsøk, ettersom det ikke er mulig å sette inn et mye større antall personer til å besvare et spørreskjema i klasserom med elever på 60m<sup>2</sup>. Konsekvensen av et for stort testpanel ville vært at paneldeltakerne ville stått for tett opptil hverandre og dermed kunne påvirket hverandres besvarelser på oppfattelsen av inneklime. Til sammenligning har et utrent testpanel en foretrukket størrelse på over tyve personer (ASHRAE, 2017) og dette ville muligens vært en mer ideell størrelse for forsøket.

Angående kjønnsfordeling indikerer tidligere forskning at det ikke er forskjell i hvordan menn og kvinner oppfatter lukt og luktintensitet (P. O. Fanger et al., 1986) men dette ikke er tilfellet for temperatur, der kvinner i større grad er i stand til å skille mellom

temperaturforhold enn menn (K. Thunshelle, 2016). Testpanelet burde derfor representert en lik andel av hvert kjønn.

Å rekruttere det ideelle testpanelet for oppgaven var utfordrende, ettersom testpanelet ikke ble økonomisk kompensert og måtte avse en halv dag til forsøket.

#### 7.7.5 Måleinstrumenter

Av mangel på kalibrerte romsensorer i klasserommene, ble det benyttet et kalibrert måleinstrument for å måle momentane verdier for temperatur, CO<sub>2</sub> og relativ fuktighet. Målingene ble registrert rett før testpanelet gikk inn i klasserommene og målte verdier kan derfor betraktes som reelle og representative.

Selv om utstyret var kalibrert oppstår det allikevel alltid en viss måleusikkerhet. Dette kan skyldes tekniske eller menneskelige feil som påvirker måleresultatet, og for å redusere risikoen burde målingene ha blitt kvalitetssikret med flere målinger av flere personer på samme tid.

Dette var vanskelig å få til i praksis ettersom det ikke var rekruttert noen «målemedhjelper» til forsøket. Sett i ettertid ville dette skapt en større sikkerhet ved målingene og burde ha vært prioritert ettersom målingene gav grunnlag for resultater og analyse i oppgaven.

## 8. Fremtidig forskning og videre arbeid

Det er lite forskning som har tatt for seg kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring og hvilken påvirkning romtemperaturen har i kombinasjon med høye og lave CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i forbindelse med momentan oppfattelse av inneklime. Denne forskningen vil gi økt forståelse for hvordan CO<sub>2</sub> i kombinasjon med temperatur påvirker inneklime, og mer kunnskap om hvordan vi kan redusere energibruken i moderne DCV-anlegg.

Det anbefales å forske videre på området for å øke kompetansen slik at vi kan designe DCV-styring etter det mest energilønnsomme prinsippet, som også ivaretar et akseptabelt inneklime.

### 8.1 Teoretiske anbefalinger

Ved gjentagelse av forsøk anbefales det at utendørs CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er kjent, og persontetthet til elevene i klasserommene er kontrollert, slik at luftmengdeberegningen treffer mer korrekt og skaper de ønskede CO<sub>2</sub>-differansene til forsøket.

Det anbefales videre å sette inn mer ressurser på å simulere ønsket temperaturer, for å skape en større temperaturdifferanse mellom det kalde og varme rommet.

### 8.2 Praktiske anbefalinger

Oppgaven har tatt for seg momentan oppfattelse av inneklime relatert til romtilstander som følge av kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring. Det anbefales å gjennomføre forsøk der testpanelet oppholder seg i rommet over lengre tid og gjennomfører prestasjonstester og spørreundersøkelser relatert til inneklime relaterte helsesyntomer. Dette for å få bedre kunnskap om hvordan mennesker responderer over tid ved kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring.

For undersøkelser med testpanel som oppholder seg i rommene over tid har tidligere forskning indikert at prestasjonsevnen ikke påvirkes negativt ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og lav temperatur, men at den påvirkes negativt ved høy CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og høy temperatur (K. Tham, 2004; K. Tham & H. C. Willem, 2005). Forskningen ble gjort i Singapore med en variasjon i relativ fuktighet på 60-80%, noe som kan ha påvirket resultatene. Etersom tidligere forskning har indikert at relativ fuktighet i tillegg til temperatur har en effekt på oppfattet luftkvalitet (L. Fang et al., 2004; Fang L. et al., 1998) kan dette også være tilfellet for prestasjonstester, og det anbefales derfor å gjøre lignende forsøk der relativ fuktighet er kontrollert, og ikke med de variasjoner som det tropiske klima i Singapore medfører.



Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring bør også implementeres i et representativt bygg, som for eksempel en skole eller kontorbygg der det er mulighet for å måle energibruk før og etter implementering. På denne måten kan man se hvilken effekt styringen vil ha på energibruk.

Det anbefales videre å gjennomføre en lønnsomhetsanalyse for eksempel med nåverdimetoden, der lønnsomheten av å investere i kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring baseres på nåverdien av fremtidige diskonterte kontantstrømmer. For å få til dette må målt energibesparelse, investeringskostnader, levetid og kalkulasjonsrente være kjent for et representativt bygg.

## 9. Konklusjon

- Det er ikke forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon når romtemperaturen er 21-22°C.
- Det er forskjell på oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og termisk komfort ved ulik CO<sub>2</sub>-konsentrasjon når romtemperaturen er 23-24°C.
- Temperaturstigning er en faktor som gir dårligere oppfattet luftkvalitet ved konstant CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, men dette kan ikke bekreftes for luktintensitet.

På bakgrunn av de ovennevnte konklusjonene vil oppgaven basert på momentan oppfattelse av inneklime anbefale DCV-styring etter en proporsjonal sammenheng mellom et høyt CO<sub>2</sub>-settpunkt ved lave temperaturer og et lavt CO<sub>2</sub>-settpunkt ved høye temperaturer.

Kombinert CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring ivaretar dette styringsprinsippet, men det anbefales allikevel å utføre videre arbeid som beskrevet under *kapittel 8 - Fremtidig forskning og videre arbeid* for å validere at styringen også ivaretar et akseptabelt inneklime over tid.

## 10. Referanseliste

- Apte, M. G., Fisk, W. J., & Daisey, M. (2000). Associations Between Indoor CO<sub>2</sub> Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in U.S. Office Buildings: An Analysis of the 1994–1996 BASE Study Data. *Indoor Air*, 10(4), 246-257. doi:10.1034/j.1600-0668.2000.010004246.x
- Arbeidstilsynet. (2016). Veiledning 444 - Klima og Luftkvalitet på arbeidsplassen. In. ASHRAE. (2016a). Standard 55-2013 user's manual : ANSI/ASHRAE standard 55-2013, thermal environmental conditions for human occupancy. In. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2016b). Standard 62.1 - Ventilation for acceptable indoor air quality. In (pp. xii, 161 pages). Atlanta, GA.: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2017). ASHRAE handbook. Fundamentals SI. In (SI ed.). Atlanta, GA.: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- Black, A. E., Prentice, A. M., & Coward, W. A. (1986). Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr*, 40(5), 381-391.
- Byggforsk, SINTEF. (2015). Kalibrering av ventilasjonstekniske instrumenter. Retrieved from <https://www.sintef.no/alle-laboratorier/kalibrering-av-ventilasjonstekniske-instrumenter/>
- Cablé, A., Hammer, H. L., & Mysen, M. (2016). Comparison of Two Ventilation Control Strategies in the First Passive House Standard Norwegian School. *International Journal of Ventilation*, 14(4), 371-382. doi:10.1080/14733315.2016.11684094
- Clausen, G., Carrick, L., Fanger, P. O., Kim, S. W., Poulsen, T., & Rindel, J. H. (1993). A Comparative Study Of Discomfort Caused By Indoor Air Pollution, Thermal Load And Noise. *Indoor Air*, 3(4), 255-262. doi:10.1111/j.1600-0668.1993.00006.x
- E.Rotevatn. (2010). BMR. Retrieved from <http://www.trening.no/kalkulatorer/bmr/>
- Fang, L., Wyon, D. P., Clausen, G., & Fanger, P. O. (2004). Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air*, 14, 74-81. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00276.x
- Fanger, Ole. (2003). Providing indoor air of high quality: challenge and opportunities. *Proceedings of Healthy buildings 2003, Vol. 1*, 1-10.
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York,: McGraw-Hill.
- Fanger, P. O., Berg-Munch, B., & Clausen, G. (1986). *Ventilation requirements for the control of body odor in space occupied by women* (Vol. 12).
- Fanger, P. O., Hojbjerg, J., & Thomsen, J. O. (1974). Thermal comfort conditions in the morning and in the evening. *Int J Biometeorol*, 18(1), 16-22.
- Fanger, P. O., Lauridsen, J., Bluysen, P., & Clausen, G. (1988). Air-Pollution Sources in Offices and Assembly Halls, Quantified by the Olf Unit. *Energy and Buildings*, 12(1), 7-19. doi:Doi 10.1016/0378-7788(88)90052-7
- Fanger, P.O., & Berg-Munch, B. (1983). Ventilation and body odor. *Proceedings of an Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces*, 45-50.
- Field, A. P. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics : and sex and drugs and rock 'n' roll* (4th edition. ed.). Los Angeles: Sage.
- Godish, T. (1994). *Sick buildings: Definition, diagnosis, and mitigation*: CRC Press.
- Ingebrigtsen, S. (2016). *Ventilasjonsteknikk del I og II* (01 ed.). Oslo: Skarland Press AS.

- L., Fang, G., Clausen, & O., Fanger P. (1998). Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. *Indoor Air*, 8(2), 80-90. doi:doi:10.1111/j.1600-0668.1998.t01-2-00003.x
- L., Stensaas. (2008). *Inneklimateknikk*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P., & Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*, 21(5), 376-390. doi:10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x
- Landskap, LARK. (2018). Prosjekter - Offentlig Næring. Retrieved from <http://larklandskap.no/category/offentlig-naering/>
- Leksikon, Store Norsk. (2018). Inneklima. Retrieved from <https://sml.snl.no/inneklima>
- Leksikon, Store Norske. (2017). Partikkelmodellen. Retrieved from <https://snl.no/partikkelmodellen>
- Lin, X., Lau, J., & Yuill, G. K. (2014). *Evaluation on the validity of the assumptions underlying CO 2-based demand-controlled ventilation by a literature review* (Vol. 120).
- Løvås, G.G. (2008). *Statistikk for universiteter og høyskoler* (Vol. 2. utgave). Oslo: Universitetsforlaget AS.
- M.W., Klæboe, & T.W, Herrmann. (2011). *Optimalisering og videreutvikling av behovstilpassede ventilasjonsanlegg med trykkstyring som reguleringsprinsipp*. Aalborg Universitet, Aalborg.
- Markov, Detelin. (2002). *Practical evaluation of the thermal comfort parameters*.
- Maula, H., Hongisto, V., Naatula, V., Haapakangas, A., & Koskela, H. (2017). The effect of low ventilation rate with elevated bioeffluent concentration on work performance, perceived indoor air quality, and health symptoms. *Indoor Air*, 27(6), 1141-1153. doi:10.1111/ina.12387
- Mysen, M., & Schild, P.G. (2013). Behovsstyrt ventilasjon, DCV krav og overlevering. In. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Mysen, M., & Schild, P.G. (2014). Behovsstyrt ventilasjon, DCV-forutsetninger og utforming. In. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Norge, Standard. (2003). NS-EN 13725:2003 Luftundersøkelse - Bestemmelse av luktkonsentrasjon ved dynamisk olfaktometri - (innbefattet rettelsesblad AC:2006). In.
- Norge, Standard. (2006). NS-EN ISO 7730:2005 Ergonomi i termisk miljø. Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinne ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort In.
- Norge, Standard. (2014). NS-EN 15251:2007+NA:2014 Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. In.
- Novakovic, V., Hanssen, S.O, Thue, J.V., Wangwensteen, I., & Gjerstad, F.O. (2014). *Enøk i bygninger, effektiv energibruk* (Vol. 3. utgave, 2. opplag). Oslo: Gyldendal Undervisning.
- Park, J. S., & Yoon, C. H. (2011). The effects of outdoor air supply rate on work performance during 8-h work period. *Indoor Air*, 21(4), 284-290. doi:10.1111/j.1600-0668.2010.00700.x
- Persily, A., & Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5), 868-879. doi:doi:10.1111/ina.12383
- Seppänen, O. A., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2005). Ventilation and performance in office work. *Indoor Air*, 16(1), 28-36. doi:10.1111/j.1600-0668.2005.00394.x
- Seppänen, O. A., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2006). *Effect of temperature on task performance in office environment*.

- Seppänen, O. A., Fisk, W. J., & Mendell, M. J. (2004). Association of Ventilation Rates and CO<sub>2</sub> Concentrations with Health and Other Responses in Commercial and Institutional Buildings. *Indoor Air*, 9(4), 226-252. doi:10.1111/j.1600-0668.1999.00003.x
- studiegruppe, Sensorisk. (2015). *Sensorikk*. Oslo: Kopinor Pensum.
- TEK17. (2017). Byggteknisk Forskrift (TEK 17). In.
- Tham, K. (2004). Effects of temperature and outdoor air supply rate on the performance of call center operators in the tropics. *Indoor Air*, 2004 Aug, Vol.14 (Suppl 7), 119-125. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00280.x
- Tham, K., & Willem, H. C. (2005). *Temperature and ventilation effects on performance and neurobehavioral- related symptoms of tropically acclimatized call center operators near thermal neutrality* (Vol. 111).
- Thunshelle, K. (2016). Oppvarming via tilluft. In. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Toftum, Jørn, Jørgensen, Anette S., & Fanger, P. O. (1998). Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort. *Energy and Buildings*, 28(1), 15-23. doi:10.1016/S0378-7788(97)00018-2
- Tsushima, S., Wargocki, P., & Tanabe, S. (2018). Sensory evaluation and chemical analysis of exhaled and dermally emitted bioeffluents. *Indoor Air*, 28(1), 146-163. doi:10.1111/ina.12424
- UiO. (2011). Respirasjonskvotient. Retrieved from <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/r/respirasjonskvotsient.html>
- Wargocki, P. (2004). Sensory pollution sources in buildings. *Indoor Air*, 14 Suppl 7, 82-91. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00277.x
- Wargocki, P., Wyon, D. P., Sundell, J. A. N., Clausen, G. E. O., & Fanger, P. O. (2000). The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity. *Indoor Air*, 10(4), 222-236. doi:10.1034/j.1600-0668.2000.010004222.x
- Wargocki, Pawel. (2001). Measurements of the Effects of Air Quality on Sensory Perception. *Chemical Senses*, 26(3), 345-348. doi:10.1093/chemse/26.3.345
- Wright, J. D., & Wang, C. Y. (2010). Trends in intake of energy and macronutrients in adults from 1999-2000 through 2007-2008. *NCHS Data Brief*(49), 1-8.

## A. Liste over vedlegg

- A.1 PMV og met tabell
- A.2 Funksjonsbeskrivelse for romregulering av klasserom
- A.3 Informasjonsskriv til testpanelet
- A.4 Komplette spørreskjema
- A.5 Dokumentasjon – plug-in termostat
- A.6 Dokumentasjon – Belimo ZTH
- A.7 Dokumentasjon – Rotronic kalibreringsbevis
- A.8 Timeplan for 8.klasse
- A.9 Luftmengdeberegninger for forsøksdagen
- A.10 Beregning for konvertering av kontinuerlige data
- A.11 Konvertert datasett
- A.12 KS-testen for parvise differanser
- A.13 Inndata for parvise differanser
- A.14 T-verdi tabell
- A.15 Referat - Intervju med Gorm Jensen, ÅF Norge
- A.16 Referat – Intervju med Stig Tveitane, KlimaControl AS
- A.17 Skjema for antall personer
- A.18 Skjema for målt temperatur, CO<sub>2</sub> og relativ fuktighet
- A.19 SPSS – resultatfil for oppfattet luftkvalitet
- A.20 SPSS – resultatfil for oppfattet luktintensitet
- A.21 SPSS – resultatfil for oppfattet temperatur
- A.22 SPSS – resultatfil for opplevelse av temperatur

A.1 PMV og met tabell

Aktivitetsnivå: 70 W/m<sup>2</sup> (1,2 met)

Antrekk		Operativ temperatur °C	Relativ fuktighet m/s								
clo	m <sup>2</sup> ·K/W		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92					
		26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40					
		27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88					
		28	0,15	0,12	-0,14	-0,38					
		29	0,63	0,56	0,35	0,17					
		30	1,10	1,01	0,84	0,69					
		31	1,57	1,47	1,24	1,24					
0,25	0,039	32	2,03	1,93	1,65	1,78					
		23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25			
		24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
		25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21	
		26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,08	-1,86	
		27	0,33	0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09	
		28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54	
0,50	0,078	29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,02	
		30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,85	0,67	0,58	
		18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
		20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,78	-2,04	-2,25	-2,42		
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,38	-1,54	-1,69	-2,17	
		24	-0,17	-0,20	-0,38	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,26	
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
0,75	0,116	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,21	
		30	1,84	1,57	1,51	1,48	1,39	1,33	1,29	1,14	
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,98	
		16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,48			
		18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,58	-1,77	-1,93	-2,05	-2,46	
		20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,38	-1,47	-1,82	
		22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,68	-0,78	-0,87	-1,17	
1,00	0,155	24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51	
		26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14	
		28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80	
		30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	
		16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
		18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
		20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,78	-0,83	-1,07	
1,25	0,194	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
		24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
		26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57	
		28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	
		30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	
		14	-1,12	-1,12	-1,24	-1,34	-1,48	-1,58	-1,66	-1,90	
		16	-0,74	-0,75	-0,88	-0,95	-1,07	-1,18	-1,23	-1,46	
1,50	0,233	18	-0,36	-0,38	-0,48	-0,56	-0,68	-0,74	-0,81	-1,00	
		20	0,02	-0,01	-0,10	-0,16	-0,28	-0,33	-0,38	-0,55	
		22	0,42	0,38	0,31	0,25	0,17	0,11	0,07	-0,08	
		24	0,81	0,77	0,71	0,66	0,60	0,56	0,51	0,39	
		26	1,21	1,18	1,11	1,08	1,03	0,99	0,96	0,87	
		28	1,60	1,56	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41	1,34	
		12	-1,08	-1,08	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	
		14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	
		16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,95	
		18	-0,08	-0,08	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56	
		20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	
		22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	
		24	0,98	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	
		26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,09	

Tabell 2.3 PMV som funksjon av operativ temperatur, bekledding og lufthastighet for aktivitetsnivå 1,2 met



## A.2 Funksjonsbeskrivelse for romregulering av klasserom

### Funksjonsbeskrivelse



<b>Fernanda Nissen skole</b>		<b>System:</b>		<b>Filnavn:</b>	
<b>Romregulering</b>		<b>563.001</b>		<b>563-Erichsen&amp;Horgen- Funksjonsbeskrivelse- Romregulering klasserom.pdf</b>	
Prosjektnr. : <b>11094/11095</b>		Skjema : Se tegningsliste			
Oppr dato :	28.04.2015	Utført. av:	GBI	Kontr.av	JPH
Rev dato:	15.10.15	Utført. av:	BLI	Rev. Nr:	1
Rev dato:	10.11.15	Utført. av:	JPH	Rev. Nr:	2

#### Orientering:

Lokal automatisering: klasserom med VAV og radiatorer.

#### Regulering:

Temperaturføler –RT601 skal være utstyrt med forstillingsmulighet for å kunne forandre settpunkt for romtemp. Med +/- 3 Kelvin (endring av skjult settpunkt skal kunne forandres i romregulator eller fra SD-anlegget).

Romregulator plasseres over himling.

#### Varme behov

##### *Luftmengde*

CO<sub>2</sub>-giver -RY601 regulerer spjeldmotor -KA401 og –KA501 parallelt via regulator –SX601 slik at ønsket / innstilt CO<sub>2</sub> nivå i rommet opprettholdes.

##### *Temperatur*

Radiator aktuatorer –SB4xx styres av romtemperaturgiver -RT601 via regulator –SX601 slik at ønsket innstilt romtemperatur i rommet opprettholdes.

#### Kjøle behov

CO<sub>2</sub>-giver -RY601 regulerer spjeldmotor -KA401 og –KA501 parallelt via regulator –SX601 slik at ønsket innstilt CO<sub>2</sub> nivå i rommet opprettholdes.

Temperaturgiver -RT601 regulerer spjeldmotor -KA401 og –KA501 parallelt via regulator –SX601 slik at ønsket romtemperatur i rommet opprettholdes

Det største signalet fra temperaturgiver –RT601 og CO<sub>2</sub>-giver RY601 er styrende for reguleringen

#### Overvåking (måling/registrering):

Se romregulering skjema V563—001



### A.3 Informasjonsskriv til testpanelet

Kjære medstudent 😊

Vi håper du vil være tilstede som testpanel og delta i undervisningstimene til Mads Mysen i Ventilasjonsteknikk på Fernanda Nissen skole onsdag 14. februar.

Vi setter veldig stor pris på at du er tilstede, ettersom vi skal bruke deg som testpanel i en inneklimaundersøkelse i forbindelse med våre masteroppgaver. Masteroppgavene skrives i samarbeid med SINTEF og BestVent-prosjektet.

På forsøksdagen ønsker vi at du:

- Ikke har på deg parfyme
- Ikke røyker på forsøksdagen

I løpet av dagen skal vi besøke 3 klasserom, to ganger av 30 sekunder. Ved hvert besøk ønsker vi at du svarer på et spørreskjema, som vi skal gå igjennom og forklare nærmere på forsøksdagen.

Tusen takk for at dere vil hjelpe oss med masteroppgaven vår 😊

Hilsen

Marie F. Opsahl og Martine B. Haugland.

## A.4 Komplett spørreskjema

ID-NUMMER: **1**

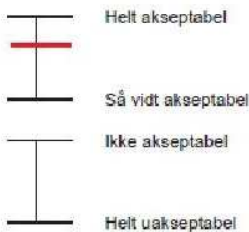
### Informasjon til testpanel:

Hei!

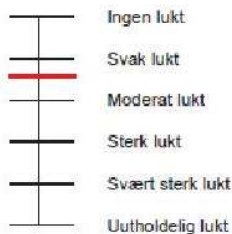
Takk for at du er her i dag og vil hjelpe oss med masteroppgaven vår!

Dagen vil bestå av tre runder med forsøk. For hver runde skal dere gå inn i klasserom og vurdere luftkvalitet, luktintensitet og temperatur. Dette gjør dere ved å sette EN STREK (ikke kryss eller sirkel) på vedlagte skjema. Se eksempel på besvarelse under.

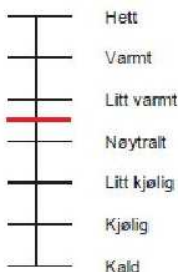
Hvordan oppfatter du luftkvaliteten?



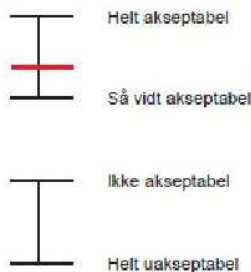
Hvordan oppfatter du luktintensiteten?



Hvor vil du plassere din opplevelse av temperaturen på denne skalaen?



Hvordan oppfatter du temperaturen?



Hvordan ønsker du temperaturen?

- a) Høyere
- b) Ingen endring
- c) Lavere

Når dere går inn i klasserommet er det viktig at:

- Dere gjør en rask vurdering av luftkvalitet, luktintensitet og temperatur – maks 30 sekunder
- Dere sprer dere raskt ut i klasserommet slik at dere ikke står tett inntil en annen person
- Dere må ikke si noe mens dere er inne i klasserommet, og heller ikke si noe om hva dere svarte etterpå for å unngå at dere påvirker hverandre

Til slutt vil vi understreke at det er veldig viktig at du tar vare på blokken din med ditt ID-nummer gjennom hele dagen.

ID-NUMMER: 1

**Spørsmål til paneldeltaker:**

Alder:

Sett kryss:

Kvinne

Mann

Er du forkjølet/tett i nesen?

Ja

Nei

Vil du si at du har:

God luktesans

Normal luktesans

Dårlig luktesans

Romnummer: **20048-1**

ID-nummer: **1**

**Luftkvalitet og luktintensitet:**

Sett en strek for din oppfattelse av luftkvalitet

Helt akseptabel

Så vidt akseptabel

Ikke akseptabel

Helt uakseptabel

Sett en strek for din oppfattelse av luktintensitet

Ingen lukt

Svak lukt

Moderat lukt

Sterk lukt

Svært sterk lukt

Uutholdelig lukt

**Temperatur:**

Sett en strek for din oppfattelse av temperaturen

Helt akseptabel

Så vidt akseptabel

Ikke akseptabel

Helt uakseptabel

Sett en strek for din opplevelse av temperaturen

Hett

Varmt

Litt varmt

Nøytralt

Litt kjølig

Kjølig

Kaldt

Hvordan ønsker du temperaturen?  
(sett ring rundt valgt alternativ)

a) Høyere

b) Ingen endring

c) Lavere

Romnummer: **20050-1**

ID-nummer: **1**

**Luftkvalitet og luktintensitet:**

Sett en strek for din oppfattelse av luftkvalitet

Helt akseptabel

Så vidt akseptabel

Ikke akseptabel

Helt uakseptabel

Sett en strek for din oppfattelse av luktintensitet

Ingen lukt

Svak lukt

Moderat lukt

Sterk lukt

Svært sterk lukt

Uutholdelig lukt

**Temperatur:**

Sett en strek for din oppfattelse av temperaturen

Helt akseptabel

Så vidt akseptabel

Ikke akseptabel

Helt uakseptabel

Sett en strek for din opplevelse av temperaturen

Hett

Varmt

Litt varmt

Nøytralt

Litt kjølig

Kjølig

Kaldt

Hvordan ønsker du temperaturen?  
(sett ring rundt valgt alternativ)

a) Høyere

b) Ingen endring

c) Lavere

Romnummer: **20048-2**

ID-nummer: **1**

**Luftkvalitet og luktintensitet:**

Sett en strek for din oppfattelse av luftkvalitet

A vertical scale with a central vertical line and horizontal tick marks at the top, bottom, and two intermediate points. The labels are: Helt akseptabel (top), Så vidt akseptabel (second from top), Ikke akseptabel (third from top), and Helt uakseptabel (bottom).

Sett en strek for din oppfattelse av luktintensitet

A vertical scale with a central vertical line and horizontal tick marks at the top, bottom, and four intermediate points. The labels are: Ingen lukt (top), Svak lukt (second from top), Moderat lukt (third from top), Sterk lukt (fourth from top), Svært sterk lukt (fifth from top), and Uutholdelig lukt (bottom).

**Temperatur:**

Sett en strek for din oppfattelse av temperaturen

A vertical scale with a central vertical line and horizontal tick marks at the top, bottom, and two intermediate points. The labels are: Helt akseptabel (top), Så vidt akseptabel (second from top), Ikke akseptabel (third from top), and Helt uakseptabel (bottom).

Sett en strek for din opplevelse av temperaturen

A vertical scale with a central vertical line and horizontal tick marks at the top, bottom, and four intermediate points. The labels are: Hett (top), Varmt (second from top), Litt varmt (third from top), Nøytralt (fourth from top), Litt kjølig (fifth from top), Kjølig (sixth from top), and Kaldt (bottom).

Hvordan ønsker du temperaturen?  
(sett ring rundt valgt alternativ)

a) Høyere  
b) Ingen endring  
c) Lavere

Romnummer: **20050-2**

ID-nummer: **1**

**Luftkvalitet og luktintensitet:**

Sett en strek for din oppfattelse av luftkvalitet

Helt akseptabel

Så vidt akseptabel

Ikke akseptabel

Helt uakseptabel

Sett en strek for din oppfattelse av luktintensitet

Ingen lukt

Svak lukt

Moderat lukt

Sterk lukt

Svært sterk lukt

Uutholdelig lukt

**Temperatur:**

Sett en strek for din oppfattelse av temperaturen

Helt akseptabel

Så vidt akseptabel

Ikke akseptabel

Helt uakseptabel

Sett en strek for din opplevelse av temperaturen

Hett

Varmt

Litt varmt

Nøytralt

Litt kjølig

Kjølig

Kaldt

Hvordan ønsker du temperaturen?  
(sett ring rundt valgt alternativ)

a) Høyere

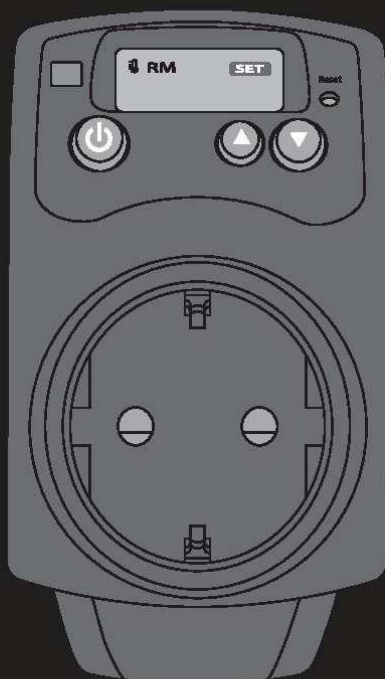
b) Ingen endring

c) Lavere

# CO/TECH<sup>®</sup>

## Plug-in Thermostat

*Temperaturvakt  
Temperaturvakt  
Lämpötilavahti  
Temperaturschalter*



**Important!**

Read the entire instruction manual carefully and make sure that you fully understand it before you use the equipment. Keep the manual for future reference.

**Viktig information:**

Läs hela bruksanvisningen noggrant och försäkra dig om att du har förstått den innan du använder utrustningen. Spara bruksanvisningen för framtida bruk.

**Viktig informasjon:**

Les disse anvisningene nøye og forsikre deg om at du forstår dem, før du tar produktet i bruk. Ta vare på anvisningene for seinere bruk.

**Tärkeää tietoa:**

Lue nämä ohjeet huolellisesti ja varmista että olet ymmärtänyt ne, ennen kuin alat käyttää laitetta. Säilytä ohjeet myöhempää tarvetta varten.

**Wichtiger Hinweis:**

Vor Inbetriebnahme die komplette Bedienungsanleitung durchlesen und aufbewahren.

**ART.NO**      **MODEL**  
**18-1245**    **MH850T-UK**  
**36-1109**    **MH850T**

Ver. 20171030  
Original instructions  
Bruksanvisning i original  
Originalbruksanvisning  
Alkuperäinen käyttöohje  
Original Bedienungsanleitung





ZTH

71549-00001.A

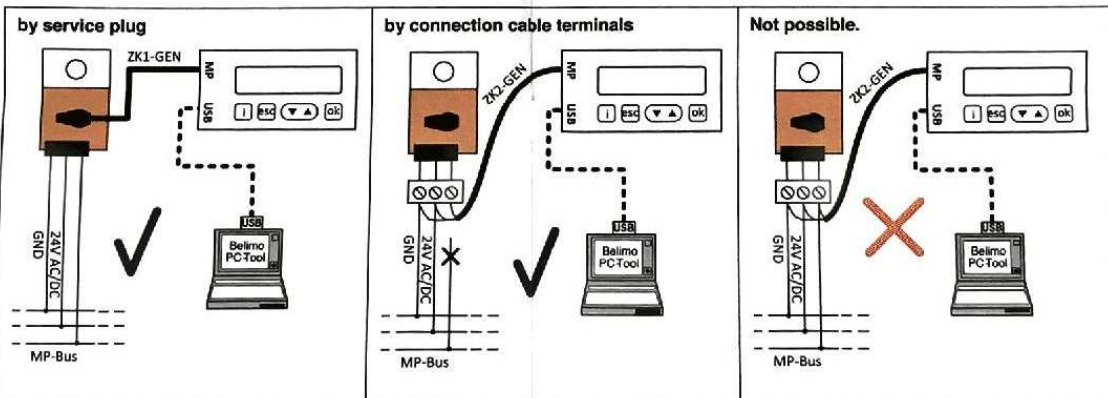
The ZTH is a Service-Tool for programmable and communicative Belimo actuators, HVAC performance devices and SharedLogic products. There is an integrated MP-Level converter (ZIP-function) with USB-interface. For detailed information please visit the Belimo Homepage.

Europe: BELIMO Holding AG, Brunnenbachstrasse 1, CH-8340 Hinwil, www.belimo.eu  
 Americas: Belimo Aircontrols, 43 Old Ridgebury Road, Danbury, CT 06810, www.belimo.us  
 Asia Pacific: Belimo Actuators (Shanghai) Trading Ltd., 479 Chun Dong Road, C-2, Minhang District, Xin Zhuang Industry Park, Shanghai 201108, P.R. China, www.belimo.com.cn

**Technical data**

<b>Electrical Data</b>	Nominal voltage	Levels from MP-device (AC 24V, 50/60 Hz / DC 24V) or from USB-interface (5V)
	Power consumption	1 W, 2.2VA
<b>Connection</b>	Socket for connection cable ZK...	RJ12, connection cable ZK1-GEN (5 m) for service plug enclosed
	USB-interface 2.0	USB connector type B, connection cable (1 m) with connectors type A to B enclosed
<b>Supported Devices</b>	Adjustable and communicative actuators	See product information ZTH
	HVAC performance devices	See product information ZTH
	SharedLogic	According to system description
<b>Operating Modes</b>	Local parameterization	Only point to point connection, connection by service plug or terminals
	MP level converter (ZIP function)	Connection at the control cabinet or by service plug at the actuator In case of MP-Monitor mode connection directly on the MP-Bus
<b>Firmware Update</b>	by USB	see www.belimo.ch or www.belimo.us for actual versions
<b>Operation</b>	LC Display	2 x 16 characters, with Backlight
	Key Pad	i / esc / ▼ / ▲ / OK
<b>Safety, Tests</b>	Protection class	III Safety extra-low voltage
	EMC	CE according to 2004/108/EG
	Type of action	Type 1
	Control pollution degree	2
	Rated impulse voltage	800 V
	Operating temperature	0 ... 50 °C (32...122 F), non-condensing
	Storage conditions	-20 ... 50 °C (4...122 F), non-condensing

**Connection**



**Type of connection and connection cable**

suitable cable ZK1-GEN	suitable cable ZK2-GEN	suitable cable ZK4-GEN	suitable cable ZK6-GEN
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

**Handling, configuration, accessories**

**Keys, Display**



MP	Socket for connection cable ZK...
USB	Connection to Notebook / PC (for ZIP-function)
Display	2 x 16 characters, LC Display with backlight
Button (i)	Information
Button (esc)	Quit edit mode, Cancel
Button (▼/▲)	Menu up/down, change value
Button (ok)	Enter edit mode, enter submenu, confirm value
Configuration menu: Press (ok) key and connect to actuator simultaneously.	

**Shipment, accessories**

Magnetic plate	To stick on backside of ZTH for temporal fixing of ZTH on magnetic surfaces.
ZK1-GEN	Connection cable with service plug
ZK2-GEN (only ZTH US)	Connection cable with open wires
USB-cable	1 m USB-cable Type A – Type B for ZIP mode

MO-6050

6050

**roTRONIC**  
MEASUREMENT SOLUTIONS

## Calibration Certificate & Function Test

### Gerät / Device / Appareillage / Apparecchio

Instrument	CP11
Version number	v1.6
Serial number	1170245
Measuring range	0...100 %RH / -20...60 °C / 0...5000 ppm
Accuracy	±3 %RH / ±0.3 K / ±30 ppm +5 %

### Allgemein / General / Général / Generale

ROTRONIC AG certifies that this instrument meets the specifications of our datasheet. It has been calibrated and corresponds to the test requirements of **ISO9001-2008**. The instrument mentioned above was calibrated by comparison of the relative humidity and temperature values to the HygroClip HC2-S factory transfer standards. The traceability of the factory transfer standards is given by calibration at an **ISO 17025 (SCS-065)** accredited calibration laboratory. The **SCS-065** calibration laboratory is traceable to the national standard at the **Federal Institute of Metrology (METAS)**.

The CO2 sensor is individually calibrated and verified in a 1000ppm certified calibration gas mixture (±1% calibration gas mixture uncertainty) by sensor manufacturer and rechecked by comparison to a 400ppm standard gas tested device.

### Referenz / Reference / Référence / Referenza

Parameter	Instrument	Serial number	Calibration date
Humidity	HC2-S	20048914	25.11.2016
Temperature	HC2-S	20048915	25.11.2016
CO2	400 ppm standard gas tested device		

### Kalibrering / Calibration / Étalonnage / Calibratura

Humidity			
No.	Reference [%RH]	Reading [%RH]	Deviation [%RH]
1	23.1	24.5	1.4
2	92.2	94.1	1.9

### Temperature

No.	Reference [°C]	Reading [°C]	Deviation [°C]
1	24.7	24.7	0
2	25.3	25.2	-0.1

### CO2

No.	Reference [ppm]	Reading [ppm]	Deviation [ppm]
1	564	565	1

### Funktionstest / Function test /

### Test de fonctionnement / Test funzionali

Display	OK
Backlight	OK
Keys	OK
Power	OK
Communication	OK

Datum / Date / Date / Date 24.02.2017  
 Prüfer / Inspector / Vérificateur / Verificatore 15035  
 This document has been automatically created

A.8 Timeplan for 8.klasse

Utskriftsdato: 05.02.2018

Klasse: 8a

	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag
08.30-09.00	Naturfag Karoline O 8a-20048	Norsk Hanna 8a-20048	Fransk Tysk engelsk fordybning spansk	Norsk Hanna 8a-20048	Fransk Tysk engelsk fordybning spansk
09.00-09.30	Norsk Hanna 8a-20048	Særskilt norsk Kjell	Kristin VN Esther Marie G-20022 Reidun Marie 8b-20050	Matematikk Karoline O 8a-20048	Kristin VN Esther Marie G-20022 Reidun Marie 8b-20050
09.30-10.00	Norsk Hanna 8a-20048	Kroppøving Simon Gym H	Matematikk Karoline O 8a-20048	Matematikk Tor	Samfunnsfag Eystein 8a-20048
10.00-10.30	Norsk Hanna 8a-20048		Engelsk Eystein 8a-20048	KRLE Hanna 8a-20048	Naturfag Karoline O Naturfag 8a-20048
10.30-11.00	Engelsk Eystein 8a-20048		Engelsk+ Kristin VN		
11.00-11.30					
11.30-12.00	Musikk Eystein Musikk	Matematikk Karoline O 8a-20048	KRLE Hanna 8a-20048	Samfunnsfag Eystein 8a-20048	Kunst og håndverk Mikael, Katrine, Karoline K Sløyd, Tek og design
12.00-12.30					
12.30-13.00					
13.00-13.30	utdanningsvalg Kjell 8a-20048				
13.30-14.00					
14.00-14.30					
14.30-15.00					
15.00-15.30					
15.30-16.00					



# TIMEPLAN

Skoleåret 2016-2017

Utskriftsdato: 05.02.2018

Klasse: 8b

Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag
08.30-09.35 Norsk Hanna 8b-20050	08.30-09.35 Matematikk Karoline O 8b-20050	08.30-09.35 Fransk Tysk engelsk fortynning Anne spansk Kristin VN 8a-20048 Esther Marie 20009 Reidun Marie 8b-20050	08.30-09.35 Matematikk Karoline O 8b-20050	08.30-09.35 Fransk Tysk engelsk fortynning Anne spansk Kristin VN 8a-20048 Esther Marie 20009 Reidun Marie 8b-20050
09.35-10.35 Matematikk Karoline O 8b-20050	09.35-10.35 Kroppsøving Barbara Gym V	09.35-10.35 Engelsk Eystein 8b-20050	09.35-10.35 Norsk Hanna 8b-20050	09.35-10.35 Naturfag Karoline O Naturfag
10.35-11.00 Naturfag Karoline O Naturfag	11.00-11.50 Særskilt norsk Mali	10.35-11.00 KRLE Hanna 8b-20050	10.35-11.50 Engelsk Eystein 8b-20050	10.35-11.50 Naturfag Karoline O Naturfag
11.00-12.00 KRLE Hanna 8b-20050	12.30-13.30 Særskilt norsk Mali	11.00-11.50 Norsk Hanna 8b-20050	11.50-12.30 utdanningsvalg Kjell 8b-20050	11.50-12.30 Samfunnsfag Eystein 8b-20050
12.30-13.30 Musikk Eystein Musikk	13.30-14.40 Musikk Eystein Musikk	12.30-13.30 Samfunnsfag Eystein 8b-20050	12.30-13.15 utdanningsvalg Kjell 8b-20050	12.30-13.15 Kunst og håndverk Mikael, Katrine, Karoline K Sløyd, Tek og design
13.30-14.00 Musikk Eystein Musikk	14.40-15.00 Dansesal	13.30-14.40 VF-DIP Florent 8a-20048 VF-DR Hanna Tek og design VF-FAH Barbara Gym H, Mat og helse VF-FIP Karoline O Naturfag VF-KO Tor 9b-20044 VF-MI Viktoria 9a-20037 VF-ss Eystein Musikk VF-ss Sissel Dansesal	13.15-14.30 Kunst og håndverk Mikael, Katrine, Karoline K Sløyd, Tek og design	13.15-14.30 Kunst og håndverk Mikael, Katrine, Karoline K Sløyd, Tek og design
14.00-15.00 Musikk Eystein Musikk	15.00-15.10 Dansesal			

## A.9 Luftmengdeberegninger for forsøksdagen

### Luftmengdeberegning

Ønsket verdi	Klasse	Rom-nummer	Alder	Kjønn	BMR	Met	RQ	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Temperatur P [kPa]	CO <sub>2</sub> -prod. pr. pers. [l/s]	CO <sub>2</sub> -verdi ønsket [ppm]	CO <sub>2</sub> -verdi ute [ppm]	Luftmengde pr. pers [l/s]	Antall elever	Luftmengde [l/s]	Total luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
600 ppm	8A	20048	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	294	101	0,00409	600	400	20,44	1	20,4	1177
			13-14	Gutt	7,02	1	0,85	21	294	101	0,00366	600	400	18,32	9	164,9	
			13-14	Jente	6,03	1	0,85	21	294	101	0,00315	600	400	15,74	9	141,7	
	8B	20050	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	24	297	101	0,00413	600	400	20,65	1	20,6	1247
			13-14	Gutt	7,02	1	0,85	24	297	101	0,00370	600	400	18,51	9	166,6	
			13-14	Jente	6,03	1	0,85	24	297	101	0,00318	600	400	15,90	10	159,0	
1100 ppm	8A	20048	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	294	101	0,00409	1100	400	5,84	1	5,8	336
			13-14	Gutt	7,02	1	0,85	21	294	101	0,00366	1100	400	5,24	9	47,1	
			13-14	Jente	6,03	1	0,85	21	294	101	0,00315	1100	400	4,50	9	40,5	
	8B	20050	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	24	297	101	0,00413	1100	400	5,90	1	5,9	356
			13-14	Gutt	7,02	1	0,85	24	297	101	0,00370	1100	400	5,29	9	47,6	
			13-14	Jente	6,03	1	0,85	24	297	101	0,00318	1100	400	4,54	10	45,4	

## A.10 Beregning for konvertering av kontinuerlige data

### 1. Oppfattet luftkvalitet

Avstanden mellom «helt akseptabelt» og «så vidt akseptabelt» på utskriften av spørreskjema var 4,3 cm. Tilsvarende avstand var mellom punktene «ikke akseptabelt» og «helt uakseptabelt».

Resultatene ble videre konvertert til verdier mellom -1 og +1, der «så vidt akseptabelt» ble satt til +0,01 og «helt akseptabelt» satt til +1. «Ikke akseptabelt» ble satt til -0,01 og «helt uakseptabelt» ble satt til -1.

Beregning for konvertert ligningssett:

For verdier når  $0 \leq x \leq 4,3$ ;

$$f(0) = 0,01, \quad \text{som gir} \quad b = 0,01$$

$$f(4,3) = 1$$

$$f(4,3) = ax + b = a * 4,3 + 0,01 = 1$$

$$a * 4,3 = 0,99$$

$$a = \frac{0,99}{4,3} = 0,23$$

For verdier når  $0 \leq x \leq -4,3$ ;

$$f(0) = -0,01, \quad \text{som gir} \quad b = -0,01$$

$$f(-4,3) = -1$$

$$f(-4,3) = ax + b = a * (-4,3) - 0,01 = -1$$

$$a * (-4,3) = -0,99$$

$$a = \frac{-0,99}{-4,3} = 0,23$$

Som videre gir ligningssettet:

$$f(x) = \begin{cases} 0,23x + 0,01, & \text{når } 0 \leq x \leq +4,3 \\ 0,23x - 0,01, & \text{når } -4,3 \leq x \leq 0 \end{cases}$$

## 2. Oppfattet luktintensitet

Avstanden mellom «ingen lukt» og «uutholdelig lukt» på utskriften av spørreskjema var 9,3 cm. Verdien for «ingen lukt» ble satt til 0 og verdien for «uutholdelig lukt» ble satt til 5.

Beregning for konvertert ligning:

*For verdier når  $0 \leq x \leq 9,3$ ;*

$$f(0) = 0, \quad \text{som gir} \quad b = 0$$

$$f(9,3) = 5$$

$$f(9,3) = ax + b = a * 9,3 + 0 = 5$$

$$a * 9,3 = 5$$

$$a = \frac{5}{9,3}$$

*Som videre gir ligningen:*

$$f(x) = \frac{5x}{9,3}$$

### 3. Oppfattet temperatur

Avstanden mellom «helt akseptabelt» og «så vidt akseptabelt» på utskriften av spørreskjema var 4,5 cm. Tilsvarende avstand var mellom punktene «ikke akseptabelt» og «helt uakseptabelt».

Resultatene ble videre konvertert til verdier mellom -1 og +1, der «så vidt akseptabelt» ble satt til +0,01 og «helt akseptabelt» satt til +1. «Ikke akseptabelt» ble satt til -0,01 og «helt uakseptabelt» ble satt til -1.

Beregning for konvertert ligningssett:

For verdier når  $0 \leq x \leq 4,5$ ;

$$f(0) = 0,01, \quad \text{som gir} \quad b = 0,01$$

$$f(4,5) = 1$$

$$f(4,5) = ax + b = a * 4,5 + 0,01 = 1$$

$$a * 4,5 = 0,99$$

$$a = \frac{0,99}{4,5} = 0,22$$

For verdier når  $0 \leq x \leq -4,5$ ;

$$f(0) = -0,01, \quad \text{som gir} \quad b = -0,01$$

$$f(-4,5) = -1$$

$$f(-4,5) = ax + b = a * (-4,5) - 0,01 = -1$$

$$a * (-4,5) = -0,99$$

$$a = \frac{-0,99}{-4,5} = 0,22$$

Som videre gir ligningssettet:

$$f(x) = \begin{cases} 0,22x + 0,01, & \text{når } 0 \leq x \leq +4,5 \\ 0,22x - 0,01, & \text{når } -4,5 \leq x \leq 0 \end{cases}$$



#### 4. Opplevelse av temperatur

Avstanden mellom «hett» og «kaldt» på utskriften av spørreskjema var 9,6 cm. Verdien for «kaldt» ble satt til -3 og verdien for «hett» ble satt til +3.

Beregning for konvertert ligning:

*For verdier når  $0 \leq x \leq 9,6$ ;*

$$f(0) = 3, \quad \text{som gir} \quad b = 3$$

$$f(9,6) = -3$$

$$f(9,6) = ax + b = a * 9,6 + 3 = -3$$

$$a * 9,6 = -6$$

$$a = \frac{-6}{9,6}$$

*Som videre gir ligningen:*

$$f(x) = -\frac{6x}{9,6} + 3$$

## A.11 Konvertert datasett

ID	Rom	Målt oppfattelse av luftkvalitet	Konvertert oppfattelse av luftkvalitet	Målt oppfattelse av luktintensitet	Konvertert oppfattelse av luktintensitet	Målt oppfattelse av temperatur	Konvertert oppfattelse av temperatur	Målt oppfattelse av temperatur	Konvertert oppfattelse av temperatur	Ønsket temperatur
20	20048-1	3,000	0,700	0,800	0,430	2,600	0,582	6,650	-1,156	Ingen endring
3	20048-1	2,950	0,689	1,500	0,806	3,450	0,769	4,300	0,313	Ingen endring
24	20048-1	0,900	0,217	4,950	2,661	0,650	0,153	6,850	-1,281	Høyere
6	20048-1	3,150	0,735	0,650	0,349	3,600	0,802	3,450	0,844	Lavere
19	20048-1	3,650	0,850	5,100	2,742	3,850	0,857	4,250	0,344	Ingen endring
22	20048-1	2,850	0,666	2,800	1,505	3,650	0,813	6,100	-0,813	Ingen endring
1	20048-1	2,050	0,482	5,050	2,715	4,250	0,945	4,700	0,062	Ingen endring
23	20048-1	4,300	0,999	0,000	0,000	4,500	1,000	4,800	0,000	Ingen endring
16	20048-1	0,450	0,114	3,550	1,909	1,450	0,329	3,200	1,000	Lavere
26	20048-1	3,950	0,919	2,800	1,505	4,500	1,000	4,800	0,000	Ingen endring
8	20048-1	3,950	0,919	0,000	0,000	4,150	0,923	6,350	-0,969	Ingen endring
17	20048-1	3,750	0,873	0,350	0,188	4,300	0,956	4,800	0,000	Ingen endring
4	20048-1	3,450	0,804	0,300	0,161	3,750	0,835	5,050	-0,156	Ingen endring
7	20048-1	2,200	0,516	1,000	0,538	2,950	0,659	3,450	0,844	Ingen endring
9	20048-1	0,950	0,229	1,400	0,753	3,650	0,813	4,100	0,438	Ingen endring
5	20048-1	-1,700	-0,401	5,100	2,742	-0,200	-0,054	4,650	0,094	Ingen endring
20	20048-2	-0,300	-0,079	2,200	1,183	0,250	0,065	5,300	-0,313	Ingen endring
3	20048-2	2,500	0,585	3,500	1,882	2,450	0,549	5,550	-0,469	Ingen endring
24	20048-2	0,650	0,160	4,350	2,339	2,500	0,560	4,500	0,188	Ingen endring
6	20048-2	3,300	0,769	1,550	0,833	3,450	0,769	4,350	0,281	Ingen endring
19	20048-2	3,300	0,769	2,600	1,398	4,200	0,934	4,800	0,000	Ingen endring
22	20048-2	3,100	0,723	2,100	1,129	3,550	0,791	4,700	0,062	Ingen endring
1	20048-2	3,800	0,884	0,300	0,161	4,400	0,978	4,750	0,031	Ingen endring
23	20048-2	2,200	0,516	3,500	1,882	3,250	0,725	4,850	-0,031	Ingen endring
16	20048-2	3,500	0,815	1,900	1,022	3,300	0,736	5,650	-0,531	Høyere
26	20048-2	4,050	0,942	1,100	0,591	4,200	0,934	4,700	0,062	Ingen endring
8	20048-2	2,350	0,551	1,750	0,941	4,500	1,000	4,800	0,000	Ingen endring
17	20048-2	1,400	0,332	2,300	1,237	4,500	1,000	4,750	0,031	Ingen endring
4	20048-2	3,100	0,723	0,700	0,376	3,250	0,725	4,450	0,219	Ingen endring
7	20048-2	0,300	0,079	3,800	2,043	0,300	0,076	4,100	0,438	Ingen endring
9	20048-2	3,000	0,700	0,400	0,215	4,200	0,934	5,450	-0,406	Ingen endring
5	20048-2	0,600	0,148	3,250	1,747	3,550	0,791	4,500	0,188	Ingen endring

ID	Rom	Målt oppfattelse av luftkvalitet	Konvertert oppfattelse av luftkvalitet	Målt oppfattelse av luktintensitet	Konvertert oppfattelse av luktintensitet	Målt oppfattelse av temperatur	Konvertert oppfattelse av temperatur	Målt oppfattelse av temperatur	Konvertert oppfattelse av temperatur	Målt oppfattelse av temperatur	Konvertert oppfattelse av temperatur	Ønsket temperatur
20	20050-1	-0,150	-0,045	3,250	1,747	0,150	0,043	2,300	1,563	Lavere		
3	20050-1	1,200	0,286	2,350	1,263	-0,550	-0,131	2,050	1,719	Lavere		
24	20050-1	2,500	0,585	2,850	1,532	3,400	0,758	4,350	0,281	Ingen endring		
6	20050-1	3,150	0,735	2,650	1,425	2,000	0,450	3,000	1,125	Lavere		
19	20050-1	3,850	0,896	1,900	1,022	4,100	0,912	4,550	0,156	Ingen endring		
22	20050-1	1,450	0,344	1,400	0,753	2,100	0,472	3,850	0,594	-		
1	20050-1	-0,250	-0,068	1,100	0,591	4,200	0,934	4,650	0,094	Ingen endring		
23	20050-1	4,300	0,999	0,550	0,296	4,350	0,967	4,800	0,000	Ingen endring		
16	20050-1	2,200	0,516	2,200	1,183	1,450	0,329	2,700	1,313	Lavere		
26	20050-1	2,750	0,643	1,500	0,806	4,500	1,000	3,600	0,750	Ingen endring		
8	20050-1	3,150	0,735	1,850	0,995	4,500	1,000	4,750	0,031	Lavere		
17	20050-1	0,400	0,102	0,350	0,188	4,500	1,000	4,800	0,000	Ingen endring		
4	20050-1	2,100	0,493	1,050	0,565	2,300	0,516	3,400	0,875	Lavere		
7	20050-1	0,150	0,045	2,700	1,452	0,400	0,098	2,050	1,719	Lavere		
9	20050-1	2,050	0,482	0,400	0,215	3,650	0,813	3,500	0,813	Ingen endring		
5	20050-1	-2,850	-0,666	5,100	2,742	-1,350	-0,307	2,400	1,500	Lavere		
20	20050-2	-0,300	-0,079	4,300	2,312	-1,000	-0,230	1,400	2,125	Lavere		
3	20050-2	2,300	0,539	3,400	1,828	1,100	0,252	1,900	1,813	Lavere		
24	20050-2	-0,900	-0,217	3,950	2,124	2,450	0,549	4,600	0,125	Ingen endring		
6	20050-2	1,650	0,390	3,200	1,720	0,950	0,219	1,850	1,844	Lavere		
19	20050-2	2,550	0,597	5,750	3,091	1,650	0,373	2,200	1,625	Lavere		
22	20050-2	-1,150	-0,275	3,900	2,097	0,550	0,131	3,600	0,750	Ingen endring		
1	20050-2	-0,650	-0,160	4,350	2,339	-0,500	-0,120	1,400	2,125	Lavere		
23	20050-2	2,500	0,585	1,750	0,941	0,600	0,142	2,650	1,344	Lavere		
16	20050-2	1,350	0,321	2,550	1,371	0,900	0,208	1,550	2,031	Høyere		
26	20050-2	2,250	0,528	2,100	1,129	3,350	0,747	3,300	0,938	Lavere		
8	20050-2	0,000	0,010	3,700	1,989	2,050	0,461	3,150	1,031	Lavere		
17	20050-2	1,750	0,413	1,800	0,968	1,000	0,230	3,100	1,063	-		
4	20050-2	0,600	0,148	4,000	2,151	0,600	0,142	2,800	1,250	Lavere		
7	20050-2	-0,250	-0,068	3,850	2,070	-0,200	-0,054	1,350	2,156	Lavere		
9	20050-2	1,200	0,286	3,400	1,828	3,200	0,714	2,750	1,281	Lavere		
5	20050-2	-4,200	-0,976	7,000	3,763	-2,950	-0,659	1,300	2,188	Lavere		



## A.12 KS-testen for parvise differanser

Oppfattet luftkvalitet:

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
R48_1_og_48_2	,155	16	,200 <sup>*</sup>	,961	16	,678
R50_1_og_50_2	,131	16	,200 <sup>*</sup>	,962	16	,691
R48_1_og_50_1	,132	16	,200 <sup>*</sup>	,960	16	,659
R48_2_og_50_2	,147	16	,200 <sup>*</sup>	,916	16	,143

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Oppfattet luktintensitet:

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
R48_1_og_48_2	,112	16	,200 <sup>*</sup>	,968	16	,813
R50_1_og_50_2	,192	16	,116	,919	16	,162
R48_1_og_50_1	,117	16	,200 <sup>*</sup>	,957	16	,615
R48_2_og_50_2	,124	16	,200 <sup>*</sup>	,962	16	,703

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Oppfattet temperatur:

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
R48_1_og_48_2	,189	16	,129	,944	16	,395
R50_1_og_50_2	,170	16	,200 <sup>*</sup>	,948	16	,464
R48_1_og_50_1	,203	16	,076	,931	16	,249
R48_2_og_50_2	,191	16	,121	,911	16	,122

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Oppløvd temperatur:

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
R48_1_og_48_2	,145	16	,200 <sup>*</sup>	,979	16	,953
R50_1_og_50_2	,173	16	,200 <sup>*</sup>	,954	16	,556
R48_1_og_50_1	,151	16	,200 <sup>*</sup>	,921	16	,176
R48_2_og_50_2	,120	16	,200 <sup>*</sup>	,968	16	,805

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

A.13 Inndata for parvise differanser

Parvis differanse oppfattet luktintensitet	48-1 og 48-2	50-1 og 50-2	48-1 og 50-1	48-2 og 50-2
	-0,7527	-0,5645	-1,3172	-1,1290
	-1,0753	-0,5645	-0,4570	0,0538
	0,3226	-0,5914	1,1290	0,2151
	-0,4839	-0,2957	-1,0753	-0,8871
	1,3441	-2,0699	1,7204	-1,6935
	0,3763	-1,3441	0,7527	-0,9677
	2,5538	-1,7473	2,1237	-2,1774
	-1,8817	-0,6452	-0,2957	0,9409
	0,8871	-0,1882	0,7258	-0,3495
	0,9140	-0,3226	0,6989	-0,5376
	-0,9409	-0,9946	-0,9946	-1,0484
	-1,0484	-0,7796	0,0000	0,2688
	-0,2151	-1,5860	-0,4032	-1,7742
	-1,5054	-0,6183	-0,9140	-0,0269
	0,5376	-1,6129	0,5376	-1,6129
	0,9946	-1,0215	0,0000	-2,0161

Parvis differanse oppfattet luftkvalitet	48-1 og 48-2	50-1 og 50-2	48-1 og 50-1	48-2 og 50-2
	0,7790	0,0345	0,7445	0,0000
	0,1035	-0,2530	0,4025	0,0460
	0,0575	0,8020	-0,3680	0,3765
	-0,0345	0,3450	0,0000	0,3795
	0,0805	0,2990	-0,0460	0,1725
	-0,0575	0,6180	0,3220	0,9975
	-0,4025	0,0920	0,5490	1,0435
	0,4830	0,4140	0,0000	-0,0690
	-0,7015	0,1955	-0,4025	0,4945
	-0,0230	0,1150	0,2760	0,4140
	0,3680	0,7245	0,1840	0,5405
	0,5405	-0,3105	0,7705	-0,0805
	0,0805	0,3450	0,3105	0,5750
	0,4370	0,1120	0,4715	0,1465
	-0,4715	0,1955	-0,2530	0,4140
	-0,5490	0,3105	0,2645	1,1240

Parvis differanse oppfattet temperatur	48-1 og 48-2	50-1 og 50-2	48-1 og 50-1	48-2 og 50-2
	0,5170	0,2730	0,5390	0,2950
	0,2200	-0,3830	0,9000	0,2970
	-0,4070	0,2090	-0,6050	0,0110
	0,0330	0,2310	0,3520	0,5500
	-0,0770	0,5390	-0,0550	0,5610
	0,0220	0,3410	0,3410	0,6600
	-0,0330	1,0540	0,0110	1,0980
	0,2750	0,8250	0,0330	0,5830
	-0,4070	0,1210	0,0000	0,5280
	0,0660	0,2530	0,0000	0,1870
	-0,0770	0,5390	-0,0770	0,5390
	-0,0440	0,7700	-0,0440	0,7700
	0,1100	0,3740	0,3190	0,5830
	0,5830	0,1520	0,5610	0,1300
	-0,1210	0,0990	0,0000	0,2200
	-0,8450	0,3520	0,2530	1,4500

Parvis differanse opplevd temperatur	48-1 og 48-2	50-1 og 50-2	48-1 og 50-1	48-2 og 50-2
	-0,8438	-0,5625	-2,7188	-2,4375
	0,7813	-0,0938	-1,4063	-2,2813
	-1,4688	0,1563	-1,5625	0,0625
	0,5625	-0,7188	-0,2813	-1,5625
	0,3438	-1,4688	0,1875	-1,6250
	-0,8750	-0,1563	-1,4063	-0,6875
	0,0312	-2,0313	-0,0313	-2,0938
	0,0313	-1,3438	0,0000	-1,3750
	1,5313	-0,7188	-0,3125	-2,5625
	-0,0625	-0,1875	-0,7500	-0,8750
	-0,9688	-1,0000	-1,0000	-1,0313
	-0,0313	-1,0625	0,0000	-1,0313
	-0,3750	-0,3750	-1,0313	-1,0313
	0,4063	-0,4375	-0,8750	-1,7188
	0,8438	-0,4688	-0,3750	-1,6875
	-0,0938	-0,6875	-1,4063	-2,0000



A.14 T-verdi tabell

**Significance level =  $\alpha$**

<b>Degrees of Freedom</b>	<b>.005 (1-tail) .01 (2-tails)</b>	<b>.01 (1-tail) .02 (2-tails)</b>	<b>.025 (1-tail) .05 (2-tails)</b>	<b>.05 (1-tail) .10 (2-tails)</b>	<b>.10 (1-tail) .20 (2-tails)</b>	<b>.25 (1-tail) .50 (2-tails)</b>
1	63.657	31.821	12.706	6.314	3.078	1.000
2	9.925	6.965	4.303	2.920	1.886	.816
3	5.841	4.541	3.182	2.353	1.638	.765
4	4.604	3.747	2.776	2.132	1.533	.741
5	4.032	3.365	2.571	2.015	1.476	.727
6	3.707	3.143	2.447	1.943	1.440	.718
7	3.500	2.998	2.365	1.895	1.415	.711
8	3.355	2.896	2.306	1.860	1.397	.706
9	3.250	2.821	2.262	1.833	1.383	.703
10	3.169	2.764	2.228	1.812	1.372	.700
11	3.106	2.718	2.201	1.796	1.363	.697
12	3.054	2.681	2.179	1.782	1.356	.696
13	3.012	2.650	2.160	1.771	1.350	.694
14	2.977	2.625	2.145	1.761	1.345	.692
15	2.947	2.602	2.132	1.753	1.341	.691
16	2.921	2.584	2.120	1.746	1.337	.690
17	2.898	2.567	2.110	1.740	1.333	.689
18	2.878	2.552	2.101	1.734	1.330	.688
19	2.861	2.540	2.093	1.729	1.328	.688
20	2.845	2.528	2.086	1.725	1.325	.687
21	2.831	2.518	2.080	1.721	1.323	.686
22	2.819	2.508	2.074	1.717	1.321	.686
23	2.807	2.500	2.069	1.714	1.320	.685
24	2.797	2.492	2.064	1.711	1.318	.685
25	2.788	2.485	2.060	1.708	1.316	.684
26	2.779	2.479	2.056	1.706	1.315	.684
27	2.771	2.473	2.052	1.703	1.314	.684
28	2.763	2.467	2.048	1.701	1.313	.683
29	2.756	2.462	2.045	1.699	1.311	.683
Large	2.575	2.327	1.960	1.645	1.282	.675



## A.15 Referat - Intervju med Gorm Jensen, ÅF Norge

### **Tid:**

18.04.2018

### **Samtale mellom:**

Marie Flatmo Opsahl

Gorm Jensen

### **Spørsmål:**

... Forklarer oppgaven...

### **Svar:**

Dette høres ut som en god ide.

Rent reguleringsmessig så ser jeg ingen problemer med å få dette til, men det kan være en større utfordring å få aktørene i bransjen med på å tenke en ny tanke slik som dette jo er.

For å få dette til så må det settes opp en kompensert kurve som setpunkt hentes fra, dette er noe som gjøres på de fleste varmekurser (utekompensering) så det burde være en enkel sak. Men det fordrer at de har andre input til kurven enn det som er vanlig og det er her utfordringen ligger i en konservativ (og dessverre for en stor del, dårlig utdannet) bransje.

For at dette skal bli en energivennlig løsning så er det viktig at også VAV-spjeldet er modulerende. Hvis det er av en type som går fra min til max når setpunkt overskrides så oppnår du ikke ønsket effekt. Men hvis du får det til å gå som en vanlig reguleringsventil så vil det virke. De helt enkle VAV-systemene går min/max mens de mer avanserte hvor det brukes en fri programmerbar kontroller (slik du må ha) er modulerende. Det er heller ikke uvanlig at VAV-systemer har en ettergangstid, slik at når setpunkt er overskredet så ligger det med økt luftmengde i et gitt tid, dette må du også spesifisere at du ikke skal ha, fordi da vil det ikke bli så energiøkonomisk som du ønsker.

Så konklusjon er at det er fullt mulig å få til, men du utfordrer tankesettet til en del aktører.

**Tid:**

19.04.2018

**Samtale mellom:**

Marie Flatmo Opsahl

Stig Tveitane

**Spørsmål:**

... Forklarer oppgaven...

**Svar:**

Dette lar seg fint gjøre. Bevegelig settpunkt er mye brukt i bygg automasjon, for eksempel i forbindelse med utetemperatur og oppvarming, såkalt kompensert settpunkt/kurve.

Forskjellen for sluttbruker blir da at man vil vanligvis få mange settpunkter (X og/eller Y-akse knekkpunkter) å justere istedenfor ett eller to. Men om standardverdiene er satt opp fornuftig, behøver sluttbruker antageligvis ikke stille på noe uansett.

Dette utelukker dog sikkert bruken av noen rom regulatorer/systemer med innebygd automatikk, da de fleste nok ikke per dags dato er satt opp med mulighet for temperatur-CO2 kompensert kurve. Men det kan nok alltid løses på et vis.

## A.17 Skjema for antall personer

### Runde 1 – 9.15:

- telle elever
- få tegn av Marie → gå inn → lukk dør
- (endre luft når de andre går ut)
- gå ut → lukk dør

Ikke  
krakk!

krakk  
ved  
tavle

Klokken	Romnummer	Stille luftmengde	Utført 2	Antall elever 1	Kommentar	Lærer
9.15	200.62 <b>2C</b>	JA! Step Vmin <sub>2</sub>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	18		2
9.20	200.63 <b>2B</b>	JA! Step Vmin <sub>2</sub>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	17		1

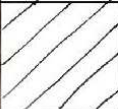

### Runde 2 – 10.20:

(3)

17.10

krakk  
bak  
(begge)

krakk  
bak

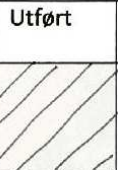

Klokken	Romnummer	Stille luftmengde	Utført	Antall elever	Kommentar	Lærer
10.20	<del>200.62 <b>2C</b></del>	NEI!		19		1
10.20	200.48 <b>8A</b>	JA! Step Vmin <sub>2</sub>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	18 17		2
10.30	200.50 <b>8B</b>	JA! Step Vmin <sub>2</sub>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	18	tavle først sett krakk bak	1
10.30	200.63 <b>2B</b>	NEI!		19		1

### Runde 3 – 11.30:

7

17.40

8

Klokken	Romnummer	Stille luftmengde	Utført	Antall elever	Kommentar	Lærer
11.30	200.48 <b>8A</b>	NEI!		13	Noen elever gikk ut rett før	1
11.35	200.50 <b>8B</b>	NEI!		18		1

A.18 Skjema for målt temperatur, CO<sub>2</sub> og relativ fuktighet

CO<sub>2</sub>-nivå ute: 480ppm.

Runde 1 – klokken 9.15:

Ark nr.	Klokken	Romnummer	CO <sub>2</sub> -nivå	Temperatur	RF	Kommentarer
1	9.15	200.62 2C	698	22,1°C	27,3%	
2	9.15	200.63 2B	668	22,7°C	25,2%	

Runde 2 – klokken 10.20:

Ark nr.	Klokken	Romnummer	CO <sub>2</sub> -nivå	Temperatur	RF	Kommentarer
3	10.20	200.62 2C	1013	22,1°C	32,6%	Utsatt pga. barna var ute pga. vikar.
4	10.20	200.48 8A	755	21,7°C	27,9%	samarbeidsrom dør åpen kl. 09.33
5	10.20	200.50 8B	775	(22,7°C) sjekk SD!	26,5%	dør samarbeidsrom åpen 10.50
6	10.20	200.63 2B	970	23°C	27,7%	

Runde 3 – klokken 11.30:

Ark nr.	Klokken	Romnummer	CO <sub>2</sub> -nivå	Temperatur	RF	Kommentar
7	11.30 11.40	200.48 8A	932	22,2°C	28,1%	
8	11.33 11.40	200.50 8B			30,5%	

1192 23,7°C



A.19 SPSS – resultatfil for oppfattet luftkvalitet

**Case Processing Summary**

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Klasse_8A_1	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8A_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_1	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%

**Descriptives**

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8A_1	Mean	,581594	,0939698	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,381302	
		Upper Bound	,781886	
	5% Trimmed Mean	,612993		
	Median	,694250		
	Variance	,141		
	Std. Deviation	,3758793		
	Minimum	-,4010		
	Maximum	,9990		
	Range	1,4000		
	Interquartile Range	,5750		
	Skewness	-1,340	,564	
	Kurtosis	1,708	1,091	
	Klasse_8A_2	Mean	,538469	,0788640
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	,370374	
		Upper Bound	,706563	
5% Trimmed Mean		,550382		
Median		,642500		
Variance		,100		
Std. Deviation		,3154560		
Minimum		-,0790		
Maximum		,9415		
Range		1,0205		
Interquartile Range		,5664		
Skewness		-,694	,564	
Kurtosis		-,783	1,091	

## Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8B_1	Mean	,380000	,1065809	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,152828	
		Upper Bound	,607172	
	5% Trimmed Mean	,403694		
	Median	,487250		
	Variance	,182		
	Std. Deviation	,4263238		
	Minimum	-,6655		
	Maximum	,9990		
	Range	1,6645		
	Interquartile Range	,6526		
	Skewness	-,859	,564	
	Kurtosis	,943	1,091	
	Klasse_8B_2	Mean	,127563	,1050020
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	-,096244	
		Upper Bound	,351369	
5% Trimmed Mean		,162819		
Median		,217000		
Variance		,176		
Std. Deviation		,4200079		
Minimum		-,9760		
Maximum		,5965		
Range		1,5725		
Interquartile Range		,6381		
Skewness		-1,138	,564	
Kurtosis		1,713	1,091	

## T-Test

### Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Klasse_8A_1	,581594	16	,3758793	,0939698
	Klasse_8A_2	,538469	16	,3154560	,0788640
Pair 2	Klasse_8B_1	,380000	16	,4263238	,1065809
	Klasse_8B_2	,127563	16	,4200079	,1050020
Pair 3	Klasse_8A_1	,581594	16	,3758793	,0939698
	Klasse_8B_1	,380000	16	,4263238	,1065809
Pair 4	Klasse_8A_2	,538469	16	,3154560	,0788640
	Klasse_8B_2	,127563	16	,4200079	,1050020

### Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Klasse_8A_1 & Klasse_8A_2	16	,274	,305
Pair 2	Klasse_8B_1 & Klasse_8B_2	16	,740	,001
Pair 3	Klasse_8A_1 & Klasse_8B_1	16	,607	,013
Pair 4	Klasse_8A_2 & Klasse_8B_2	16	,486	,056

### Paired Samples Test

		Paired Differences			95% Confidence ...
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	,0431250	,4194229	,1048557	-,1803697
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	,2524375	,3052839	,0763210	,0897632
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	,2015938	,3584291	,0896073	,0106004
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	,4109063	,3835107	,0958777	,2065478

### Paired Samples Test

		Paired ...	t	df	Sig. (2-tailed)
		95% Confidence Interval of the ...			
		Upper			
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	,2666197	,411	15	,687
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	,4151118	3,308	15	,005
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	,3925871	2,250	15	,040
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	,6152647	4,286	15	,001

A.20 SPSS – resultatfil for oppfattet luktintensitet

### Case Processing Summary

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
	Klasse_8A_1	16	100,0%	0	0,0%	16
Klasse_8A_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_1	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%

### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8A_1	Mean	1,187844	,2658677	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,621160	
		Upper Bound	1,754527	
	5% Trimmed Mean	1,167499		
	Median	,779600		
	Variance	1,131		
	Std. Deviation	1,0634708		
	Minimum	,0000		
	Maximum	2,7419		
	Range	2,7419		
	Interquartile Range	2,2446		
	Skewness	,496	,564	
	Kurtosis	-1,430	1,091	
Klasse_8A_2	Mean	1,186150	,1659600	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,832415	
		Upper Bound	1,539885	
	5% Trimmed Mean	1,179056		
	Median	1,155900		
	Variance	,441		
	Std. Deviation	,6638399		
	Minimum	,1613		
	Maximum	2,3387		
	Range	2,1774		
	Interquartile Range	1,1962		
	Skewness	,058	,564	
	Kurtosis	-,918	1,091	



## Descriptives

		Statistic	Std. Error
Klasse_8B_1	Mean	1,048388	,1652333
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,696201
		Upper Bound	1,400574
	5% Trimmed Mean	1,002092	
	Median	1,008050	
	Variance	,437	
	Std. Deviation	,6609334	
	Minimum	,1882	
	Maximum	2,7419	
	Range	2,5537	
	Interquartile Range	,8737	
	Skewness	,937	,564
	Kurtosis	1,527	1,091
Klasse_8B_2	Mean	1,982525	,1830195
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	1,592428
		Upper Bound	2,372622
	5% Trimmed Mean	1,941456	
	Median	2,029550	
	Variance	,536	
	Std. Deviation	,7320779	
	Minimum	,9409	
	Maximum	3,7634	
	Range	2,8225	
	Interquartile Range	,8131	
	Skewness	,787	,564
	Kurtosis	1,326	1,091

## T-Test

### Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Klasse_8A_1	1,187844	16	1,0634708	,2658677
	Klasse_8A_2	1,186150	16	,6638399	,1659600
Pair 2	Klasse_8B_1	1,048388	16	,6609334	,1652333
	Klasse_8B_2	1,982525	16	,7320779	,1830195
Pair 3	Klasse_8A_1	1,187844	16	1,0634708	,2658677
	Klasse_8B_1	1,048388	16	,6609334	,1652333
Pair 4	Klasse_8A_2	1,186150	16	,6638399	,1659600
	Klasse_8B_2	1,982525	16	,7320779	,1830195

### Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Klasse_8A_1 & Klasse_8A_2	16	,109	,688
Pair 2	Klasse_8B_1 & Klasse_8B_2	16	,664	,005
Pair 3	Klasse_8A_1 & Klasse_8B_1	16	,381	,145
Pair 4	Klasse_8A_2 & Klasse_8B_2	16	,127	,638

### Paired Samples Test

		Paired Differences			95% Confidence ...
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	,0016938	1,1907741	,2976935	-,6328250
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	-,9341375	,5745796	,1436449	-1,2403094
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	,1394563	1,0158291	,2539573	-,4018409
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	-,7963750	,9234500	,2308625	-1,2884468

### Paired Samples Test

		Paired ...			
		95% Confidence Interval of the ...	t	df	Sig. (2-tailed)
		Upper			
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	,6362125	,006	15	,996
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	-,6279656	-6,503	15	,000
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	,6807534	,549	15	,591
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	-,3043032	-3,450	15	,004

## A.21 SPSS – resultatfil for oppfattet temperatur

### Case Processing Summary

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Klasse_8A_1	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8A_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_1	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%

### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8A_1	Mean	,711375	,0779361	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,545258	
		Upper Bound	,877492	
	5% Trimmed Mean	,737861		
	Median	,813000		
	Variance	,097		
	Std. Deviation	,3117443		
	Minimum	-,0540		
	Maximum	1,0000		
	Range	1,0540		
	Interquartile Range	,3383		
	Skewness	-1,478	,564	
	Kurtosis	1,412	1,091	
Klasse_8A_2	Mean	,722938	,0728012	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,567765	
		Upper Bound	,878110	
	5% Trimmed Mean	,744097		
	Median	,780000		
	Variance	,085		
	Std. Deviation	,2912050		
	Minimum	,0650		
	Maximum	1,0000		
	Range	,9350		
	Interquartile Range	,3328		
	Skewness	-1,472	,564	
	Kurtosis	1,642	1,091	

## Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8B_1	Mean	,553375	,1098822	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,319167	
		Upper Bound	,787583	
	5% Trimmed Mean	,576361		
	Median	,637000		
	Variance	,193		
	Std. Deviation	,4395288		
	Minimum	-,3070		
	Maximum	1,0000		
	Range	1,3070		
	Interquartile Range	,8030		
	Skewness	-,657	,564	
	Kurtosis	-,843	1,091	
	Klasse_8B_2	Mean	,194063	,0886920
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	,005020	
		Upper Bound	,383105	
5% Trimmed Mean		,210736		
Median		,213500		
Variance		,126		
Std. Deviation		,3547682		
Minimum		-,6590		
Maximum		,7470		
Range		1,4060		
Interquartile Range		,4468		
Skewness		-,622	,564	
Kurtosis		1,097	1,091	

## T-Test

### Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Klasse_8A_1	,711375	16	,3117443	,0779361
	Klasse_8A_2	,722938	16	,2912050	,0728012
Pair 2	Klasse_8B_1	,553375	16	,4395288	,1098822
	Klasse_8B_2	,194063	16	,3547682	,0886920
Pair 3	Klasse_8A_1	,711375	16	,3117443	,0779361
	Klasse_8B_1	,553375	16	,4395288	,1098822
Pair 4	Klasse_8A_2	,722938	16	,2912050	,0728012
	Klasse_8B_2	,194063	16	,3547682	,0886920

### Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Klasse_8A_1 & Klasse_8A_2	16	,333	,207
Pair 2	Klasse_8B_1 & Klasse_8B_2	16	,658	,006
Pair 3	Klasse_8A_1 & Klasse_8B_1	16	,622	,010
Pair 4	Klasse_8A_2 & Klasse_8B_2	16	,373	,154

### Paired Samples Test

		Paired Differences			
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence ... Lower
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	-,0115625	,3485149	,0871287	-,1972730
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	,3593125	,3376064	,0844016	,1794147
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	,1580000	,3464003	,0866001	-,0265837
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	,5288750	,3654396	,0913599	,3341460

### Paired Samples Test

		Paired ... 95% Confidence Interval of the ...	t	df	Sig. (2-tailed)
		Upper			
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	,1741480	-,133	15	,896
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	,5392103	4,257	15	,001
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	,3425837	1,824	15	,088
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	,7236040	5,789	15	,000



A.22 SPSS – resultatfil for opplevelse av temperatur

**Case Processing Summary**

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
	Klasse_8A_1	16	100,0%	0	0,0%	16
Klasse_8A_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_1	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%
Klasse_8B_2	16	100,0%	0	0,0%	16	100,0%

**Descriptives**

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8A_1	Mean	-,027350	,1759959	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-,402476	
		Upper Bound	,347776	
	5% Trimmed Mean	-,014761		
	Median	,031250		
	Variance	,496		
	Std. Deviation	,7039836		
	Minimum	-1,2813		
	Maximum	1,0000		
	Range	2,2813		
	Interquartile Range	1,0625		
	Skewness	-,465	,564	
	Kurtosis	-,623	1,091	
Klasse_8A_2	Mean	-,015625	,0695329	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-,163831	
		Upper Bound	,132581	
	5% Trimmed Mean	-,012150		
	Median	,031300		
	Variance	,077		
	Std. Deviation	,2781314		
	Minimum	-,5313		
	Maximum	,4375		
	Range	,9688		
	Interquartile Range	,4297		
	Skewness	-,588	,564	
	Kurtosis	-,372	1,091	

## Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Klasse_8B_1	Mean	,783219	,1610839	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,439877	
		Upper Bound	1,126561	
	5% Trimmed Mean	,774754		
	Median	,781250		
	Variance	,415		
	Std. Deviation	,6443357		
	Minimum	,0000		
	Maximum	1,7188		
	Range	1,7188		
	Interquartile Range	1,3438		
	Skewness	,164	,564	
	Kurtosis	-1,527	1,091	
	Klasse_8B_2	Mean	1,480488	,1514877
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	1,157599	
		Upper Bound	1,803376	
5% Trimmed Mean		1,516514		
Median		1,484400		
Variance		,367		
Std. Deviation		,6059510		
Minimum		,1250		
Maximum		2,1875		
Range		2,0625		
Interquartile Range		1,0625		
Skewness		-,608	,564	
Kurtosis		-,199	1,091	

## T-Test

### Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Klasse_8A_1	-,027350	16	,7039836	,1759959
	Klasse_8A_2	-,015625	16	,2781314	,0695329
Pair 2	Klasse_8B_1	,783219	16	,6443357	,1610839
	Klasse_8B_2	1,480488	16	,6059510	,1514877
Pair 3	Klasse_8A_1	-,027350	16	,7039836	,1759959
	Klasse_8B_1	,783219	16	,6443357	,1610839
Pair 4	Klasse_8A_2	-,015625	16	,2781314	,0695329
	Klasse_8B_2	1,480488	16	,6059510	,1514877

### Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Klasse_8A_1 & Klasse_8A_2	16	-,068	,802
Pair 2	Klasse_8B_1 & Klasse_8B_2	16	,583	,018
Pair 3	Klasse_8A_1 & Klasse_8B_1	16	,343	,194
Pair 4	Klasse_8A_2 & Klasse_8B_2	16	-,163	,547

### Paired Samples Test

		Paired Differences			95% Confidence ...
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	-,0117250	,7743686	,1935921	-,4243569
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	-,6972688	,5718976	,1429744	-1,0020115
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	-,8105688	,7745826	,1936457	-1,2233147
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	-1,4961125	,7066496	,1766624	-1,8726595

### Paired Samples Test

		Paired ...	t	df	Sig. (2-tailed)
		95% Confidence Interval of the ...			
		Upper			
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_8A_2	,4009069	-,061	15	,953
Pair 2	Klasse_8B_1 - Klasse_8B_2	-,3925260	-4,877	15	,000
Pair 3	Klasse_8A_1 - Klasse_8B_1	-,3978228	-4,186	15	,001
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_8B_2	-1,1195655	-8,469	15	,000