



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.

7

TILGJENGELIGHET

Åpen

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL	DATO
CO ₂ -DCV i barneskoler:	23.05.2018
Bør CO ₂ -settpunkt differensieres for ulike brukergrupper?	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 62/19
FORFATTER	VEILEDER
Martine Borgen Haugland	Mads Mysen

UTFØRT I SAMARBEID MED	KONTAKTPERSON
SINTEF Byggforsk	Mads Mysen

SAMMENDRAG

Dagens bruk av CO₂-DCV som ventilasjonsstrategi baserer seg på en antagelse om at menneskers CO₂-produksjon er proporsjonal med deres emisjon av bioeffluenter. Det differensieres ikke etter brukergrupper i anbefalinger og krav til settpunkt for CO₂-DCV. Oppgaven har undersøkt om forholdet mellom barns emisjon av bioeffluenter og deres CO₂-produksjon er proporsjonalt, og videre om det er behov for differensiering av settpunkt for CO₂-DCV basert på ulike brukergrupper. Et testpanel vurderte oppfattet luftkvalitet og luktintensitet i to andreklasser og en åttendeklasse. Klasserommene ble besøkt ved like CO₂-nivåer. Resultatene viste at det var signifikant dårligere oppfattet luftkvalitet i andreklasse sammenliknet med åttendeklasse. Resultatene indikerer at barns emisjon av bioeffluenter ikke er proporsjonal med deres CO₂-produksjon. Oppgavens resultater indikerer et behov for differensiering av settpunkt for CO₂-DCV basert på brukergrupper, da særlig for barn. Basert på oppgavens beregninger av CO₂-produksjon hos barn etter metode av Persily og de Jonge, er det laget en anbefaling for CO₂-settpunkt med utgangspunkt i krav i NS 15251 tilpasset to aldersgrupper med barn i grunnskolealder (6-10 år og 11-15 år).

3 STIKKORD

CO₂-DCV

CO₂-produksjon

Bioeffluenter

Prosjektbeskrivelse

Tittel:

CO₂-DCV i barneskoler: Bør CO₂-settpunkt differensieres for ulike brukergrupper?

Hypoteser:

H₁: Oppfattet luftkvalitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil ikke være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

H₀₁: Oppfattet luftkvalitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

H₂: Luktintensiteten i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil ikke være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

H₀₂: Luktintensiteten i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

Bakgrunn:

Dagens bruk av CO₂-DCV baserer seg på en antagelse om at menneskers CO₂-produksjon er proporsjonal med deres emisjon av bioeffluenter. Det antas at dette forholdet er proporsjonalt for alle brukergrupper. Det differensieres derfor ikke etter brukergrupper i anbefalinger og krav til settpunkt for CO₂-DCV. Barn produserer mindre CO₂ enn voksne. Som en konsekvens av dette får barn redusert ventilasjonsluft per person sammenliknet med voksne ved bruk av CO₂-DCV i skoler. Barn regnes som mer sårbare for forurensinger i luft og det er også vist at barn presterer opptil 30 % dårligere i skolesammenheng ved redusert luftkvalitet.

Denne oppgaven skal undersøke om forholdet mellom barns emisjon av bioeffluenter og deres CO₂-produksjon er proporsjonalt, og videre om det er behov for differensiering av settpunkt for CO₂-DCV basert på ulike brukergrupper. Metoden vil bestå av feltundersøkelser på Fernanda Nissen skole hvor et utrent testpanel skal vurdere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer ved like CO₂-nivåer. Vurderingene skal så sammenliknes videre ved statistisk analyse for å forsøke å forkaste oppgavens nullhypoteser og dermed støtte dens eksperimentelle hypoteser.

Forord

Forelesere som er aktive forskere og i front i fagfeltet har vært både motiverende og inspirerende gjennom studiet. Da Mads Mysen ønsket studenter til SINTEF Byggforsk sitt forskningsprosjekt BEST VENT, var det klart hvor jeg ønsket å skrive masteroppgaven min. Å få lov til å være en del av forskningsmiljøet på SINTEF har vært spennende og lærerikt. En stor takk rettes derfor til veileder Mads Mysen, som har motivert og inspirert meg, ikke bare gjennom masteroppgaven, men gjennom hele studiet. En takk rettes også til Aileen Yang, som har vært til stor hjelp med veiledning i forbindelse med oppgaveskriving.

Takk til Jan Hoff og Sjannie Lefevre for informasjon om fysiologi og CO₂-produksjon. En takk rettes også til Hugo Lewi Hammer for hjelp til å få bedre forståelse for statistisk analyse. Takk til Fernanda Nissen skole for at vi fikk bruke skolen som feltlab. Takk til Stig Håvard Tveitane hos KlimaControl AS for hjelp med SD-anlegget.

Takk til Anne-Marit, Eystein, Linda og Oda for korrekturlesing og gode råd.

En stor takk rettes til Marie Flatmo Opsahl, som gjennom hele studiet har vært en fantastisk samarbeidspartner, vært motiverende og støttende, gjort studiehverdagen morsommere og til slutt vært en uvurderlig støttespiller gjennom hele masteroppgaven.

Til slutt vil jeg takke Daniel. Takk for din evige støtte gjennom disse to årene. Takk for at du har stilt opp og ordnet alt annet i hektisk eksamenstid og oppgaveskriving og gjort det mulig for meg å ha fullt fokus på studiet. Takk for at du har tatt deg tid til å lytte til all frustrasjon, men også gleder gjennom arbeidet med denne masteroppgaven.

Martine Borgen Haugland

Oslo, 23. mai 2018

Definisjoner

ATP	Adenosintrifosfat, energirik kjemisk forbindelse som er involvert i alle energikrevende prosesser i menneskekroppen
BEST VENT	Forskningsprosjekt ved SINTEF Byggforsk. Forsker på hvordan man kan oppnå best mulig inneklime ved lav energibruk. Oppgaven er en del av prosjektet
Bioeffluenter	Organisk forurensing i form av kjemiske forbindelser som emitteres fra menneskekroppen
BMR	Basal Metabolic Rate, menneskers grunnforbrenning (MJ/dag)
CO ₂ -DCV	Behovsstyrt ventilasjon etter valgt CO ₂ -settpunkt
Entalpi	Energiinnhold i luften (kJ/kg)
Met	Metabolisme, menneskers varmeavgivelse per m ² kroppsoverflate (W/m ²)
OI	Odour intensity, luktintensitet
Olf	Mål på kildestyrke for lukt. Én olf tilsvarer avgivelsen av luktstoffer, i form av bioeffluenter, fra en termisk nøytral «standardperson» i hvile
PAQ	Perceived air quality, oppfattet luftkvalitet
PD	Andel misfornøyde
PPD-indeks	Forventet andel misfornøyde ved en gitt tilstand
ppm	Parts per million, brukes som mål på CO ₂ -konsentrasjon i luft
RQ	Respirasjonskvotient, forholdet mellom CO ₂ -produksjon og oksygenopptak
Standardperson	En stillesittende, voksen person med en kroppsoverflate på 1,8 m ² , en hygienestandard som tilsvarer 0,7 bad per dag, daglig skifte av undertøy og 80 % bruk av deodorant
V _{min}	Minste luftmengde
V _{max}	Maksimal luftmengde

Sammendrag

Dagens bruk av CO₂-DCV som ventilasjonsstrategi baserer seg på en antagelse om at menneskers CO₂-produksjon er proporsjonal med deres emisjon av bioeffluenter. Det antas at dette forholdet er proporsjonalt for alle brukergrupper til tross for at det fins lite forskning som bekrefter dette for andre enn voksne mennesker. Det differensieres derfor ikke etter brukergrupper i anbefalinger og krav til settpunkt for CO₂-DCV. Barn produserer mindre CO₂ enn voksne. Som en konsekvens av dette får barn redusert ventilasjonsluft per person sammenliknet med voksne ved bruk av CO₂-DCV i skoler. Barn regnes som mer sårbare for forurensinger i luft og det er også vist at barn presterer opptil 30 % dårligere i skolesammenheng ved redusert luftkvalitet.

Denne oppgaven har undersøkt om forholdet mellom barns emisjon av bioeffluenter og deres CO₂-produksjon er proporsjonalt, og videre om det er behov for differensiering av settpunkt for CO₂-DCV basert på ulike brukergrupper. Et utrent testpanel (N=16) besøkte to andreklasser (7-8 år) og en åttendeklasse (13-14 år) for å vurdere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet. Klasserommene ble besøkt ved like CO₂-nivåer i to omganger, med elever tilstede.

Resultatene viste at det generelt var signifikant dårligere oppfattet luftkvalitet i andreklasser sammenliknet med åttendeklasse. For oppfattet luktintensitet ble det ikke funnet signifikante resultater, men gjennomsnittsdifferansen i vurdering mellom parene som ble testet viste en tydelig tendens til at andreklasser ble vurdert med sterkere lukt enn åttendeklasse. Resultatene indikerer at barns emisjon av bioeffluenter ikke er proporsjonal med deres CO₂-produksjon.

Opgavens resultater indikerer et behov for differensiering av settpunkt for CO₂-DCV basert på brukergrupper, da særlig for barn. Basert på oppgavens beregninger av CO₂-produksjon hos barn etter metode av Persily og de Jonge, er det laget en anbefaling for CO₂-settpunkt med utgangspunkt i krav i NS 15251 tilpasset to aldersgrupper med barn i grunnskolealder (6-10 år og 11-15 år).

Abstract

The current use of CO₂-DCV is based on the assumption that the human rate of CO₂-generation is proportional to the bioeffluent generation rate. This relation is assumed to be valid for all user groups, despite the fact that research validating this for other groups than adults is missing. Recommendations for CO₂-DCV setpoints are not differentiated based on user groups. Children produce less CO₂ than adults. As a consequence, children receive a reduced ventilation rate per person compared to adults when CO₂-DCV is used in schools. Children are considered to be more vulnerable to air pollutants and research has shown their school related performance to be reduced by up to 30 % when indoor air quality is reduced.

This thesis has investigated whether the relationship between children's bioeffluents generation rate and their rate of CO₂-generation is proportional. It also further discusses the need to differentiate setpoints in CO₂-DCV based on different user groups. Two second-grade classes (7-8 years old) and one eighth-grade class (13-14 years old) were visited at equal CO₂-levels during two rounds of visitation by an untrained test panel (N=16). The test panel scored perceived air quality (PAQ) and odour intensity (OI) in the classrooms while the pupils were present.

The results showed that PAQ was generally significantly worse in the second-grade classrooms compared to the eighth-grade classroom. For perceived odour intensity no significant results were found, but the average difference in scores showed a clear tendency for second-grade to be scored with higher OI than eighth-grade. The results indicate that children's bioeffluent generation rate is not proportional to their rate of CO₂-generation.

The results of this thesis indicate a need for differentiation of setpoints for CO₂-DCV based on user groups, especially for children. Based on calculations of rates of CO₂-generation in children by method developed by Persily and de Jonge, a new recommendation for CO₂-setpoints has been made. The new recommendations are based on existing recommendations in NS 15251 and further adapted for two groups of children in primary school age (6-10 years old and 11-15 years old).

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord.....	iii
Definisjoner	iv
Sammendrag.....	v
Abstract	vi
Innholdsfortegnelse	vii
Figurer	xi
Tabeller.....	xi
1 Innledning.....	1
2 Teori.....	5
2.1 <i>CO₂-DCV</i>	5
2.1.1 CO ₂ -produksjon som mål på menneskelig forurensning.....	5
2.2 <i>CO₂-produksjon</i>	6
2.2.1 Beregning av CO ₂ -produksjon	7
2.2.2 Ulike brukergrupper	8
2.3 <i>Beregning av luftmengder basert på CO₂-produksjon</i>	9
2.3.1 Krav til innendørs CO ₂ -nivå i Norge	9
2.3.2 Utendørs CO ₂ -nivå	10
2.4 <i>Oppfattet luftkvalitet</i>	10
2.4.1 Sammenheng mellom lukt og oppfattet luftkvalitet.....	11
2.4.2 Sammenheng mellom entalpi og oppfattet luftkvalitet	11
2.5 <i>Sensoriske metoder</i>	11
2.5.1 Luktanalyse.....	11

2.5.2 Testpanel.....	12
2.5.3 Adapsjon.....	12
2.5.4 Skala for subjektive vurderinger.....	13
2.6 <i>Andel misfornøyde</i>	13
3 Metode	15
3.1 <i>Feltlab</i>	15
3.1.1 Ventilasjon.....	16
3.2 <i>Forsøksdesign</i>	16
3.2.1 Valg av CO ₂ -nivå	17
3.2.2 Valg av klasserom	18
3.2.3 Ventilasjonsstrategi	18
3.2.4 Besøksplan.....	22
3.2.5 Testpanel.....	22
3.2.6 Subjektiv vurdering av oppfattet luftkvalitet og luktintensitet	23
3.2.7 Informasjon til testpanel	25
3.2.8 Besøksrutine.....	25
3.2.9 Pilotforsøk.....	25
3.3 <i>Entalpi</i>	26
3.4 <i>Utstyr</i>	26
3.4.1 ZTH.....	26
3.4.2 Rotronic	27
3.4.3 SD-anlegg	27
3.5 <i>Analyse av data</i>	28
3.5.1 Konvertering av data.....	28
3.5.2 Paret t-test	30

3.5.3 Parametrisk data	30
3.5.4 Andel misfornøyde	32
4 Resultater.....	33
4.1 Testpanelet.....	33
4.2 Tilstand i klasserommene.....	33
4.3 Tilstand utendørs.....	34
4.4 Personbelastning.....	35
4.5 Oppfattet luftkvalitet	36
4.5.1 Deskriptiv statistikk.....	36
4.5.2 Statistisk analyse	38
4.5.3 Andel misfornøyde med oppfattet luftkvalitet.....	39
4.6 Luktintensitet.....	40
4.6.1 Deskriptiv statistikk.....	40
4.6.2 Statistisk analyse	41
4.6.3 Andel misfornøyde med luktintensitet.....	42
5 Diskusjon	44
5.1 Oppsummering av resultater.....	44
5.2 Barns emisjon av bioeffluenter.....	45
5.3 Andel misfornøyde.....	46
5.4 Gyldighet av ASHRAE sine antagelser for CO ₂ -DCV.....	47
5.5 CO ₂ -nivåer.....	48
5.6 Behov for differensiering av settpunkt ved CO ₂ -DCV.....	49
5.7 Faktorer som kan ha påvirket resultater.....	50
5.7.1 Luftmengder per person.....	50
5.7.2 Romluftens entalpi.....	51
5.8 Styrker og svakheter	52
5.8.1 Måleinstrumenter.....	52

5.8.2 Feltlab	52
5.8.3 Testpanel	53
6 Anbefalinger for differensiert settpunkt for CO₂-DCV	54
7 Forslag til videre arbeid.....	56
8 Referanser.....	58
A Vedlegg.....	63
<i>A.1 CO₂-produksjon</i>	<i>63</i>
<i>A.2 Funksjonsbeskrivelse av romregulering.....</i>	<i>65</i>
<i>A.3 Beregning av luftmengder.....</i>	<i>66</i>
<i>A.4 Informasjonsskriv til testpanel.....</i>	<i>67</i>
<i>A.5 Hefte utdelt til testpanel.....</i>	<i>68</i>
<i>A.6 Produktinformasjon ZTH.....</i>	<i>71</i>
<i>A.7 Kalibreringsbevis Rotronic.....</i>	<i>72</i>
<i>A.8 Likninger for konvertering av skala for subjektiv vurdering.....</i>	<i>73</i>
<i>A.9 Registrerte data.....</i>	<i>75</i>
<i>A.10 Registreringsskjema for målte verdier fra forsøket</i>	<i>77</i>
<i>A.11 Registreringsskjema for antall elever og lærere tilstede</i>	<i>78</i>
<i>A.12 Resultater fra SPSS</i>	<i>79</i>

Figurer

Figur 1: Sammenheng mellom alder, kjønn og CO ₂ -produksjon. Egenprodusert i Excel.	8
Figur 2: Plantegning av Fernanda Nissen skole. Aktuelt område markert i rødt. Bildet er hentet fra www.larklandskap.no	16
Figur 3: Skjema for scoring av oppfattet luftkvalitet og luktintensitet. Egenprodusert i Excel.....	24
Figur 4: ZTH fra Belimo. Bilde hentet fra https://belimo.dk/produkter/zth-eu	26
Figur 5: Rotronic CP11. Bilde hentet fra https://www.rotronic.com/en/cp11.html	27
Figur 6: Boksdiagram for oppfattet luftkvalitet for alle besøk. Stiplet linje markerer grense mellom «akseptabel» og «ikke akseptabel» verdi, verdier under streken indikerer at personen er misfornøyd med luftkvaliteten. Egenprodusert i SPSS.....	37
Figur 7: Boksdiagram for oppfattet luktintensitet for alle besøk. Stiplet linje markerer grenseverdi for misfornøyde, verdier over streken indikerer at personen er misfornøyd med luktnivået. Egenprodusert i SPSS.....	41

Tabeller

Tabell 1: Gjeldende krav til innendørs CO ₂ -nivå i Norge.....	9
Tabell 2: Estimert CO ₂ -produksjon per person og verdier for BMR benyttet i beregning. Verdier for BMR hentet fra tabell av Persily og de Jonge (2017).....	20
Tabell 3: Antatt antall personer tilstede og total estimert CO ₂ -produksjon.....	20
Tabell 4: Luftmengdeinnstillinger benyttet under forsøket.....	22
Tabell 5: Besøksplan for klasserom med planlagt CO ₂ -nivå og luftmengder.....	22
Tabell 6: Forslag til krav til maksimal målefeil for CO ₂ - og temperatursensor fra SINTEF.....	28

Tabell 7: Oversikt over par ved t-test i SPSS	30
Tabell 8: K-S-test for normalitet	31
Tabell 9: Aldersspenn og kjønnsfordeling for testpanel.....	33
Tabell 10: Tilstand i klasserommene under de forskjellige besøkene på forsøksdagen..	33
Tabell 11: Differanser i henholdsvis CO ₂ -nivå og entalpi mellom klasserommene i par for statistisk analyse	34
Tabell 12: Utendørs tilstand på forsøksdagen.....	34
Tabell 13: Antatt personbelastning og faktisk personbelastning, samt både beregnet og faktisk luftmengde per person for de ulike rommene ved de to ulike CO ₂ -nivåene	35
Tabell 14: Deskriptiv statistikk for oppfattet luftkvalitet	36
Tabell 15: Resultater fra paret t-test av oppfattet luftkvalitet i SPSS	38
Tabell 16: Andel misfornøyde med oppfattet luftkvalitet i rommet samt teoretisk beregnet PPD-indeks basert på luftmengde per person	39
Tabell 17: Deskriptiv statistikk for oppfattet luktintensitet.....	40
Tabell 18: Resultater fra paret t-test av luktintensitet i SPSS.....	42
Tabell 19: Andel misfornøyde med luktintensiteten i rommet samt teoretisk beregnet PPD-indeks basert på luftmengde per person	43
Tabell 20: Nye anbefalte verdier for settpunkt for CO ₂ -DCV gitt i differanse mellom innendørs og utendørs konsentrasjon	55

1 Innledning

I en verden hvor det stadig blir mer fokus på klima og energibruk har behovsstyrt ventilasjon (DCV) en viktig rolle. Energibruk til ventilasjon utgjør en vesentlig del av det totale energibehovet i bygninger og ved å redusere luftmengder etter behov er det potensielt mye energi å spare (Novakovic, Hanssen, Thue, Wangensteen & Gjerstad, 2016). En av de vanligste metodene for å styre slik ventilasjon er etter CO₂-nivå. Dette kalles CO₂-DCV. Ved denne styringsmetoden benyttes CO₂ som en indikator på menneskelig tilstedeværelse.

Ventilasjon har som mål å fjerne forurensinger i inneluften for å oppnå akseptabel luftkvalitet. Disse forurensingene stammer både fra bygningsmaterialer og fra mennesker. Forurensing fra mennesker kalles emisjon av bioeffluenter. Dagens bruk av CO₂-DCV baserer seg på ASHRAE sine tre antagelser (ASHRAE, 2010):

1. Ventilasjonsluftmengdene per person angitt i ASHRAE 62.1 er basert på en konsentrasjon av bioeffluenter hvor 80 % av brukerne ikke uttrykker misnøye med luftkvaliteten.
2. Menneskers CO₂-produksjon er proporsjonal med deres emisjon av bioeffluenter.
3. Emisjon av bioeffluenter er proporsjonal med antall brukere og deres aktivitetsnivå. Dette forholdet er forutsigbart og konstant uavhengig av alder, kjønn, diett og kroppsstørrelse.

Forskning har vist at CO₂-produksjon varierer med kroppsmasse (Persily & de Jonge, 2017). Små barn har en lavere CO₂-produksjon enn voksne. Ved CO₂-DCV vil dette føre til at barn får mindre ventilasjonsluft per person enn voksne mennesker.

Det er anerkjent at dårlig inneluftkvalitet fører til symptomer som hodepine, tretthet og konsentrasjonsvansker (Wargocki, Wyon, Sundell, Clausen & Fanger, 2000; Zhang, Wargocki, Lian & Thyregod, 2017). Flere studier har vist reduserte prestasjoner hos barn ved redusert luftkvalitet (Toftum et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2012). En studie utført av Wargocki og Wyon viser at barn i større grad enn voksne blir påvirket av dårlig luftkvalitet (Wargocki & Wyon, 2012). Resultatene fra denne studien viste at voksne mennesker hadde en reduksjon i prestasjoner på 5-10 % ved redusert

luftkvalitet. For barn var denne reduksjonen på 15-30 %. Barn regnes som mer sårbare for forurensinger i luft enn voksne, fordi de sammenliknet med voksne puster inn mer luft i forhold til kroppsmasse (Hou, Liu & Li, 2015). Forskning viser også at ved dårlig luftkvalitet er det større fravær blant elever (Mendell et al., 2013). Dette kan ha potensielt store effekter på læringsutbytte for barn i grunnskolealder.

Forskning har også vist at 20 % av lærerne i den norske skolen opplever inneklimarelaterte plager i løpet av en uke og at lærere i grunnskolen opplever dette i større grad enn lærere på videregående skole (Skulberg, Høiskar, Rønning & Kolstad, 2010). Den samme studien fant at pedagogisk personale hadde flere symptomer enn administrativt personale, noe som kan tyde på at det er luftkvaliteten i klasserommene som er problemet.

Deler av forskningen som legger grunnlaget for antagelsen om proporsjonalitet mellom emisjon av bioeffluenter og CO₂-produksjon ble utført på 80-tallet, en tid hvor det var lovlig å røyke innendørs i de fleste bygg (Berg-Munch, Clausen & Fanger, 1986; Fanger & Berg-Munch, 1983). Mye har endret seg siden den tid. Det er nå forbudt å røyke innendørs i offentlige bygg, og det er utviklet nye, lavemitterende bygningsmaterialer som i mindre grad bidrar til forurensing av inneluften. Forskningen som disse antagelsene er basert på ble utført på en gruppe voksne, mannlige studenter og en gruppe voksne, kvinnelige studenter. Fanger anbefalte selv videre forskning på området og skrev at resultatene fra de aktuelle forsøkene ikke ga grunnlag for å si noe om hvorvidt det samme proporsjonale forholdet mellom CO₂-produksjon og emisjon av bioeffluenter gjaldt andre aldersgrupper, etnisitet og annen hygienestandard.

Ved dagens bruk av CO₂-DCV skilles det vanligvis ikke mellom brukergrupper i valg av og krav til CO₂-settpunkt. I Norge anbefaler Byggforsk å redusere settpunktet i forhold til kravet for ventilasjon for barn på grunnlag av at de produserer 20 % mindre CO₂, men det gis ikke konkrete forslag til settpunkt eller videre kommentar til dette (Byggforsk, 2017).

Etter denne oppgavens beste evne er det ikke funnet oppdatert forskning på forholdet mellom emisjon av bioeffluenter og CO₂-produksjon hos barn. Flere studier har blitt utført på sammenheng mellom luftkvalitet og prestasjoner, symptomer og fravær i

barneskoler, men ingen har sett på om det er riktig at det benyttes samme CO₂-settpunkt for alle aldersgrupper (Hou et al., 2015; Mendell et al., 2013; Toftum et al., 2015).

Det anses derfor som nødvendig og viktig å undersøke om det er behov for differensiert CO₂-settpunkt for ulike brukergrupper. Dette vil være spesielt viktig for små barn ettersom forskning viser at barn kan være ekstra sårbare for redusert luftkvalitet og i liten grad vil være i stand til å uttrykke seg om dette (Hou et al., 2015; Wargocki & Wyon, 2012).

Oppgavens mål vil være å undersøke om barns emisjon av bioeffluenter er proporsjonal med deres CO₂-produksjon ved å sammenlikne oppfattet luftkvalitet og luktintensitet i klasserom for små barn med klasserom for eldre ungdommer ved likt CO₂-nivå. Målet er videre å vurdere om det er behov for differensiert CO₂-settpunkt for ulike brukergrupper.

For å kunne gi svar på spørsmålet om barns emisjon av bioeffluenter er proporsjonal med deres CO₂-produksjon ble det satt opp to sett med hypoteser bestående av en eksperimentell hypotese (H₁) og en nullhypotese (H₀):

Sett 1:

H₁: Oppfattet luftkvalitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil ikke være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

H₀₁: Oppfattet luftkvalitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

Sett 2:

H₂: Luktintensiteten i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil ikke være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

H₀₂: Luktintensiteten i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil være lik dersom de har likt CO₂-nivå.

Oppgavens mål er å forkaste nullhypotesene og dermed støtte de eksperimentelle hypotesene. Dersom nullhypotesene kan forkastes på grunnlag av dårligere oppfattet luftkvalitet og sterkere luktintensitet i klasserom med små barn, vil det indikere at barns

emisjon av bioeffluenter ikke er proporsjonal med deres CO₂-produksjon og at det kan være behov for differensiering av CO₂-settpunkt basert på ulike brukergrupper.

2 Teori

2.1 CO₂-DCV

Behovsstyrt ventilasjon (DCV) regulerer luftmengder etter behov ved menneskelig tilstedeværelse. I motsetning til konstant ventilasjon (CAV) kan DCV spare mye energi ved å redusere luftmengdene når behovet for tilførsel av friskluft reduseres. En vanlig måte å styre slik ventilasjon på er å styre etter et målt CO₂-nivå i rommet, dette kalles CO₂-DCV. Ved denne styringsmåten tilstrebes det å holde CO₂-nivået i et rom under et visst settpunkt. En sensor for måling av CO₂-nivå plasseres i rommet ved ca. 1-1,7 meters høyde. Ideelt sett bør luftmengder reguleres etter differanse mellom innendørs og utendørs CO₂-nivå (Mysen & Schild, 2013).

2.1.1 CO₂-produksjon som mål på menneskelig forurensning

Mengde forurensing fra mennesker til inneluften vil variere med antall brukere. Gjennom sekundære bakterielle prosesser på hudens overflate og i klær vil svette og talg danne flere og sterkt luktende stoffer. Mennesker produserer også lukt fra kroppsgasser, smuss og skitt (Novakovic et al., 2016). Slik forurensing kalles emisjon av bioeffluenter.

Bioeffluenter og lukt fra mennesker er vanskelig å måle ettersom de består av ca. 500 ulike kjemiske forbindelser (Wargocki, 2004). CO₂ er derimot en gass det er enkelt å måle. Både produksjon av bioeffluenter og produksjon av CO₂ er avhengig av kroppsstørrelse og fysisk aktivitet (Emmerich & Persily, 2001). Basert på antagelsen om at emisjon av bioeffluenter og CO₂-produksjon er proporsjonalt, kan CO₂-nivå i et rom gi en indikasjon på nivå av menneskelig forurensing og dermed også ventilasjonsbehovet. CO₂ fungerer dermed som en indikasjon på annen forurensing, og det er ikke CO₂ i seg selv man ønsker å fjerne ved ventilasjon. De nivåer av CO₂ man vanligvis vil oppnå innendørs påvirker ikke mennesker i seg selv. Det er mengden bioeffluenter som samtidig opptrer som påvirker oss, som igjen kan gi symptomer som hodepine, tretthet og konsentrasjonsproblemer (Zhang et al., 2017).

2.2 CO₂-produksjon

Mennesker produserer CO₂ ved respirasjon. Dette er en prosess som består av at kroppen tar opp oksygen og skiller ut stoffskifteproduktet karbondioksid. Gassutvekslingen av oksygen og karbondioksid foregår i lungene ved diffusjon mellom lunger og blodbane. Det er i stor grad blodets innhold av CO₂ som bestemmer respirasjonsdybde og pustefrekvens (Novakovic et al., 2016).

Menneskers CO₂-produksjon påvirkes av kjønn, alder, høyde, vekt, kroppssammensetning og diett (Persily & de Jonge, 2017). Det er ikke alder direkte som påvirker produksjonen, men det faktum at mennesker har ulik kroppsmasse i forskjellige aldre.

Som en del av menneskers forbrenningsprosess av fett, karbohydrater og protein forbrukes det oksygen. Denne prosessen resulterer i vann, CO₂ og molekylet ATP som fungerer som «drivstoff» i muskelarbeidet (NHI, 2017). Avhengig av om man forbrenner fett, karbohydrater eller protein vil forholdet mellom forbruk av O₂ og produksjon av CO₂ variere. Dette forholdet kalles respirasjonskvotient (RQ). RQ varierer også med aktivitetsnivå og er avhengig av hvor trent en person er. Som en forenkling basert på forskning på menneskelig ernæring i USA benyttes en RQ på 0,85 (Persily & de Jonge, 2017). I følge Jan Hoff, idrettsfysiolog og professor i medisin ved NTNU, vil diett kun ha en minimal påvirkning på CO₂-produksjonen (Hoff, personlig kommunikasjon 24.04.2018).

Fysisk aktivitet har stor påvirkning på CO₂-produksjon. Ved høyere energiforbruk kreves det et større O₂-opptak og det resulterer dermed i en større CO₂-produksjon. I følge fysiolog og forsker ved Institutt for Biovitenskap ved UiO, Sjannie Lefevre, påvirker kroppssammensetning forholdet mellom vekt og oksygenforbruk ettersom ulike celler har ulike behov. Den fettfrie kroppsmassen er derfor best egnet til å si noe om oksygenbehovet og dermed CO₂-produksjonen. Dersom man sammenlikner et barn på fem år og en ungdom på 15 år vil det være forskjell i vekt og muskelmasse som avgjør forskjell i CO₂-produksjon dersom de sammenliknes i hviletilstand (Lefevre, personlig kommunikasjon 24.04.2018).

2.2.1 Beregning av CO₂-produksjon

CO₂-produksjon påvirkes av vekt og kroppssammensetning og varierer dermed med brukergruppe. Tidligere metoder for estimering av CO₂-produksjon har ikke tatt hensyn til dette i tilstrekkelig grad (ASTM, 2012; Ingebrigtsen, 2016). En ny metode for estimering av CO₂-produksjon hos ulike brukergrupper i et bygg er utviklet av Persily og de Jonge (2017). Metoden baserer seg på forskning innen menneskelig metabolisme, fysisk aktivitet og data om kroppsmasse hos ulike grupper mennesker.

For å regne ut en estimert CO₂-produksjon benytter denne metoden «basal metabolic rate» (BMR), grunnforbrenningen til et menneske, kombinert med aktuelt nivå av metabolisme basert på fysisk aktivitet. Tidligere metoder har kun benyttet kroppsoverflate og fysisk aktivitet, eller fysisk aktivitet alene (ASTM, 2012; Ingebrigtsen, 2016).

BMR avhenger av kjønn, alder og kroppsmasse. Persily og de Jonge har produsert en tabell over sammenheng mellom kjønn, alder, gjennomsnittlig kroppsmasse og BMR som kan benyttes for beregninger.

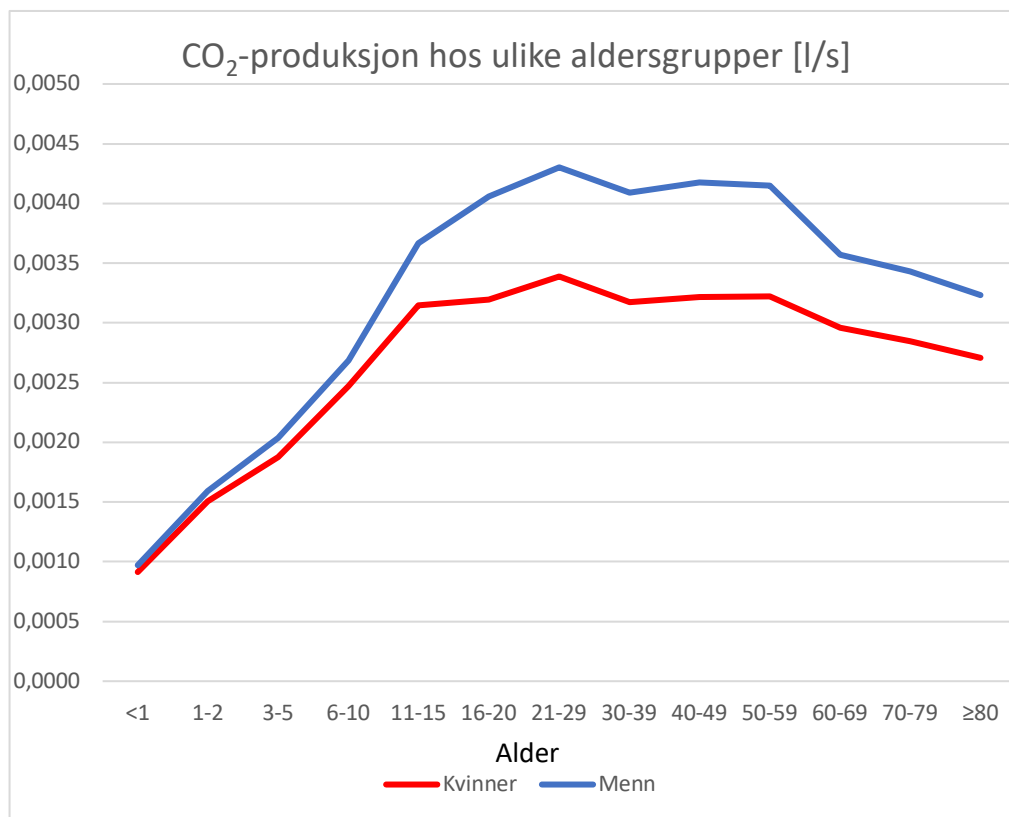
Persily og de Jonge sin formel for estimering av CO₂-produksjon i liter per sekund er presentert under.

$$V_{CO_2} = RQ \cdot BMR \cdot M \left(\frac{T}{P}\right) 0,000211 \quad [l/s] \quad (1)$$

V_{CO_2}	<i>CO₂-produksjon</i>	<i>[l/s]</i>
BMR	<i>Basal Metabolic Rate</i>	<i>[MJ/dag]</i>
RQ	<i>Respirasjonskvotient</i>	<i>[-]</i>
M	<i>Met – Metabolisme</i>	<i>[W/m²]</i>
T	<i>Temperatur i Kelvin</i>	<i>[K]</i>
P	<i>Trykk</i>	<i>[kPa]</i>

2.2.2 Ulike brukergrupper

Basert på Persily og de Jonge sin metode er det laget en graf som viser sammenhengen mellom alder og CO₂-produksjon hos henholdsvis kvinner og menn i hviletilstand ved 1 met og en romtemperatur på 21°C. For beregninger se vedlegg A.1.



Figur 1: Sammenheng mellom alder, kjønn og CO₂-produksjon. Egenprodusert i Excel.

CO₂-produksjon øker med alder frem til 20-årene hvor produksjonen når et toppunkt. De første leveårene vil ikke forskjellen mellom kjønnene være så stor, det er først i tenårene man ser en vesentlig økning hos gutter i forhold til jenter. I alderen 21-29 år produserer menn 21% mer CO₂ enn kvinner. Beregning etter denne modellen viser videre at en gutt på 6-10 år produserer 38 % mindre CO₂ enn en voksen mann på 21-29 år. Dagens anbefalinger til luftmengder i ventilasjonsanlegg baseres på at barn produserer 20 % mindre CO₂ enn voksne (Byggforsk, 2017).

2.3 Beregning av luftmengder basert på CO₂-produksjon

Beregning av nødvendige luftmengder basert på ønsket CO₂-nivå innendørs og beregnet CO₂-produksjon kan gjøres etter formel 2 (Ingebrigtsen, 2016):

$$\dot{V}_u = \frac{G_{CO_2} \cdot 10^6}{G_{i,CO_2} - C_{u,CO_2}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \quad [l/s] \quad (2)$$

\dot{V}_u	Nødvendig tilført uteluft	[l/s]
G_{CO_2}	Summert CO ₂ -produksjon	[l/s]
G_{i,CO_2}	Krav til CO ₂ -nivå innendørs	[ppm]
C_{u,CO_2}	CO ₂ -nivå utendørs	[ppm]
ε_v	Ventilasjonseffektivitet	[-]

2.3.1 Krav til innendørs CO₂-nivå i Norge

I Norge angis krav til innendørs CO₂-nivå i *NS 15251* (NS-EN15251, 2014) og i Arbeidstilsynets *Veiledning 444* (Arbeidstilsynet, 2016). *TEK 17* angir ikke direkte krav til CO₂-nivå, men angir krav til 26 m³/h per person som tilsvarer 7,2 l/s per person (TEK17, 2017). I tillegg kommer materialventilasjon på 3,6 m³/h per m². Dette vil gi varierende verdier for CO₂-nivå basert på type lokale, brukere og aktivitetsnivå. Det er derfor kun tatt hensyn til krav i *NS 15251* og *Veiledning 444*. Kravene er presentert i tabellen under.

Tabell 1: Gjeldende krav til innendørs CO₂-nivå i Norge

Standard/regelverk	Krav til CO ₂ -nivå [ppm]
NS 15251	Δ500
Veiledning 444	1000

Kravene angis på to forskjellige måter; *NS 15251* angir en differanse i forhold til aktuelt utendørs CO₂-nivå og *Veiledning 444* angir et absolutt innendørs CO₂-nivå. Det er sjelden man oppnår et utendørs CO₂-nivå på mer enn 500 ppm i Norge, *NS 15251* sitt krav om maksimalt 500 ppm over utenivå vil derfor være det strengeste av de to kravene.

NS 15251 forklarer bruk av differanse i CO₂-nivå slik:

CO₂-konsentrasjonen i inneluft er en indikator for belastningen av innemiljøet med bioeffluenter fra mennesker. Svingningene i den naturlige CO₂-konsentrasjonen i uteluft påvirker imidlertid ikke inneluftkvaliteten. Derfor er det egentlig ikke den absolutte CO₂-konsentrasjonen som er indikatoren for inneluftkvaliteten, men differansen mellom CO₂-konsentrasjonen inne og ute. Dette skal det tas hensyn til, både ved kalibrering av automatisk behovsstyring av ventilasjonen, og ved bedømming av inneluftkvalitet (NS-EN15251, 2014).

2.3.2 Utendørs CO₂-nivå

CO₂-nivået utendørs vil påvirke CO₂-nivået innendørs. I Norge ligger utendørs CO₂-nivå vanligvis på 350-450 ppm (Novakovic et al., 2016). Utenivået vil variere både i løpet av året og i løpet av døgnet. Om vinteren vil det generelt være høyere CO₂-nivå ettersom det er mindre levende planter som kan binde opp CO₂ gjennom fotosyntese. Dersom bygget ligger ved en trafikkert vei vil CO₂-nivå ved luftinntak kunne påvirkes av mengde trafikk og derfor variere gjennom døgnet.

2.4 Oppfattet luftkvalitet

Mennesker ønsker å oppleve inneluften som frisk og behagelig, den skal ikke ha en negativ effekt på helse og den skal øke produktivitet og læring ved skoler (Fanger, 2006).

2.4.1 Sammenheng mellom lukt og oppfattet luftkvalitet

Oppfattet luftkvalitet henger sammen med mengde forurensinger i inneluften (Wargocki, 2004). Forurensingen består av organiske kjemiske forbindelser som stammer fra uteluft, bygningen og mennesker. Disse kjemiske forbindelsene påvirker mennesker via lukteceller i nesen. De kan dermed oppfattes som lukt. Ved økende mengde forurensinger vil luften oppfattes som tett, dårlig og ubehagelig og dette kan gi symptomer som utmattelse, hodepine og konsentrasjonsvansker (Fang, Wyon, Clausen & Fanger, 2004).

2.4.2 Sammenheng mellom entalpi og oppfattet luftkvalitet

Forskning viser at entalpi kan ha effekt på oppfattet luftkvalitet (Fang, Clausen & Fanger, 1998; Fang et al., 2004). Forskningen viser også at den samme effekten ikke er funnet for luktintensitet.

Studiene viste en sterk og signifikant sammenheng mellom temperatur og relativ fuktighet og oppfattelse av luftkvalitet. Luften ble oppfattet som mindre akseptabel ved økende temperatur og relativ fuktighet. Det ble funnet signifikant lineær korrelasjon mellom akseptabilitet og luftens entalpi ved alle de undersøkte forurensingsnivåene (Fang et al., 1998).

2.5 Sensoriske metoder

Sensoriske metoder baserer seg på subjektive vurderinger ved bruk av menneskelige sanser. For denne oppgaven er det bruk av luktesansen som sensorisk metode som er av interesse.

2.5.1 Luktanalyse

Organiske kjemiske forbindelser er de viktigste opplevde forurensingene for mennesker i innendørs luft. Disse forbindelsene påvirker mennesker ved at de transporteres inn i nesen med innåndingsluften og videre gjennom slimhinnene til luktecellene (Sensorisk Studiegruppe, 2015). Man regner med at mennesker kan skille mellom 10 000 forskjellige lukter.

De organiske kjemiske forbindelser som oppleves som forurensing innendørs er vanskelig å måle med kjemiske analyser og det er så langt ikke funnet noen effektiv måte å gjøre slike målinger relatert til ventilasjonsbehov (Wargoeki, 2004). Luktanalyse basert på menneskelig luktesans og følsomhet for kjemiske irriteranter benyttes derfor ofte som verktøy for vurdering av luftkvalitet.

Basert på tidligere forsøk introduserte Fanger i 1988 olf som en ny måleenhet for luktbelastning (Fanger, 1988b). Olf er et mål på kildestyrke for lukt. Én olf tilsvarer avgivelsen av luktstoffer, i form av bioeffluenter, fra en «standardperson» som arbeider stillesittende på et kontor med termisk komfort (Ingebrigtsen, 2016). Basert på Fangers forskning regnes en «standardperson» som en stillesittende person med en kroppsoverflate på 1,8 m², med en hygienestandard som tilsvarer 0,7 bad per dag, med daglig skifte av undertøy og 80 % bruk av deodorant. Gjennomsnittsalderen for personene som deltok i forsøket var 21 år (Parine, 1994).

Olf kan også benyttes som måleenhet for andre forurensningskilder enn mennesker, andre kilder blir da kvantifisert i forhold til kildestyrken fra én olf.

2.5.2 Testpanel

Sensorisk studiegruppe angir retningslinjer for valg av testpanel til forsøk med sensoriske metoder (Sensorisk Studiegruppe, 2015). Deltakerne som velges ut bør:

- Være i alderen 20 – 55 år
- Være motivert for oppgaven
- Være tilgjengelig på aktuelle tidspunkt
- Fortrinnsvis ikke røyke
- Ha en alminnelig god helsetilstand

2.5.3 Adapsjon

Ved gjentatt eller lengre eksponering overfor en bestemt stimulus vil sensitiviteten reduseres, dette kalles adapsjon (Sensorisk Studiegruppe, 2015). Med tanke på oppfattet luftkvalitet og luktintensitet vil det si at dersom testpaneldeltakerne oppholder seg i et rom med redusert luftkvalitet over lengre tid, vil ikke deltakerne vurdere luftkvaliteten som like dårlig ved slutten av oppholdet.

For å unngå adaptasjon er det viktig at testpaneldeltakere gir sin vurdering umiddelbart etter å ha kommet inn i rommet.

2.5.4 Skala for subjektive vurderinger

Tidligere forskning innen fagfeltet har benyttet en skala fra 0 til 5 for subjektiv vurdering av luktintensitet og en skala fra -1 til 1 for subjektiv vurdering av oppfattet luftkvalitet (Tsushima, Wargocki & Tanabe, 2018; Wargocki, 2001, 2004). Skalaene er som følger:

<i>Luktintensitet:</i>	<i>Oppfattet luftkvalitet:</i>
<i>0 – Ingen lukt</i>	<i>-1 – Helt uakseptabelt</i>
<i>1 – Svak lukt</i>	<i>-0,01 – Ikke akseptabelt</i>
<i>2 – Moderat lukt</i>	<i>0,01 – Så vidt akseptabelt</i>
<i>3 – Sterk lukt</i>	<i>1 – Helt akseptabelt</i>
<i>4 – Svært sterk lukt</i>	
<i>5 – Uutholdelig lukt</i>	

2.6 Andel misfornøyde

En PPD-indeks gir en indikasjon på hvor mange som vil være misfornøyd med tilstanden i rommet. PPD står for «Predicted Percentage Dissatisfied», altså hvor mange man forventer vil være misfornøyde ved en viss tilstand.

Det eksisterer ikke direkte krav til PPD for lukt og oppfattet luftkvalitet i Norge, men NS 15251 angir verdier for hvor stor andel misfornøyde man forventer ved visse luftmengder per person. Disse verdiene baserer seg på Fangers formel for PPD-indeks som vist under (Fanger, 1988a).

$$PPD = 395 \cdot EXP(-1,83 \cdot q^{0,25}) \quad (3)$$

PPD *Forventet andel misfornøyde [%]*

q *Luftmengde per olf [l/(s·olf)]*

Ettersom det antas at «standardpersonen» har en olfbelastning på 1 olf ved stillesittende arbeid benyttes ofte luftmengde per person istedenfor luftmengde per olf i beregninger.

Klasserom i nybygg i Norge baserer seg på krav til klasse II i NS 15251; *Normalt forventningsnivå. Bør brukes i nye og rehabiliterte bygninger.* For denne klassen forventes det en andel på 20 % misfornøyde dersom man følger anbefalinger til ventilasjonsluftmengder. Tilsvarende er ASHRAE sin første antagelse at konsentrasjonen av bioeffluenter i inneluften skal tilsvare 80 % fornøyde brukere (ASHRAE, 2010).

3 Metode

For å forsøke å forkaste oppgavens nullhypoteser og dermed underbygge de eksperimentelle hypotesene ble det gjennomført et forsøk i feltlab basert på kvantitativ metode. Deretter ble innsamlet data fra forsøket analysert og testet for signifikans ved statistisk analyse.

Forsøket er gjennomført i samarbeid med medstudent Marie Flatmo Opsahl. Dette ble gjort for å sørge for at de to oppgavene samlet ville ha et størst mulig datagrunnlag og for å kvalitetssikre forsøksprosessen. Marie sin oppgave undersøker kombinert CO₂- og temperaturstyring. De deler av forsøket og innsamlet data som ikke er av relevans for denne oppgaven vil ekskluderes.

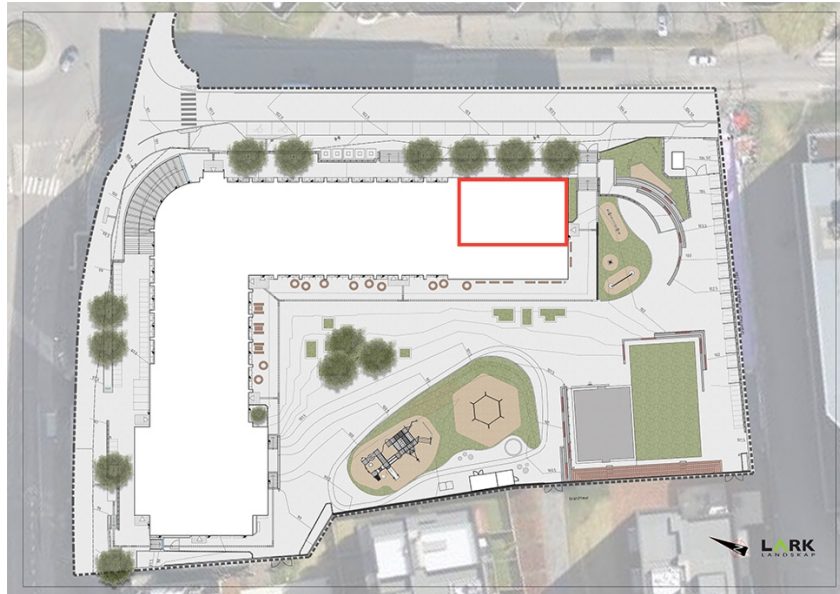
3.1 Feltlab

Fernanda Nissen skole i Oslo ble benyttet som feltlab. Fernanda Nissen er en skole for elever fra 1. til 10. klasse.

Fernanda Nissen skole befinner seg på Storo i bydel Sagene. Skolen ble åpnet i 2016 og er bygget som et passivhus. Skolen består av fire etasjer inkludert kjeller og det totale arealet er 9750 m². De utvalgte klasserommene befant seg i andre etasje. Bygget ligger ved en trafikkert vei, men skolegården er skjermet for trafikk. Bygget er formet som en L, hvor de ytre sidene er vendt mot trafikkert vei, mens de indre sider er vendt mot skolegården.

To og to klasserom deler et mindre grupperom mellom seg med egen dør til hvert klasserom. Hvert klasserom er dimensjonert for 31 personer, har areal på ca. 60 m² og høyde på ca. 2,8 m.

Bildet under viser en plantegning av bygget. Det aktuelle området hvor forsøket er gjennomført er markert i rødt.



Figur 2: Plantegning av Fernanda Nissen skole. Aktuelt område markert i rødt. Bildet er hentet fra www.larklandskap.no

3.1.1 Ventilasjon

Bygget har totalt ni ventilasjonsaggregater og klasserommene ventileres med behovsstyrt ventilasjon (DCV) styrt etter CO₂-nivå og temperatur. Kombinert CO₂- og temperatursensor er plassert ved tavle i ca. 1,6 m høyde. SD-anlegget er av typen Siemens Desigo CC. Ventilasjonsanlegget driftes fra 06.00 til 17.00 på hverdager.

DCV-spjeld befinner seg i himling i hvert klasserom og er tilgjengelig med stige. Både tilluftsventil og avtrekksventil er plassert i tak.

Se vedlegg A.2 for funksjonsbeskrivelse av romregulering.

3.2 Forsøksdesign

Forsøket ble utført i samarbeid med Marie Flatmo Opsahl. I forsøket ble fire klasserom besøkt, kun tre av dem er relevant for denne oppgaven. Det fjerde klasserommet holdt høyere temperatur og er kun relevant for Marie sin oppgave. Forsøket ble gjennomført onsdag 14. februar 2018.

Tre klasserom ble besøkt av et utrent testpanel som vurderte oppfattet luftkvalitet og luktintensitet ved å avgi score på utdelt skjema. Hvert klasserom ble besøkt to ganger, en gang ved lavt CO₂-nivå og en gang ved høy CO₂-nivå. To av klasserommene tilhørte andreklasse og det tredje tilhørte åttendeklasse.

Målet med forsøket var å undersøke om det var signifikante forskjeller i oppfattet luftkvalitet eller luktintensitet mellom andre og åttende klasse. For å isolere brukergruppe som eneste ulike faktor som påvirket oppfattet luftkvalitet og luktintensitet, var det ønskelig å oppnå likt CO₂-nivå i de tre klasserommene ved henholdsvis 600 ppm og 1100 ppm. Andre faktorer som temperatur og relativ fuktighet var også ønskelig å holde på likt nivå mellom rommene for å sikre sammenliknbare forhold.

Videre presenteres prosedyre for planlegging og utføring av forsøket.

3.2.1 Valg av CO₂-nivå

For å kunne sammenlikne de ulike klasserommene var det nødvendig å opprettholde et likt CO₂-nivå i alle rommene. Klasserommene skulle sammenliknes ved to forskjellige CO₂-nivåer; 600 ppm og 1100 ppm.

De to CO₂-nivåene ble valgt med tanke på at de tilsvarer de to ytterpunktene innen CO₂-styrt ventilasjon. Det styres vanligvis ikke mot lavere settpunkt enn 600 ppm og dette blir derfor den laveste konsentrasjonen det vil være relevant å undersøke. Uteluften i Oslo ligger vanligvis på mellom 400 og 450 ppm, styring mot 600 ppm vil derfor tilsvare en CO₂-økning innendørs på så lite som 150-200 ppm. Det vil ikke være hensiktsmessig å styre mot et lavere settpunkt enn dette. Det styres mot 600 ppm på Fernanda Nissen skole og det er derfor et aktuelt settpunkt å undersøke.

Det vil være uetisk å gjennomføre et forsøk med et CO₂-nivå som er mye høyere enn norske krav. Forsøket utføres på barn og ungdom og det er ikke ønskelig å påvirke skoledagen deres negativt. Det ble derfor valgt å teste et øvre CO₂-nivå på 1100 ppm. Dette ligger så vidt over krav til CO₂-nivå i skoler i Norge og det er fare for at dette nivået overskrides i mange klasserom (Wargoocki & Da Silva, 2015; Wargoocki & Wyon, 2012). Det ble derfor vurdert som et aktuelt CO₂-nivå å undersøke.

3.2.2 Valg av klasserom

Besøksplan for klasserommene på forsøksdagen ble planlagt i samarbeid med viserektor på skolen, Normann Vik Øvrebø. Hver klasse har sitt eget faste klasserom hvor de tilbringer stort sett hele skoledagen. Det var ønskelig å bruke en eller flere klasser med små barn, helst 1. eller 2. klasse som forsøksklasser. Det var også nødvendig med minst én kontrollklasse hvor det var stor forskjell i kroppsmasse i forhold til klassene med små barn, helst elever på ungdomsskoletrinnet

Følgende kriterier måtte oppfylles ved valg av klasse og tidspunkt:

- Hvert klasserom måtte kunne besøkes to ganger i løpet av dagen og elevene måtte være tilstede under hvert besøk.
- Elevene måtte ha vært i klasserommet i minst 40 minutter før besøket for å oppnå stabilt nivå av CO₂ og bioeffluenter i rommet.
- Besøket kunne ikke være i en kunst- og håndverktime.
- Besøket kunne ikke være etter gym.
- Elevene kunne ikke spise rett før eller i løpet av besøket.

Basert på disse kriteriene, elevenes timeplan på forsøksdagen og ønsker om aldersgrupper bestod de utvalgte klassene av to andreklasser (2B og 2C) og en åttendeklasse (8A).

3.2.3 Ventilasjonsstrategi

For å unngå variasjon i tilluft under besøket ble det valgt å sette DCV-spjeldene til faste luftmengder. Luftmengdene ble beregnet for å korrespondere med et gitt CO₂-nivå.

Ved beregning av luftmengder er det kun tatt hensyn til menneskelig belastning. Det ble ikke lagt til ekstra ventilasjon for materialforurensing. Dette ble gjort for å fremheve potensielle forskjeller i luftkvalitet og luktintensitet forårsaket av de ulike brukergruppene. Klasserommene var tilnærmet like i størrelse og typer materialer, og effekten av materialforurensning vil derfor ikke være av stor betydning når man vurderer forskjellen i luftkvalitet og luktintensitet mellom klasserommene så lenge det er tilnærmet like mange elever i klassene.

For å forsikre at luftkvalitet og CO₂-nivå i klasserommene ikke ble påvirket av luftskifte fra gangen eller de delte grupperommene, ble det lagt grundig vekt på å informere lærere og elever om at alle dører og vinduer skulle holdes lukket på forsøksdagen. Elevene hadde tillatelse til å gå ut og inn av klasserommene, men dørene skulle lukkes umiddelbart. Dette ble etter beste evne kontrollert på forsøksdagen.

Luftmengdene ble styrt ved å koble en ZTH fra Belimo til hvert spjeld. Ved å ikke koble den ut var det mulig å låse spjeldet til faste verdier for V_{\min} og V_{\max} og deretter velge å styre spjeldet mot en av dem. For første besøk ved ønsket CO₂-nivå på 600 ppm ble spjeldet styrt mot V_{\max} . For andre besøk ved ønsket CO₂-nivå på 1100 ppm ble spjeldet styrt mot V_{\min} .

Spjeldene ble styrt mot V_{\max} kvelden før forsøket og luftmengdene ble kontrollert fra SD-anlegget morgenen før forsøket startet. Spjeldene ble så justert til V_{\min} umiddelbart etter at testpanelet hadde forlatt rommet etter første besøk i klasserommet. Dette ble også kontrollert fra SD-anlegget i pause mellom første og andre besøk i hvert klasserom.

3.2.3.1 Beregning av luftmengder

Nødvendige luftmengder i klasserommene ble beregnet basert på estimert CO₂-produksjon fra elever og lærer.

Estimert CO₂-produksjon

Estimert CO₂-produksjon fra elever og lærer ble beregnet ved bruk av metoden utviklet av Persily og de Jonge (2017). Metoden baserer seg på forskning innen menneskelig metabolisme, fysisk aktivitet og data om kroppsmasse hos ulike grupper mennesker.

Persily og de Jonge angir verdier for BMR basert på kjønn og aldersgrupper. Barn i andre klasse ble regnet som aldersgruppe 6 til <11. Ungdommer i åttende klasse ble regnet som aldersgruppe 11 til <16. Lærere ble regnet som aldersgruppe 30 til <40. Verdier for BMR er vist i tabell 2. Som fysisk aktivitetsnivå ble det antatt 1 met som tilsvarer sittende skrivning og lesing (Ingebrigtsen, 2016; Taylor, 2006). RQ ble valgt til 0,85 etter anbefaling i metode (Persily & de Jonge, 2017). Temperatur ble valgt til 21 °C og trykk ble valgt til 101 kPa.

Beregningen ga følgende estimerte CO₂-produksjon per person fordelt på kjønn og alder:

Tabell 2: Estimert CO₂-produksjon per person og verdier for BMR benyttet i beregning. Verdier for BMR hentet fra tabell av Persily og de Jonge (2017)

	BMR [MJ/dag]	CO₂-produksjon per person [l/s]
2. klasse		
Gutter	5,14	0,00268
Jenter	4,73	0,00247
8. klasse		
Gutter	7,02	0,00366
Jenter	6,03	0,00315
Lærer		
Mann	7,83	0,00409
Kvinne	6,49	0,00339

I beregningene ble det gjort antagelser om at en eller flere elever ikke ville være tilstede på forsøksdagen. Dette ble gjort etter at erfaringer i uken før forsøket viste at det hver dag var enkelte elever som ikke var tilstede i undervisningen samt at 8A hadde delt undervisning i de aktuelle besøkstimene hvor noen elever var ute av klasserommet.

Antatt antall personer tilstede og total estimert CO₂-produksjon i hvert klasserom er presentert i tabellen under.

Tabell 3: Antatt antall personer tilstede og total estimert CO₂-produksjon

	Antall personer	Total CO₂-produksjon i rommet [l/s]
2C		
Gutter	10	0,06302
Jenter	13	
Lærer	1	
2B		
Gutter	10	0,06302
Jenter	13	
Lærer	1	
8A		
Gutter	9	0,0654
Jenter	9	
Lærer	1	

Luftmengder

Luftmengder ble beregnet etter metode i kapittel 6.3.1.2 *Luftmengde basert på CO₂ i Ventilasjonsteknikk Del 1* (Ingebrigtsen, 2016).

Metoden angir formel for beregning av nødvendig tilført luftmengde basert på summert CO₂-produksjon, krav til CO₂-nivå innendørs, CO₂-nivå utendørs og ventilasjonseffektivitet.

For summert CO₂-produksjon ble det lagt til grunn oppgavens beregninger av estimert CO₂-produksjon. Som krav til CO₂-nivå innendørs ble det benyttet henholdsvis ønsket nivå på 600 ppm og 1100 ppm. For CO₂-nivå utendørs ble det antatt en verdi på 400 ppm basert på middelværdi av vanlige verdier for CO₂-nivå utendørs i Norge på 350 – 450 ppm (Novakovic et al., 2016). For ventilasjonseffektivitet ble det antatt ideell omrøringsventilasjon med en ventilasjonseffektivitet på 1.

Tabellen under viser nødvendig mengde tilført uteluft for hvert klasserom samt gjennomsnittlig luftmengde per person for henholdsvis ønsket CO₂-nivå på 600 og 1100 ppm. Disse verdiene er benyttet i forsøket.

Tabell 4: Beregnede luftmengder for aktuelt CO₂-nivå

Klasserom	CO ₂ -nivå	Nødvendig tilført uteluft	Gjennomsnittlig luftmengde per person
	[ppm]	[m ³ /h]	[l/s]
2C	600	1134	13,1
	1100	324	3,8
2B	600	1134	13,1
	1100	324	3,8
8A	600	1134	17,2
	1100	324	4,9

For fullstendig beregning av luftmengder se vedlegg A.3.

De ulike luftmengdene som ble innstilt for de ulike spjeldene er presentert i tabellen under.

Tabell 4: Luftmengdeinnstillinger benyttet under forsøket

Klasserom	Tilluft/avtrekk	V_{\min} (1100 ppm)	V_{\max} (600 ppm)
		[m ³ /h]	[m ³ /h]
2C	Tilluft	324	1134
	Avtrekk	324	1134
2B	Tilluft	324	1134
	Avtrekk	324	1134
8A	Tilluft	336	1177
	Avtrekk	336	1177

3.2.4 Besøksplan

Tidspunktene for besøksrundene i klasserommene ble planlagt med utgangspunkt i klassens timeplan og de tidligere nevnte kriteriene.

Tabell 5: Besøksplan for klasserom med planlagt CO₂-nivå og luftmengder

Klasserom	Tidspunkt for besøk	Planlagt CO ₂ -nivå	Luftmengde
		[ppm]	[m ³ /h]
2C	9.15	600	1134
2B	9.17	600	1134
8A	10.20	600	1177
2B	10.24	1100	324
8A	11.40	1100	336
2C	12.10	1100	324

Hvert klasserom ble besøkt to ganger, først ved lavt CO₂-nivå og deretter ved høyt CO₂-nivå. Luftmengdene ble justert umiddelbart etter første besøk slik at det skulle være nok tid til å oppnå stabile forhold til neste besøksrunde.

3.2.5 Testpanel

Det ble benyttet et utrent testpanel for å vurdere oppfattet luftkvalitet og luktintensitet i forsøket. Testpanelet bestod av fjerde års studenter ved masterstudiet for energi og miljø i bygg ved OsloMet Storbyuniversitet. Testpanelet hadde derfor en viss kunnskap innen

fagfeltet, men ingen kjennskap til detaljene rundt forsøket eller hvilke parametere som ble endret underveis.

Tiden mellom besøksrundene tilbragte testpanelet i et fullt ventilert auditorium med forelesning av Mads Mysen. Testpanelet ble ikke kompensert økonomisk, men forelesningen var en del av deres pensum og dermed et insentiv for å delta i forsøket.

En uke i forkant av forsøksdagen ble det sendt ut en mail med informasjon til de aktuelle kandidatene for testpanelet. Her ble det informert om at det var viktig at deltakerne ikke hadde på seg parfyme eller røykte på forsøksdagen. Det ble også gitt kort informasjon om prosedyren på forsøksdagen. Se vedlegg A.4 for å lese informasjonsskrivet i sin helhet.

3.2.6 Subjektiv vurdering av oppfattet luftkvalitet og luktintensitet

Testpanelet fikk utdelt et hefte med informasjon om forsøksprosedyre, utfyllingsark for informasjon om deltaker og skjema for scoring av oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og temperatur i klasserommene.

Første del av heftet bestod av informasjon og eksempel på hvordan deltakerne skulle vurdere og sette score for oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og temperatur. Neste del bestod av et utfyllingsark hvor deltakerne skulle fylle inn alder, kjønn, om de var forkjølet og om de vurderte selv at de hadde god, normal eller dårlig luktesans. De resterende sidene bestod av ark for subjektiv vurdering av oppfattet luftkvalitet, luktintensitet og temperatur.

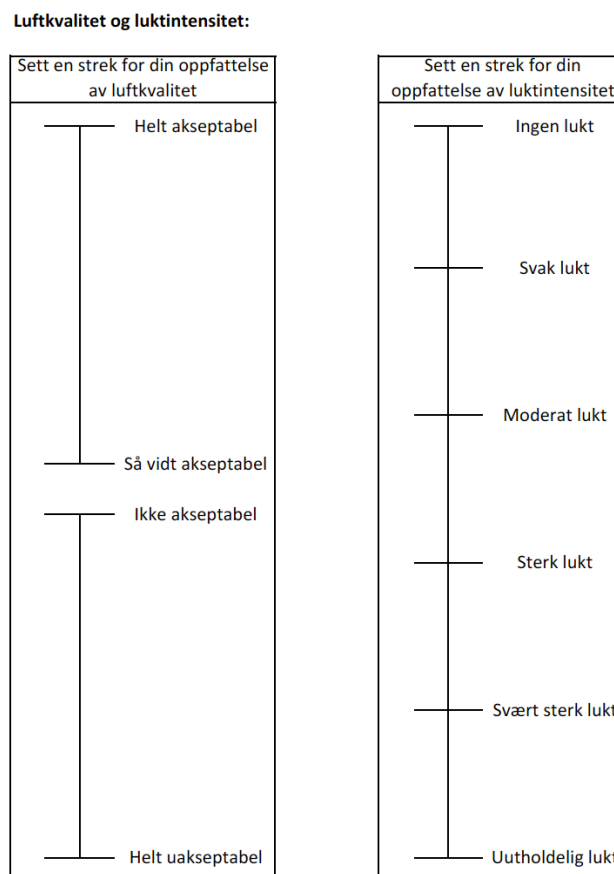
Heftet bestod av et ark for hvert klasserom og var tydelig nummerert. Før hvert besøk ble testpanelet informert om hvilket ark som skulle fylles ut. Alle ark var merket med ID-nummer knyttet til den enkelte testpaneldeltakeren og stiftet sammen for å sørge for at besvarelser ikke ble blandet i ettertid.

Scoring av temperatur er knyttet til Marie sin oppgave og vil ikke bli analysert i denne oppgaven.

Skala for subjektiv vurdering var basert på *NS 15251 – Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*, tillegg H. Metoden for subjektiv vurdering av

oppfattet luftkvalitet og luktintensitet med en slik visuell, analog skala er den samme som ofte har vært benyttet ved tidligere forskning innen fagfeltet (Tsushima et al., 2018; Wargocki, 2001, 2004). Ved å benytte den samme skalaen ville det være lettere å sammenlikne resultater fra denne oppgaven med resultater fra eksisterende forskning.

Skalaen for oppfattet luftkvalitet går fra «helt akseptabel» til «så vidt akseptabel», og deretter fra «ikke akseptabel» til «helt uakseptabel». Testpanelet ble informert om at de ikke hadde anledning til å sette score mellom «så vidt akseptabel» og «ikke akseptabel». Denne skalaen er altså ikke-kontinuerlig. Skalaen for oppfattelse av luktintensitet går fra «ingen lukt» til «uutholdelig lukt». Denne skalaen er kontinuerlig. Begge skalaene er vist i figuren under slik de fremstår i heftet. For heftet i sin helhet se vedlegg A.5.



Figur 3: Skjema for scoring av oppfattet luftkvalitet og luktintensitet. Egenprodusert i Excel

3.2.7 Informasjon til testpanel

Testpanelet ble gitt følgende informasjon før første besøksrunde startet:

1. Testpanelet skulle gå raskt inn i klasserommet og spre seg jevnt ut slik at de unngikk å stå tett inntil en annen person.
2. Testpanelet skulle gi sin score innen ett minutt etter å ha kommet inn i klasserommet for å unngå adaptasjon.
3. Testpanelet skulle ikke kommunisere med hverandre under besøket og skulle ikke uttrykke sin mening verken under eller etter besøket for å unngå at deltakerne påvirkes hverandre. Dette skulle sikre statistisk uavhengige observasjoner.

3.2.8 Besøksrutine

For hvert klasserom ble samme rutine gjennomført:

1. CO₂-nivå, relativ fuktighet og temperatur i rommet ble målt og registrert før testpanelet gikk inn.
2. Antall elever i klasserommet og antall voksne personer ble telt.
3. Testpanelet ble informert om hvilket ark som hørte til det aktuelle klasserommet.
4. Testpanelet ble ledet inn i klasserommet.
5. Testpanelet ga sin vurdering av oppfattet luftkvalitet og luktintensitet i klasserommet.
6. Testpanelet ble ledet ut av klasserommet etter ca. ett minutt.
7. Luftmengder ble justert når testpanelet hadde forlatt klasserommet.
8. Testpanelet ble ledet videre til neste klasserom.

3.2.9 Pilotforsøk

To dager før forsøksdagen ble det gjennomført et pilotforsøk for å kvalitetssikre alle rutiner og tidsskjema til hovedforsøket. For å forstyrre elever og lærere ved skolen i minst mulig grad ble pilotforsøket gjennomført etter skoledagens slutt og uten elever tilstede.

Pilotforsøket viste at alle rutiner fungerte som de skulle og at tidsskjema ble holdt gjennom alle tre besøksrundene.

3.3 Entalpi

Ettersom det finnes forskning som viser at entalpi kan ha effekt på oppfattet luftkvalitet ble entalpi beregnet for alle besøkene (Fang et al., 1998; Fang et al., 2004). Entalpi ble beregnet med utgangspunkt i målte verdier for temperatur og luftfuktighet under hvert besøk.

Differanse i entalpi mellom de ulike parene som skulle testes mot hverandre ved statistisk analyse ble også beregnet for å kunne vurdere om differanse i entalpi kunne ha en påvirkning på resultatet av analysen.

3.4 Utstyr

3.4.1 ZTH

Åtte ZTH-er fra Belimo (se figur 4) ble koblet til hvert sitt DCV-spjeld og plassert lett tilgjengelig, enten festet på vegg eller oppå skap. Hver ZTH ble stilt inn med den lave luftmengden som V_{\min} og den høye luftmengden som V_{\max} . Under forsøket ble spjeldet låst til den aktuelle luftmengden for hver besøksrunde. ZTH ble også benyttet til å lese av aktuell luftmengde for hvert spjeld før endring slik at disse kunne tilbakestilles etter forsøket. For produktinformasjon se vedlegg A.6.



Figur 4: ZTH fra Belimo. Bilde hentet fra <https://belimo.dk/produkter/zth-eu>

3.4.2 Rotronic

En Rotronic av modell CP11 (se figur 5) ble benyttet til å måle temperatur, CO₂-nivå og relativ fuktighet i klasserommene før testpanelet kom inn i rommet. Målinger ble foretatt midt i rommet ved ca. en meters høyde.

Rotronicen var kalibrert for under et år siden (24.02.2017) og oppfyller dermed minstekravet til gyldig kalibrering i henhold til SINTEF sine anbefalinger (SINTEF, 2015). For kalibreringsbevis se vedlegg A.7.



Figur 5: Rotronic CP11. Bilde hentet fra <https://www.rotronic.com/en/cp11.html>

3.4.3 SD-anlegg

Skolens SD-anlegg er av typen Siemens Desigo CC. Anlegget registrerer målte verdier fra kombinerte CO₂- og temperatursensorer plassert i klasserommene og styrer ventilasjonen etter disse. For forsøket var det ikke aktuelt å styre ventilasjonen fra SD-anlegget, men det var ønskelig å kunne benytte logg fra anlegget som oversikt over forholdene i klasserommene på forsøksdagen.

Etter kontakt med Stig Håvard Tveitane hos KlimaControl AS ble de aktuelle rommene logget av anlegget fra og med en uke før forsøksdato. Dette ga mulighet for å overvåke temperatur og CO₂-nivå i klasserommene i dagene før forsøket. For å vurdere om registrerte målinger fra SD-anlegget kunne benyttes i forsøket ble det gjennomført

målinger ved stasjonære forhold hvor verdier fra SD-anlegget ble sammenliknet med verdier fra Rotronic.

SINTEF foreslår følgende krav til maksimal målefeil for CO₂- og temperatursensor (Klæboe & Herrmann, 2011; Mysen & Schild, 2013):

Tabell 6: Forslag til krav til maksimal målefeil for CO₂- og temperatursensor fra SINTEF

	CO₂ [ppm]	Temperatur [°C]
Arbeidsområde	300-1200	0-40
Avvik	+/- 50	+/- 0,5

Målingene viste at SD-anlegget konsekvent viste høyere temperatur og lavere CO₂-nivå enn målt med Rotronic. For temperatur var avviket på 1,5 – 2 °C. For CO₂ var avviket på 200-400 ppm når CO₂-nivået steg over 700 ppm målt med Rotronic. Ettersom avvikene var over de foreslåtte krav til maksimal målefeil sammenliknet med dokumentert kalibrert måleinstrument ble det valgt å se bort fra verdier fra SD-anlegg. Forsøket baserer seg utelukkende på målte verdier fra Rotronic.

3.5 Analyse av data

For å analysere innsamlet data og for å kunne vurdere om det var signifikante funn ble det gjennomført statistisk analyse. Data er behandlet og konvertert i Excel og statistisk analyse er utført ved bruk av programmet SPSS.

3.5.1 Konvertering av data

Tidligere forskning innen fagfeltet har benyttet en skala fra -1 til 1 for scoring av luftkvalitet og en skala fra 0 til 5 for scoring av luktintensitet (Tsushima et al., 2018; Wargocki, 2001, 2004). For å lettere kunne sammenlikne resultater fra dette forsøket med annen forskning har også denne oppgaven benyttet seg av tilsvarende skalaer.

For å benytte seg av disse skalaene var det nødvendig å konvertere målte data fra heftene som ble brukt til vurdering. Scorene fra deltakerne ble først målt i fysisk avstand på arket og deretter konvertert til verdier på skalaene ved å benytte lineære sammenhenger.

Oppfattet luftkvalitet

Målt fysisk avstand på arket fra «helt akseptabelt» til «så vidt akseptabelt» var 4,3 cm. Tilsvarende var det en avstand på 4,3 cm fra «ikke akseptabelt» til «helt uakseptabelt». Ved konvertering av score av oppfattet luftkvalitet ble det benyttet en ikke-kontinuerlig, lineær funksjon:

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

For utledning av funksjon se vedlegg A.8.

Luktintensitet

Ved konvertering av score av luktintensitet ble det benyttet en kontinuerlig, lineær funksjon:

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

For utledning av funksjon se vedlegg A.8.

3.5.2 Paret t-test

For å vurdere om det var signifikant forskjell mellom testpanelets vurdering av luftkvalitet og luktintensitet i klasserommene var det ønskelig å benytte en to-halet t-test. En to-halet t-test vil oppdage signifikante funn i begge retninger.

Ved analyse av data fra et forsøk hvor samme gruppe utsettes for ulike eksperimentelle forhold benyttes en paret t-test (Field, 2009). Det ble derfor valgt å benytte en paret t-test.

Det ble benyttet en paret t-test til å vurdere to og to klasserom mot hverandre. De følgende resultatene ble testet parvis både for oppfattet luftkvalitet og luktintensitet:

Tabell 7: Oversikt over par ved t-test i SPSS

Par	Klasserom	CO₂-nivå [ppm]
1	8A 2C	600
2	8A 2B	600
3	8A 2C	1100
4	8A 2B	1100

Testen ble gjennomført med et signifikansnivå på $p < 0,05$. Det vil si at det kun er 5 % sjanse for å oppnå resultatet ved tilfeldighet. Man kan da være 95 % sikker på at resultatet skyldes at nullhypotesen er usann og man har et signifikant resultat (Field, 2009).

3.5.3 Parametrisk data

Statistisk analyse av data ved paret t-test baserer seg på en antagelse om at datasettet er normalfordelt. For å kunne benytte en paret t-test var det nødvendig å kunne anta at den

parvise differansen i scorene fra testpanelet var normalfordelt. Som en del av denne vurderingen ble det gjennomført en Kolmogorov-Smirnov-test (K-S-test) i SPSS.

Det ble regnet ut et sett med parvise differanser mellom rommene for hvert par som skulle testes. Differansen ble regnet ut som en absoluttverdi av differansen mellom hver enkelt deltaker sin score i de to rommene i hvert par. Dette ga videre 16 verdier for hvert par som deretter ble testet for normalfordeling ved K-S-test.

Ved en K-S-test vil et signifikant resultat ($p < 0,05$) indikere at fordelingen er signifikant forskjellig fra en normalfordeling. Et ikke-signifikant resultat ($p > 0,05$) vil si at fordelingen ikke er signifikant forskjellig fra en normalfordeling og dermed sannsynligvis normalfordelt (Field, 2009). Resultat fra K-S-test utført i SPSS er presentert i tabellen under.

Tabell 8: K-S-test for normalitet

Test of normality			
Kolmogorov-Smirnov (a)			
Par	Statistic	df	Sig.
Luftkvalitet			
Par 1	0,177	16	0,195
Par 2	0,182	16	0,165
Par 3	0,201	16	0,085
Par 4	0,205	16	0,07
Luktintensitet			
Par 1	0,176	16	0,198
Par 2	0,199	16	0,091
Par 3	0,191	16	0,122
Par 4	0,116	16	,200*

*This is a lower bound of the true significance

a. Lilliefors Significance Correction

Testen viste at ingen av parene var signifikante ($p > 0,05$ for alle par). Datasettene fra alle parene var ikke signifikant forskjellige fra en normalfordeling og dermed sannsynligvis normalfordelt.

Scorene var altså sannsynligvis normalfordelt, men det kunne ikke sies med sikkerhet. I følge boken *Statistikk for universiteter og høyskoler* er antagelsen om normalitet mindre viktig dersom man har mer enn 30 observasjoner (Løvås, 2013). Etter samtale med

førsteamanuensis i statistikk ved OsloMet, Hugo Lewi Hammer, ble det bekreftet at datasettene kunne behandles som par med 16 observasjoner hver og dermed med 32 observasjoner totalt for hver test (Hammer, personlig kommunikasjon 06.04.2018). Antagelsen om normalitet ble dermed ansett som mindre viktig ved bruk av t-test.

På grunnlag av de samlede vurderingene nevnt over er datasettet videre behandlet som parametriske data og det er benyttet paret t-test for statistisk analyse.

3.5.4 Andel misfornøyde

Andel misfornøyde, PD, ble beregnet for alle besøkene for både oppfattet luftkvalitet og luktintensitet og sammenliknet med teoretisk beregnet PPD-indeks basert på luftmengder per person. Beregningen av PD ble utført ved å regne ut hvor mange prosent av scorene fra testpanelet som befant seg under grensen for det som ble regnet som misfornøyd i hvert av de to tilfellene.

For oppfattet luftkvalitet ble grensen for misfornøyd satt ved «Ikke akseptabel». For oppfattet luktintensitet ble grensen for misfornøyd satt ved «moderat lukt». Grensene tilsvarer henholdsvis verdiene mindre eller lik -0,01 og større enn 2 i resultatene.

Beregning av PPD-indeks ble gjort ved bruk av formel 3. Det finnes lite forskning på barns olfbelastning og det antas derfor en olfbelastning på 1 olf per person i beregninger. Noe forskning har antydnet en verdi på 1,3 olf for barn (CEN, 1998), men dette er ikke i overenstemmelse med den allmenne oppfattelsen av at olfbelastning er proporsjonalt med CO₂-produksjon. Følger man denne antagelsen burde barn hatt en olfbelastning på mindre enn 1 olf. Antagelsen om 1 olf i beregninger anses derfor som en brukbar middelvei i mangel på bedre data.

4 Resultater

4.1 Testpanelet

Tabellen under viser testpanelets karakteristika basert på spørreskjema hvor deltakere ble bedt om å fylle ut alder og kjønn. Tre deltakere unnlot å oppgi alder. Aldersspenn er derfor basert på de 13 som oppga alder. Totalt stilte 16 deltakere på forsøksdagen.

Tabell 9: Aldersspenn og kjønnsfordeling for testpanel

Testpanelets karakteristika	
Aldersspenn	22-30
Antall kvinner	4
Antall menn	12
Totalt antall deltakere	16

4.2 Tilstand i klasserommene

For å kunne vurdere om forskjeller i testpanelets vurderinger av de ulike klasserommene skyldtes brukergruppene eller andre faktorer ble tilstanden i alle klasserommene registrert rett før testpanelet gikk inn i rommet. I ettertid ble også entalpi beregnet. De registrerte verdiene er presentert i tabellen under. Tilstanden i klasserommene skulle ideelt sett være så lik som mulig for henholdsvis høyt og lavt CO₂-nivå.

Registreringsskjema fra forsøksdagen finnes i vedlegg A.10.

Tabell 10: Tilstand i klasserommene under de forskjellige besøkene på forsøksdagen

Klasserom	Tidspunkt	CO ₂ -nivå [ppm]	Temperatur [°C]	RF [%]	Entalpi [kJ/kg]
2C	9.15	698	22,1	27,3	33,6
	12.10	1013	22,1	30,5	35,0
2B	9.17	668	22,7	25,2	33,7
	10.24	970	23	27,7	35,3
8A	10.20	755	21,7	27,9	33,2
	11.40	932	22,2	28,1	34,1

Differanser for henholdsvis CO₂-nivå og entalpi for parene som skulle vurderes i statistisk analyse ble også beregnet og er presentert i tabellen under.

Tabell 11: Differanser i henholdsvis CO₂-nivå og entalpi mellom klasserommene i par for statistisk analyse

Par	Klasserom	CO ₂ -nivå [ppm]	Differanse i CO ₂ -nivå [ppm]	Differanse i entalpi [kJ/kg]
1	8A	755	57	0,4
	2C	698		
2	8A	755	87	0,5
	2B	668		
3	8A	932	81	0,8
	2C	1013		
4	8A	932	38	1,2
	2B	970		

CO₂-nivåene vurderes som like nok til å gi grunnlag for sammenlikning av klasserommene ved videre statistisk analyse.

4.3 Tilstand utendørs

Temperatur, relativ fuktighet og CO₂-nivå ble målt utendørs kl. 8.00 på forsøksdagen.

Tabell 12: Utendørs tilstand på forsøksdagen

Temperatur [°C]	RF [%]	CO ₂ -nivå [ppm]
1,6	91	480

Til sammenlikning var utendørs CO₂-nivå antatt i beregning 400 ppm. Utendørs CO₂-nivå kan ha variert i løpet av forsøksdagen.

4.4 Personbelastning

Ved beregning av luftmengder for å oppnå ønsket CO₂-nivå ble det gjort antagelser om hvor mange elever som ville være tilstede i klasserommet på forsøksdagen. Differanser i antall elever og lærere tilstede i forhold til antall antatt i beregninger, førte til noe forskjell mellom beregnet luftmengde per person og faktisk luftmengde per person. Tabellen under viser antatt personbelastning og faktisk personbelastning, samt både beregnet og faktisk luftmengde per person for de ulike rommene ved de to ulike CO₂-nivåene. I tabellen er det ikke tatt hensyn til kjønn eller alder, men kun regnet en gjennomsnittlig luftmengde per person ved å benytte total luftmengde og totalt antall personer i rommet ved besøket. For registreringskjema for antall elever fra forsøksdagen se vedlegg A.11.

Tabell 13: Antatt personbelastning og faktisk personbelastning, samt både beregnet og faktisk luftmengde per person for de ulike rommene ved de to ulike CO₂-nivåene

Klasserom	CO ₂ -nivå [ppm]	Antall elever + lærer antatt i beregning	Antall elever + lærer faktisk tilstede	Beregnet luftmengde per person [l/s]	Faktisk luftmengde per person [l/s]
2C	698	23+1	18+2	13,1	15,8
	1013	23+1	19+1	3,8	4,5
2B	668	23+1	17+1	13,1	17,5
	970	23+1	19+1	3,8	4,5
8A	755	18+1	18+2	17,2	16,4
	932	18+1	13+1*	4,9	6,68*

*Flere elever forlot klasserommet rett før besøket

Ved andre besøk i 8A var det flere elever som forlot klasserommet rett før besøket, dette fører til at faktisk luftmengde per person ved 932 ppm (se tabell 13) er en del større enn den beregnede luftmengden per person.

4.5 Oppfattet luftkvalitet

Oppgavens mål har vært å undersøke om det vil være forskjell i oppfattet luftkvalitet mellom andreklasse og åttendeklasse ved likt CO₂-nivå. Se vedlegg A.9 for alle registrerte data.

4.5.1 Deskriptiv statistikk

Tabellen under viser deskriptiv statistikk for oppfattet luftkvalitet for hvert av besøkene i alle klasserom. Positive verdier indikerer en akseptabel luftkvalitet, negative verdier indikerer en ikke akseptabel luftkvalitet på en skala fra -1 til 1.

Tabell 14: Deskriptiv statistikk for oppfattet luftkvalitet

Klasserom	CO ₂ -nivå [ppm]	Gjennomsnitt	Median	Standardavvik	Laveste score	Høyeste score	N
2C	698	0,61	0,57	0,20	0,17	0,90	16
	1013	0,35	0,32	0,33	-0,26	0,95	16
2B	668	0,29	0,26	0,36	-0,31	0,87	16
	970	0,14	0,21	0,46	-0,88	0,70	16
8A	755	0,58	0,69	0,38	-0,40	1,00	16
	932	0,54	0,64	0,32	-0,08	0,94	16

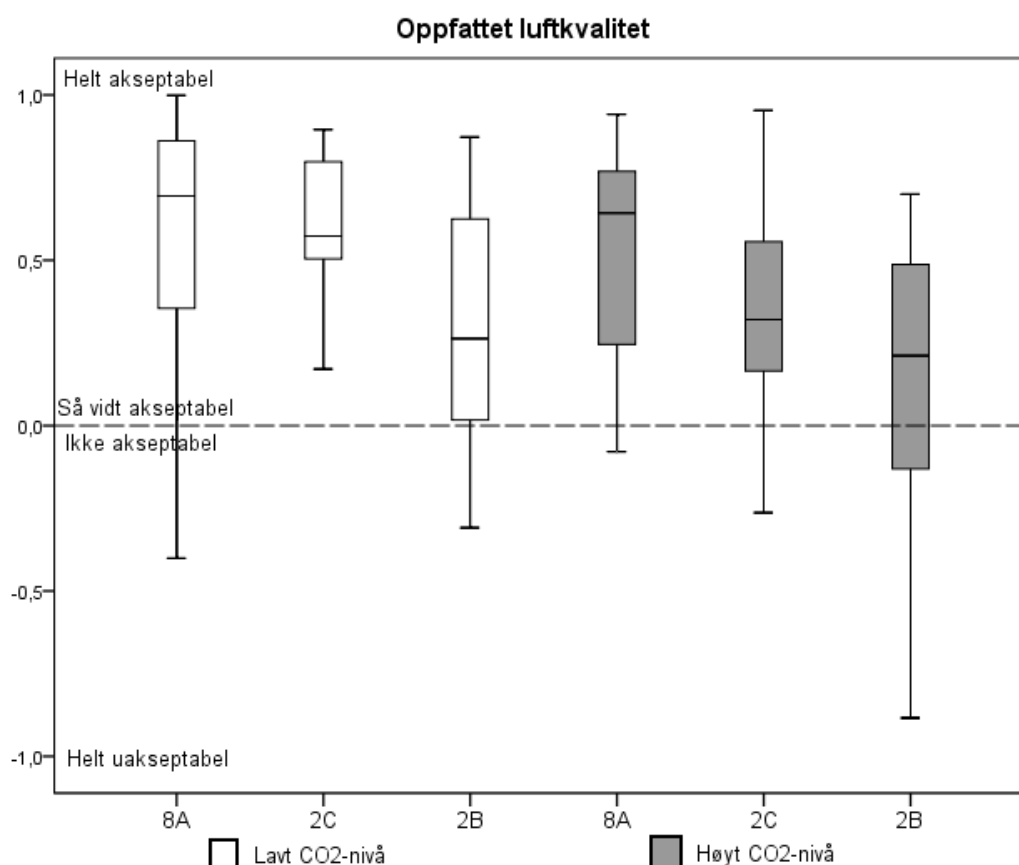
Både laveste medianverdi og gjennomsnittsverdi finnes i andre besøk for 2B ved høyt CO₂-nivå med verdier på henholdsvis 0,21 og 0,14. Dette indikerer at 2B ble vurdert som det rommet som hadde dårligst oppfattet luftkvalitet av testpanelet.

Høyeste gjennomsnittsverdi finner vi ved besøk ved lavt CO₂-nivå hos 2C på 0,61, mens høyeste medianverdi er ved besøk ved lavt CO₂-nivå hos 8A på 0,69. En av paneldeltakerne scoret oppfattet luftkvalitet i 8A ved lavt CO₂-nivå som vesentlig dårligere enn resten av testpanelet. Som en konsekvens av dette reduseres gjennomsnittsverdien for oppfattet luftkvalitet i 8A. Dersom man sammenlikner gjennomsnittsverdi (0,58) og medianverdi (0,69) fra dette besøket er differansen mellom dem 0,11. Til sammenlikning er tilsvarende differanser for 2B og 2C henholdsvis 0,03 og 0,04. Gjennomsnittsverdier kan være sårbare i små utvalg ettersom én enkelt ekstrem verdi kan påvirke gjennomsnittsverdien i stor grad, i slike tilfeller kan

det være mer riktig å benytte medianverdi (Field, 2009). I dette tilfellet har 8A blitt vurdert med høyest medianverdi for begge besøk. Det vil si at oppfattet luftkvalitet vurderes som bedre i 8A ved høyt CO₂-nivå enn i både 2B og 2C ved lavt CO₂-nivå.

Figuren under viser et boksdiagram for alle besøk i alle klasserom. Den stiplede linjen markerer grensen for «misfornøyd», verdier under denne streken indikerer at en person er misfornøyd med oppfattet luftkvalitet. Hvite bokser viser score for besøk ved lavt CO₂-nivå og grå bokser viser score for besøk ved høyt CO₂-nivå.

Den sorte horisontale linjen inni hver boks markerer medianverdien for alle scorene for det aktuelle besøket. Nedre og øvre grense av selve boksen markerer henholdsvis første og tredje kvartil (median er andre kvartil), det vil si at halvparten av alle scorene ligger innenfor disse grensene. Ytterpunktene på linjene som strekker seg ut fra hver boks markerer laveste og høyeste score som er registrert.



Figur 6: Boksdiagram for oppfattet luftkvalitet for alle besøk. Stiplet linje markerer grense mellom «akseptabel» og «ikke akseptabel» verdi, verdier under streken indikerer at personen er misfornøyd med luftkvaliteten. Egenprodusert i SPSS.

Diagrammet viser en tydelig tendens til at andre klasse scores med dårligere oppfattet luftkvalitet enn åttende klasse, særlig ved høyt CO₂-nivå. Det eneste av besøkene som har første kvartil under grensen for akseptabel luftkvalitet er andre besøk i 2B. Dette viser at testpanelet stort sett vurderer oppfattet luftkvalitet som akseptabel i alle besøk utenom i 2B.

4.5.2 Statistisk analyse

Resultater fra statistisk analyse av scorene i programmet SPSS ved bruk av paret t-test er presentert i tabellen under. Par 1 og 2 sammenlikner oppfattet luftkvalitet i andreklasse og åttendeklasse ved lavt CO₂-nivå, mens par 3 og 4 sammenlikner oppfattet luftkvalitet ved høyt CO₂-nivå. Grense for signifikans er valgt til $p < 0,05$. For fullstendig oversikt over resultater fra SPSS se vedlegg A.12.

Tabell 15: Resultater fra paret t-test av oppfattet luftkvalitet i SPSS

Par	Klasserom	CO ₂ -nivå [ppm]	Δ gjennomsnitt	95% konfidensintervall		t	Sig. (2-halet)
				Nedre	Øvre		
1	8A	755	-0,027	-0,273	0,218	-0,236	0,817
	2C	698					
2	8A	755	0,290	0,065	0,514	2,754	0,015
	2B	668					
3	8A	932	0,193	0,002	0,385	2,149	0,048
	2C	1013					
4	8A	932	0,402	0,165	0,634	3,612	0,003
	2B	970					

Det var signifikant forskjell i oppfattet luftkvalitet for tre av parene. Det var signifikant dårligere oppfattet luftkvalitet i 2B enn i 8A ved lavt CO₂-nivå ($p=0,015$). Det var signifikant dårligere oppfattet luftkvalitet i 2C enn i 8A ved høyt CO₂-nivå ($p=0,048$). Det var signifikant dårligere oppfattet luftkvalitet i 2B enn i 8A ved høyt CO₂-nivå ($p=0,003$). Dette indikerer at ved likt CO₂-nivå vil oppfattet luftkvalitet være dårligere i andreklasse enn i åttende klasse.

4.5.3 Andel misfornøyde med oppfattet luftkvalitet

PD ble beregnet for å undersøke hvor mange deltakere som kan anses å være misfornøyd med oppfattet luftkvalitet i rommet. Videre ble PPD-indeks teoretisk beregnet basert på luftmengde per person og sammenliknet med faktisk andel misfornøyde.

Tabell 16: Andel misfornøyde med oppfattet luftkvalitet i rommet samt teoretisk beregnet PPD-indeks basert på luftmengde per person

Klasserom	CO ₂ -nivå	Luftmengde per person	Andel misfornøyde (PD)	Beregnet PPD-indeks
	[ppm]	[l/s]	[%]	[%]
2C	698	15,8	0	10,3
	1013	4,5	12,5	27,5
2B	668	17,5	25	9,4
	970	4,5	37,5	27,5
8A	755	16,4	6,3	10,0
	932	6,7	6,3	20,8

Resultatene viser at for både 2C og 8A var andel misfornøyde lavere enn forventet basert på teoretisk beregnet PPD ved begge besøk. For 2B var andel misfornøyde større enn forventet ved begge besøkene. Andel misfornøyde er lik ved både høyt og lavt CO₂-nivå for 8A. For både 2B og 2C er differanse mellom andel misfornøyde for høyt og lavt CO₂-nivå på 12,5 %. Det var uventet å finne så stor forskjell i andel misfornøyde mellom de to andre klasserommene. Klasserom 2B har høyere luftmengde per person enn 2C ved besøk ved lavt CO₂-nivå, men har likevel 25 % flere misfornøyde.

4.6 Luktintensitet

Oppgaven ønsket å undersøke om det ville være forskjell i oppfattet luktintensitet mellom andreklasser og åttendeklasser ved likt CO₂-nivå. Se vedlegg A.9 for alle registrerte data.

4.6.1 Deskriptiv statistikk

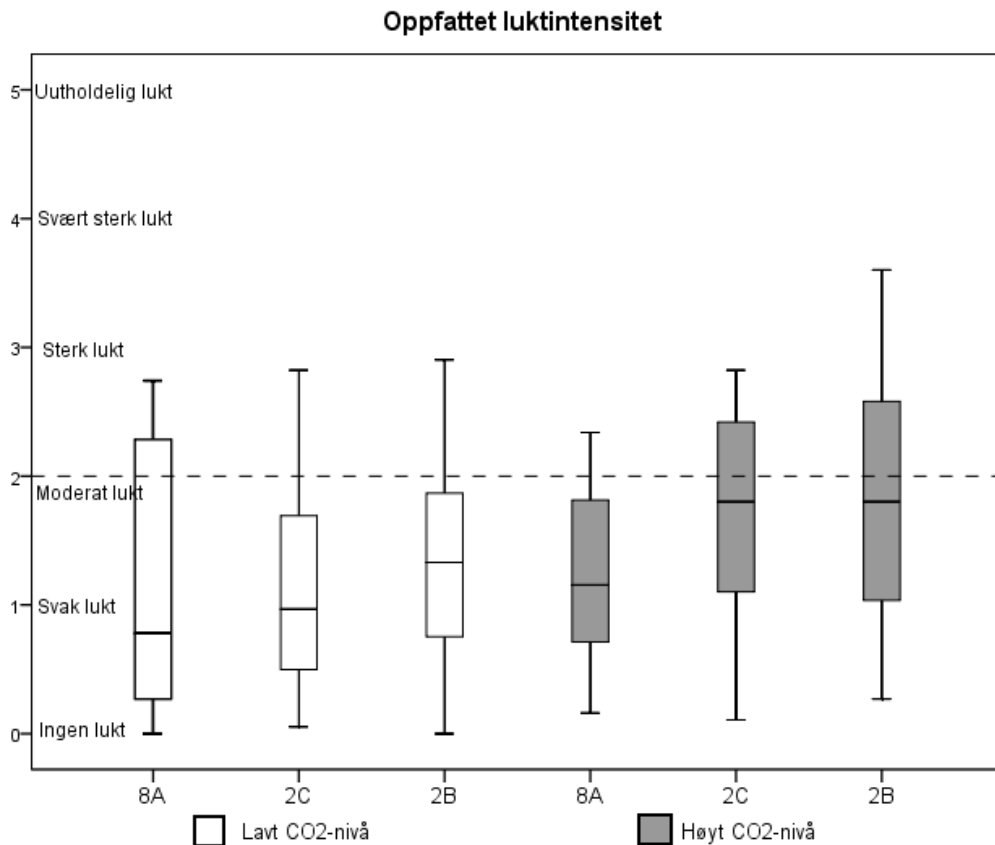
Tabellen under viser deskriptiv statistikk for oppfattet luktintensitet for hvert av besøkene i alle klasserom. Høyere score tilsvarer sterkere lukt på en skala fra 0 til 5.

Høyeste medianverdier finnes i andre besøk for både 2B og 2C ved høyt CO₂-nivå hvor begge har en medianverdi på 1,80 som tilsvarer en oppfattet luktintensitet på tilnærmet «moderat lukt». De to høyeste gjennomsnittsverdiene finnes også for de samme besøkene på henholdsvis 1,84 og 1,71. Ved lavt CO₂-nivå viser medianverdien at 8A scores med lavest luktintensitet på 0,78, mens gjennomsnittsverdien viser at 2C scores med lavest luktintensitet på 1,15. For både gjennomsnittsverdi og median scores 2B med høyest luktintensitet. Basert på disse verdiene er det en tendens til at andreklasser vurderes med sterkere luktintensitet enn åttendeklasser av testpanelet, særlig ved høyt CO₂-nivå.

Tabell 17: Deskriptiv statistikk for oppfattet luktintensitet

Klasserom	CO ₂ -nivå [ppm]	Gjennomsnitt	Median	Standardavvik	Laveste score	Høyeste score	N
2C	698	1,15	0,97	0,81	0,05	2,82	16
	1013	1,71	1,80	0,81	0,11	2,82	16
2B	668	1,40	1,33	0,82	0,00	2,90	16
	970	1,84	1,80	0,96	0,27	3,60	16
8A	755	1,19	0,78	1,06	0,00	2,74	16
	932	1,19	1,16	0,66	0,16	2,34	16

Figuren under viser et boksdiagram for alle besøk i alle klasserom. Den stiplede linjen markerer grensen for «misfornøyd», verdier over denne streken indikerer at en person er misfornøyd med luktintensiteten. Hvite bokser viser score for besøk ved lavt CO₂-nivå og grå bokser viser score for besøk ved høyt CO₂-nivå. Se ellers forklaring til figur 6.



Figur 7: Boksdiagram for oppfattet luktintensitet for alle besøk. Stiplet linje markerer grenseverdi for misfornøyde, verdier over streken indikerer at personen er misfornøyd med luktnivået. Egenprodusert i SPSS.

Diagrammet viser en tendens til at andreklassene vurderes med sterkere luktintensitet enn åttende klasse, særlig ved høyt CO₂-nivå. Ved første besøk i 8A er det stor spredning i score som kan ses ved at det er stor avstand mellom første og tredje kvartil. Tredje kvartil ved dette besøket ligger høyere enn tredje kvartil for første besøk i 2B og 2C. Dersom man ser på medianverdien er likevel 8A vurdert med mindre lukt enn både 2B og 2C.

4.6.2 Statistisk analyse

Resultater fra statistisk analyse av scorene i programmet SPSS ved bruk av parett-test er presentert i tabellen under. Par 1 og 2 sammenlikner luktintensitet i andreklasse og åttendeklasse ved lavt CO₂-nivå, mens par 3 og 4 sammenlikner luktintensitet ved høyt

CO₂-nivå. Grense for signifikans er valgt til $p < 0,05$. For fullstendig oversikt over resultater fra SPSS se vedlegg A.12.

Tabell 18: Resultater fra paret t-test av luktintensitet i SPSS

Par	Klasserom	CO ₂ -nivå [ppm]	Δ gjennomsnitt	95% konfidensintervall		t	Sig. (2-halet)
				Nedre	Øvre		
1	8A	755	0,040	-0,622	0,703	0,130	0,899
	2C	698					
2	8A	755	-0,208	-0,793	0,377	-0,759	0,459
	2B	668					
3	8A	932	-0,528	-1,067	0,012	-2,083	0,055
	2C	1013					
4	8A	932	-0,649	-1,317	0,020	-2,068	0,056
	2B	970					

Det var ikke signifikant forskjell i oppfattet luktintensitet i noen av de fire parene. Ettersom høyere score av luktintensitet tilsvarer sterkere lukt vil negativ gjennomsnittsdifferanse (Δ gjennomsnitt) indikere at andreklasse scores høyere enn åttendeklasse. Gjennomsnittsdifferanse i vurdering av klasserommene viser at for par 2, 3 og 4 er det en tydelig tendens til at testpanelet vurderer andreklasse med sterkere lukt enn åttende klasse. Dette indikerer at ved like CO₂-nivåer vil andreklasse lukte mer enn åttendeklasse. Dette gjelder særlig ved høyt CO₂-nivå for par 3 og 4 hvor resultatene er tilnærmet signifikant ($p=0,55$, $p=0,56$).

4.6.3 Andel misfornøyde med luktintensitet

PD ble beregnet for å undersøke hvor mange deltakere som kan anses å være misfornøyd med luktintensiteten i rommet. Videre ble PPD-indeks teoretisk beregnet basert på luftmengde per person og sammenliknet med faktisk andel misfornøyde.

Tabell 19: Andel misfornøyde med luktintensiteten i rommet samt teoretisk beregnet PPD-indeks basert på luftmengde per person

Klasserom	CO₂-nivå [ppm]	Luftmengde per person [l/s]	Andel misfornøyde (PD) [%]	Beregnet PPD-indeks [%]
2C	698	15,8	18,8	10,3
	1013	4,5	37,5	27,5
2B	668	17,5	12,5	9,4
	970	4,5	37,5	27,5
8A	755	16,4	25	10,0
	932	6,7	12,5	20,8

Resultatene viser at antall misfornøyde er større enn forventet basert på teoretisk beregnet PPD for alle besøkene utenom besøk ved høyt CO₂-nivå i 8A. For dette besøket er andel misfornøyde lavere enn forventet.

Ved lavt CO₂-nivå i 8A ventileres rommet med 16,4 l/s per person og har samtidig en andel misfornøyde på 25 %. Andel misfornøyde var lavere ved en luftmengde på 6,7 l/s per person (12,5 %). Dette var et uventet funn. Ved høyt CO₂-nivå i rom 2C og 2B er 37,5 % misfornøyde, hele 10 % flere enn forventet.

5 Diskusjon

5.1 Oppsummering av resultater

Er det forskjell i oppfattet luftkvalitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer dersom de har likt CO₂-nivå?

Resultatene fra forsøket viste at oppfattet luftkvalitet i andreklasse generelt var signifikant dårligere enn i åttendeklasse ved like CO₂-nivåer med et signifikansnivå på $p < 0,05$. Basert på medianverdier viser resultatene at selv ved høyt CO₂-nivå i 8A blir oppfattet luftkvalitet vurdert som bedre enn ved lavt CO₂-nivå i både 2B og 2C. Nullhypotesen fra hypotesesett 1 om at klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil ha samme oppfattet luftkvalitet ved likt CO₂-nivå kan dermed forkastes. Resultatene gir en indikasjon på at det ikke vil være lik oppfattet luftkvalitet for klasserom med små barn og klasserom med ungdommer ved likt CO₂-nivå. Resultatene ga også en indikasjon på at differansen i oppfattet luftkvalitet mellom andreklasse og åttendeklasse var større ved høyt CO₂-nivå, hvor andreklasse ble vurdert med dårligere oppfattet luftkvalitet.

Er det forskjell i oppfattet luktintensitet i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer dersom de har likt CO₂-nivå?

For hypotesesett 2 var ikke resultatene signifikante nok til å kunne forkaste nullhypotesen om at luktintensiteten i klasserom med små barn og klasserom med ungdommer vil være lik dersom de har likt CO₂-nivå. Også her var signifikansnivå valgt til $p < 0,05$. Resultatene viste imidlertid at differansen i luktintensitet mellom ungdommer og små barn var større ved høyt CO₂-nivå, med en høyere score på luktintensitet for andreklasse enn åttendeklasse. Videre viste resultatene generelt en tydelig tendens til at testpanelet vurderte andreklasse med sterkere lukt enn åttendeklasse, hvor resultatene ved høyt CO₂-nivå er tilnærmet signifikante ($p = 0,055$ og $p = 0,056$).

5.2 Barns emisjon av bioeffluenter

Resultatene fra forsøket gir ikke grunnlag for å anslå forholdet mellom barns emisjon av bioeffluenter og deres CO₂-produksjon, men kan gi en indikasjon på at det ikke er proporsjonalt slik tidligere antatt.

Det er flere forhold som påvirker menneskers emisjon av bioeffluenter, et av dem er hudoverflate. Som tidligere nevnt fører sekundære bakterielle prosesser på hudens overflate til dannelse av flere og sterkt luktende stoffer. Produksjonen av disse stoffene vil dermed blant annet være avhengig av areal på hudoverflate. Areal på hudoverflate er avhengig av kroppssammensetning og høyde. Forholdet kan vises ved Du Bois' likning for kroppsoverflate (Persily & de Jonge, 2017):

$$A_D = (W^{0,425} \cdot H^{0,725}) \cdot 0,202 \quad (6)$$

A_D *Du Bois surface area [m²]*

W *Vekt* *[kg]*

H *Høyde* *[m]*

Ved å benytte denne likningen for en gutt på 6-10 år og en mann på 20-29 år basert på Persily og de Jonge sine verdier for gjennomsnittlig kroppsmasse for disse gruppene, samt gjennomsnittlig høyde på 130 cm for barn (Bonthuis et al., 2012) og 179 cm for menn (Cavelaars et al., 2000), finner man hudoverflateareal på henholdsvis 1,064 m² og 2,034 m². Det vil si at barnet har 52 % av hudoverflatearealet til en voksen. Tilsvarende beregninger for CO₂-produksjon ga et forhold på 38 % mindre CO₂-produksjon hos barnet. Dette tilsier at barn får mer ventilasjon i forhold til hudoverflateareal enn voksne ved CO₂-DCV.

Det er likevel flere andre faktorer som påvirker emisjon av bioeffluenter. Barn produserer blant annet mindre svettelukt enn voksne før de når puberteten og bruker i mindre grad parfymerte produkter. Samtidig er det rimelig å anta at barn som leker ute drar med seg smuss og skit inn i klasserommet, samt at barn i større grad søler mat og drikke som kan sette seg fast i klær og på hud. I tillegg kan det tenkes at barn i mindre

grad enn voksne begrenser emisjon av ulike kroppsgasser. Dette vil samlet kunne bidra til økt forurensing av inneluften.

American Academy of Dermatology anbefaler at barn i aldersgruppen 6 til 11 år bader en til to ganger i uken (*American Academy of Dermatology*, 2018). Det er altså rimelig å anta at barn vasker seg sjeldnere enn voksne, da særlig med tanke på Fanger sin «standardperson» med 0,7 bad per dag. Dette vil også kunne bidra til økt emisjon av bioeffluenter hos barn sammenliknet med voksne.

5.3 Andel misfornøyde

Andel misfornøyde stemte ikke overens med teoretisk beregnet PPD-indeks basert på de faktiske luftmengdene per person. Det var heller ikke samsvar mellom andel misfornøyde med luktintensitet og andel misfornøyde med oppfattet luftkvalitet.

For luktintensitet var tendensen at teoretisk beregnet PPD underestimerte andel misfornøyde. For alle besøkene utenom besøk ved høyt CO₂-nivå i 8A var andel misfornøyde større enn PPD-indeks. Samtidig var andel misfornøyde større ved lavt CO₂-nivå enn ved høyt CO₂-nivå i 8A. Dette var et uventet funn og det er usikkert hva det skyldes.

For oppfattet luftkvalitet var tendensen at PPD overestimerte andel misfornøyde i 2C og 8A, men underestimerte andel misfornøyde i 2B.

Det er uklart hva som har forårsaket forskjellene mellom teoretisk beregnet PPD-indeks og faktisk andel misfornøyde i forsøket. Testpanelet består av et relativt lite utvalg hvor en enkelt misfornøyd kan gi store utslag. Det er mulig at et større testpanel ville gitt en andel misfornøyde som samsvarte bedre med PPD-indeks.

Til tross for et lite utvalg var det forventet en relativt lik andel misfornøyde med luktintensitet og oppfattet luftkvalitet. Dette var ikke tilfellet og det var stort sett en tendens at andel misfornøyde var større for luktintensitet enn for oppfattet luftkvalitet.

Fangers forskning på forventet andel misfornøyde ble utført på 80-tallet da det var vanlig å røyke innendørs (Fanger, 1988a). Siden den gang er det også utviklet nye og lav-emitterende bygningsmaterialer. Forskningen var dessuten basert utelukkende på voksne mennesker og gir dermed ikke grunnlag for å anslå barns olfbelastning og

dermed PPD-indeks i for eksempel klasserom. Basert på dette, samt denne oppgavens funn av mangel på samsvar mellom andel misfornøyde og PPD-indeks, indikerer det et behov for ny og oppdatert forskning på forventet andel misfornøyde, samt forskning på barns olfbelastning.

5.4 Gyldighet av ASHRAE sine antagelser for CO₂-DCV

1. Ventilasjonsluftmengdene per person angitt i ASHRAE 62.1 er basert på en konsentrasjon av bioeffluenter hvor 80 % av brukerne ikke uttrykker misnøye med luftkvaliteten.

Denne oppgaven har funnet sprikende verdier for andel misfornøyde. ASHRAE angir en luftmengde på 7 l/s per person for å oppnå 80 % fornøyde brukere. Denne oppgaven har benyttet luftmengder basert på CO₂-produksjon og ønsket CO₂-nivå og har derfor ikke kunnet validere gyldigheten av antagelsen om 80 % misfornøyde ved en luftmengde på 7 l/s per person. Det bemerkes likevel at anbefalingen om en fast luftmengde per person i denne antagelsen ikke samsvarer med bruk av CO₂-DCV for ulike brukergrupper. Som tidligere nevnt produserer barn mindre CO₂ enn voksne og får også en mindre luftmengde per person enn voksne ved bruk av CO₂-DCV.

2. Menneskers CO₂-produksjon er proporsjonal med deres emisjon av bioeffluenter.

Oppgaven undersøkte kun barn, og resultatene indikerer at barn ikke har en CO₂-produksjon som er proporsjonal med deres emisjon av bioeffluenter.

3. Emisjon av bioeffluenter er proporsjonal med antall brukere og deres aktivitetsnivå. Dette forholdet er forutsigbart og konstant uavhengig av alder, kjønn, diett og kroppsstørrelse.

Det er vel dokumentert i fysiologien at CO₂-produksjon henger sammen med metabolisme og dermed påvirkes av aktivitetsnivå. Ved høyere energiforbruk kreves det et større O₂-opptak og det resulterer dermed i en større CO₂-produksjon. Dette er også deler av grunnlaget for antagelsen om at emisjon av bioeffluenter er proporsjonal med CO₂-produksjon, ettersom noe forskning viser en sammenheng mellom emisjon av bioeffluenter og aktivitetsnivå (ASTM, 2012; Emmerich & Persily, 2001; Manolis, 1983). Det er likevel viktig å understreke at Manolis sin forskning på bioeffluenter fra

respirasjon også hevdet at det var sammenheng mellom emisjon av bioeffluenter og kjønn, diett, tarmflora og kroppssammensetning (Manolis, 1983). Emisjon av bioeffluenter fra barn ble ikke undersøkt.

Tidligere validering av ASHRAE sin tredje antagelse begrunnes i gyldigheten av andre antakelse (Lin, Lau & Yuill, 2014). Denne oppgaven har funnet at barns emisjon av bioeffluenter ikke er proporsjonal med deres CO₂-produksjon og kan dermed ikke validere denne antagelsen.

5.5 CO₂-nivåer

Ettersom oppgavens hypoteser baserte seg på sammenlikning av luktintensitet og oppfattet luftkvalitet ved likt CO₂-nivå var dette et viktig grunnlag for resultatene. For både høyt og lavt CO₂-nivå ble klasserommene besøkt ved relativt like CO₂-nivåer. Det paret hvor det var minst differanse i CO₂-nivå (38 ppm) var også det paret hvor det var størst differanse i vurdering av oppfattet luftkvalitet, hvor 8A gjennomsnittlig ble vurdert med en score som var 0,402 høyere enn 2B på en skala fra -1 til 1.

Differansene for de øvrige parene var på henholdsvis 57, 87 og 81 ppm for par 1, 2 og 3. Den største differansen i CO₂-nivå på 87 ppm ble funnet ved sammenlikning av 8A og 2B ved lavt CO₂-nivå hvor 8A hadde det høyeste CO₂-nivået. Likevel ble 8A vurdert med signifikant bedre oppfattet luftkvalitet enn 2B.

Resultatene viste at for både oppfattet luftkvalitet og luktintensitet var differansene mellom andreklasse og åttendeklasse større ved høyt CO₂-nivå, hvor andreklasse ble vurdert med dårligere oppfattet luftkvalitet og sterkere luktintensitet. Det er mulig at årsaken til dette er at ved lavt CO₂-nivå fikk både andreklasse og åttendeklasse relativt høye luftmengder på 15-17 l/s per person, noe som er langt mer enn normert ventilasjonsluftmengde på 7 l/s per person. Det er dermed å forvente at luftkvaliteten vil oppleves som akseptabel i alle klasserommene ettersom det meste av forurensinger i luften vil fjernes, og forskjellen mellom brukergruppene vil derfor ikke være fremtredende.

Ved høyt CO₂-nivå fikk alle klasserommene vesentlig lavere luftmengde på 4,5-7 l/s per person. Her er det sannsynlig at forskjellen i brukergrupper blir mer fremtredende og differansen mellom andreklasse og åttendeklasse øker. CO₂-nivåene i klasserommene

var på rundt 1000 ppm, noe som ikke er uvanlig i mange klasserom (Wargoeki & Da Silva, 2015; Wargoeki & Wyon, 2012). Det anses derfor som et viktig funn at luftkvaliteten var signifikant forskjellig mellom åttendeklasse og andreklasse ved dette CO₂-nivået.

5.6 Behov for differensiering av settpunkt ved CO₂-DCV

Oppgavens resultater viser at oppfattet luftkvalitet ikke er lik for klasserom med små barn og klasserom med ungdommer ved likt CO₂-nivå. Dette gir videre en indikasjon på at det er behov for differensiering av CO₂-settpunkt basert på brukergrupper. Oppgaven har også funnet, basert på metode av Persily og de Jonge (2017), at barn produserer opptil 38 % mindre CO₂ enn voksne, i kontrast til de 20 % som har vært antatt i Byggforsk sine anbefalinger. Det vil si at barn kan få opptil 38 % mindre ventilasjonsluft enn voksne dersom man benytter nåværende anbefalte settpunkt for CO₂-DCV i barneskoler.

Denne oppgavens resultater gir en indikasjon på at forholdet mellom emisjon av bioeffluenter og CO₂-produksjon hos barn ikke er proporsjonalt og at det er mulig at de har en emisjon av bioeffluenter som er større enn deres CO₂-produksjon. Det vil si at ved CO₂-DCV vil barn kunne få mindre ventilasjonsluft enn det som vil være nødvendig for å ventilere bort menneskelige forurensinger. Dette vil kunne resultere i redusert luftkvalitet og dermed potensielt redusert læringsprestasjoner og økt fravær hos barn i skolealder (Mendell et al., 2013; Toftum et al., 2015).

På grunnlag av dette vurderes det som nødvendig å differensiere settpunkt etter ulike brukergrupper ved bruk av CO₂-DCV for barn. For forslag til anbefalinger for settpunkt for barn se kapittel 6 *Anbefalinger for differensiert settpunkt for CO₂-DCV*.

5.7 Faktorer som kan ha påvirket resultater

Ved utførelse av forsøk i feltlab vil man aldri kunne ha fullstendig kontroll over alle omstendigheter. Andre faktorer enn brukerne kan ha hatt en påvirkning på resultatene og drøftes her.

5.7.1 Luftmengder per person

Luftmengder per person ble beregnet på forhånd basert på ønsket CO₂-nivå. Ettersom det ikke var mulig å forutsi eksakt hvor mange elever som ville være tilstede på tidspunktene for besøkene, ble ikke den endelige luftmengde per person i forsøket lik den beregnede.

Ettersom barn produserer mindre CO₂ enn ungdommer vil bruk av CO₂-DCV resultere i mindre ventilasjonsluft per person. Dette var derfor også tilfellet for de beregnede luftmengdene i dette forsøket hvor man ønsket å oppnå likt CO₂-nivå i alle rommene.

Det understrekes at til tross for videre diskusjon av luftmengder per person var alle CO₂-nivåer relativt like. Det er likevel mulig at en større luftmengde per person har gitt en øyeblikkelig effekt av bedre opplevd luftkvalitet dersom elever har forlatt klasserommet kort tid før besøket.

Besøk ved lavt CO₂-nivå

For besøk ved lavt CO₂-nivå hadde 2B på forsøksdagen en større luftmengde per person enn 8A. Dersom barn produserer mindre bioeffluenter enn ungdommer, burde det ført til at 2B ble vurdert med bedre oppfattet luftkvalitet enn 8A. Resultatene viste derimot at 2B likevel ble vurdert med signifikant dårligere oppfattet luftkvalitet enn 8A.

Klasserom 2C hadde på forsøksdagen en lavere luftmengde per person enn 8A. Differansen i luftmengdene var likevel mindre enn den skulle ha vært, den beregnede differansen basert på estimert CO₂-produksjon var 4,08 l/s per person, mens den faktiske differansen ble 0,59 l/s per person. Denne differansen skulle dermed også tilsi at 2C ble vurdert med bedre oppfattet luftkvalitet enn 8A, men her viste resultatene at det ikke var signifikant forskjell i oppfattet luftkvalitet mellom de to klasserommene. Det er mulig at luftmengdene per person kan være en del av årsaken til at det ikke ble funnet signifikant resultat i dette paret.

Besøk ved høyt CO₂-nivå

For besøk ved høyt CO₂-nivå var den faktiske differansen i luftmengde for både 2B og 2C sammenliknet med 8A 2,18 l/s per person hvor 8A hadde størst luftmengde. Den beregnede luftmengden skulle gitt en differanse på 1,17 l/s per person. For disse besøkene var altså luftmengden per person hos 8A større enn den beregnede og dette kan ha gitt en forsterket positiv effekt på oppfattet luftkvalitet. Dette kan også ha vært med på å forårsake større differanser i resultatene mellom andreklasse og åttendeklasse for besøk ved høyt CO₂-nivå.

Grunnen til den høye luftmengden per person i 8A var at flere elever forlot klasserommet sekunder før testpanelet gikk inn i rommet. Beregning av faktisk luftmengde per person er kun basert på det antallet elever som var i rommet mens testpanelet var inne. Det er derfor uvisst i hvilken grad den økte luftmengden per person har påvirket resultatene.

5.7.2 Romluftens entalpi

Romluftens entalpi vil kunne påvirke oppfattet luftkvalitet (Fang et al., 1998; Fang et al., 2004). Det mest signifikante resultatet for oppfattet luftkvalitet ble funnet i par 4 ved sammenlikning mellom 8A og 2B ved høyt CO₂-nivå ($p=0,003$). Her finner man også den største differansen i entalpi på 1,2 kJ/kg hvor 2B hadde den høyeste entalpien. Klasserom 2B kan derfor ha fått en forsterket negativ effekt grunnet høyere entalpi enn 8A.

Samtidig viser sammenlikning av par 2 ($p=0,015$) og par 3 ($p=0,048$), hvor de har entalpidifferanser på henholdsvis 0,5 og 0,8 kJ/kg, at det er størst differanse i score hos par 2. Her vurderes altså forskjellen i oppfattet luftkvalitet som størst ved den minste differansen i entalpi.

Forskning har ikke vist en konkret verdi for når en differanse i entalpi vil være stor nok til å gi en betydelig effekt på oppfattet luftkvalitet, man må derfor anta at selv små differanser i entalpi vil kunne ha påvirket resultatene i denne oppgaven.

5.8 Styrker og svakheter

Oppgavens forsøksdesign består av både styrker og svakheter som drøftes her. Noen svakheter var kjent på forhånd, men vanskelig å gjøre noe med, mens andre svakheter har blitt oppdaget underveis i arbeidet med oppgaven. Det har gjennom hele prosessen vært tilstrebet å minimere svakheter ved forsøksdesignet.

5.8.1 Måleinstrumenter

I forsøket ble det benyttet kalibrert måleinstrument og målte verdier kan derfor anses som reelle. For alle besøk ble momentanverdier målt og registrert før testpanelet gikk inn i klasserommet og dermed er det den faktiske tilstanden som testpanelet opplever ved førsteinntrykk som er målt.

For verdier utendørs ble det kun utført én måling ved forsøksdagens start. I ettertid er det klart at man burde ha hatt tilgang på kontinuerlige målinger gjennom forsøksdagen for å kunne si noe om tilstanden utendørs ved hvert av besøkene. CO₂-nivået utendørs vil variere i løpet av dagen, og særlig ettersom feltlaben ligger ved en trafikkert vei. Dette påvirker ikke differansen mellom klasserommene, men kunne vært aktuelt med tanke på å regne ut den faktiske CO₂-differansen mellom inne og ute for hvert besøk. Ideelt sett burde CO₂-nivå blitt registrert kontinuerlig i tilluftskanal for hvert klasserom. Hadde oppgaven hatt tilgang til disse målingene kunne resultatene blitt vurdert opp mot aktuelle krav til CO₂-nivå i NS 15251 hvor krav er oppgitt i differanse mellom innendørs og utendørs CO₂-konsentrasjon.

5.8.2 Feltlab

Feltlaben er et relativt nytt bygg, men likevel ikke så nytt at det vil være betydelig ekstra emisjon fra bygningsmaterialer. De utvalgte klasserommene er relativt like i størrelse, type materialer og plassering og kan derfor anses som sammenliknbare. Det ble derfor antatt at klasserommenes påvirkning på luftkvaliteten ville være den samme. Ettersom resultatene viser at klasserom 2B er det rommet som har dårligst oppfattet luftkvalitet, kunne det med fordel vært dokumentert at det ikke var forskjell i oppfattet luftkvalitet uten elever tilstede ved å la testpanelet vurdere klasserommene uten personbelastning. Dette var vanskelig å få til ettersom testpanelet kun var tilgjengelig i skoletiden. Det er også en mulighet for at malerier og tegninger på veggene i

andreklasse kan ha produsert lukt og dermed påvirket resultatene, ideelt sett burde dette vært fjernet for å oppnå likere forhold, men dette lot seg ikke gjøre ettersom forsøket i minst mulig grad skulle forstyrre elevene og ansatte ved skolen.

Det hadde vært ønskelig med et større utvalg testklasser til forsøket, men dette var vanskelig å få til med tanke på de kriterier som ble satt for utvalg av klasser samt at skolen ikke ønsket å forstyrre både lærere og elever i undervisning. Det hadde også vært ønskelig med en eldre kontrollgruppe, helst voksne personer som kunne representert Fangers «standardperson», men dette lot seg ikke gjøre med tanke på oppgavens omfang. Det er likevel relativt stor forskjell i kroppsmasse mellom barn på 7-8 år og ungdommer på 13-14 år som også gir forskjell i CO₂-produksjon.

5.8.3 Testpanel

Testpanelet bestod av 16 deltakere i alderen 22-30 år. Dette er innenfor den anbefalte aldersgruppen for sensoriske metoder på 20-55 år. Kjønnfordelingen i testpanelet var ujevn med 4 kvinner og 12 menn. Forskning viser at det ikke er forskjell i hvordan menn og kvinner oppfatter lukt og luftkvalitet (Berg-Munch et al., 1986). Fordelingen skal derfor ikke være av betydning. Testpanelet var stort nok til å kunne gi noen signifikante resultater, men det er mulig at et større utvalg hadde kunnet gi flere signifikante resultater og styrket oppgavens resultater.

Testpanelet ble grundig informert på forhånd og underveis i forsøket om forsøksprosedyren og hva de skulle gjøre. Oppgavens tema og hypoteser var ikke kjent for testpanelet, og endring av luftmengder ble gjort uten at testpanelet var tilstede i klasserommet. Det er derfor lite sannsynlig at testpanelet har vært påvirket av en forventningseffekt.

6 Anbefalinger for differensiert settpunkt for CO₂-DCV

Dersom denne oppgavens signifikante funn kan bekreftes i videre arbeid, og det kan bekreftes at resultatene utelukkende skyldes ulike brukergrupper og deres emisjon av bioeffluenter i forhold til CO₂-produksjon, vil det være nødvendig med en ny anbefaling for settpunkt for CO₂-DCV basert på ulike brukergrupper. Særlig vil det være et behov for å skille mellom voksne mennesker og små barn.

NS 15251 skiller ikke mellom brukergrupper i sin anbefaling om settpunkt for CO₂-DCV. Byggforsk gir en anbefaling om å justere ned settpunkt fra 1000 ppm til et lavere nivå for barn, basert på at deres CO₂-produksjon er 20 % mindre enn hos voksne (Byggforsk, 2017). Ifølge Persily og de Jonge sin metode for estimering av CO₂-produksjon hos mennesker kan differansen i CO₂-produksjon mellom voksne og barn være så stor som 38 % (Persily & de Jonge, 2017). Dette står i sterk kontrast til Byggforsk sitt estimat om 20 %. Denne oppgavens resultater gir ikke grunnlag for å kunne si noe om forholdet mellom barns emisjon av bioeffluenter og deres CO₂-produksjon. De kan kun gi en indikasjon om at det ikke er proporsjonalt slik det tidligere har vært antatt.

Mysen og Schild har foreslått å justere ned settpunkt for CO₂ fra 1000 til 800 ppm i barneskoler basert på at barn produserer 20 % mindre CO₂ enn voksne (Mysen & Schild, 2013). Dersom man skal følge Mysen og Schild sin tanke om at det vil være nødvendig å justere ned settpunkt for barn i henhold til deres CO₂-produksjon vil man kunne foreslå en ny anbefaling for CO₂-settpunkt. Denne oppgaven har beregnet nye verdier for CO₂-produksjon hos barn og voksne basert på metode av Persily og de Jonge (2017), se vedlegg A.1 for beregninger. På grunnlag av disse nye verdiene og basert på grove beregninger av gjennomsnittsverdier for CO₂-produksjon hos ulike aldersgrupper med jevn fordeling av gutter og jenter, gis det følgende nye anbefalinger for CO₂-settpunkt gitt i differanse mellom innendørs og utendørs konsentrasjon:

Tabell 20: Nye anbefalte verdier for settpunkt for CO₂-DCV gitt i differanse mellom innendørs og utendørs konsentrasjon

ΔCO₂ høyere enn utendørs konsentrasjon			
Kategori	Voksne*	Barn 6-10 år	Barn 11-15 år
	[ppm]	[ppm]	[ppm]
I	350	230	300
II	500	330	450
III	800	530	700
IV	<800	<530	<700

*Følger anbefalinger gitt i NS 15251

7 Forslag til videre arbeid

Denne oppgavens resultater baserer seg på forsøk i feltlab hvor det er vanskelig å oppnå helt identiske forhold i klasserommene. Det var også et relativt lite utvalg av klasser og et lite testpanel. For å kunne bekrefte denne oppgavens funn anbefales derfor å gjennomføre et tilsvarende forsøk hvor man har mulighet til å oppnå mer identiske forhold med tanke på materialeemisjoner, temperatur og relativ fuktighet. Det anbefales også å benytte et større testpanel samt et større utvalg av testklasser.

Tidligere forskning kan tyde på at ungdommer lukter mer enn «standardpersonen» (Holand, 2017). Ettersom denne oppgaven har funnet signifikant dårligere luftkvalitet hos små barn enn hos ungdommer, ville det vært svært interessant å kunne sammenlikne barn med voksne. Det anbefales derfor å gjennomføre et tilsvarende forsøk hvor man benytter voksne mennesker som kontrollgruppe. Dette vil særlig være relevant ettersom dagens bruk av CO₂-DCV baseres på forskning gjort på voksne mennesker.

Ettersom denne oppgavens funn indikerer at forholdet mellom CO₂-produksjon og emisjon av bioeffluenter ikke er proporsjonalt hos barn, hadde det vært av stor interesse å undersøke dette forholdet nærmere, samt å undersøke hva som kan være årsaken til at det ikke er proporsjonalt slik tidligere antatt. En oppdatert tabell med olfbelastning for ulike aldersgrupper hadde vært nyttig. Dette vil gi et bedre grunnlag for anbefalinger for CO₂-DCV i barneskoler. Det anbefales videre forskning rundt dette.

Mye av forskningen som danner grunnlaget for ASHRAE sin andre antagelse om det proporsjonale forholdet mellom CO₂-produksjon og emisjon av bioeffluenter hos «standardpersonen» er fra en tid hvor det var tillatt å røyke innendørs, hvor andelen røykere var større og hvor det ble benyttet andre typer bygningsmaterialer. Det vil derfor kunne være interessant å gjennomføre nye forsøk for å bekrefte om forholdet mellom CO₂-produksjon og emisjon er proporsjonalt hos voksne mennesker. Det vil også være av stor interesse å kunne undersøke om dette forholdet er konstant ved ulike aktivitetsnivåer slik ASHRAE sin tredje antagelse hevder. Ved beregninger av CO₂-produksjon for ulike kjønn og aldersgrupper ble det også funnet at kvinner (21-29) produserer 21% mindre CO₂ enn menn (21-29). Forskning har vist at det er forskjell i hvilke stoffer som ekshaleses som bioeffluenter mellom menn og kvinner (Manolis,

1983). På grunnlag av dette anbefales det oppdatert forskning på emisjon av bioeffluenter knyttet til kjønn.

Basert på oppgavens funn av manglende samsvar mellom andel misfornøyde og PPD-indeks anbefales det å undersøke dette videre. Forskningen som danner grunnlaget for den teoretiske sammenhengen mellom luktintensitet og PPD-indeks er også fra en tid hvor innendørs forhold var annerledes enn i dag (Fanger, 1988a). I denne sammenheng ville det også vært nyttig med en oppdatert graf og tabell over forventet andel misfornøyde ved ulike luftmengder.

8 Referanser

- American Academy of Dermatology. (2018). How often do children need to take a bath. Hentet 11.05.2018, 2018, fra <https://www.aad.org/public/skin-hair-nails/skin-care/child-bathing>
- Arbeidstilsynet. (2016). Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen.
- ASHRAE. (2010). Standard 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASTM. (2012). Standard Guide for using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- Berg-Munch, B., Clausen, G. & Fanger, P.O. (1986). Ventilation requirements for the control of body odor in spaces occupied by women. *Environment International*, 12, 195-199.
- Bonthuis, M., van Stralen, K.J., Verrina, E., Edefonti, A., Molchanova, E.A., Hokken-Koelega, A.C., . . . Jager, K.J. (2012). Use of national and international growth charts for studying height in European children: development of up-to-date European height-for-age charts. *PLoS One*, 7(8), e42506.
doi:10.1371/journal.pone.0042506
- Byggforsk. (2017). 421.503 Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger.
- Cavelaars, A.E., Kunst, A.E., Geurts, J.J., Cialesi, R., Grotvedt, L., Helmert, U., . . . Mackenbach, J.P. (2000). Persistent variations in average height between countries and between socio-economic groups: an overview of 10 European countries. *Ann Hum Biol*, 27(4), 407-421.
- CEN. (1998). Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment. Brussel: CEN.

- Emmerich, S.J. & Persily, A.K. (2001). *State-of-the-Art Review of CO2 Demand Controlled Ventilation Technology and Application*: National Bureau of Standards.
- Fang, L., Clausen, G. & Fanger, P.O. (1998). Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. *Indoor Air*, 8.
- 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 Suppl 7, 74-81. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00276.x
- Fanger, P.O. (1988a). Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy and Buildings*, 12(1), 1-6.
- Fanger, P.O. (1988b). The olf and decipol, new units established to quantify how air quality is perceived by human beings. *ASHRAE*, 30, 35-38.
- Fanger, P.O. (2006). What is IAQ? *Indoor Air*, 16(5), 328-334. doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00437.x
- Fanger, P.O. & Berg-Munch, B. (1983). Ventilation and Body Odor. *Janssen, J.E. (ed.) Proceedings of an Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces*, 45-50.
- Field, A.P. (2009). *Discovering statistics using SPSS : (and sex, drugs and rock 'n' roll)* (3rd utg.). Los Angeles: SAGE Publications.
- Holand, N. (2017). *Pubertetsduft*. (Master), HiOA, Oslo.
- Hou, Y., Liu, J. & Li, J. (2015). Investigation of Indoor Air Quality in Primary School Classrooms. *Elsevier*.
- Ingebrigtsen, S. (2016). *Ventilasjonsteknikk Del 1* (3. opplag utg.). Oslo: Skarland Press.

- Klæboe, M.W. & Herrmann, T.W. (2011). *Optimalisering og videreutvikling av behovstilpassede ventilasjonsanlegg med trykkstyring som reguleringsprinsipp*. (Kandidatuddannelse), Aalborg University.
- Lin, X., Lau, J. & Yuill, G.K. (2014). Evaluation on the Validity of the Assumptions Underlying CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation by a Literature Review. *ASHRAE Transactions*, 120.
- Løvås, G.G. (2013). *Statistikk for universiteter og høyskoler* (3. utgave utg.). Oslo: Universitetsforlaget AS.
- Manolis, A. (1983). The diagnostic potential of breath analysis. *Clin Chem*, 29(1), 5-15.
- Mendell, M.J., Eliseeva, E.A., Davies, M.M., Spears, M., Lobscheid, A., Fisk, W.J. & Apte, M.G. (2013). Association of classroom ventilation with reduced illness absence: a prospective study in California elementary schools. *Indoor Air*, 23(6), 515-528. doi:10.1111/ina.12042
- Mysen, M. & Schild, P.G. (2013). *Behovsstyrt ventilasjon, DCV - krav og overlevering* (S.a. forlag, red.): SINTEF.
- NHI. (2017). Muskelarbeid. Hentet 24.04.18, 2018, fra <https://nhi.no/kroppen-var/funksjoner/muskelarbeid/>
- Novakovic, V., Hanssen, S.O., Thue, J.V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F.O. (2016). *Enøk i bygninger*. Oslo: Gyldendal.
- NS-EN15251. (2014). NS-EN 15251:2007+NA:2014. Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk.
- Parine, N. (1994). The use of odour in setting ventilation rates. *Indoor Environ*, 3, 87-95.
- Persily, A. & de Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5), 868-879. doi:10.1111/ina.12383

- Sensorisk Studiegruppe. (2015). *Sensorikk - Måling med menneskelige sanser*. Oslo: Kopinor Pensum.
- SINTEF. (2015). Kalibrering av ventilasjonstekniske instrumenter. fra <https://www.sintef.no/alle-laboratorier/kalibrering-av-ventilasjonstekniske-instrumenter/>
- Skulberg, K.R., Høiskar, B.A.K., Rønning, K.-A. & Kolstad, L. (2010). Inneklima i skolebygg - utfordringer og tiltak. *Bedre Skole*.
- Taylor, S.T. (2006). CO2-based DCV using 62.1-2004. *Ashrae Journal*, 48.
- TEK17. (2017). Byggteknisk forskrift.
- Toftum, J., Kjeldsen, B.U., Wargocki, P., Menå, H.R., Hansen, E.M.N. & Clausen, G. (2015). Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. *Elsevier*.
- 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
- Wargocki, P. (2001). Measurements of the effects of air quality on sensory perception. *Chem Senses*, 26(3), 345-348.
- 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. & Da Silva, N.A. (2015). Use of visual CO2 feedback as a retrofit solution for improving classroom air quality. *Indoor Air*, 25(1), 105-114. doi:10.1111/ina.12119
- Wargocki, P. & Wyon, D.P. (2012). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581-589. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>

Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen, G. & 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.

Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z. & Thyregod, C. (2017). Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor Air*, 27(1), 47-64.
doi:10.1111/ina.12284

A Vedlegg

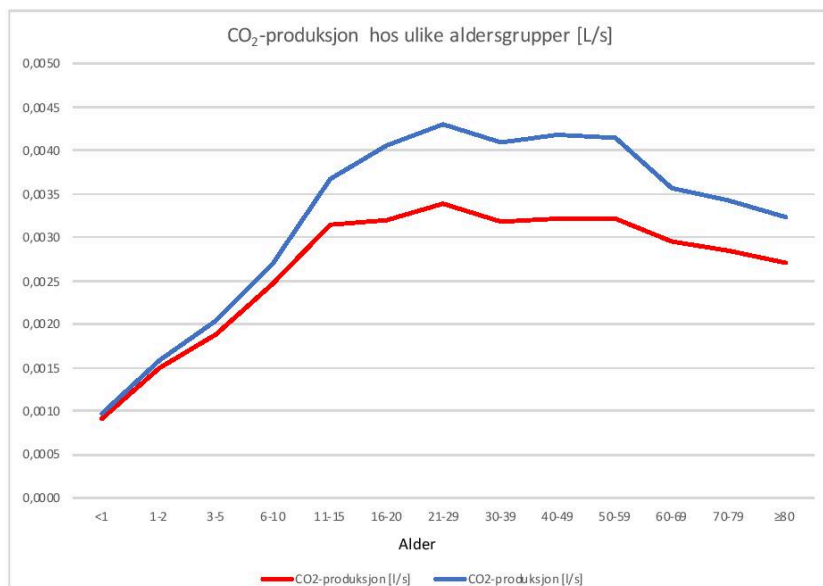
A.1 CO₂-produksjon

Alder	Kvinner		Menn	
	BMR [MJ/dag]	CO ₂ -produksjon [l/s]	BMR [MJ/dag]	CO ₂ -produksjon [l/s]
<1	1,75	0,000914	1,86	0,000971
1-2	2,88	0,001504	3,05	0,001592
3-5	3,59	0,001874	3,9	0,002036
6-10	4,73	0,002469	5,14	0,002683
11-15	6,03	0,003148	7,02	0,003665
16-20	6,12	0,003195	7,77	0,004056
21-29	6,49	0,003388	8,24	0,004302
30-39	6,08	0,003174	7,83	0,004088
40-49	6,16	0,003216	8	0,004177
50-59	6,17	0,003221	7,95	0,004150
60-69	5,67	0,002960	6,84	0,003571
70-79	5,45	0,002845	6,57	0,003430
≥80	5,19	0,002710	6,19	0,003232

Prosentandel mann 21-29 og gutt 6-10
38 %

Met	
1	
T	K
21	294
P	
101	

Gjennomsnitt 6-10	Redusert i forhold til voksne
0,002576407	0,33
Gjennomsnitt 11-15	
0,003406496	0,11
Gjennomsnitt 21-29	
0,003845033	



Tabell fra Persily og de Jonge (2017):

Age (y)	Mean body mass (kg)	BMR (MJ/day)
Males		
<1	8.0	1.86
1 to <3	12.8	3.05
3 to <6	18.8	3.90
6 to < 11	31.9	5.14
11 to <16	57.6	7.02
16 to <21	77.3	7.77
21 to < 30	84.9	8.24
30 to <40	87.0	7.83
40 to <50	90.5	8.00
50 to <60	89.5	7.95
60 to <70	89.5	6.84
70 to <80	83.9	6.57
≥80	76.1	6.19
Females		
<1	7.7	1.75
1 to <3	12.3	2.88
3 to <6	18.3	3.59
6 to < 11	31.7	4.73
11 to < 16	55.9	6.03
16 to <21	65.9	6.12
21 to < 30	71.9	6.49
30 to < 40	74.8	6.08
40 to <50	77.1	6.16
50 to <60	77.5	6.17
60 to <70	76.8	5.67
70 to <80	70.8	5.45
≥80	64.1	5.19

A.2 Funksjonsbeskrivelse av romregulering

Funksjonsbeskrivelse



Fernanda Nissen skole			System:		Filnavn:	
Romregulering			563.001		563-Erichsen&Horgen- Funksjonsbeskrivelse- Romregulering klasserom.pdf	
Prosjektnr. : 11094/11095			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

CO₂-giver -RY601 regulerer spjeldmotor -KA401 og –KA501 parallelt via regulator –SX601 slik at ønsket / innstilt CO₂ 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

CO₂-giver -RY601 regulerer spjeldmotor -KA401 og –KA501 parallelt via regulator –SX601 slik at ønsket innstilt CO₂ 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 CO₂-giver RY601 er styrende for reguleringen

Overvåking (måling/registrering):

Se romregulering skjema V563—001

A.3 Beregning av luftmengder

Ønsket verdi	Klasse	Romnummer	Alder	Kjønn	BMR	Met	RQ	Temperatur [°C]	P [kPa]	CO ₂ -produksjon pr pers. [l/s]	CO ₂ -verdi ønsket [ppm]	CO ₂ -verdi ute [ppm]	Luftmengde pr. pers [l/s]	Antall elever	Total luftmengde [l/s]	Total luftmengde [m ³ /h]
600 ppm	2C	20062	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	101	0,00409	600	400	20,44	1	20,4	1134
			6-7	Gutt	5,14	1	0,85	21	101	0,00268	600	400	13,42	10	134,2	
			6-7	Jente	4,73	1	0,85	21	101	0,00247	600	400	12,35	13	160,5	
	2B	20063	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	101	0,00409	600	400	20,44	1	20,4	1134
			6-7	Gutt	5,14	1	0,85	21	101	0,00268	600	400	13,42	10	134,2	
			6-7	Jente	4,73	1	0,85	21	101	0,00247	600	400	12,35	13	160,5	
8A	20048	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	101	0,00409	600	400	20,44	1	20,4	1177	
		13-14	Gutt	7,02	1	0,85	21	101	0,00366	600	400	18,32	9	164,9		
		13-14	Jente	6,03	1	0,85	21	101	0,00315	600	400	15,74	9	141,7		

Ønsket verdi	Klasse	Romnummer	Alder	Kjønn	BMR	Met	RQ	Temperatur [°C]	P [kPa]	CO ₂ -produksjon pr pers. [l/s]	CO ₂ -verdi ønsket [ppm]	CO ₂ -verdi ute [ppm]	Luftmengde pr. pers [l/s]	Antall elever	Total luftmengde [l/s]	Total luftmengde [m ³ /h]
1100 ppm	2C	20062	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	101	0,00409	1100	400	5,84	1	5,8	324
			6-7	Gutt	5,14	1	0,85	21	101	0,00268	1100	400	3,83	10	38,3	
			6-7	Jente	4,73	1	0,85	21	101	0,00247	1100	400	3,53	13	45,9	
	2B	20063	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	101	0,00409	1100	400	5,84	1	5,8	324
			6-7	Gutt	5,14	1	0,85	21	101	0,00268	1100	400	3,83	10	38,3	
			6-7	Jente	4,73	1	0,85	21	101	0,00247	1100	400	3,53	13	45,9	
8A	20048	30-40	Lærer	7,83	1	0,85	21	101	0,00409	1100	400	5,84	1	5,8	336	
		13-14	Gutt	7,02	1	0,85	21	101	0,00366	1100	400	5,24	9	47,1		
		13-14	Jente	6,03	1	0,85	21	101	0,00315	1100	400	4,50	9	40,5		

A.4 Informasjonsskriv til testpanel

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.5 Hefte utdelt til testpanel

ID-NUMMER:

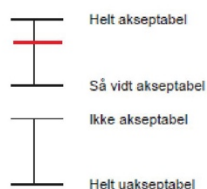
Informasjon til testpanel:

Heil!

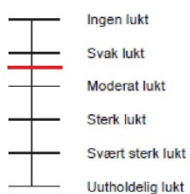
Takk for at du er her i dag og vil hjelpe oss med masteroppgaven vår!

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.

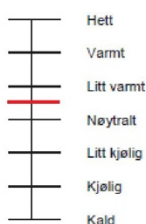
Hvordan oppfatter du luftkvaliteten?



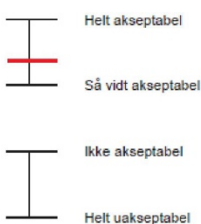
Hvordan oppfatter du luktintensiteten?



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:

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:

ID-nummer:

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

*Denne siden gjentas for hvert besøk i alle klasserom med tilhørende romnummer

A.6 Produktinformasjon ZTH



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

Electrical Data	Nominal voltage	Levels from MP-device (AC 24V, 50/60 Hz / DC 24V) or from USB-interface (5V)
	Power consumption	1 W, 2 2VA
Connection	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
Supported Devices	Adjustable and communicative actuators	See product information ZTH
	HVAC performance devices	See product information ZTH
	SharedLogic	According to system description
Operating Modes	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
Firmware Update	by USB	see www.belimo.ch or www.belimo.us for actual versions
Operation	LC Display	2 x 16 characters, with Backlight
	Key Pad	1 / esc / ▼ / ▲ / OK
Safety, Tests	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

by service plug

by connection cable terminals

Not possible.

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	Connection cable with open wires
(only ZTH US)	
USB-cable	1 m USB-cable Type A – Type B for ZIP mode

Calibration Certificate & Function Test

Gerät / Device / Appareillage / Apparecchio

Instrument	CPT1
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		

MO-6050

6050

rotronic
MEASUREMENT SOLUTIONS

Kalibrierung / 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 Likninger for konvertering av skala for subjektiv vurdering

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.

For verdier når $0 \leq x \leq 4,3$:

$$f(x) = ax + b$$

$$f(0) = 0,01 \rightarrow b = 0,01$$

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

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

$$a \cdot 4,3 = 0,99$$

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

For verdier når $0 \leq x \leq -4,3$:

$$f(x) = ax + b$$

$$f(0) = -0,01 \rightarrow b = -0,01$$

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

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

$$a \cdot (-4,3) = -0,99$$

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

Som videre gir ligningssettet:

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

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.

For verdier når $0 \leq x \leq 9,3$:

$$f(x) = ax + b$$

$$f(0) = 0 \rightarrow b = 0$$

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

$$f(9,3) = ax + b = a \cdot 9,3 = 5$$

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

Som videre gir ligningen:

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

A.9 Registrerte data

8A – 200.48

2B – 200.63

2C – 200.62

ID	Rom	Målt oppfattelse av luftkvalitet	Konvertert oppfattelse av luftkvalitet	Målt oppfattelse av luktintensitet	Konvertert oppfattelse av luktintensitet
20	20048-1	3	0,7	0,8	0,4301
3	20048-1	2,95	0,6885	1,5	0,8065
24	20048-1	0,9	0,217	4,95	2,6613
6	20048-1	3,15	0,7345	0,65	0,3495
19	20048-1	3,65	0,8495	5,1	2,7419
22	20048-1	2,85	0,6655	2,8	1,5054
1	20048-1	2,05	0,4815	5,05	2,7151
23	20048-1	4,3	0,999	0	0,0000
16	20048-1	0,45	0,1135	3,55	1,9086
26	20048-1	3,95	0,9185	2,8	1,5054
8	20048-1	3,95	0,9185	0	0,0000
17	20048-1	3,75	0,8725	0,35	0,1882
4	20048-1	3,45	0,8035	0,3	0,1613
7	20048-1	2,2	0,516	1	0,5376
9	20048-1	0,95	0,2285	1,4	0,7527
5	20048-1	-1,7	-0,401	5,1	2,7419
					0,0000
20	20048-2	-0,3	-0,079	2,2	1,1828
3	20048-2	2,5	0,585	3,5	1,8817
24	20048-2	0,65	0,1595	4,35	2,3387
6	20048-2	3,3	0,769	1,55	0,8333
19	20048-2	3,3	0,769	2,6	1,3978
22	20048-2	3,1	0,723	2,1	1,1290
1	20048-2	3,8	0,884	0,3	0,1613
23	20048-2	2,2	0,516	3,5	1,8817
16	20048-2	3,5	0,815	1,9	1,0215
26	20048-2	4,05	0,9415	1,1	0,5914
8	20048-2	2,35	0,5505	1,75	0,9409
17	20048-2	1,4	0,332	2,3	1,2366
4	20048-2	3,1	0,723	0,7	0,3763
7	20048-2	0,3	0,079	3,8	2,0430
9	20048-2	3	0,7	0,4	0,2151
5	20048-2	0,6	0,148	3,25	1,7473
					0,0000
20	20062-1	1,95	0,4585	2,35	1,2634
3	20062-1	2,35	0,5505	3,4	1,8280
24	20062-1	2,5	0,585	2,9	1,5591
6	20062-1	1,35	0,3205	1,2	0,6452
19	20062-1	3,55	0,8265	2,85	1,5323
22	20062-1	0,7	0,171	4,1	2,2043
1	20062-1	3	0,7	1,65	0,8871
23	20062-1	2,3	0,539	0,1	0,0538
16	20062-1	2,4	0,562	3,95	2,1237
26	20062-1	2,95	0,6885	1,8	0,9677
8	20062-1	3,6	0,838	1,8	0,9677
17	20062-1	2,25	0,5275	5,25	2,8226
4	20062-1	3,35	0,7805	0,65	0,3495
7	20062-1	2,05	0,4815	1,5	0,8065
9	20062-1	3,85	0,8955	0,15	0,0806
5	20062-1	3,5	0,815	0,5	0,2688

					0,0000
20	20062-2	0,85	0,2055	3,3	1,7742
3	20062-2	1,15	0,2745	5	2,6882
24	20062-2	0,5	0,125	3,25	1,7473
6	20062-2	1,75	0,4125	4,65	2,5000
19	20062-2	1,55	0,3665	3,4	1,8280
22	20062-2	-1,1	-0,263	3,55	1,9086
1	20062-2	2,25	0,5275	4,3	2,3118
23	20062-2	4,1	0,953	0,2	0,1075
16	20062-2	2,55	0,5965	4,35	2,3387
26	20062-2	3,7	0,861	1,35	0,7258
8	20062-2	0,95	0,2285	4,7	2,5269
17	20062-2	2,5	0,585	1,9	1,0215
4	20062-2	2,05	0,4815	2,2	1,1828
7	20062-2	1,1	0,263	2,2	1,1828
9	20062-2	0,5	0,125	1,4	0,7527
5	20062-2	-0,9	-0,217	5,25	2,8226
					0,0000
20	20063-1	2,75	0,6425	1,3	0,6989
3	20063-1	1,55	0,3665	2,85	1,5323
24	20063-1	0,55	0,1365	3,45	1,8548
6	20063-1	2,6	0,608	1,3	0,6989
19	20063-1	3,15	0,7345	1,65	0,8871
22	20063-1	-1,3	-0,309	5,4	2,9032
1	20063-1	0,3	0,079	3,5	1,8817
23	20063-1	1,95	0,4585	0,95	0,5108
16	20063-1	3,25	0,7575	2	1,0753
26	20063-1	3,75	0,8725	0	0,0000
8	20063-1	0,9	0,217	3,7	1,9892
17	20063-1	-0,35	-0,0905	3,1	1,6667
4	20063-1	1,3	0,309	1,5	0,8065
7	20063-1	-0,15	-0,0445	2,1	1,1290
9	20063-1	0,45	0,1135	3,4	1,8280
5	20063-1	-0,75	-0,1825	5,35	2,8763
					0,0000
20	20063-2	-0,65	-0,1595	4,95	2,6613
3	20063-2	1,35	0,3205	2	1,0753
24	20063-2	1,85	0,4355	3,45	1,8548
6	20063-2	2,85	0,6655	2	1,0753
19	20063-2	2,9	0,677	0,5	0,2688
22	20063-2	-1,3	-0,309	5,85	3,1452
1	20063-2	-2,05	-0,4815	4,65	2,5000
23	20063-2	3	0,7	1,85	0,9946
16	20063-2	1,05	0,2515	3,95	2,1237
26	20063-2	2,3	0,539	1,8	0,9677
8	20063-2	0	0,01	5,6	3,0108
17	20063-2	-0,4	-0,102	3,25	1,7473
4	20063-2	0,7	0,171	3,45	1,8548
7	20063-2	-0,3	-0,079	1,35	0,7258
9	20063-2	1,8	0,424	3,25	1,7473
5	20063-2	-3,8	-0,884	6,7	3,6022

A.10 Registreringsskjema for målte verdier fra forsøket

CO₂-nivå ute: 480ppm.

Runde 1 – klokken 9.15:

Ark nr.	Klokken	Romnummer	CO ₂ -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 ₂ -nivå	Temperatur	RF	Kommentarer
3	10.20	200.62 2C	1013 698	22,1°C 22,1°C	32% 27,3%	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	(22,1°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 ₂ -nivå	Temperatur	RF	Kommentar
7	11.30 11.40	200.48 8A	932 892	22,2°C	28,1%	
8	11.33 11.40	200.50 8B	775	22,1°C	30,5%	

1192 23,7°C

A.11 Registreringsskjema for antall elever og lærere tilstede

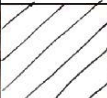

Runde 1 – 9.15:

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

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

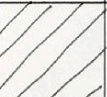
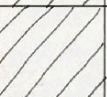
Ikke krøkk!
krøkk ved tavle

Runde 2 – 10.20:

Klokken	Romnummer	Stille luftmengde	Utført	Antall elever	Kommentar	Lærer
12.10	200.62	NEI!		19		1
10.20	2C					
	200.48	JA!	<input checked="" type="checkbox"/>	18		2
	8A	Step Vmin:2	<input checked="" type="checkbox"/>	17		
10.30	200.50	JA!	<input checked="" type="checkbox"/>	18	tavle først sett krøkk bak	1
	8B	Step Vmin:2	<input checked="" type="checkbox"/>			
10.30	200.63	NEI!		19		1
	2B					

krøkk bak (begge)
krøkk bak

Runde 3 – 11.30:

Klokken	Romnummer	Stille luftmengde	Utført	Antall elever	Kommentar	Lærer
7	11.30	200.48		13	Noen elever gikk ut rett for	1
8		8A	NEI!			
	11.35	200.50		18		1
	8B	NEI!				

12.10 2C

A.12 Resultater fra SPSS

Oppfattet luftkvalitet:

Descriptives

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Klasse_8A_1	16	-,4010	,9990	,581594	,3758793
Klasse_8A_2	16	-,0790	,9415	,538469	,3154560
Klasse_2C_1	16	,1710	,8955	,608719	,2000017
Klasse_2C_2	16	-,2630	,9530	,345313	,3307328
Klasse_2B_1	16	-,3090	,8725	,291781	,3613558
Klasse_2B_2	16	-,8840	,7000	,136188	,4546502
Valid N (listwise)	16				

T-Test

[DataSet1] C:\Users\Martine\Dropbox\Martine og Marie\Masteroppgave\SPSS\Martine\Oppfattelse av luftkvalitet - boxplot.sav

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Klasse_8A_1	,581594	16	,3758793	,0939698
	Klasse_2C_1	,608719	16	,2000017	,0500004
Pair 2	Klasse_8A_1	,581594	16	,3758793	,0939698
	Klasse_2B_1	,291781	16	,3613558	,0903389
Pair 3	Klasse_8A_2	,538469	16	,3154560	,0788640
	Klasse_2C_2	,345313	16	,3307328	,0826832
Pair 4	Klasse_8A_2	,538469	16	,3154560	,0788640
	Klasse_2B_2	,136188	16	,4546502	,1136625

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Klasse_8A_1 & Klasse_2C_1	16	-,205	,446
Pair 2	Klasse_8A_1 & Klasse_2B_1	16	,348	,186
Pair 3	Klasse_8A_2 & Klasse_2C_2	16	,382	,145
Pair 4	Klasse_8A_2 & Klasse_2B_2	16	,376	,152

Paired Samples Test

		Paired Differences			95% Confidence ...
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_2C_1	-,0271250	,4605531	,1151383	-,2725364
Pair 2	Klasse_8A_1 - Klasse_2B_1	,2898125	,4210000	,1052500	,0654774
Pair 3	Klasse_8A_2 - Klasse_2C_2	,1931563	,3595266	,0898817	,0015780
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_2B_2	,4022813	,4454872	,1113718	,1648979

Paired Samples Test

		Paired ... 95% Confidence Interval of the ...	t	df	Sig. (2-tailed)
		Upper			
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_2C_1	,2182864	-,236	15	,817
Pair 2	Klasse_8A_1 - Klasse_2B_1	,5141476	2,754	15	,015
Pair 3	Klasse_8A_2 - Klasse_2C_2	,3847345	2,149	15	,048
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_2B_2	,6396646	3,612	15	,003

Luktintensitet:

Descriptives

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Klasse_8A_1	16	,0000	2,7419	1,187844	1,0634708
Klasse_8A_2	16	,1613	2,3387	1,186150	,6638399
Klasse_2C_1	16	,0538	2,8226	1,147519	,8129852
Klasse_2C_2	16	,1075	2,8226	1,713713	,8076821
Klasse_2B_1	16	,0000	2,9032	1,396169	,8175013
Klasse_2B_2	16	,2688	3,6022	1,834681	,9571733
Valid N (listwise)	16				

T-Test

[DataSet2] C:\Users\Martine\Dropbox\Martine og Marie\Masteroppgave\SPSS\Martine\Oppfattelse av luktintensitet - Boxplot.sav

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Klasse_8A_1	1,187844	16	1,0634708	,2658677
	Klasse_2C_1	1,147519	16	,8129852	,2032463
Pair 2	Klasse_8A_1	1,187844	16	1,0634708	,2658677
	Klasse_2B_1	1,396169	16	,8175013	,2043753
Pair 3	Klasse_8A_2	1,186150	16	,6638399	,1659600
	Klasse_2C_2	1,713713	16	,8076821	,2019205
Pair 4	Klasse_8A_2	1,186150	16	,6638399	,1659600
	Klasse_2B_2	1,834681	16	,9571733	,2392933

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Klasse_8A_1 & Klasse_2C_1	16	,142	,600
Pair 2	Klasse_8A_1 & Klasse_2B_1	16	,342	,195
Pair 3	Klasse_8A_2 & Klasse_2C_2	16	,062	,818
Pair 4	Klasse_8A_2 & Klasse_2B_2	16	-,171	,527

Paired Samples Test

		Paired Differences			
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence ... Lower
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_2C_1	,0403250	1,2435903	,3108976	-,6223375
Pair 2	Klasse_8A_1 - Klasse_2B_1	-,2083250	1,0975925	,2743981	-,7931908
Pair 3	Klasse_8A_2 - Klasse_2C_2	-,5275625	1,0129291	,2532323	-1,0673143
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_2B_2	-,6485313	1,2545030	,3136257	-1,3170087

Paired Samples Test

		Paired ... 95% Confidence Interval of the ... Upper	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	Klasse_8A_1 - Klasse_2C_1	,7029875	,130	15	,899
Pair 2	Klasse_8A_1 - Klasse_2B_1	,3765408	-,759	15	,459
Pair 3	Klasse_8A_2 - Klasse_2C_2	,0121893	-2,083	15	,055
Pair 4	Klasse_8A_2 - Klasse_2B_2	,0199462	-2,068	15	,056