

Skolebygninger - inneklima og effektiv energibruk

Elin Halstadtrø

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2011
Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

EPT-M-2011-18

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Elin Halstadtrø

Våren 2011

Skolebygninger – inneklima og effektiv energibruk*School buildings – indoor environment and energy efficiency***Bakgrunn**

I mange kommuner har det ved rehabilitering og nybygging av skoler i de senere år blitt vanlig å ta i bruk behovsstyrt ventilasjon, dvs at ventilasjonsluftmengden styres etter luftkvalitet og/eller temperatur. I andre kommuner har løsninger basert på naturlig ventilasjon fått enn viss utbredelse.

Det foreligger få norske undersøkelser av hvordan løsningene nevnt ovenfor virker inn på undervisningspersonalets og elevenes trivsel og helse. I en skole i Larvik pågår i regi av prosjektet e-CONIAQ (se nedenfor) undersøkelser knyttet til opplevd inneklima i tilknytning til rehabilitering av en ventilasjonsløsning basert på naturlig ventilasjon. Andre skoler i Larvik har også løsninger basert på naturlig ventilasjon. I andre kommuner som er tilknyttet prosjektet (Bergen og Oslo) er andre typer løsninger valgt.

Tilknytning: Oppgaven gjennomføres i tilknytning til SINTEF prosjektet "Reduced energy consumption in buildings - Impacts on indoor air quality and health (e-CONIAQ)"

Mål

Målet med oppgaven er å:

1. innhente data om registrert energibruk og brukere/eiere sine erfaringer med ulike ventilasjonsløsninger med hensyn til termisk og atmosfærisk inneklima og
2. bearbeide dette med hensyn til sammenligning og evaluering av energibruk og inneklima for ulike løsninger, samt undersøke om det er sammenheng mellom tekniske løsninger og inneklima.

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sendte instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

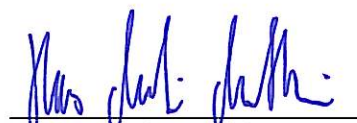
Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to - 2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppnavigivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 17. januar 2011



Olav Bolland
Instituttleder



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e)

Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende oppgave i sivilingeniørstudiet i Energi og miljø ved Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven er vektlagt 30 studiepoeng og er gitt i samarbeid med NTNU og SINTEF Energiforskning A/S. Professor Hans Martin Mathisen var min hovedveileder ved NTNU og SINTEF Energiforskning A/S.

Hensikten med oppgaven var å se på energibruken og inneklimate til skoler med hybride løsninger og balansert mekaniske løsninger, sammenligne skoler på grunnlag av dette og se etter sammenhenger mellom teknisk løsning og inneklimate.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min veileder for hjelp med utarbeidelse av oppgaven og god veiledning underveis. Jeg vil også takke vaktmestrene for god hjelp ved befaring på skolene i Larvik og Oslo, og hovedkontaktpersonene i kommunene; Kristin Borander og Per Olav Rustad.



13.juni 2011 Trondheim, Norway

Elin Halstadtrø

Sammendrag

Det er for lite kunnskaper om virkningen av hybride og balansert mekaniske ventilasjonsanlegg i norske skoler. Det er flere skoler som har blitt rehabilitert eller nybygd med slike løsninger de senere årene. Hovedmålet med oppgaven er å se på energibruken og inneklimaet til skoler med slike løsninger, sammenligne skolene på grunnlag av dette og se etter sammenhenger mellom teknisk løsning og inneklima.

For å undersøke inneklima og energibruk på skoler med forskjellige ventilasjonsløsninger ble det gjort befaringer på noen skoler i Larvik og Oslo. Skolene det er snakk om var RA, Tjodalyng og Mellomhagen i Larvik, og Rommen, Nordstrand og Elvebakken i Oslo. Av disse skolene skiller RA og Mellomhagen seg ut med henholdsvis ventilasjon basert på kulvert og ventilasjon via vinduer. De resterende har balansert mekanisk ventilasjon. Alle skolene som er undersøkt har behovsstyring.

På befaringene ble det gjort enkle intervjuer med noen ansatte og innhentet informasjon om skolene med fokus på energibruk, ventilasjon og oppvarming. I to klasserom på hver skole ble det også satt opp måleutstyr for å logge og måle valgte inneklimaparametre. Lokale lufthastigheter ble målt i flere punkter i alle klasserom. Grunnet for få CO₂-loggere ble det målt lokale CO₂-konsentrasjoner i målepunktene for lufthastighet på Mellomhagen og Elvebakken. CO₂ ble ellers logget for de resterende klasserommene i to hele døgn, og temperatur ble logget for alle klasserom i samme periode. Dette ble utført i uke 10 og 11, vinteren 2011.

Av måleresultatene kom det fram at hybrid ventilasjon med vindusløsning skiller seg ut fra hybrid ventilasjon med kulvert og balansert mekanisk ventilasjon. Vindusløsningen tilfredsstillere ikke kategori 2 av inneluftkvalitet for CO₂-konsentrasjon og har fare for trekk om vinteren. Av temperaturlogging i oppholdssonen tilfredsstillere alle skolene temperaturkravet om 22 ± 2 °C. Lokale lufthastigheter bekrefter at fortrenningsventilasjon krever ekstra god avstand foran ventiler for tilførsel av frisk luft i vegg og at vinduslufting fører til høye hastigheter nærme vindu. Utenom dette har ikke noen av skolene for høye lufthastigheter i oppholdssonen som vil føre til ubehag. Hybrid ventilasjon med kulvert og balansert mekanisk ventilasjon gir ønsket inneklima for kategori 2.

Intervjuer av ansatte både bekrefter og motsier måleresultatene på enkelte punkter.

Vindusløsningen blir oppfattet som behagelig og frisk uten klager på trekk eller støy, mens ansatte på skolene med balansert mekanisk ventilasjon mente at det var både for varmt og for kaldt til tider, men ingen trekk. De ansatte på skolen med kulvertløsning hadde mest negativt å si om inneklimaet hvor støy mellom rommene, lukter utenfra og generelt ustabil temperatur på hele skolen ga stor misnøye. Det kan derfor tyde på at de målte parametre ikke viser det totale inneklimaet til skolene

og at det bør undersøkes flere parametere over lengre tid med påfølgende spørreundersøkelser av ansatte og elever.

Når det gjelder energibruk på skolene var det ikke mulig å innhente dette for skolene i Larvik. Det hadde vært veldig interessant å sammenligne hybrid ventilasjon mot balansert mekanisk ventilasjon for å se om hybrid ventilasjon gir lavere energibruk, men dette ble dessverre ikke vist i denne oppgaven. For skolene i Oslo var innhentet spesifikk energibruk mellom 174 – 198 kWh/m²·år basert på skolenes totale oppvarmingsareal. Simulering av et klasserom i SIMIEN for disse skolene viste at et klasserom ikke kan representeres ved innhentet spesifikk energibruk da et klasserom kan ha høyere eller lavere energibruk enn skolen totalt.

Abstract

There is insufficient knowledge about the impact of hybrid and demand-controlled ventilation in Norwegian schools. There are several schools that have been rehabilitated or newly built with such solutions in recent years. The main objective of this task is to look at energy use and indoor environment of schools with such solutions, compare schools on the basis of this and look for relationships between technical solutions and indoor air quality.

To investigate indoor air quality and energy use in schools with different ventilation systems there were made site inspections of some schools in Larvik and Oslo. The schools in question were RA, Tjodalving and Mellomhagen in Larvik, and Rommen, Elvebakken and Nordstrand in Oslo. Of these schools RA and Mellomhagen differs from the others with respectively hybrid ventilation based on culvert and hybrid ventilation with window solution. The rest have balanced mechanical ventilation. All schools that have been investigated are demand-controlled.

At the site inspections it was made simple interviews with some employees and obtained information about the schools with a primary focus on energy consumption, ventilation and heating. In two classrooms in each school, equipment for logging and measuring selected indoor climate parameters was installed. Local air velocities were measured in several points in all classrooms. Because of too few CO₂-loggers local CO₂ concentrations were measured in the same points as for the air velocities at Mellomhagen and Elvebakken. CO₂ was otherwise logged for the remaining classrooms for two whole days, and the temperature was logged for all classrooms in the same period. This was done in week 10 and 11, the winter of 2011.

The measuring results showed that hybrid ventilation with window solution separate from the hybrid ventilation with culvert and balanced mechanical ventilation. The window solution does not satisfy category 2 of indoor air quality for CO₂ concentration and there is a risk of draft in the winter. From the logging of temperature in the occupied zone all the schools meets the temperature requirement of 22 ± 2 °C. Local air velocities confirm that displacement ventilation requires extra distance in front of valves for the supply of fresh air in the wall and that the window solution leads to high velocities close to the windows. Besides this, none of the schools have too high velocities in the occupied zone that will cause discomfort.

Interviewing the employees both confirmed and contradicted the measuring results on certain points. The window solution is perceived as pleasant and fresh without any complaints of draft or noise, while employees at the schools with balanced mechanical ventilation felt that it was both too hot and too cold at times, but no draft. The staff at the school with the culvert solution had the most

negative impression of the indoor environment; where noise between rooms, odors entering the school from outside and generally unstable temperature of the whole school gave great dissatisfaction. It may therefore indicate that the measured parameters do not show the total indoor environment of the schools.

When it comes to energy use, it was not possible to obtain this for the schools in Larvik. It would have been very interesting to compare the hybrid ventilation with balanced mechanical ventilation too see if hybrid ventilation results in less energy use, but this was unfortunately not showed in this task. For schools in Oslo the specific energy obtained was between 174 and 198 kWh/m²-year based on the schools' total heating area. Simulation of a classroom in SIMIEN for these schools showed that a classroom cannot be represented by the obtained specific energy when a classroom may have higher or lower energy use than the school in total.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Terminologi	xii
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål	1
1.3 Oppbygging	2
1.4 Begrensninger	2
2. Inneklima og energibruk	3
2.1 Valg av ventilasjon	3
2.2 Hybrid ventilasjon	3
2.2.1 Hybrid ventilasjon med kulvert	4
2.2.2 Hybrid ventilasjon gjennom fasaden	4
2.2.3 Inneklima	5
2.3 Behovsstyrt ventilasjon	6
2.3.1 Sensorer	6
2.3.2 Inneklima	8
2.4 Energibruk	8
3. Skolene i Larvik	11
3.1 Mellomhagen ungdomsskole	11
3.1.1 Ventilasjon	11
3.1.2 Oppvarming	12
3.1.3 Klasserom 9 og 10	12
3.2 Tjodalyng ungdomsskole	13
3.2.1 Ventilasjon	14
3.2.2 Oppvarming	14
3.2.3 Klasserom K-1 og K-3	14
3.3 RA ungdomsskole	15
3.3.1 Ventilasjon	16
3.3.2 Oppvarming	17
3.3.3 Klasserom 116 og 117	17

3.4	Oppsummering av skolene i Larvik.....	18
4.	Skolene i Oslo	19
4.1	Nordstrand skole	19
4.1.1	Ventilasjon.....	19
4.1.2	Oppvarming.....	20
4.1.3	Klasserom 7 og 8.....	20
4.2	Rommen skole og kultursenter	21
4.2.1	Ventilasjon.....	21
4.2.2	Oppvarming.....	21
4.2.3	Klasserom 1147 og 2082	21
4.3	Elvebakken videregående skole	23
4.3.1	Ventilasjon.....	23
4.3.2	Oppvarming.....	23
4.3.3	Klasserom 509 og 507B	23
4.4	Oppsummering av skolene i Oslo	24
5.	Innhenting av informasjon, befaringer og målinger.....	25
5.1	CO ₂ -konsentrasjon.....	25
5.2	Temperatur.....	26
5.3	Lufthastigheter	27
5.4	Luftmengder	28
5.5	Simulering av energibruk.....	29
5.6	Intervjuer og befaringer	29
6.	Gjennomføring av målinger, befaringer og intervjuer	31
6.1	CO ₂ -konsentrasjon.....	31
6.2	Temperatur.....	32
6.3	Lufthastighet	33
6.4	Målepunktenes plassering	34
6.4.1	RA ungdomsskole	34
6.4.2	Tjodalyng ungdomsskole	34
6.4.3	Mellomhagen ungdomsskole	35
6.4.4	Nordstrand skole	36
6.4.5	Rommen skole	36
6.4.6	Elvebakken videregående skole	37
6.5	Befaringer og intervjuer	37

7.	Resultater	39
7.1	Sammenligning av inneklima for klasserom	39
7.2	CO ₂ -konsentrasjon	41
7.2.1	Lokale CO ₂ -målinger	43
7.3	Temperatur	45
7.3.1	Termisk komfort	45
7.3.2	Utetemperatur	48
7.3.3	Avtrekkstemperatur	48
7.4	Lufthastighet	50
7.4.1	RA ungdomsskole	50
7.4.2	Tjodalyng ungdomsskole	50
7.4.3	Mellomhagen ungdomsskole	52
7.4.4	Nordstrand skole	53
7.4.5	Rommen skole	54
7.4.6	Elvebakken videregående skole	54
7.5	Luftmengder	56
7.6	Energibruk	60
7.7	Intervjuer	61
8.	Diskusjon av resultater	63
8.1	CO ₂ -konsentrasjon	63
8.2	Temperaturer	63
8.3	Lufthastigheter	64
8.4	Luftmengder	65
8.5	Energibruk	65
9.	Konklusjon	67
	Kilder	69
	VEDLEGG	I
	Vedlegg 1 – Plantegninger	I
	Vedlegg 2 – SIMIEN inndata	IX
	Vedlegg 3 – Inneklima sammenligning	XIV
	Vedlegg 4 – CO ₂ -resultater	XVI
	Vedlegg 5 – Temperaturresultater	XIX
	Vedlegg 6 – Lufthastighetsresultater	XXV
	Vedlegg 7 – SIMIEN resultater	XXVIII

Figurer

Figur 1: Illustrasjon av styringsstrategiene CAV, VAV og DCV. Grønt felt indikerer DCV, horisontal strek CAV og de øvrige stiplede strekene VAV. [8]	6
Figur 2: Forsiden av skolen før fullstendig rehabilitering.....	11
Figur 3: Prinsippskisse Mellomhagen.....	12
Figur 4: Typisk klasserom med vindusløsningen.....	13
Figur 5: Forsiden av Tjodalyng.....	13
Figur 6: Prinsippskisse Tjodalyng.....	14
Figur 7: Klasserom K-1 sett fra bakerst i rommet.....	15
Figur 8: Hele RA i 3D med fire kulverter.....	16
Figur 9: Prinsippskisse RA.....	17
Figur 10: Klasserom 117 fra en sidevegg.....	18
Figur 11: Prinsippskisse Nordstrand.....	19
Figur 12: Klasserom 7 mot tavla.....	20
Figur 13: Rommen sett fra forsiden.....	21
Figur 14: Rom 1147 sett mot inngang.....	22
Figur 15: Baksiden av skolen mot Akerselva.....	23
Figur 16: Klasserom 509 sett fra inngangsdøra.....	24
Figur 17: VAISALA M170.....	31
Figur 18: TinyTag datalogger.....	32
Figur 19: VelociCalc TSI 9555.....	33
Figur 20: Målepunkter i klasserommene, RA.....	34
Figur 21: Målepunkter i klasserommene, Tjodalyng.....	35
Figur 22: Målepunkter i klasserommene, Mellomhagen.....	35
Figur 23: Målepunkter i klasserommene, Nordstrand.....	36
Figur 24: Målepunkter i klasserommene, Rommen.....	36
Figur 25: Målepunkter i klasserommene, Elvebakken.....	37
Figur 26: Mellomhagen rom 9, inneklimateparametere.....	39
Figur 27: RA rom 117, inneklimateparametere.....	40
Figur 28: Nordstrand rom 7, inneklimateparametere.....	40
Figur 29: CO ₂ -konsentrasjon, skoler med behovsstyrt ventilasjon.....	41
Figur 30: CO ₂ -konsentrasjon, hybrid ventilasjon med vindusløsning mot behovsstyrt ventilasjon.....	42
Figur 31: CO ₂ -konsentrasjon, hybrid ventilasjon med kulvert mot behovsstyrt ventilasjon.....	42
Figur 32: Temperatur, skoler med behovsstyrt ventilasjon.....	45
Figur 33: Temperatur, hybrid ventilasjon med vindusløsning mot behovsstyrt ventilasjon.....	46
Figur 34: Temperatur, hybrid ventilasjon med kulvert mot behovsstyrt ventilasjon.....	47
Figur 35: Lufthastigheter: RA rom 117 ved begge høyder.....	50
Figur 36: Lufthastigheter: Tjodalyng rom K-3 ved begge høyder.....	51
Figur 37: Lufthastigheter: Mellomhagen rom 9 og 10 8.mars.....	52
Figur 38: Lufthastigheter: Nordstrand rom 8 ved begge høyder.....	53
Figur 39: Lufthastigheter: Rommen rom 2082 ved begge høyder.....	54
Figur 40: Lufthastigheter: Elvebakken rom 507B ved begge høyder.....	55
Figur 41: Luftmengde, bilde fra Excel, Mellomhagen.....	56
Figur 42: Luftmengde som funksjon av lufthastighet i vindu og avtrekk på Mellomhagen.....	59

Tabeller

Tabell 1: Komponenter i hybrid ventilasjon med kulvert.....	4
Tabell 2: Komponenter i hybrid ventilasjon med vindusløsning.....	4
Tabell 3: Fordeler og ulemper ved hybrid ventilasjon.	5
Tabell 4: Fordeler og ulemper ved ventilasjonsstrategi. [11].....	7
Tabell 5: Komponenter i DCV-anlegg.	7
Tabell 6: Fordeler og ulemper ved DCV.....	8
Tabell 7: Romforhold og timeplan for Mellomhagen.....	12
Tabell 8: Romforhold og timeplan for Tjodalyng.	15
Tabell 9: Romforhold og timeplan for RA.....	18
Tabell 10: Oversikt over skolene i Larvik.	18
Tabell 11: Romforhold og timeplan for Nordstrand.....	20
Tabell 12: Romforhold og timeplan for Rommen.	22
Tabell 13: Romforhold og timeplan for Elvebakken.....	24
Tabell 14: Oversikt over skolene i Oslo.	24
Tabell 15: Tabell A.10 CO ₂ -nivå i rom. [18].....	25
Tabell 16: Variable til beregning av C _p	26
Tabell 17: Anbefalt romtemperatur for klasserom. [21].....	27
Tabell 18: Anbefalt lufthastighet for klasserom, Byggforsk. [21].....	27
Tabell 19: Oversikt over type CO ₂ -måling på skolene.	31
Tabell 20: Oversikt over utført CO ₂ -logging på skolene.	32
Tabell 21: Oversikt over plassering av temperaturloggere.	32
Tabell 22: Oversikt over temperaturlogging på skoler.....	33
Tabell 23: Maksimums- og minimumskonsentrasjon av CO ₂ kl. 7:30 til 16:00.	43
Tabell 24: Oversikt over utføring av lokale CO ₂ -målinger.	43
Tabell 25: Lokale CO ₂ -konsentrasjoner.	44
Tabell 26: Termisk komfort, maksimums- og minimumstemperaturer.....	47
Tabell 27: Maksimums- og minimumstemperatur utendørs.	48
Tabell 28: Maksimums- og minimumstemperaturer i avtrekk på skolene.	49
Tabell 29: Informasjon om lufthastighetsmålinger på RA.....	50
Tabell 30: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Tjodalyng.....	51
Tabell 31: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Mellomhagen.....	52
Tabell 32: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Nordstrand.....	53
Tabell 33: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Rommen.....	54
Tabell 34: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Elvebakken.....	54
Tabell 35: Beregnede luftmengder [m ³ /h·elev] for skolene.	57
Tabell 36: Krav til luftmengder[m ³ /h·elev] for skolene.	58
Tabell 37: Innhentet energibruk 2010 for skolene.....	60
Tabell 38: Innhentet spesifikk energibruk mot SIMIEN spesifikk energibruk.	60

Terminologi

Her følger en kort forklaring på noen av de viktigste begrepene og uttrykkene som blir brukt i denne oppgaven.

Inneklima	Definert som termisk, atmosfærisk, akustisk, aktinisk og mekanisk miljø.
Innemiljø	Definert som inneklima, pluss estetisk og psykososialt miljø.
Termisk miljø	Definert som temperaturforhold av betydning for menneskets varmebalanse. Består av omgivelsesfaktorene; lufttemperatur, strålingstemperatur, luftfuktighet og lufthastighet, i tillegg til personens aktivitetsnivå og bekledning.
Atmosfærisk miljø	Luftkvalitet, bestemmes av innendørs luftforurensninger, ventilasjon, rommets utforming og renhold.
PPM	Parts per million.
Naturlig ventilasjon	Ventilasjon hvor de eneste drivkrefter for transport av luft er oppdriftskraft som skyldes at varm inneluft er lettere enn kald uteluft og/eller vind som presser luft gjennom bygningen.
Mekanisk ventilasjon	Ventilasjon hvor vifter er den eneste drivkraften.
Hybrid ventilasjon	Ventilasjon hvor man utnytter naturlige drivkrefter og bruker mekaniske krefter ved behov.
Hybrid ventilasjon med vindusløsning	Type hybrid hvor frisk luft tas inn gjennom automatiske vinduer og distribuerer luften uoppvarmet til klasserom.
Hybrid ventilasjon med kulvert	Type hybrid hvor frisk luft tas inn gjennom en kulvert under bakken og tilføres klasserom med filtrert luft med svært lav hastighet.
DCV	Behovsstyrt ventilasjon, ventilerer etter behov, dvs. der det er personer (Demand Controlled Ventilation).
CAV	Konstant luftmengde (Constant Air Volume).
VAV	Variabel luftmengde (Variable Air Volume).
TEK10	Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven.
Basemetoden	Undervisning i fleksible rom der ingenting har sin faste plass.
Klasserom	Undervisning i tradisjonelle klasserom.
Fortrengningsprinsippet	Man tilfører luft til et rom med lav impuls direkte til oppholdssonen med en temperatur som er noe lavere enn romtemperaturen.
Omrøringsprinsippet	Man tilfører luft til et rom med høy impuls fra en eller flere steder

	utenfor oppholdssonen.
SD-anlegg	Sentralt driftskontrollanlegg av blant annet oppvarming, kjøling og ventilasjon.
Fyringssesong	Vinteren, periode med behov for oppvarming.
Solskorstein	Solstråling utnyttes til å øke oppdriften ved økt kjølebehov.
Frikjøling	Ventilasjonsluft brukes til nedkjøling av bygningen om natta.
Oppholdssonen	Definert som en sone innenfor et rom som begrenses av vertikale plan med 0,5 m avstand fra yttervegg, 0,2 m avstand fra resterende vegger, gulvet og et horisontalt plan 1,8 m over gulvet.
SFP-faktor	Et mål på energieffektiviteten til ventilasjonsanlegget, angir hvor mye elektrisk vifteenergi som brukes for å distribuere luft i anlegget i forhold til mengden luft transportert.
Trekk	Defineres som lokal avkjøling. Kan oppstå ved en kombinasjon av lufthastighet og temperatur eller stråling til kalde flater.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Mange kommuner rehabiliterer og bygger nye skoler med ventilasjonsløsninger som behovsstyrt- og hybrid ventilasjon. Det foreligger for få norske undersøkelser på hvordan disse nye ventilasjonsløsningene påvirker undervisningspersonalet og elevers trivsel og helse. Oppgaven skal gjennomføres med bakgrunn i dette og i tilknytning til prosjektet e-CONIAQ ("Reduced energy consumption in buildings – Impacts on indoor air quality and health") som ble startet opp av SINTEF Energiforskning AS i 2009. Larvik og Oslo kommune er tilknyttet dette prosjektet hvor skoler undersøkes i forhold til inneklime og energibruk ved nye ventilasjonsløsninger.

Skolene Tjodalyng, RA og Mellomhagen i Larvik og Nordstrand, Elvebakken og Rommen i Oslo er valgt ut til å undersøkes med tanke på energibruk og inneklimeparameterne CO₂, temperatur og lufthastigheter i klasserom. Skolene er valgt med tanke på at de har forskjellige ventilasjonsløsninger hvor RA og Mellomhagen har hybrid ventilasjon med henholdsvis kulvert og vindusløsning. På de andre fire skolene er det balansert mekanisk ventilasjon.

1.2 Mål

Denne masteroppgaven er en videreføring av en prosjektoppgave gjennomført høsten 2010. I prosjektoppgaven ble det utført innledende undersøkelser av hvordan luftmengder påvirker elevers velbefinnende og helse samt hvilken effekt dette har på energibruken. Masteroppgaven viderefører arbeidet fra prosjektet ved å gå fra litteraturstudie og spørreundersøkelse til befarings og innhenting av informasjon fra skoler. Hovedmålet er å se på oppfattet inneklime og energibruk ved skoler med hybride og behovsstyrte ventilasjonsløsninger.

Oppgaven gjennomføres i hovedsak i to deler hvor del en handler om innhenting av data ved bruk av hybride og behovsstyrte ventilasjonsløsninger. Innhenting foregikk ved besøk på skoler i Larvik og Oslo med befarings, intervjuer og inneklimemålinger. Del to går på å bearbeide og sammenligne energibruk og inneklime for skolene med de gitte ventilasjonsløsningene. I hovedsak for å finne ut om det er en sammenheng mellom tekniske løsninger og inneklime.

1.3 Oppbygging

I kapittel 2 blir det diskutert litt rundt inneklima og energibruk ved hybrid og behovsstyrt ventilasjon; fordeler og utfordringer ved disse løsningene. Kapittel 3 og 4 introduserer skolene i Larvik og Oslo med tilhørende klasserom som er undersøkt. Kapittel 5 forteller hvordan det er valgt å innhente data fra skolene, hvor da kapittel 6 forteller hvordan det er gjennomført. Resultatene presenteres og diskuteres i kapittel 7 og 8, før oppgaven avsluttes med konklusjon og forslag til videre arbeid i kapittel 9.

Generelt for hele oppgaven er det brukt hybrid ventilasjon som forkortelse for hybrid ventilasjon med behovsstyring. Mens behovsstyrt ventilasjon er forkortelsen for balansert mekanisk ventilasjon med behovsstyring.

1.4 Begrensninger

Det var dessverre ikke mulig å få tak i tall på energibruk for skolene i Larvik, som jo er mest interessant siden det er skoler med hybrid ventilasjon. Ved inneklimatemålingene var det mangel på CO₂-loggere slik at det måtte gjøres lokale målinger på noen av skolene istedenfor komplett logging av flere døgn. Og grunnet tidsmangel ble det også målt færre lufthastigheter i klasserommene enn ønskelig. Eksakt antall elever og lærere i klasserommene til enhver tid som logging foregikk skulle registreres av lærer i rommene, men det ble ikke gjort i like stor grad på de forskjellige skolene.

2. Inneklima og energibruk

2.1 Valg av ventilasjon

Spørsmålet om hvilken ventilasjonsstrategi man bør velge er viktig ved bygging og rehabilitering av skoler. Ventilasjon har mye å si for inneklimaet når bygget er ferdig, men selve ventilasjonsstrategien har også stor innvirkning på kostnader og bygningsutforming. For å få et best mulig bygg bør alle parter samarbeide i prosjekteringsfasen.

Ved rehabilitering kan det velges mer utradisjonelle løsninger sammenlignet med balansert mekanisk ventilasjon. Enklere ventilasjonsløsninger kan gi lavere kostnader, redusere plassmangel til luftbehandlingsenheter og kanaler og samtidig øke påliteligheten til systemet. [1, 2] Det har blitt påvist at flere komponenter ofte gir en lavere pålitelighet. [2]

De to mest brukte ventilasjonsløsningene i nybygde eller rehabiliterte skoler er hybrid ventilasjon og balansert mekanisk ventilasjon, begge med behovsstyring. Disse løsningene vil bli presentert i dette kapittelet med tanke på inneklima og energibruk. Parameterne temperatur, lufthastighet og CO₂-konsentrasjon er vurderingsbakgrunn for inneklimanivå.

2.2 Hybrid ventilasjon

Hybride ventilasjonssystemer deles her i to hovedtyper; ventilasjon gjennom fasaden og ventilasjon med kulvert. Begge disse ventilasjonssystemene kombinerer utnyttelsen av naturlige drivkrefter med mekaniske hjelpevifter og behovsstyring, men har helt forskjellige påvirkninger på bygningsutforming.

Ved hybrid ventilasjon påvirkes bygningsutformingen siden ventilasjonssystemet blir integrert som en del av bygningskroppen. Noen løsninger krever høye avtrekkstårn, takluker, glassgårder, solskorsteiner eller kulverter som kan sees på fasaden. [3] Innvendig er ofte skoler med hybrid ventilasjon mye høyere under taket for å redusere behovet for lufttilførsel. [4] I forhold til konvensjonelle ventilasjonsanlegg vil en investering i hybrid ventilasjon kreve mer investeringskostnader i bygningskroppen enn mekaniske installasjoner. [3] I forhold til driftskostnader vil de bli høyere sammenlignet med mekanisk ventilasjon siden det benyttes varmegjenvinning med ganske lav virkningsgrad eller ingen varmegjenvinning. [4]

Et hybrid anlegg vil ha to hovedstrategier for drift grunnet årstid; vinter og sommer. Om vinteren er anlegget avhengig av gode styringssystemer for å holde luftkvaliteten tilfredsstillende og energibruken lav. Den avgjørende faktoren er luftmengden; for høy vil gi høyt energibruk mens for lav gir dårlig luftkvalitet. Om sommeren ønsker man å holde termisk komfort tilfredsstillende hvor

nattkjøling og mer brukerstyrt ventilasjon går an. Det mest utfordrende er derimot våren og høsten når man på en og samme dag kan ha både oppvarmings- og kjølebehov. [3]

2.2.1 Hybrid ventilasjon med kulvert

Hybrid ventilasjon med kulvert tar inn uteluft via en bakkekoblet kulvert med inntakstårn og distribuerer luft til rom i vertikale kanaler opp fra kulverten med assistanse fra tillufts- og avtrekksvifte. [2] Kort sagt er denne ventilasjonen et balansert mekanisk system med svært lavt trykktap. Kulverten kan utnyttes til å avkjøle luften om sommeren og varme opp lufta om vinteren. [5] RA ungdomsskole i Larvik og Kampen skole i Oslo er eksempler på skoler med et slikt ventilasjonssystem.

Tabell 1: Komponenter i hybrid ventilasjon med kulvert.

Tilluft	Avtrekk
Luftinntakstårn	
Kulvert	
Vifte	Vifte
Varmebatteri	Varmegjenvinner
Filter	Filter
VAV-spjeld	

I tillegg til disse komponentene har hybrid ventilasjon med kulvert tillufts- og avtrekkskanaler, spjeld, ventiler og en type sensor i rommet, mest vanlig er en kombinert CO₂- og temperatursensor.

2.2.2 Hybrid ventilasjon gjennom fasaden

Hybrid ventilasjon gjennom fasaden går ut på å ta uteluft direkte inn gjennom fasaden ved hjelp av en vifte som skaper undertrykk i rommet relativt til ute. Det finnes ikke bare en type, men hovedprinsippet går ut på å føre uteluften inn gjennom vindu eller luftinntak uten filtrering eller temperering til hvert enkelt rom. På Revetal ungdomsskole i Vestfold er det for eksempel luftinntak inn til hvert enkelt klasserom, hvor uteluften kommer inn ved takhøyde. [1] Mens på andre skoler, som for eksempel Mellomhagen ungdomsskole, tas luft inn via automatisk styrte vinduer. [Kapittel 3.1] I denne oppgaven vil det kun sees på hybrid ventilasjon med vindusløsning.

Tabell 2: Komponenter i hybrid ventilasjon med vindusløsning.

Tilluft	Avtrekk
Motorstyrte vinduer	
	VAV-spjeld
	Vifte
	Varmegjenvinner
	Filter

I tillegg til disse komponentene har hybrid ventilasjon med vindusløsning som regel kombinert CO₂- og temperatursensor i rommet, avtrekksventil på vegg i takhøyde og avtrekkskanaler.

Hybrid ventilasjon med vindusløsning har svært få komponenter og det er derfor et mer robust system enn hybrid ventilasjon med kulvert. Det er ikke alltid ventilasjonssystemene har varmegjenvinning fra avtrekksluft.

2.2.3 Inneklima

Generelt for alle hybride løsninger er det fare for dårlig termisk komfort om vinteren grunnet trekk og for høy temperatur om sommeren. Det er også fare for dårlig luftkvalitet grunnet for lave eller ustabile luftmengder.[3]

For hybrid ventilasjon med vindusløsning er kald trekk det største problemet om vinteren. Om sommeren vil trekk kunne oppleves som behagelig nedkjøling, men samtidig vil vinduslufting tilføre inneluften mer luftbårne partikler som pollen og støv. Dette kan forverre situasjonen for elever med astma og allergier, men det er ikke bevist. [6]

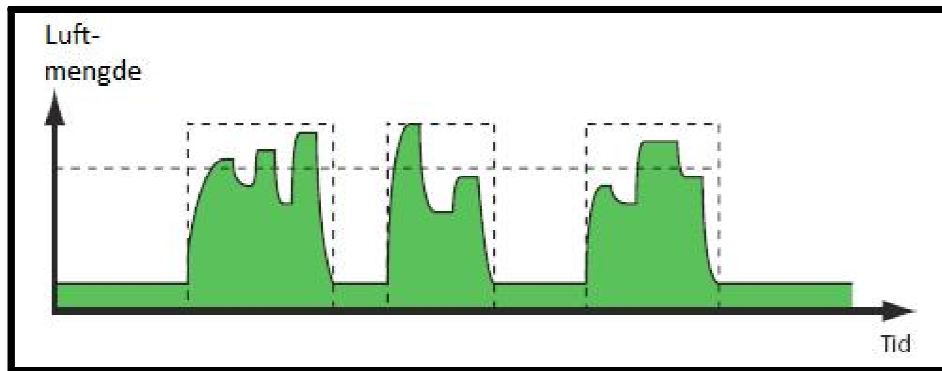
For å oppfylle kravene til temperatur med hybrid ventilasjon med kulvert må man ha god regulering av tilluftstemperaturen. Tilluft bør forvarmes om vinteren for å unngå trekk og kulverten bør om sommeren benyttes til frikjøling om natta. Kjøling ved hjelp av kulvert kan senke romtemperaturen i rommene om dagen betydelig. [4] Med tanke på luftkvalitet er kulverten totalt avhengig av renhold og vedlikehold, men må også tilfredsstille kravene til luftmengder.

Tabell 3: Fordeler og ulemper ved hybrid ventilasjon.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Mulighet for varmegjenvinning av avtrekksluft • Mulighet for passiv kjøling* • Store kanalverrsnitt gir enklere overvåkning og rengjøring • Enkelt og robust system gir enklere overvåkning og rengjøring** • Mindre støy fra vifter • Mindre elektrisitetsforbruk til vifter • Reduserte CO₂-utslipp • Større grad av brukerkontroll • Regulerbar etter behov 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan oppstå for små luftmengder og overoppheting • Liten driftserfaring • Lufttilførsel avhengig av utetemperatur og vind • Mulige trekkproblemer** • Ingen filtrering**
*Med kulvert	
**Gjennom fasaden	

2.3 Behovsstyrt ventilasjon

Det finnes flere balanserte mekaniske ventilasjonssystemer; CAV, VAV og DCV. Økonomisk er CAV billigst å installere og DCV dyrest, men i driftsperspektiv vil DCV lønne seg siden luftmengden da styres etter belastning. CAV bruker en fast luftmengde uansett belastning som ofte kjører mellom en grunneffekt og en full effekt bestemt av tidsstyring. VAV øker luftmengden vha. bevegelsessensor eller manuell styring. [7]



Figur 1: Illustrasjon av styringsstrategiene CAV, VAV og DCV. Grønt felt indikerer DCV, horisontal strek CAV og de øvrige stiplede strekene VAV. [8]

Det er balansert mekanisk ventilasjon med behovsstyring (DCV) som vil være hovedtema i dette avsnittet. Dette er det mest brukte mekaniske ventilasjonssystemet i norske skoler som er nye eller rehabiliterte. [9]

2.3.1 Sensorer

Med behovsstyring kan man redusere luftmengden til å tilpasse seg bruksbelastningen istedenfor å bruke en konstant luftmengde som automatisk reguleres kun ved bruk av rommet. Denne endringen styres av sensorer. Kombinert temperatur- og CO₂-sensor er mest brukt på skoler, men også tilstedeværelsessensor.

Plassering av sensorer er avhengig av om det benyttes omrøringsventilasjon eller fortrenningsventilasjon fordi dette påvirker fordelingen av luften i rommet. For omrøringsventilasjon er det forventet av forurensningskonsentrasjonen fordeler seg jevnt i rommet og at man derfor kan plassere sensoren hvor som helst i rommet. For fortrenningsventilasjon stiger forurensningene oppover og det er best å plassere sensoren i overgangssonen eller i avtrekkskanalen. I praksis vil sensorer mest sannsynlig plasseres på en vegg, i tak eller i avtrekkskanal. [10]

Tabell 4: Fordeler og ulemper ved ventilasjonsstrategi. [11]

Prinsipp	Plassering av sensor	Fordeler	Ulemper
Fortrengning	<ul style="list-style-type: none"> • i pustesonen 	<ul style="list-style-type: none"> • gir renere luft i oppholdssonen • fjerner effektivt varmeoverskudd 	<ul style="list-style-type: none"> • oppstår trekk ved gulvet nær tilluftsåpningen
Omrøring	<ul style="list-style-type: none"> • i oppholdssonen • i avtrekk 	<ul style="list-style-type: none"> • oppstår ikke trekk 	<ul style="list-style-type: none"> • forurensninger spres til hele rommet

Energibesparelsen ved å installere behovsstyring er forskjellig fra bygg til bygg pga. bruksmønster, klima og konstruksjon av ventilasjonssystemet. [10] Disse faktorene som påvirker energibruken kan være infiltrasjon, friminutter, vinduslufting og ventilasjonsprinsipp. Mads Mysen et al. hevder at behovsstyring er spesielt energieffektivt og pålitelig i kombinasjon med fortrengningsventilasjon. [2, 12]

Tabell 5: Komponenter i DCV-anlegg.

Tilluft	Avtrekk
Inntaksrist	
Filter	Filter
Varmegjenvinner	Varmegjenvinner
Vifte	Vifte
Varmebatteri	
Kjølebatteri	
VAV-spjeld	

I tillegg til disse komponentene er det et kanalsystem for distribuering av luft og en sensor i rommet, ofte kombinert CO₂- og temperatursensor.

2.3.2 Inneklima

Med behovsstyring er luftkvaliteten uavhengig av uteforholdene og holder seg på ønsket nivå så lenge renhold og vedlikehold er bra. I forhold til termisk inneklima klarer DCV-anlegg å opprettholde gode nok temperaturer og hindre trekk hele året. Det krever i midlertidig at ventilasjonslufta benyttes til nedkjøling om natta sommerstid. [4]

Tabell 6: Fordeler og ulemper ved DCV.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none">• Sikrer tilstrekkelig luftskifte• Frisklufttilførsel uavhengig av klimatiske forhold• Regulerbar etter behov• Filtrering• Mulighet for varmegjenvinning• Mulighet for forvarming av tilluft• Gir godt inneklima• Reduserer energibruk til behandling og transport av ventilasjonsluft	<ul style="list-style-type: none">• Avhengig av (korrekte) installasjoner og kanaler• Risiko for støy• Avhengig av strøm• Avhengig av korrekt vedlikehold og renhold• Høy installasjonskostnad og driftskostnad• Avhengig av riktig drift

2.4 Energibruk

Drift av ventilasjonsanlegg påvirker driftskostnadene til en bygning siden driften representerer 40 % av total energibruk og opptil 50 % av elektrisitetsforbruket. [10] Den største utgiftsposten dekkes av elektrisitet til viftedrift og for å redusere denne er det satt krav til SFP i TEK10. En undersøkelse viser at energibehovet til vifter i moderne næringsbygg utgjør 15 – 20 % av byggets totale energibehov. Energieffektive anlegg vil bidra til en reduksjon i dette energibehovet. Luftmengder, SFP-verdi og driftstid er avgjørende faktorer. [13]

Behovsstyring reduserer luftmengdene i driftstiden og bidrar til lavere energibruk til viftedrift. For hybrid ventilasjon vil behovsstyring sørge for reduserte lufthastigheter og trykktap slik at oppdrift/vind kan utnyttes i større deler av året. Dette tiltaket reduserer energibruk og driftskostnader. I tillegg kan elektrisitetsforbruket til viftedrift ved hybrid ventilasjon bli lavt selv om dem går det meste av året pga. lavt trykkfall. [4] Ved overdimensjonering av ventilasjonsanlegget kan man drifte systemet med lave trykkfall for å redusere driftskostnadene, men dette krever en større investeringskostnad og en økonomisk analyse på forhånd. [7]

Ved design av et ventilasjonsanlegg er det viktig å fokusere på komponenter med lavt trykkfall og høy virkningsgrad pga. energiforbruket til viftedrift. Kanalnettet må også ha lavest mulig trykkfall. [7] Kravet til lav SFP, dvs. $\leq 2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, gir noe økte kanaldimensjoner. For hybrid ventilasjon, som trenger enda lavere trykktap, vil tverrsnittet over strømningsveiene være større enn for mekanisk

ventilasjon. Filtre i kanalnettet påvirker viftedriften og må skiftes minst en gang i året for å holde driftskostnaden nede. For mekanisk ventilasjon er dette en mye mindre kostnad enn for hybrid ventilasjon hvor det store kanaltverrsnittet gir flere filtre å bytte per gang. [4]

TEK10 er veiledningen man har for å sørge for at en skolebygning blir energieffektiv og energirammen for skolebygninger er satt til $120 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{år}$ totalt netto energibehov i § 14-4. [14] Dette må beregnes etter NS 3031. Utenom dette har man energiltak med forskjellige krav til U-verdier og andre faktorer.

3. Skolene i Larvik

I Larvik ble tre ungdomsskoler med forskjellige ventilasjonsløsninger undersøkt og besøkt i perioden 7. – 11. mars; Mellomhagen, Tjodalyng og RA. Under følger en beskrivelse av skolene og klasserommene som ble undersøkt. Vedlegg 1 viser plantegninger for skolene.

3.1 Mellomhagen ungdomsskole

Skolen fra 1963 ble rehabilitert sommeren 2010 med hybrid ventilasjon. Alle klasserom er tradisjonelle og skolen er delt i tre plan. Klasserom, lærerværelse og skolekjøkken er i hovedblokka, mens gymsal og andre håndverksrom er i hver sin blokk. Det er hovedblokka som har klasserom og resten av skolen er derfor ikke sett på.

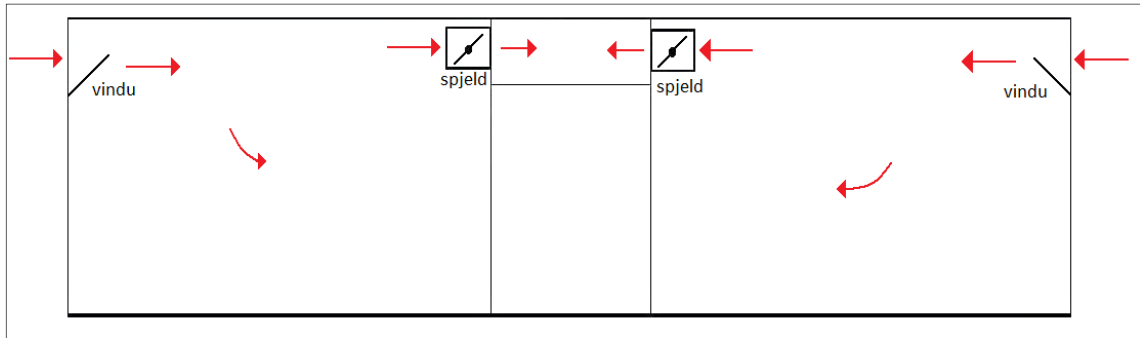


Figur 2: Forsiden av skolen før fullstendig rehabilitering.

3.1.1 Ventilasjon

Ventilasjonen på Mellomhagen er hybrid gjennom fasaden. Den er levert av WindowMaster A/S og skjer ved frisklufttilførsel gjennom vinduer med integrerte kjedemotorer. Styring av vinduene skjer ved et samspill mellom en CO₂-føler og en temperaturmåler i klasserommet og en utendørs værstasjon. Værstasjonen registrerer utetemperatur, nedbør og vindstyrke. Signalene fra disse tre komponentene vil bestemme når vinduene bør åpnes. Om det skulle vise seg å være behov for å lukke eller åpne vinduene utenom den automatiske styringa finnes overstyringsknapp i klasserommet. [15]

Det kan oppstå tilfeller der vinduslufting ikke er tilstrekkelig og på motstående vegg i klasserommet er det derfor avtrekksspjeld som fører luft ut via avtrekk og over himling i gangen. En trykkløler i avtrekkskanalen registrerer luftstrømmen og starter en avtrekksvifte om det ikke er tilstrekkelig med kun naturlig strømning.[15] På bildet under ser man et tverrsnitt av to klasserom og gangen.



Figur 3: Prinsippkisse Mellomhagen.

3.1.2 Oppvarming

Bygget har et vannbårent oppvarmingssystem med radiatorer i klasserom. Primært benyttes pelletskjel på 220 kW, med elkjel på 90 kW som sekundær varmekilde. I tillegg er det koblet til en oljekjel på 150 kW som ikke benyttes. Radiatorene styres av SD-anlegget rom for rom.

3.1.3 Klasserom 9 og 10

Klasserom 9 og 10 ligger i 2.etasje og har to tilstøtende rom. Rom 9 har yttervegg mot øst og 7 vinduer hvor 4 av vinduene har luker som styres av WindowMaster. Rom 10 har yttervegg mot vest og 6 vinduer hvor 4 av dem har luker som styres av WindowMaster. Romforholdene i klasserommene er funnet ved måling.

Tabell 7: Romforhold og timeplan for Mellomhagen.

Mellomhagen	Rom 9	Rom 10
Bredde [m]	7,7	7,7
Lengde [m]	9,4	7,8
Areal [m ²]	72	60
Høyde [m]	3,1	3,1
Volum [m ³]	224	186
Vinduer	7	6
Areal vindu [m ²]	2,28	2,28
Areal lufteåpning [m ²]	0,41	0,41
Lufteluker	4	4
Dører	1	1
Elever	maks 24	maks 24
Solavskjerming	lyse gardiner	lyse gardiner

Timeplan	
08:30 - 09:15	1.time
09:15 - 10:00	2.time
10:00 - 10:30	pause
10:30 - 11:15	3.time
11:15 - 12:00	4.time
12:00 - 12:30	pause
12:30 - 13:15	5.time
13:15 - 14:00	6.time



Figur 4: Typisk klasserom med vindusløsningen.

Av bildet ser man temperatur- og CO₂-måleren til venstre for tavla, veldig nærme vindu.

3.2 Tjodalyng ungdomsskole

Skolen fra 1973 ble rehabilitert og pusset opp høsten 2010 med et nytt balansert ventilasjonsanlegg.

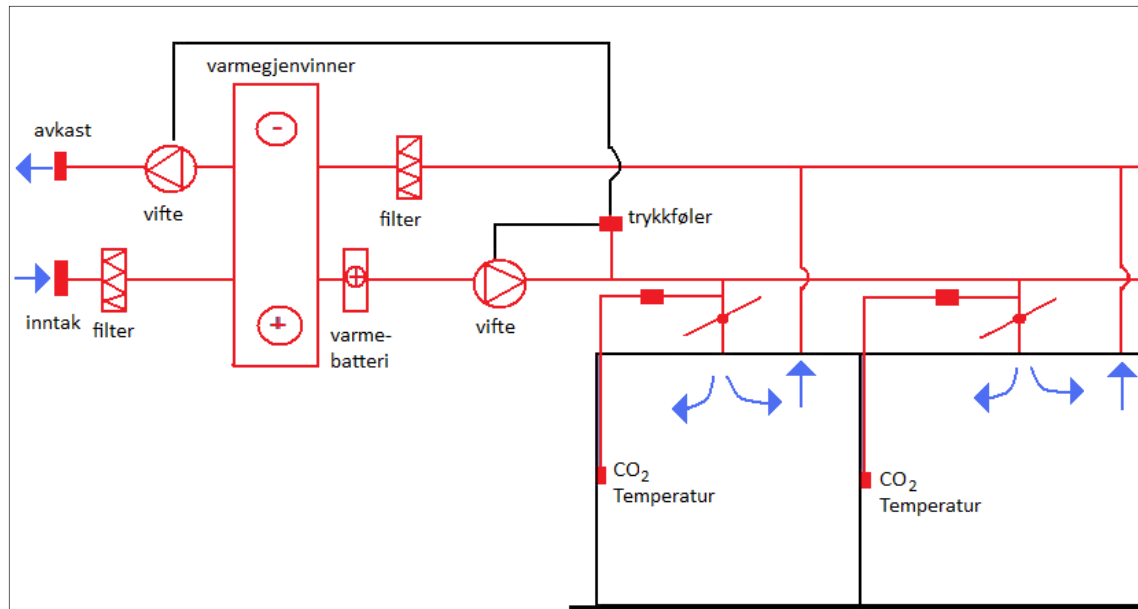
Her finnes tradisjonelle klasserom, men også et samlingspunkt midt i skolen med bøker og sitteplasser. Skolen er i et plan med en inngang for hvert klassetrinn, 8. – 10.trinn.



Figur 5: Forsiden av Tjodalyng.

3.2.1 Ventilasjon

Det er tre ventilasjonsaggregater fordelt på bygget, med friskluftinntak og avkast plassert på taket. Tilførsel av friskluft til undervisningsrom skjer ved omrøringsprinsippet med både tillufts- og avtrekksventiler i tak. Friskluft og brukt luft filtreres og varmeveksles. Om det er høyt varmebehov legger en roterende varmegjenvinner inn før varmebatteriet til tilluften. I klasserom er det 6 tilluftsventiler i tak og 2 avtrekksventiler som styres av CO₂- og temperatursensor i rommet. Kanaler for ventilasjonsluften er i himling i gangen.



Figur 6: Prinsippkisse Tjodalyng.

3.2.2 Oppvarming

Oppvarming av bygget skjer via vannbårne radiatorer og forsynes av en elkjel på 170 kW. Radiatorene styres av SD-anlegget og alle rom kan ha forskjellig settpunkttemperatur.

3.2.3 Klasserom K-1 og K-3

Disse klasserommene har tilstøtende rom på tre sider og yttervegg mot henholdsvis øst og sør. Rom K-1 er et kunst- og håndverksrom, mens rom K-3 benyttes til vanlig undervisning. Romforholdene ble funnet ved måling og opplysninger fra vaktmester.

Tabell 8: Romforhold og timeplan for Tjodalyng.

Tjodalyng	Rom K-1	Rom K-3
Bredde [m]	7,9	7,8
Lengde [m]	11,4	11,4
Areal [m ²]	90	89
Høyde [m]	2,7	2,7
Volum [m ³]	243	240
Vinduer, små	2	7
Vinduer, store	2	1
Areal vindu små[m ²]	1,35	1,35
Areal vindu store[m ²]	3,9	3,9
Dører	4	2
Elever	maks 24	maks 26
Solavskjerming	rullegardiner	rullegardiner

Timeplan	
08:20 - 09:50	1.time
09:50 - 10:10	friminutt
10:10 - 11:10	2.time
11:10 - 11:50	pause
11:50 - 12:50	3.time
12:50 - 13:00	friminutt
13:00 - 14:00	4.time



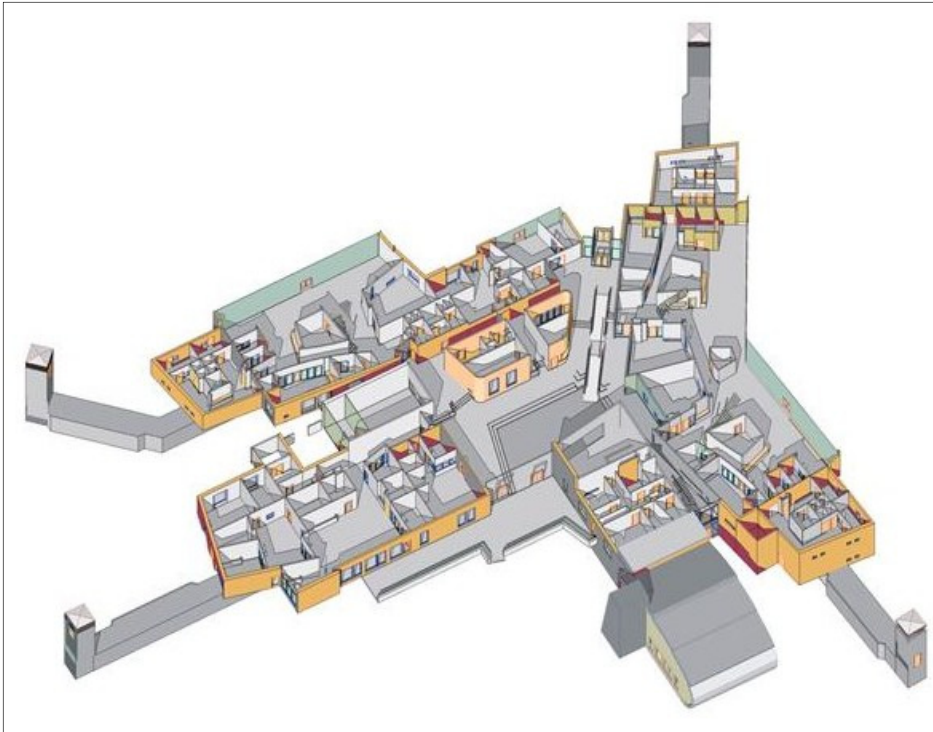
Figur 7: Klasserom K-1 sett fra bakerst i rommet.

3.3 RA ungdomsskole

I oktober 2003 var skolen helt nybygd med hybrid ventilasjon med kulvert. Skolen har en liten underetasje, men er i hovedsak i et plan. Det er ingen tradisjonelle klasserom og korridorer. Hvert klasstrinn har sitt baseareal med undervisnings- og arbeidsrom for elever, et lite auditorium og arbeidsrom for lærere. Det er tre baseareal, ett til hvert klasstrinn fra 8.-10.klasse. I kjernen av skolen ligger AGORA, en åpen plass som brukes til bespising, undervisning, underholdning osv. I underetasjen er det blant annet tekniske rom, gymsal og garderober.

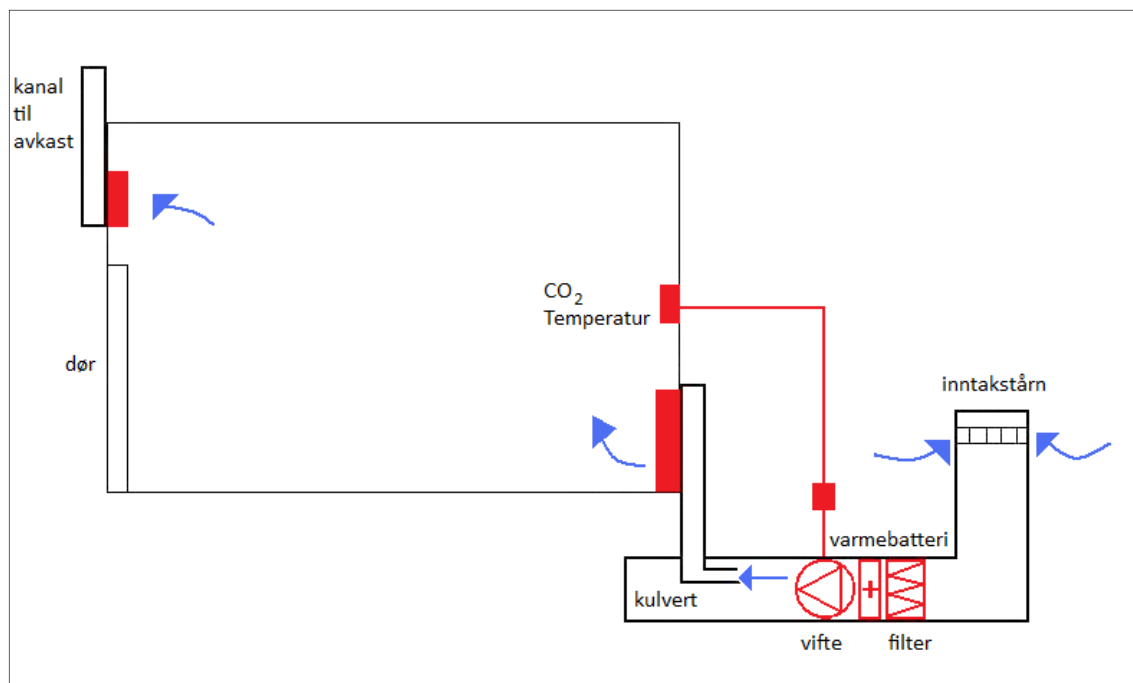
3.3.1 Ventilasjon

Det er fire støpte tilluftskulverter med friskluftinntak 10-20 m unna skolebygget. Rør i kulvertene fører friskluft til undervisningsarealer og fellesarealer ved fortrenningsprinsippet. Resten av skolen ventileres med balansert ventilasjon og omrøring. Det er et lavtrykksanlegg med mekanisk avtrekk i undervisningsrommene. Friskluft filtreres og varmeveksles om vinteren samtidig som den tilføres passiv jordvarme fra kulverten. Om sommeren filtreres friskluften mens den kjøles passivt av kulverten.[33] På taket er det fem avkast med filter, vifte og varmegjenvinning.



Figur 8: Hele RA i 3D med fire kulverter.

Tilluftsventilene er plassert langs gulvet på en av langveggene i klasserommene mens avtrekket er plassert over døra inn til rommet.



Figur 9: Prinsippkisse RA.

3.3.2 Oppvarming

Primært benyttes biokjel på 100 kW til oppvarming med oljekjel på 540 kW til å ta topplasten. Det er vannbårne radiatorer i alle undervisningsrom. Styring av romoppvarming skjer i SD-anlegget.

3.3.3 Klasserom 116 og 117

Disse klasserommene ligger begge i hver sin undervisningsbase og er de eneste rommene man kan kalle klasserom i basene. De har ingen vinduer mot friskluft og er ikke kvadratiske. Klasserommene har ingen fast timeplan for bruk eller antall elever, men det er nok pulter til maksimalt 30 elever.

Romforholdene ble funnet ved måling på plantegning og noe måling i klasserom.

Tabell 9: Romforhold og timeplan for RA.

RA	Rom 116	Rom 117
Bredde mot vest[m]	6,5	6,6
Bredde mot øst[m]	8,5	8,8
Lengde mot nord [m]	8,8	6,6
Lengde mot sør [m]	6,6	8,2
Areal [m ²]	57	56
Høyde [m]	3,5	3,5
Volum [m ³]	198	196
Vinduer	0	0
Dører	1	1
Elever	maks 30	maks 30

Timeplan	
08:30 - 08:35	kjernetid
08:35 - 09:40	1.time
09:40 - 09:50	pause
09:50 - 10:50	2.time
10:50 - 11:30	midttid
11:30 - 12:35	3.time
12:35 - 12:45	pause
12:45 - 13:50	4.time
13:50 - 14:00	kjernetid



Figur 10: Klasserom 117 fra en sidevegg.

3.4 Oppsummering av skolene i Larvik

Tabell 10: Oversikt over skolene i Larvik.

	Mellomhagen	Tjodalyng	RA
Type ventilasjon	Hybrid vindu	Balansert mekanisk	Hybrid kulvert
Oppvarmingsareal	3500	2000	3952
Byggeår	1963	1973	2003
Rehabiliteringsår	2010	2010	-
Antall elever (2010)	278	160	302
Klassetrinn	8 - 10	8 - 10	8 - 10
Undervisningsform	Klasserom	Klasserom	Basemetoden

4. Skolene i Oslo

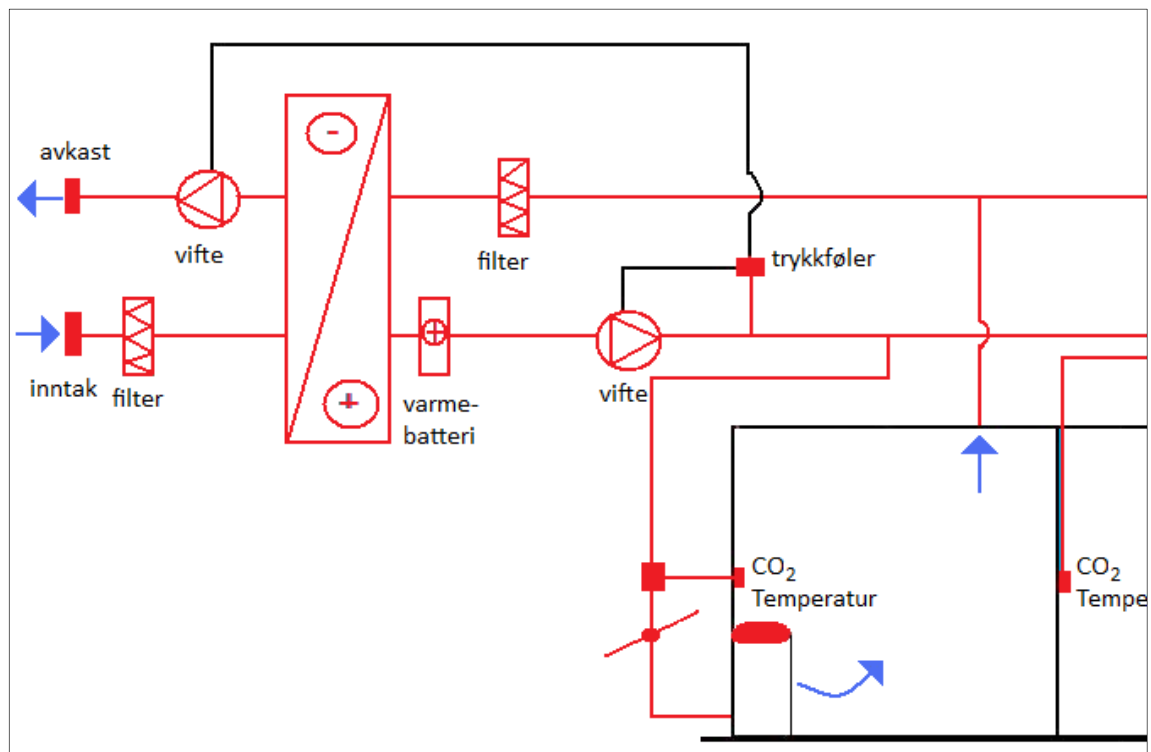
I Oslo ble det i perioden 14-18.mars gjennomført befaring og undersøkelser på tre skoler i Oslo med balansert mekanisk ventilasjon; Nordstrand, Rommen og Elvebakken. Under følger en beskrivelse av skolene og klasserommene som ble undersøkt. Vedlegg 1 viser plantegningene til skolene.

4.1 Nordstrand skole

I dag består skolen av to bygninger. A-bygget ble bygd i 1913, og utvidelsen med B-bygget skjedde i 1937. Hele skolen ble pusset opp i 2000, samtidig som B-bygget ble utvidet. Høsten 2010 ble det installert et balansert ventilasjonsanlegg i B-bygget. Innreguleringen av anlegget har foregått vinteren 2011. B-bygget har 4 etasjer med klasserom, personalfløy og andre håndverksrom.

4.1.1 Ventilasjon

Det ble kun sett på B-bygget. Friskluft tas inn på vestsida av bygget, filtreres og varmeveksles om nødvendig. Tilluftsventiler er plassert vertikalt i to hjørner av klasserom og avtrekksventiler er over inngangsdør, dette gir fortrenningsventilasjon. Tilluftsventilene er perforerte, buede plater 1,5 meter høye.



Figur 11: Prinsippkisse Nordstrand.

4.1.2 Oppvarming

Forsyning av varme til bygget skjer primært med to elkjeler på totalt 630 kW og to oljekjeler på 750 kW. Vannbårne radiatorer finnes i alle klasserom. Styring av radiatorer skjer ved SD-anlegget. Oljekjelene skal etter hvert byttes ut med biokjeler.

4.1.3 Klasserom 7 og 8

Begge rommene er i 4. etasje med yttervegg mot øst og kun et grupperom imellom seg. De motstående rommene er gangen mot vest og andre klasserom på sidene. Tilluftsventilene er i hvert sitt hjørne foran i klasserommene. Romforholdene ble funnet ved måling.

Tabell 11: Romforhold og timeplan for Nordstrand.

Nordstrand	Rom 7	Rom 8
Bredde [m]	7,6	7,6
Lengde [m]	8	8
Areal [m ²]	61	61
Høyde [m]	3,5	3,5
Volum [m ³]	213	213
Vinduer	2	2
Areal vindu [m ²]	4,8	4,8
Dører	1	1
Elever	maks 30	maks 30
Solavskjerming	gardiner	gardiner

Timeplan	
08:00 - 08:45	1.time
08:45 - 09:30	2.time
09:30 - 09:45	friminutt
09:45 - 10:30	3.time
10:30 - 11:15	4.time
11:15 - 11:30	spise
11:30 - 12:00	friminutt
12:00 - 12:45	5.time
12:45 - 13:30	6.time
13:30 - 13:40	friminutt
13:40 - 14:25	7.time



Figur 12: Klasserom 7 mot tavla.

4.2 Rommen skole og kultursenter

Gamle Rommen skole bygd i 1972 ble revet i 2008 og en helt ny skole ble bygd. Den ble ferdig til skolestart 2010 med balansert ventilasjonsanlegg. Skolen er på to etasjer, hvor ventilasjonsanlegget er plassert på loftet. Det er tre undervisningsfløyer med henholdsvis trinn 1 – 4, trinn 5 – 7 og trinn 8 – 10. Skolen har også bibliotek, kultursal, auditorium og en stor flerbrukshall.



Figur 13: Rommen sett fra forsidan.

4.2.1 Ventilasjon

Ventilasjonsanlegget har ni aggregater hvor friskluft tas inn fra taket. Friskluft tilføres klasserom ved omrøringsprinsippet og hver undervisningsfløy har hvert sitt ventilasjonsaggregat. Tillufts- og avtrekksventilene er plassert i tak. Se Figur 6 for prinsippskisse.

4.2.2 Oppvarming

Det er vannbårent oppvarmingssystem med radiatorer på skolen som forsynes med jordvarme på 180 kW og elkjel på 500 kW. Styring skjer via SD-anlegget. Det har vært igangkjøringsproblemer med varmepumpene så skolen har hittil blitt oppvarmet med elkjel.

4.2.3 Klasserom 1147 og 2082

Rom 1147 er et rom for 1.klasse i 1.etasje mens rom 2082 er for 10.klasse i 2.etasje. Selv om de er lokalisert i hver sin undervisningsfløy er de tilnærmet like i størrelse og utforming. Det er glassvegger mellom tilstøtende rom og mot gangen, hvor både rom 1147 og 2082 må gås igjennom for å komme til rommene ved siden av. Rommene har derfor mange dører; to inngangsdører, en dør til hvert naborom og til to mindre oppholdsrom. Grunnet glassvegger er CO₂- og temperatursensor plassert i tak. Romforholdene er funnet ved måling.

Tabell 12: Romforhold og timeplan for Rommen.

Rommen	Rom 1147	Rom 2082
Bredde [m]	5,2	5,2
Lengde [m]	11,2	10
Areal [m ²]	58	52
Høyde [m]	2,5	2,5
Volum [m ³]	146	130
Vinduer	4	4
Areal vindu [m ²]	2,4	2,6
Dører	6	6
Elever	maks 30	maks 20
Solavskjerming	gardiner	gardiner

Timeplan	
1.trinn	Rom 1147
8:45 - 11:00	1.del
11:00 - 12:00	pause
12:00 - 13:45	2.del
10.trinn	Rom 2082
8:00 - 11:00	1.del
11:00 - 12:00	pause
12:00 - 14:00	2.del



Figur 14: Rom 1147 sett mot inngang.

På bildet ser man to dører mot gangen, og til venstre to dører hvor den ene fører til et motstående klasserom og den andre til et lite grupperom.

4.3 Elvebakken videregående skole

Elvebakken ble grunnlagt i 1896, men i 2005 ble et nytt skolebygg ferdig bygd med balansert ventilasjon. Skolen har en vestfløy og en østfløy, 5 etasjer og to underetasjer. Skolen har alle mulige rom for både allmenn og yrkesfaglig studiespesialisering. Plan 1 – 3 er like og plan 4 – 5 er like.



Figur 15: Baksiden av skolen mot Akerselva.

4.3.1 Ventilasjon

Anlegget har 15 aggregater fordelt i bygget og tar inn friskluft fra tak. Alle klasserom tilføres friskluft etter omrøringsprinsippet med både tillufts- og avtrekksventiler i tak. Se Figur 6 for prinsippskisse.

4.3.2 Oppvarming

Energiforsyning skjer ved fjernvarme og fordeles med vannbårne radiatorer. Styring av romoppvarming skjer i SD-anlegget.

4.3.3 Klasserom 509 og 507B

Dette er to klasserom plassert i vestfløyen i 5. etasje hvor 507B opprinnelig var en del av den åpne løsningen i rommet ved siden av 509. Grunnet økende antall elever ble det satt opp vegger i den åpne løsningen og rom 507B ble til. Denne fløyen har et skoletrinn med tre lukkede klasserom, et åpent klasserom, lærerkontorer og toalett. Det åpne klasserommet må passeres for å komme til 507B og lærerkontoret. Romforhold har blitt funnet ved måling.

Tabell 13: Romforhold og timeplan for Elvebakken.

Elvebakken	Rom 509	Rom 507B
Bredde [m]	7,4	7,4
Lengde [m]	7,5	7,5
Areal [m ²]	56	56
Høyde [m]	3,2	3,2
Volum [m ³]	178	178
Vinduer	8	8
Areal vindu [m ²]	0,9	0,9
Dør	2	1
Elever	maks 30	maks 30
Solavskjerming	gardiner	gardiner

Timeplan	
08:15 - 11:30	1.del
11:30 - 12:15	pause
12:15 - 15:30	2.del



Figur 16: Klasserom 509 sett fra inngangsdøra.

Av bildet ser man i taket en av tilluftsventilene.

4.4 Oppsummering av skolene i Oslo

Tabell 14: Oversikt over skolene i Oslo.

	Nordstrand	Rommen	Elvebakken
Type ventilasjon	Balansert mekanisk	Balansert mekanisk	Balansert mekanisk
Oppvarmingsareal	7500	8500	16200
Byggeår	1937	2010	2005
Rehabiliteringsår	2010	-	-
Antall elever (2010)	446	725	1233
Klassetrinn	1 – 3	1 – 10	11 – 13
Undervisningsform	Klasserom	Klasserom	Basemetoden

5. Innhenting av informasjon, befaringer og målinger

For å innhente informasjon om skolene til å vurdere inneklimate og energibruk mot forskjellige ventilasjonsløsninger ble det utført både befaring, inneklimatemålinger og enkle intervjuer på skolene. I tillegg er det simulert energibruk for klasserom og beregnet luftmengder for klasserommene. I dette avsnittet vil det bli forklart hvilke målemetoder som ble benyttet, hvordan beregninger har blitt utført og hvorfor intervjuer og befaringer ble utført.

Det ble valgt å måle tre inneklimateparametere i to klasserom på hver skole for å få en indikasjon på termisk og atmosfærisk kvalitet på skolene. Innetemperatur og lufthastighet sier noe om trekk og ubehag i et klasserom, mens CO₂-nivå sier noe om luftkvaliteten. Det ble også valgt å se på luftmengder vha. CO₂-målingene.

5.1 CO₂-konsentrasjon

CO₂-konsentrasjon innendørs brukes som en indikasjon på god luftkvalitet og avhenger av brukerbelastning og oppholdstid i et rom. Anbefalingen fra Folkehelseinstituttet er å ikke overskride 1000 ppm. [16] Til sammenligning ligger utendørs CO₂-konsentrasjon mellom 350 og 450 ppm.[17] Ifølge alle standarder og anbefalinger kan man dele opp inneluftkvalitet og inneklimate i klasser/kategorier ut fra prosentvis misfornøyde, hvor kategori 2 ofte brukes som standard. [18-21] Kategori 2 tilsvarer 20 % misfornøyde brukere av et rom. For CO₂-konsentrasjon angis klassene som konsentrasjon over uteluftkonsentrasjonen gitt i Tabell 15.

Tabell 15: Tabell A.10 CO₂-nivå i rom. [18]

Klasse	CO ₂ -nivå over uteluftnivå i ppm.	
	Typisk område	Predefinert verdi
1	< 400	350
2	400 - 600	500
3	600 - 1000	800
4	> 1000	1200

Årsaken til at 1000 ppm. er valgt som grense kan forklares ut fra en formel for beregning av nødvendig luftmengde med utgangspunkt i aktivitetsnivå og CO₂-produksjonen til en person:[22]

$$\dot{V}_s = \dot{V}_{CO_2} \cdot \frac{T_s}{T_i} \cdot \frac{10^6}{(C_i - C_o) \cdot 60} \quad [l/s] \quad (1)$$

Hvor: $\dot{V}_{CO_2} = 0,25 \cdot M$ [l/min] = CO₂-produksjon pga. aktivitetsnivå

M = aktivitetsnivå [met]

T_s = tilluftens temperatur [K]

T_i = romluftens temperatur [K]

C_s = tilluftens CO₂-innhold [ppm]

C_i = romluftens akseptable CO₂-innhold [ppm]

Velger man følgende variabler gitt i Tabell 16 hvor en person er stillesittende med 20 °C i lufta får man beregnet romluftens akseptable grense for CO₂-innhold til 993 ppm. Dette er tilnærmet 1000 ppm.

Tabell 16: Variable til beregning av C_i .

\dot{V}_s	7
M	1
\dot{V}_{CO_2}	0,25
T_s	292
T_i	293
C_s	400

For å få et klart bilde på CO₂-variasjonen burde man logge nivået over en tidsperiode samtidig som man noterer antall personer. Høye nivåer er ikke farlig for mennesker, men det kan føre til ubehagelig lukt og tung luft. [16]

5.2 Temperatur

Innendørs temperatur er viktig for termisk komfort, hvor for høy eller for lav temperatur gir ubehag og misnøye. Kjente problemer er kaldt gulv, varmestråling og tørr luft. [16] NS-EN ISO 7730 gir anbefalte krav, blant annet minimum 19 °C for gulv og operativ temperatur vinter på 20 – 24 °C og sommer på 23 – 26 °C. [20]

Kravene til termisk inneklima er gitt i TEK10 § 13-4 med anbefalinger i veiledningen. [14]

Det anbefales at lufttemperaturen så langt som mulig holdes under 22 °C når det er oppvarmingsbehov. Overskridelse av maksimalgrensen på 26 °C "bør kunne aksepteres i varme sommerperioder med utelufttemperatur over den som overskrides med 50 timer i et normalår". Siden skoler er stengt om sommeren burde kravet for skoler være lavere ifølge Byggforsk. [23]

I tillegg til operativ temperatur vil vertikale temperaturforskjeller gi ubehag og TEK10 §13-4 sier:

"Lufttemperaturforskjell over 3-4 °C mellom føtter og hode gir uakseptabelt ubehag, likeså daglig eller periodisk temperaturvariasjon utover ca. 4 °C." [14]

Byggforsk byggdetaljer 421.505 "Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger" gir anbefalte temperaturer innendørs:

Tabell 17: Anbefalt romtemperatur for klasserom. [21]

	Kategori	Operativ temperatur °C	
		Sommer	Vinter
Klasserom	1	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0
	2	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0
	3	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0

Måling av temperatur bør utføres over en tidsperiode og plasseres hensiktsmessig for å få best bilde på temperaturvariasjonen.

5.3 Lufthastigheter

For å evaluere trekk i klasserom kan man måle lufthastigheter lokalt med en trekkføler. Lufthastighet vil variere i oppholdssonen og vanlige høyder å måle i er 0,1, 1,1 og 1,7 meter over gulv. [15]

Byggforsk byggdetaljer 421.505 Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger gir anbefalinger for lufthastigheter i klasserom. Folkehelseinstituttet anbefaler maksimalt 0,15 m/s for vintersesongen i oppholdssonen. [16] Det er derfor mange anbefalinger, i denne oppgaven vil Folkehelseinstituttets anbefaling følges.

Tabell 18: Anbefalt lufthastighet for klasserom, Byggforsk. [21]

	Kategori	Maksimal lufthastighet m/s	
		Sommer	Vinter
Klasserom	1	0,18	0,15
	2	0,22	0,18
	3	0,25	0,21

Byggforsk anbefaler at det er minimum 0,8 m mellom elever og varmekilder, ventilasjonsåpninger og vinduer for å sikre tilfredsstillende termisk komfort. [23] For høy lufthastighet kan gi trekk som fører til ubehag for personene i rommet.

5.4 Luftmengder

Luftmengden har også noe å si på luftkvaliteten og har minimumskrav gitt i TEK10 § 13-3 for både forurensninger fra personer, og bygningsmaterialer og inventar, på henholdsvis 26 m³/h per person og 2,5 m³/h·m². Det er også krav om minimum 0,7 m³/h·m² når rom ikke er i bruk. [14]

For å evaluere luftmengder i klasserom kan man bruke resultatet av CO₂-loggingene og forenklet beregne luftskiftet ved ligning (2) og deretter beregne luftmengden av ligning (3). Ligning (1) kan i Excel finnes vha. eksponentiell trendlinje.

Forurensningskonsentrasjonen [ppm] i et rom når det ikke er noen forurensninger i tilluften kan uttrykkes ved:

$$C = C_0 \cdot e^{-n \cdot \tau} \quad (2)$$

Hvor: n = luftskifte [h⁻¹]

τ = tid [h]

C_0 = konsentrasjon i romluften ved $\tau = 0$ [ppm]

Luftmengden i [m³/h] beregnes av ligning (3):

$$\dot{V} = n \cdot V \quad (3)$$

Hvor: V = oppvarmet romvolum [m³]

Denne metoden kan benyttes når man ikke gjør egne luftmengdemålinger.

For hybrid ventilasjon med vindusløsning kan man beregne luftmengde basert på luftåpning og lufthastighet ute ved kommende metode.

Luftmengde [m³/h] for et vindu med 100 % åpning:

$$\dot{V}_{vindu} = A_{vindu} \cdot v_{inn} \cdot 3600 \text{ sek} \quad (4)$$

Luftmengde [m³/h] for et klasserom med x antall vindusåpninger:

$$\dot{V}_{rom} = \dot{V}_{vindu} \cdot x \quad (5)$$

Hvor: v_{inn} = lufthastigheten [m/s].

5.5 Simulering av energibruk

Energibruk for skolene, som gjelder for hele oppvarmingsarealet, ble innhentet på befaring. For å se på energibruk for et klasserom ble SIMIEN benyttet. [24] SIMIEN (Simulering av inneklima og energibruk i bygninger) er godkjent til å energimerke bygninger og beregner etter standarden NS 3031. Man kan også evaluere bygninger mot lavenergi/passivhuskriterier. I denne oppgaven er versjon 5.001 fra 2010 benyttet.

Det er simulert ett klasserom for hver skole, men kun for skolene med innhentet energibruk. Det er valgt klasserom 7 på Nordstrand, rom 507B på Elvebakken og rom 1147 på Rommen. I Vedlegg 2 finnes de sentrale inndata for simuleringene.

5.6 Intervjuer og befaringer

For å få best innblikk i hvordan en skole ser ut, fungerer, og oppleves i praksis kreves befaring av skolen. Befaring innebærer å kikke på klasserom, fyrrom, ventilasjonsaggregater og snakke med driftspersonalet. Underveis henter man ut relevant informasjon som er nødvendig.

Intervjuer med ansatte på skolene gjennomføres for å få et innblikk i hvordan inneklima blir oppfattet av enkeltindivider. Det kan ikke danne grunnlag for statistikk, men gir forståelse av arbeidsforholdene og eventuelle problemer med inneklima på skolen.

6. Gjennomføring av målinger, befaringer og intervjuer

Besøk på skolene med befaring, intervjuer og målinger ble utført over en periode på to uker i mars 2011. Skolene i Larvik ble besøkt 7.- 11.mars og skolene i Oslo ble besøkt 14. – 18.mars. For å undersøke innneklimaet på alle skolene opp mot hverandre ble CO₂-konsentrasjon, temperatur og lokale lufthastigheter målt.

6.1 CO₂-konsentrasjon

Ved logging av CO₂-konsentrasjon ble en håndholdt måler av typen VAISALA MI70 benyttet. Den ble innstilt til å måle hvert 15.minutt fra den ble startet til den ble stoppet manuelt.



Figur 17: VAISALA MI70.

På hver skole skulle en logger plasseres i avtrekk i to klasserom hver, men det var kun 5 loggere tilgjengelige. Problemet ble løst ved å måle lokale nivåer på Elvebakken og Mellomhagen. For Mellomhagen ble det også hentet ut målinger fra WindowMaster for uke 10.

Tabell 19: Oversikt over type CO₂-måling på skolene.

Uke	Skole	Logging	Lokal måling
10	RA	X	
	Tjodalyng	X	
	Mellomhagen		X
11	Nordstrand	X	
	Rommen	X	
	Elvebakken		X

Lokale målinger ble gjennomført 18.mars på Elvebakken og 8.mars på Mellomhagen i de samme punktene som for lufthastighetsmålinger. For de fire andre skolene ble loggerne hengt opp ifølge tidsskjemaet vist i Tabell 20.

Tabell 20: Oversikt over utført CO₂-logging på skolene.

Skole	Fra	Til
RA	07.mar	10.mar
Tjodalyng	08.mar	11.mar
Nordstrand	14.mar	17.mar
Rommen	15.mar	18.mar

6.2 Temperatur

Ved temperaturlogging ble TinyTag dataloggere benyttet. De ble innstilt til å logge hvert 15.minutt. To loggere ble hengt opp i hvert klasserom og en ble hengt opp utendørs på hver skole. For å undersøke temperaturen i oppholdssonen ble en temperaturlogger plassert på kateter eller ved tavla. Den andre loggeren ble plassert i avtrekksventil for å se temperaturvariasjonen i lufta som fjernes fra rommet. Loggeren plassert utendørs ble hengt opp så den ikke ble påvirket av sol eller regn.

Tabell 21: Oversikt over plassering av temperaturloggere.

Skole	Kateter/Tavla	Avtrekk	Annet	Ute
RA	X	X		X
Tjodalyng	X	X		X
Mellomhagen	X		X*	
Nordstrand	X	X		X
Rommen	X	X		X
Elvebakken	X		X**	X

*Vegg og tak
**Tilluft

På Mellomhagen ble måledata fra WindowMaster hentet ut og benyttet for utetemperatur og romtemperaturer for sammenligning, hvor sensoren hang ved tavla. Mens på Elvebakken var avtrekksventil plassert så høyt at logger ble plassert hengende fra tilluftsventil.



Figur 18: TinyTag datalogger.

Med TinyTag henter man ut loggedata ved hjelp av USB-kabel og et dataprogram som heter EasyView.

Tabell 22: Oversikt over temperaturlogging på skoler

Skole	Fra	Til
RA	07.mar	10.mar
Tjodalyng	08.mar	11.mar
Mellomhagen	08.mar	11.mar
Nordstrand	14.mar	17.mar
Rommen	15.mar	18.mar
Elvebakken	15.mar	18.mar

6.3 Lufthastighet

I hvert klasserom ble det målt lokale lufthastigheter med en håndholdt måler som heter VelociCalc TSI 9555. Det ble målt i noen punkter i hvert rom i høydene 1,1 m og/eller 3 m over gulv. I hvert punkt ble det målt 10 momentanverdier i hver høyde og tatt gjennomsnittet av dem. Måling i hvert klasserom kunne ta mellom 20 – 35 minutt.



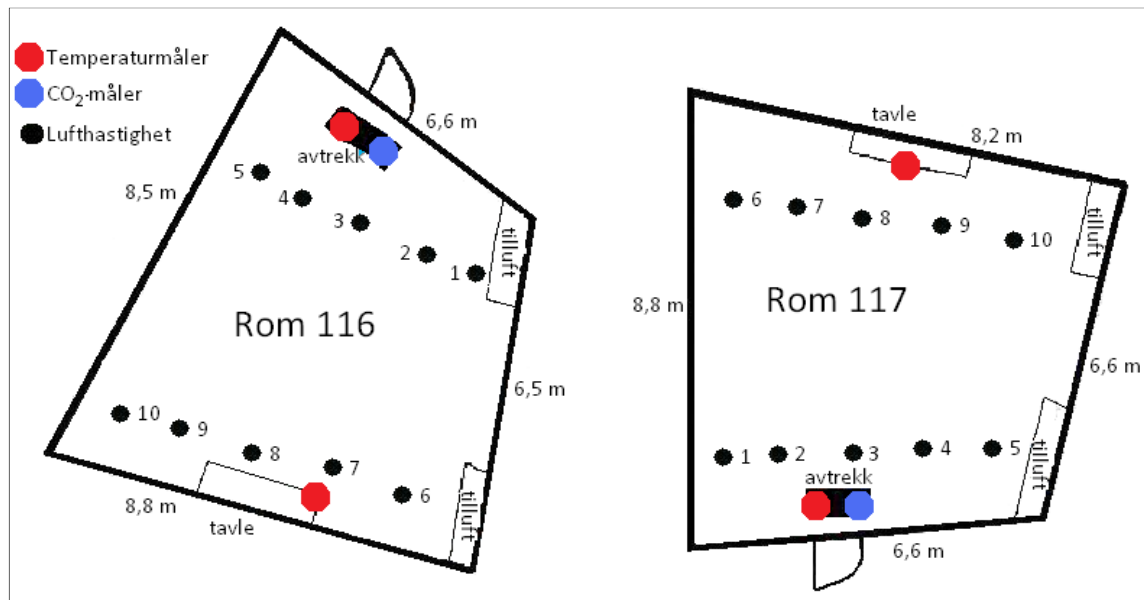
Figur 19: VelociCalc TSI 9555.

6.4 Målepunktene plassering

Her følger skisser av alle klasserom med plassering av temperatur- og CO₂-logger, i tillegg til punktene hvor lufthastigheter ble målt. I noen av lufthastighetspunktene ble det også målt lokale CO₂-konsentrasjoner.

6.4.1 RA ungdomsskole

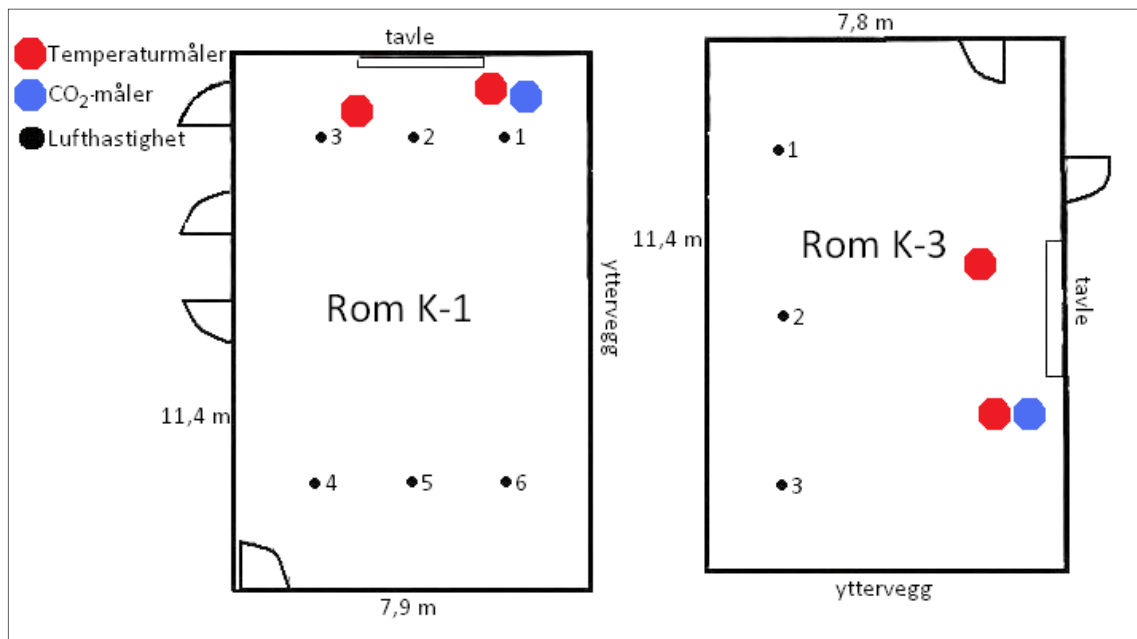
På RA ble det målt lufthastigheter i 10 punkter i hvert klasserom. Alle punktene ble målt ved 1,1 meters høyde, men i punkt 1 til 5 ble det også målt i 3 meters høyde, se Figur 20. En temperaturlogger ble hengt ved tavla og en ble hengt i avtrekk med CO₂-loggeren.



Figur 20: Målepunkter i klasserommene, RA.

6.4.2 Tjodalyng ungdomsskole

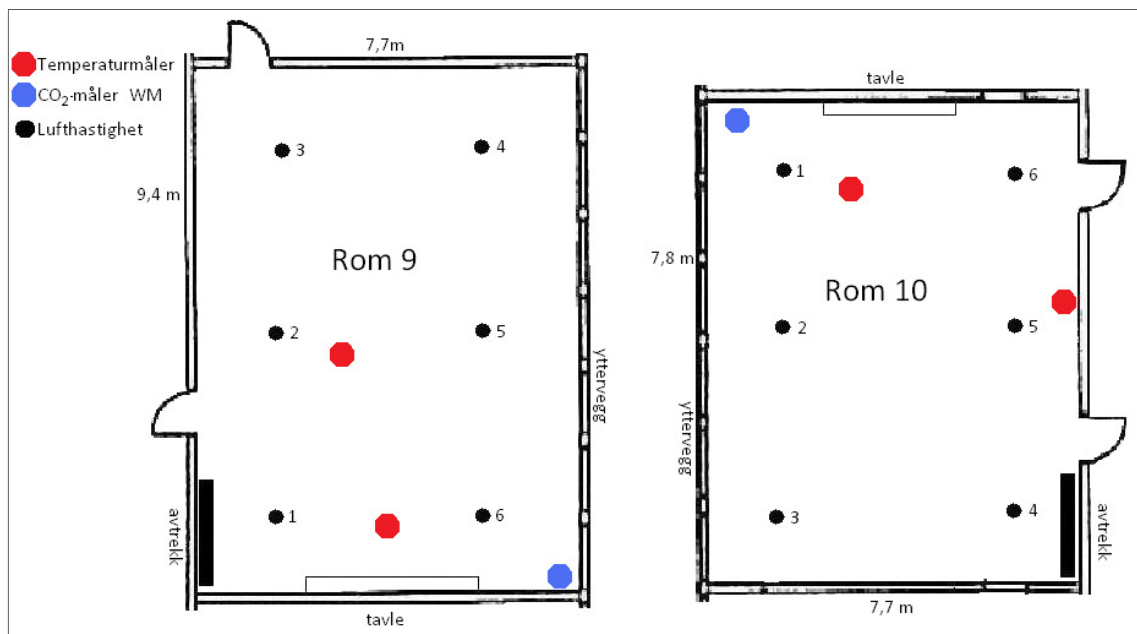
På Tjodalyng ble det målt lufthastigheter i 3 punkter i rom K-3 og 6 punkter i rom K-1 ved 1,1 meters høyde og ved takhøyden på 2,7 meter. En temperaturlogger ble festet i foten på kateter mens den andre ble hengt i avtrekket sammen med CO₂-loggeren. Det var to avtrekksventiler i tak, hvor den til høyre for tavla ble valgt.



Figur 21: Målepunkter i klasserommene, Tjodalving.

6.4.3 Mellomhagen ungdomsskole

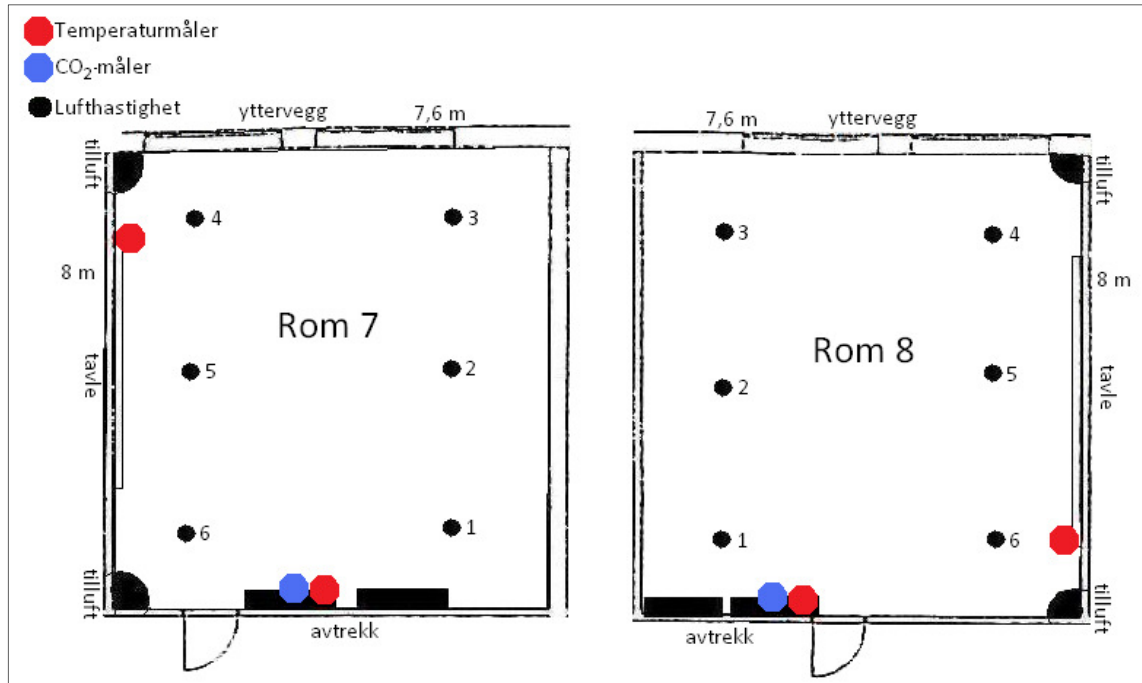
På Mellomhagen ble det gjennomført lufthastighetsmålinger i de samme 6 punktene i begge rom ved 1,1 meters høyde to forskjellige dager, se Figur 22. Det ble også utført lokale CO₂-målinger i de samme punktene som for lufthastighet.



Figur 22: Målepunkter i klasserommene, Mellomhagen.

6.4.4 Nordstrand skole

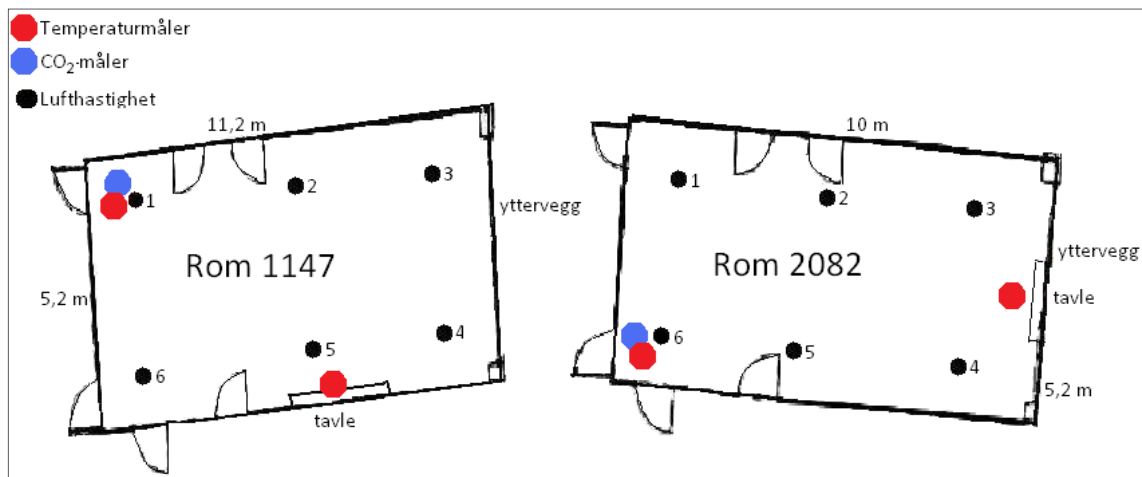
På Nordstrand ble det målt lufthastigheter i 6 punkter ved både 1,1 og 3 meters høyde. I avtrekket på vegg ble en temperaturlogger og en CO₂-logger hengt opp, mens ved tavla ble en temperaturlogger hengt opp.



Figur 23: Målepunkter i klasserommene, Nordstrand.

6.4.5 Rommen skole

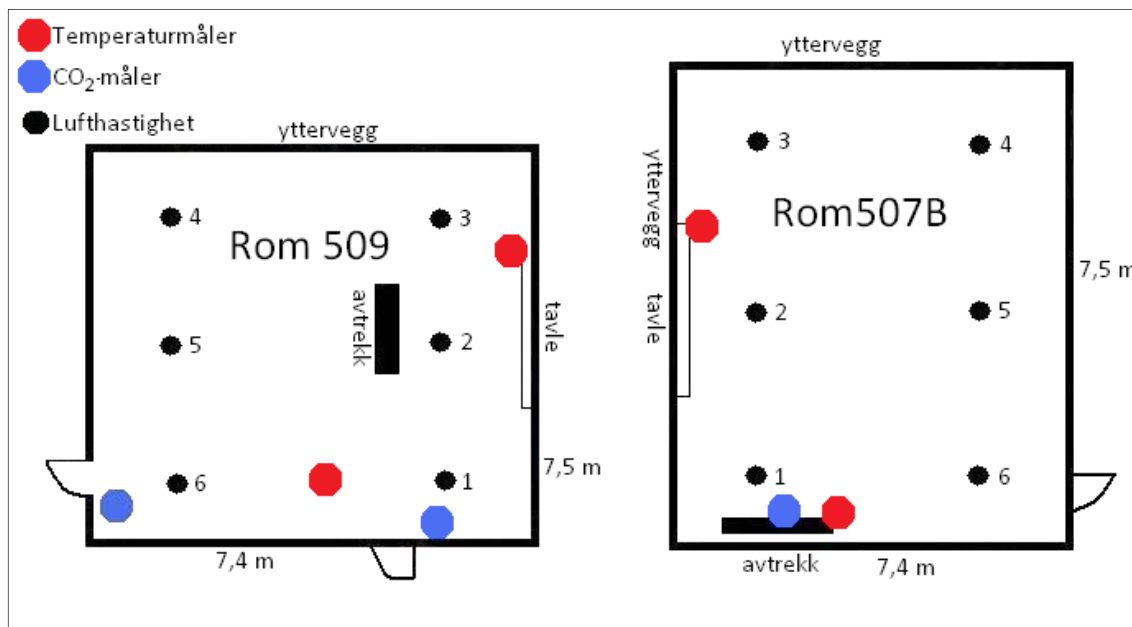
På Rommen ble det målt lufthastigheter i 6 punkter ved 1,1 meters høyde og takhøyden på 2,5 meter. Avtrekk var i taket ved de to inngangsdørene. Temperatur og CO₂ ble logget der, i tillegg ble en temperaturlogger hengt ved tavla.



Figur 24: Målepunkter i klasserommene, Rommen.

6.4.6 Elvebakken videregående skole

På Elvebakken ble det målt lufthastigheter i 6 punkter i både 1,1 og 3 meters høyde. De blå prikkene indikerer hvor det var veggmåler for CO₂ og temperatur i rommet. Temperaturloggere ble hengt opp ved tavle og i tak. For rom 507B hang temperaturlogger ganske nærme avtrekk i taket. Lokale CO₂-målinger ble også gjennomført i de samme 6 punktene i hvert rom.



Figur 25: Målepunkter i klasserommene, Elvebakken.

6.5 Befaringer og intervjuer

Befaring og intervjuer ble utført etter oppsetting av måleutstyr på skolene.

- 7.mars: RA ungdomsskole
- 8.mars: Tjodalyng ungdomsskole og Mellomhagen ungdomsskole
- 14.mars: Nordstrand skole
- 15.mars: Rommen skole og Elvebakken videregående skole

Det ble intervjuet 2-3 ansatte på hver skole. På befaring var det viktigste å finne ut så mye som mulig om klasserommene, ventilasjonsanlegget, oppvarmingsanlegget og energibruk. Hvert klasserom fikk hvert sitt skjema for bruk av klasserom som lærere skulle fylle ut, der det skulle noteres antall elever og lærere og når de var tilstede.

7. Resultater

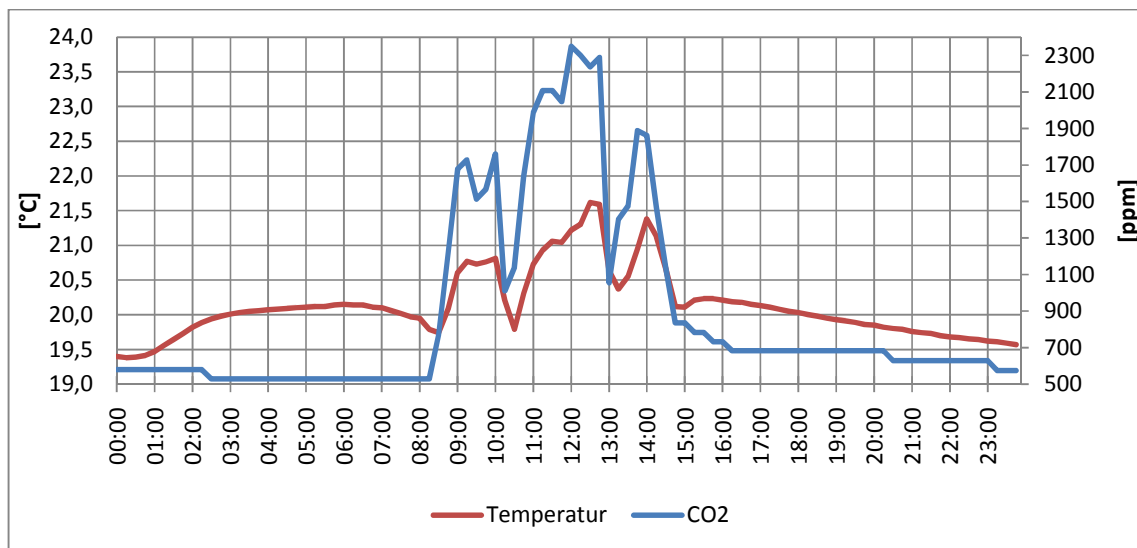
De viktigste resultatene fra målinger, beregninger, simuleringer og intervjuer vil bli lagt fram i dette kapittelet, resterende resultater finnes i vedleggene 3, 4, 5, 6 og 7.

7.1 Sammenligning av inneklima for klasserom

For å kunne se sammenhengen mellom de målte inneklimaparametrene er det satt sammen grafer av CO₂ og temperatur for klasserommene. Det er valgt Mellomhagen rom 9, RA rom 117 og Nordstrand rom 7. Disse representerer de to hybride løsningene og en mekanisk ventilasjonsløsning. Klasserom 507B på Elvebakken, rom 2082 på Rommen og rom K-3 på Tjodalyng er i vedlegg 3.

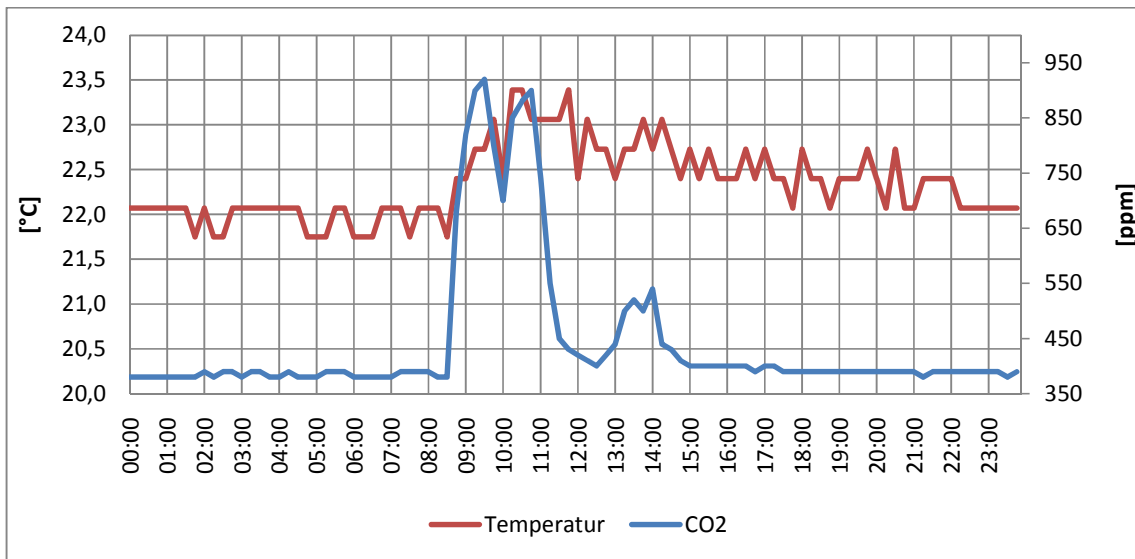
Måling av lufthastighet skjedde den dagen loggerne ble satt opp eller hentet og er derfor ikke vist i denne framstillingen.

For hybrid ventilasjon med vindusløsning 9.mars kan man av Figur 26 se klasserom 9 på Mellomhagen. Det er en klar sammenheng mellom CO₂ og temperatur når det er undervisning og lufting. Temperaturen går litt ned like før skolestart pga. vindusluftingen og synker og stiger med CO₂-konsentrasjonen. Det tar lang tid for temperaturen å synke etter endt skoledag. Undervisningen starter kl. 8:30 og er ferdig kl. 14:00. Det er kun to hovedpauser kl. 10:00 og 12:00 som varer en halv time hver, det vises tydelig på grafen. Det er registrert 24 elever hele dagen, med en eller to lærere tilstede.



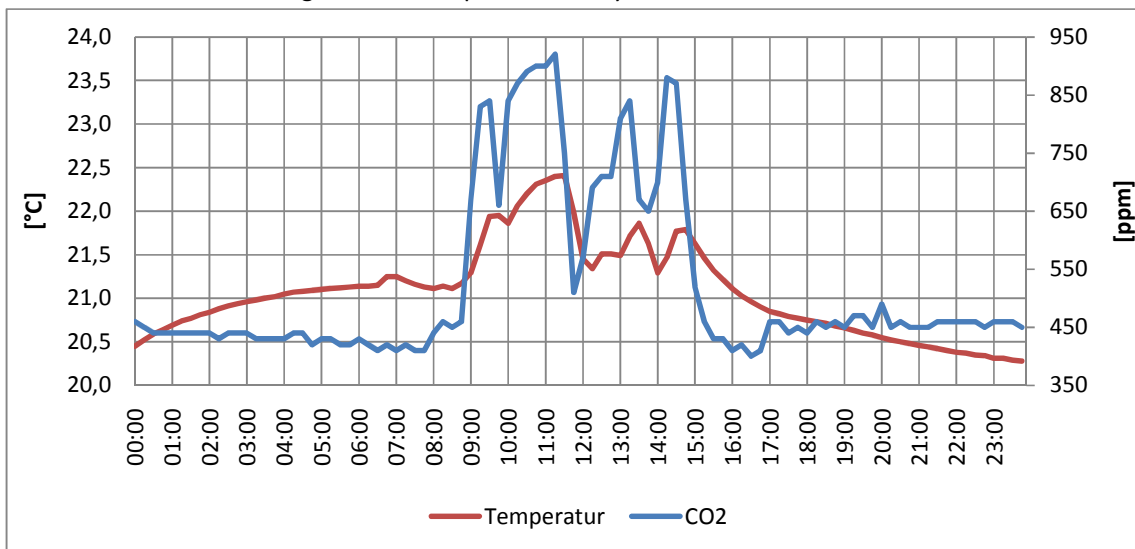
Figur 26: Mellomhagen rom 9, inneklimaparametere.

For ventilasjon med kulvert er klasserom 117 på RA fra 8.mars tatt i betraktning. Skolen har basemetoden og det er derfor ikke alltid enkelt å vite når klasserommet er i bruk og antallet elever. Det ble registrert 18 elever og en lærer fra kl. 8:30 til kl. 10:50, de hadde en pause kl. 9:40 til 9:50. For kl. 12:45 til 14:00 ble ikke registreringskjemaet benyttet men det ser ut til å har vært noen tilstede i rommet. Man ser sammenhengen mellom temperatur og CO₂ når det er mennesker i rommet. Det tar lang tid før temperaturen synker igjen etter endt skoledag.



Figur 27: RA rom 117, innklimaparametere.

For balansert mekanisk ventilasjon er Nordstrand rom 7 den 15.mars valgt. På denne skolen er det vanlig undervisning og man ser at det har vært undervisning fra kl. 8:45 til 14:25. Hele dagen er det registrert 23 elever og en lærer. I pausene kl. 9:30 til 9:45 og kl. 11:30 til 12:00 ble det vindusluftet. Det er også en pause kl. 13:30 til 13:40 og ingen elever er inne i noen av pausene. Temperaturen har økt en del før skoledagen startet og øker og synker i takt med CO₂-konsentrasjonen. Når skoledagen er slutt tar det derimot lengre tid for temperaturen å synke enn for CO₂.

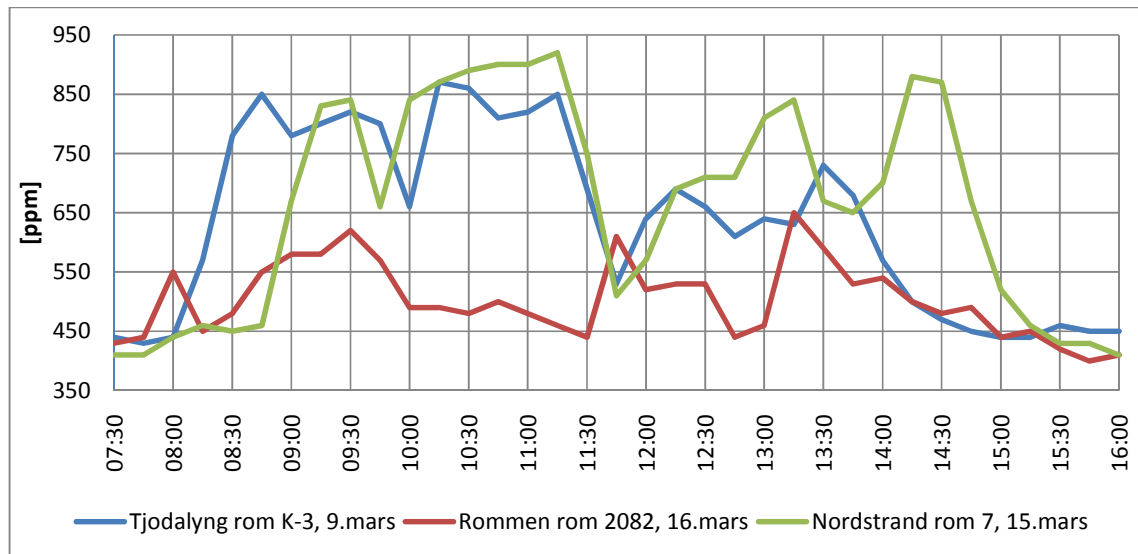


Figur 28: Nordstrand rom 7, innklimaparametere.

7.2 CO₂-konsentrasjon

For å sammenligne CO₂-konsentrasjon på skolene har det blitt valgt ut et klasserom for hver skole. Elvebakken er ikke med i sammenligningen siden det ikke ble logget CO₂ der. Først vil det bli sett på skolene med behovsstyrt ventilasjon, og deretter skolene med hybrid ventilasjon mot en referanse. Det er logget for to dager på hver skole, kalt dag 1 og dag 2, men kun dag 1 vil vises her, resten er i vedlegg 4. Siden CO₂-konsentrasjonen ligger på et noenlunde jevnt nivå utenom skoletiden er det kun sett på tidsperspektivet 7:30 til 16:00.

Sammenligningen av skolene med behovsstyrt ventilasjon kan sees i Figur 29.

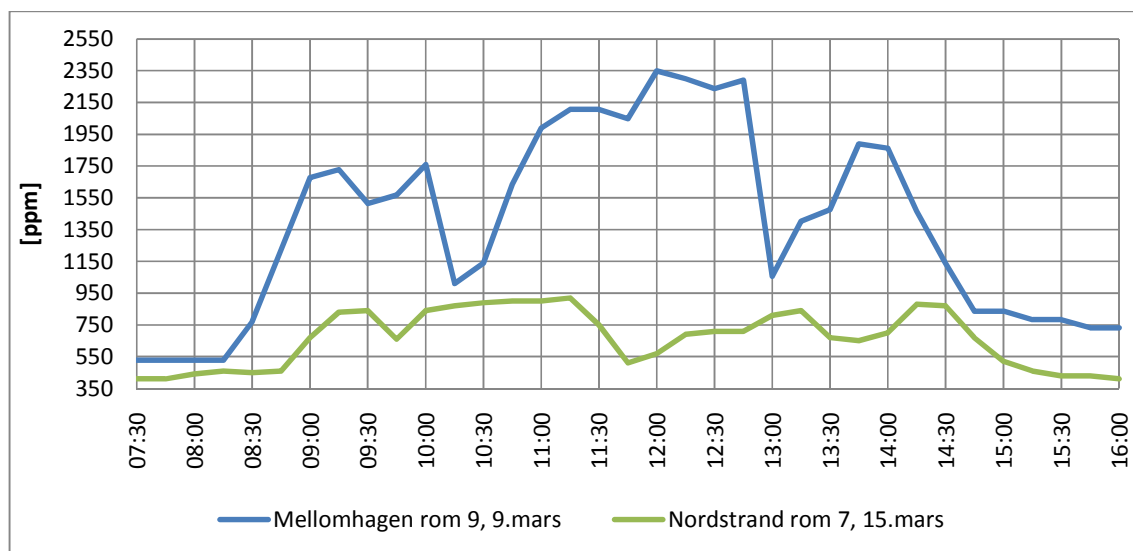


Figur 29: CO₂-konsentrasjon, skoler med behovsstyrt ventilasjon.

Nordstrand og Tjodalyng har ganske lik variasjon i CO₂, mens Rommen skiller seg ut. Nordstrand har skoledag fra kl. 8:45 til 14:25 mens Tjodalyng har fra kl. 8:20 til 14:00. Rommen har skoledag fra kl. 8:00 til 14:00, men det er usikkert når rommet ble brukt pga. basemetoden og manglende bruk av registrerings skjema. Alle tre skolene har CO₂-nivå under anbefalingen på 1000 ppm gjennom hele dagen, og man kan se at utendørs nivå ligger rundt 400 ppm. For Tjodalyng og Nordstrand er det enkelt å se at de har stor pause midt på dagen.

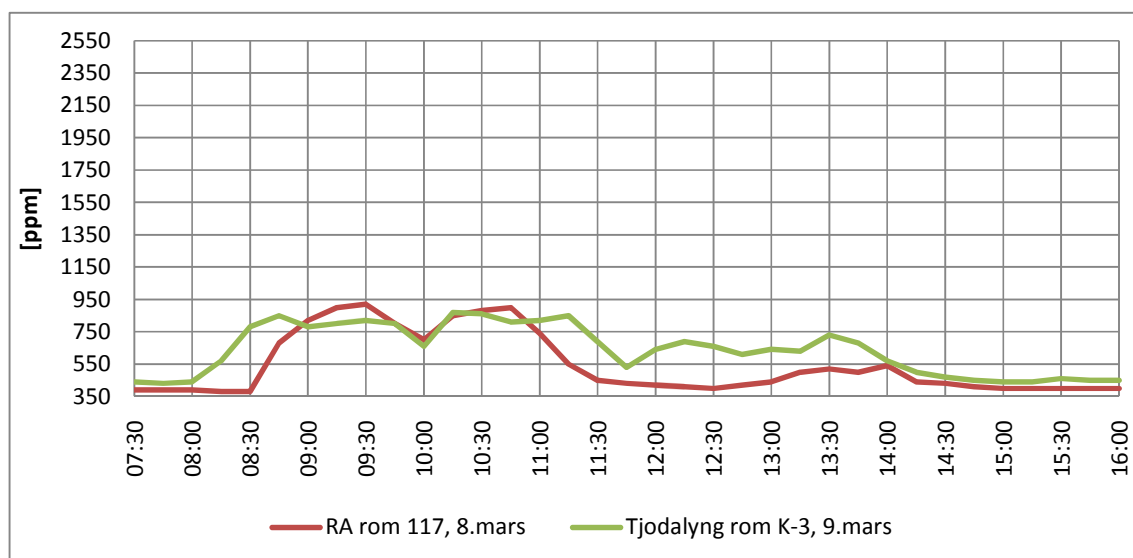
Det ser ut til at Rommen ble brukt fra skolestart til kl. 9:30, 11:30 til 12:30 og 13:00 til 14:00. Siden CO₂-konsentrasjonen er så mye lavere enn i de andre rommene kan det ikke være mange elever der, men det er også 6 dører inn til rommet som ofte står åpne som kan påvirke dette.

For å se på skolene med hybrid ventilasjon mot behovsstyrt ventilasjon ble Nordstrand rom 7 brukt som referanse for hybrid ventilasjon med vindusløsning og Tjodalyng rom K-3 for hybrid ventilasjon med kulvert. Dette kan sees i Figur 30 og Figur 31.



Figur 30: CO₂-konsentrasjon, hybrid ventilasjon med vindusløsning mot behovsstyrt ventilasjon.

Man ser hvordan CO₂-konsentrasjonen varierer med skoledagen for både Mellomhagen og Nordstrand. Begge skolene har vanlig undervisning med faste skoletimer, men med noen forskjeller i når de har pauser. Vindusløsningen har mye høyere CO₂-konsentrasjon enn behovsstyrt ventilasjon og hybrid ventilasjon med kulvert.



Figur 31: CO₂-konsentrasjon, hybrid ventilasjon med kulvert mot behovsstyrt ventilasjon.

I forhold til behovsstyrt ventilasjon gir ventilasjon med kulvert tilnærmet samme luftkvalitet i et klasserom. RA har basemetode og har ikke jevn belastning over skoledagen slik som Tjodalyng har.

Tabell 23 viser maksimums- og minimums-verdiene til alle klasserommene for de to dagene måleutstyret var oppe for kl. 7:30 til 16:00. Minimumsverdiene vil representere uteluftens nivå. Grafer for den andre dagen, kalt dag 2, og de resterende klasserommene kan sees i vedlegg 4.

Tabell 23: Maksimums- og minimumskonsentrasjon av CO₂ kl. 7:30 til 16:00.

Ventilasjon	Klasserom	Maksimum		Minimum	
		DAG 1	DAG 2	DAG 1	DAG 2
Hybrid ventilasjon	Mellomhagen rom 9	2349	1885	528	522
	Mellomhagen rom 10	1901	1565	680	676
	RA rom 117	920	830	380	380
	RA rom 116	1010	1050	380	380
Behovsstyrt ventilasjon	Nordstrand rom 7	920	940	410	400
	Nordstrand rom 8	1210	890	440	460
	Rommen rom 2082	650	750	400	400
	Rommen rom 1147	980	930	480	470
	Tjodalyng rom K-3	870	840	430	420
	Tjodalyng rom K-1	580	1050	430	420

Noen ganger kan skoler med behovsstyrt ventilasjon overstige anbefalingen på maksimalt 1000 ppm i løpet av skoledagen. Hybrid ventilasjon med kulvert har også dette noen ganger.

Ventilasjonsløsningen som skiller seg ut er hybrid ventilasjon med vindusløsning hvor de desidert høyeste maksimumsverdiene og de høyeste minimumsverdiene forekommer.

7.2.1 Lokale CO₂-målinger

Lokale målinger ble kun gjort på Mellomhagen og Elvebakken. Målingene ble utført ved forskjellige tilfeller for de fire klasserommene, og en oversikt kan sees i Tabell 24. På begge skolene var det CO₂-måler på veggen i klasserommene, men på Elvebakken lagret den ikke logg i SD-anlegget slik som på Mellomhagen.

Tabell 24: Oversikt over utføring av lokale CO₂-målinger.

Skole	Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
Elvebakken	509	18.mar	13:44 - 13:45	0	0	Punkt 1 - 6
		18.mar	13:43 og 14:10	0	0	På vegg
	507B	18.mar	13:14 - 13:18	27	1	Punkt 1 - 6
		18.mar	13:14	27	1	På vegg
Mellomhagen	9	08.mar	13:24 - 13:28	20	1	Punkt 1 - 6, 5 vinduer oppe
	10	08.mar	13:38 - 13:42	22	1	Punkt 1 - 6, 4 vinduer oppe

De lokale CO₂-målingene på Elvebakken og Mellomhagen ble målt i de samme punktene som for lufthastighetsmålingene. Avlest verdi fra veggmåler eller logg er fra samme tidspunkt som punkt 1 i Tabell 25.

Tabell 25: Lokale CO₂-konsentrasjoner.

Skole	Klasserom	Sensor i rom	CO ₂ -konsentrasjon i punkt:					
			1	2	3	4	5	6
Elvebakken	Rom 507B	718*	1170	1150	1150	1170	1170	1180
	Rom 509	1179*	1260	1200	1170	1150	1140	1160
Mellomhagen	Rom 9	868**	750	720	730	760	700	700
	Rom 10	1216**	1170	1030	930	850	860	860
*Vegg								
**Logg								

For rom 509 ble verdien fra veggmåler kl. 13:43 avlest rett etter at 27 personer som hadde vært der i minst en time forlot klasserommet. Forskjellen på veggmåler og håndholdt måler er ikke så stor og det var to meter avstand mellom vegg og punkt 1. Kl. 14:10 ble måler på vegg avlest igjen på 603 ppm, så på kun 23 minutter sank konsentrasjonen med 576 ppm uten elever i rommet.

I rom 507B viste veggmåler 718 ppm kl. 13:14. Det er veldig mye lavere enn det som ble målt kl. 13:17 i punkt 1. Disse målingene ble utført 10 – 15 minutter etter undervisningen startet. Man ser at det rundt i oppholdssonen er generelt lik konsentrasjon.

På Mellomhagen ble målingene utført mens lufting og undervisning pågikk i begge rommene. For rom 9 hadde elevene vært i rommet nesten en time før målingene ble utført kl. 13:24 til 13:32. Den siste dobbeltimen varer fra kl. 12:30 til 14:00. For rom 10 ble målingene utført fra kl. 13:38, dvs. i de siste 20 minuttene av dobbeltimen. Loggen fra WindowMaster viste noe høyere verdier enn den håndholdte måleren for punkt 1.

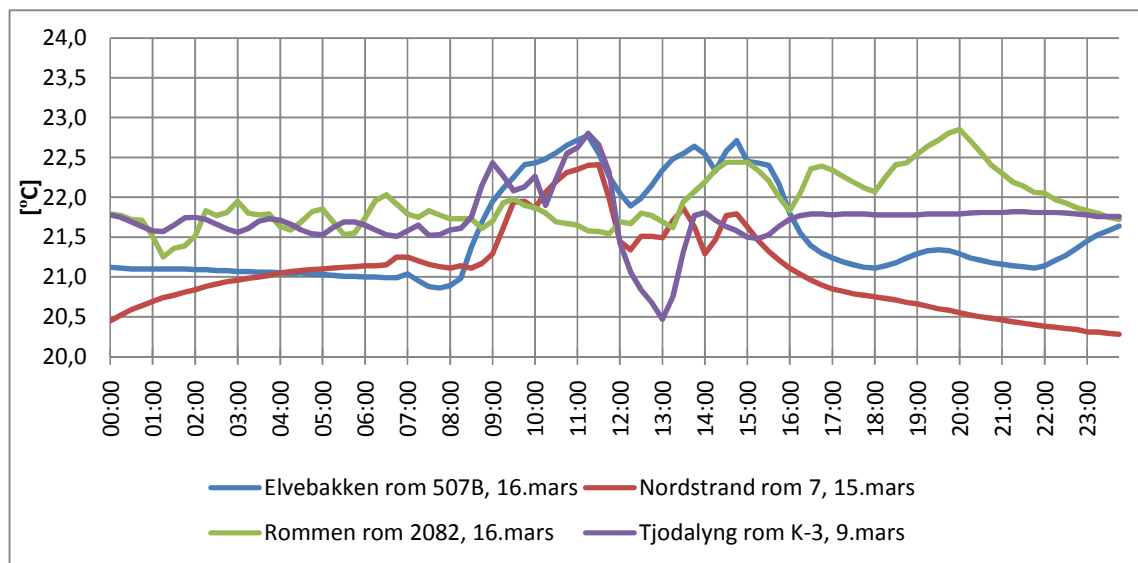
7.3 Temperatur

I dette kapitlet vil det presenteres temperatur logget i oppholdssonen i klasserommene på skolene, utetemperatur og avtrekkstemperatur.

7.3.1 Termisk komfort

For å sammenligne den termiske komforten i klasserommene vil logging av temperatur gjort ved kateter eller tavle brukes for et klasserom på hver skole. Her blir det sett på et helt døgn. Et referanserom med behovsstyrt ventilasjon vil brukes til å se på skolene med hybride løsninger, men først vil de behovsstyrte løsningene sammenlignes. Det vil kun bli vist en dag, kalt dag 1, fra et klasserom til hver skole, de resterende klasserom og dag 2 vil finnes i Vedlegg 5.

Sammenligning av de fire skolene med behovsstyrt ventilasjon for et helt døgn ser man i Figur 32.

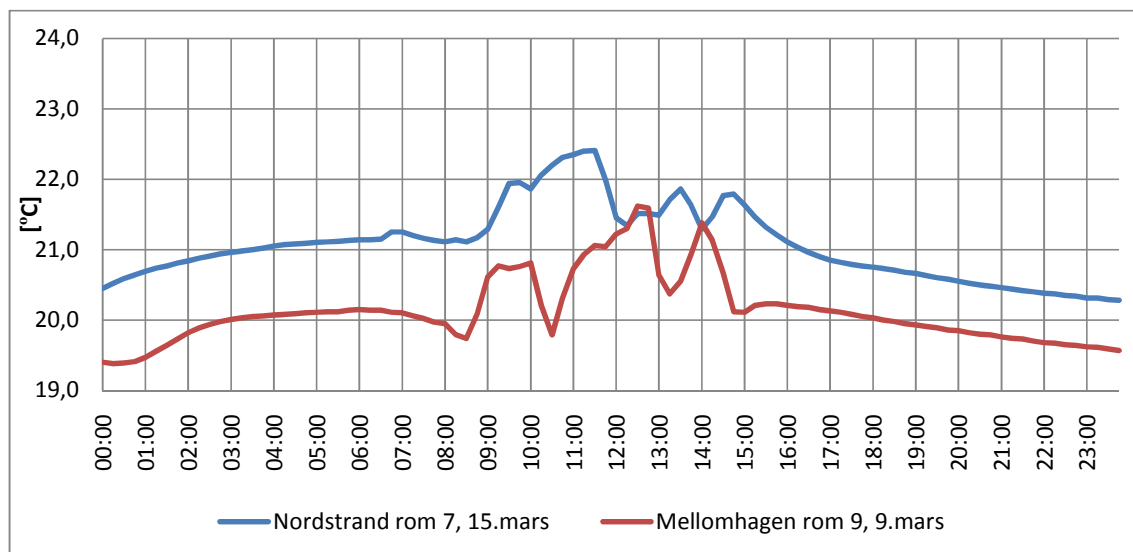


Figur 32: Temperatur, skoler med behovsstyrt ventilasjon.

Man ser at alle skolene har tilnærmet likt temperaturnivå over dagen og at det stiger og synker med undervisningen. Rommen benyttes om kvelden til andre aktiviteter og vil ha noen stigninger i temperatur utenom skoletiden. De andre skolenes temperaturer flater ut eller synker noe utenom skoletiden. Tjodalyng har en minskning på rundt 2 °C mellom kl. 11:15 og 13:00, det skyldes først og fremst matpausen. Elvebakken og Tjodalyng har høyest maksimumstemperatur i skoletida. Ingen av rommene stiger over 23 °C eller under 20 °C. Settpunkttemperaturen til skolenes klasserom er:

- Elvebakken: 23 °C
- Rommen: 20 °C
- Nordstrand: 22 °C
- Tjodalyng: 22 °C

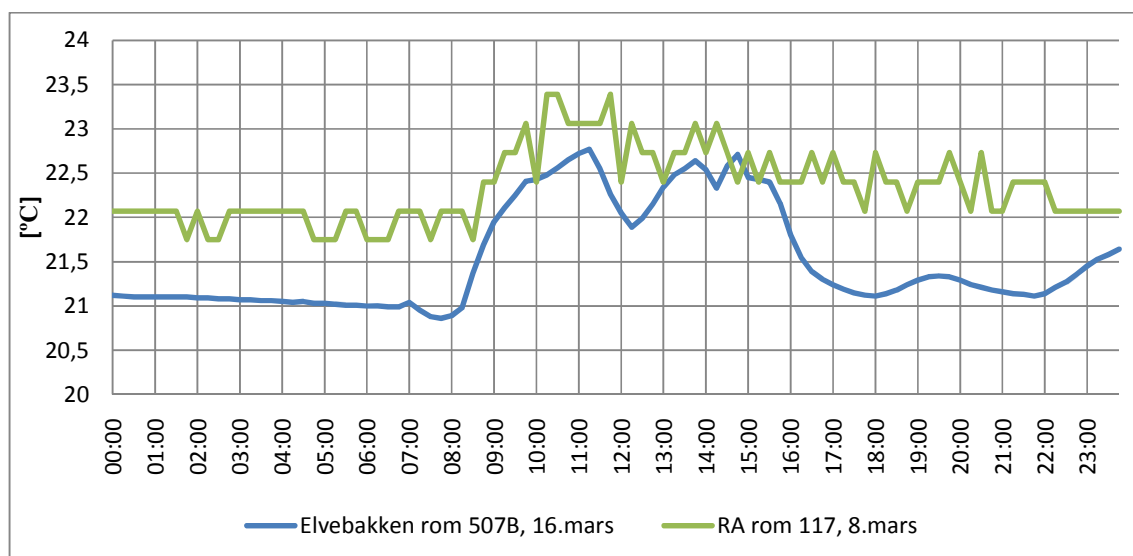
Sammenligning av skolene med hybrid ventilasjon er delt opp i ventilasjon med vindusløsning og ventilasjon med kulvert. Først ser man på behovsstyrt ventilasjon mot vindusløsningen. Figur 33 viser Mellomhagen rom 9 sammenlignet med Nordstrand rom 7 for et døgn. Begge skolene har klasserom med vanlig undervisning.



Figur 33: Temperatur, hybrid ventilasjon med vindusløsning mot behovsstyrt ventilasjon.

Hybrid ventilasjon med vindusløsning har mye lavere temperaturnivå enn behovsstyrt ventilasjon over hele døgnet, men har ganske likt forløp. Mellomhagen stiger ikke over 22 °C eller under 19 °C, mens Nordstrand ligger mellom 20 og 22,5 °C. Temperaturen synker litt før skolestart kl. 8:15 og kl. 8:45 for henholdsvis Mellomhagen og Nordstrand. Det er et brått fall i begge rommene midt på dagen pga. matpausen, det er først etter pausen har begynt at temperaturen synker i rommet. Settpunkttemperaturen til Mellomhagen er 21 °C.

Rom 507B på Elvebakken er sammenlignet mot RA rom 117 for å se på hybrid ventilasjon med kulvert mot behovsstyrt ventilasjon. Begge skolene har basemetoden. Figur 34 viser sammenligningen for et døgn.



Figur 34: Temperatur, hybrid ventilasjon med kulvert mot behovsstyrt ventilasjon.

RA har generelt høyere temperatur enn Elvebakken hele døgnet, men stiger ikke over 23,5 °C eller under 21,5 °C. For begge rommene synker temperaturen noe før skolestart kl. 8:15 på Elvebakken og kl. 8:30 på RA. Det er vanskelig å se om RA har lunsjpause. Settpunkttemperaturen til RA er 22,5 °C.

Tabell 26 viser maksimums- og minimumstemperaturene til klasserommene de to dagene det ble logget. Dag 1 og dag 2 er de to dagene det ble logget hele døgnet på skolene.

Tabell 26: Termisk komfort, maksimums- og minimumstemperaturer.

Ventilasjon	Klasserom	Maksimum		Minimum	
		DAG 1	DAG 2	DAG 1	DAG 2
Hybrid ventilasjon	Mellomhagen rom 9	21,6	21,0	19,4	17,4
	Mellomhagen rom 10	21,7	21,6	19,5	19,6
	RA rom 117	23,4	22,7	21,8	21,8
	RA rom 116	19,2	19,9	14,5	18,0
Behovsstyrt ventilasjon	Nordstrand rom 7	22,4	21,8	20,3	20,1
	Nordstrand rom 8	21,2	20,9	19,9	19,6
	Rommen rom 2082	22,9	23,6	21,3	20,1
	Rommen rom 1147	22,7	21,8	18,3	18,3
	Elvebakken rom 507B	22,8	22,6	20,9	21,1
	Elvebakken rom 509	23,4	22,4	20,4	20,4
	Tjodalyng rom K-3	22,8	22,4	20,5	21,3
	Tjodalyng rom K-1	20,8	21,4	19,2	18,9

Man ser at ingen av klasserommene overstiger 24 °C og minimumstemperaturene går ikke lavere enn 18 °C, bortsett fra for rom 116 på RA og rom 9 på Mellomhagen. De høye temperaturene oppstår for det meste midt på dagen når det er undervisning i klasserommene mens de laveste temperaturene skjer utenom skoledagen eller like før skolestart.

7.3.2 Utetemperatur

Det ble logget utetemperatur på alle skolene, men for Mellomhagen ble det hentet ut logging fra WindowMaster. Mellomhagen har utekompensert drift av vindusluftingen, men dette samkjøres også med CO₂-konsentrasjonen. Det er vanskelig å se sammenheng mellom romtemperatur og utetemperatur for skolene, men man ser tydelig effekten av vindusluftingen på Mellomhagen. Grafer på temperaturen ute finnes i Vedlegg 5.

Tabell 27 viser maksimums- og minimumstemperaturene utendørs for de to hele døgnene med logging. Man ser at det er ustabil pga. årstiden. Loggeren på Nordstrand hang eksponert for direkte sol utover dagen og kan derfor ikke tolkes som pålitelige resultater.

Tabell 27: Maksimums- og minimumstemperatur utendørs.

Ventilasjon	Skole	Maksimum		Minimum	
		DAG 1	DAG 2	DAG 1	DAG 2
Hybrid ventilasjon	Mellomhagen	7,20	4,90	0,70	-0,30
	RA	1,62	2,18	0,05	0,06
Behovsstyrt ventilasjon	Nordstrand	17,05	26,34	-1,00	-3,66
	Rommen	9,16	0,50	-6,63	-5,41
	Elvebakken	3,26	1,72	-5,79	-4,59
	Tjodalyng	3,86	3,86	0,32	-0,44

7.3.3 Avtrekkstemperatur

Avtrekkstemperaturene er større enn romtemperaturene for alle klasserom og maksimumsverdiene oppstår for det meste midt på dagen. Maksimums- og minimumstemperaturene for skolene er vist i Tabell 28.

Tabell 28: Maksimums- og minimumstemperaturer i avtrekk på skolene.

Ventilasjon	Klasserom	Maksimum		Minimum	
		DAG 1	DAG 2	DAG 1	DAG 2
Hybrid ventilasjon	Mellomhagen rom 9	-	-	-	-
	Mellomhagen rom 10	-	-	-	-
	RA rom 117	23,8	23,4	21,9	22,0
	RA rom 116	24,0	24,1	21,7	21,8
Behovsstyrt ventilasjon	Nordstrand rom 7	22,7	22,1	20,5	20,5
	Nordstrand rom 8	22,2	21,9	20,0	19,7
	Rommen rom 2082	22,4	22,1	20,5	20,5
	Rommen rom 1147	22,3	21,5	19,1	19,2
	Elvebakken rom 507B	22,7	22,3	20,8	21,0
	Elvebakken rom 509	23,2	22,4	20,5	20,4
	Tjodalyng rom K-3	23,1	22,9	21,0	21,5
	Tjodalyng rom K-1	21,5	21,9	19,4	20,0

* Det ble ikke logget avtrekkstemperatur på Mellomhagen.

7.4 Lufthastighet

For hver skole er det utført lokale lufthastighetsmålinger i begge klasserommene, disse vil bli presentert i dette kapitlet. Alle lufthastigheter er vist i m/s på figurene. Røde tall på figurene viser hvor lufthastigheten overstiger anbefalingen på 0,15 m/s for vintersesongen gitt av

Folkehelseinstituttet. En del av målingene vil finnes i Vedlegg 6.

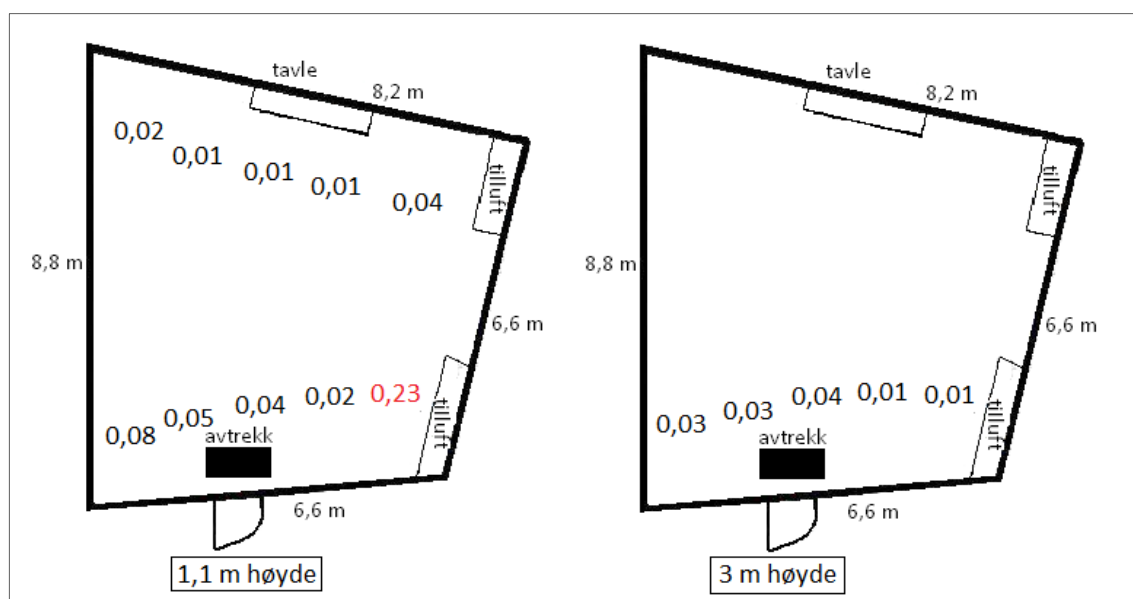
7.4.1 RA ungdomsskole

Tabell 29 viser når det ble gjort lufthastighetsmålinger på RA, personer tilstede og andre ting som påvirker målingene.

Tabell 29: Informasjon om lufthastighetsmålinger på RA.

Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
116	07.mar	13:15 - 13:40	22	1	dør for det meste lukket
117	07.mar	12:35 - 12:55	10	1	dør åpen

Ved lufthastighetsmålingene for rom 116 var det mye bevegelse i rommet og døren gikk mye opp og igjen. I rom 117 var det svært rolig arbeid, men med døren åpen ved målingene. Nedenfor ser man måleresultatene for rom 117 i to høyder. Av Figur 35 ser man at det er veldig høy hastighet rett foran tilluftsventilen ved 1,1 m høyde.



Figur 35: Lufthastigheter: RA rom 117 ved begge høyder.

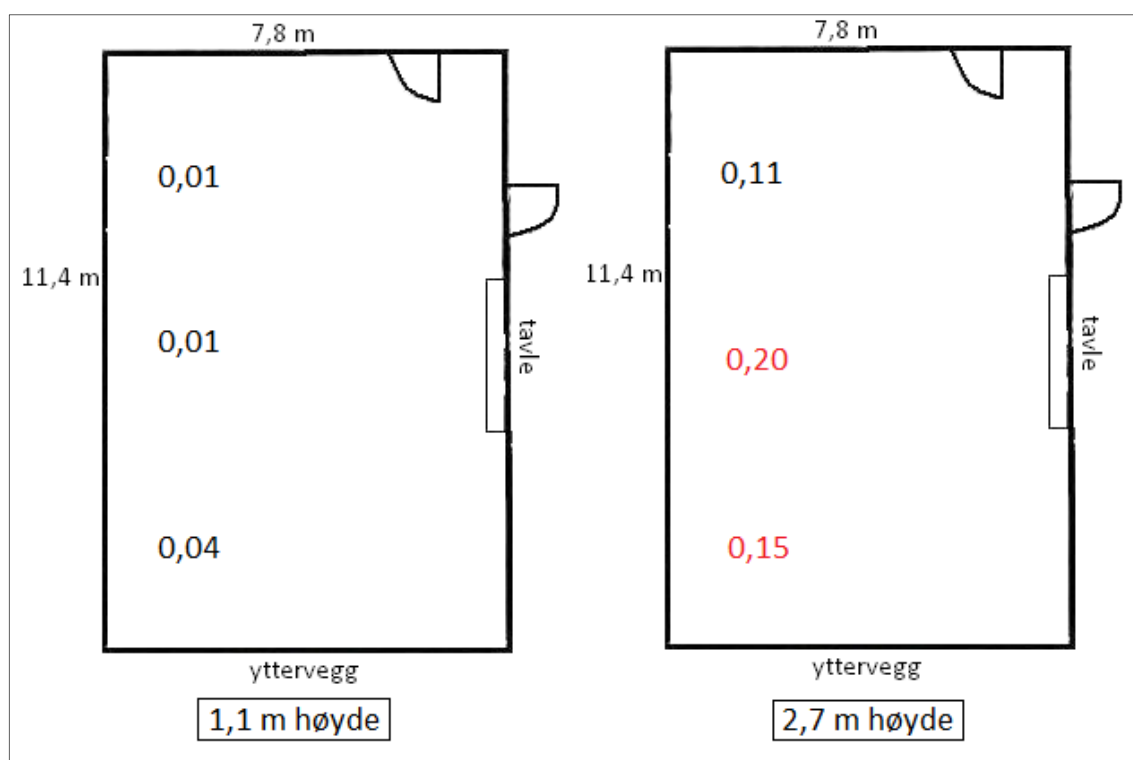
7.4.2 Tjodalyng ungdomsskole

Tabell 30 viser når det ble gjort lufthastighetsmålinger på Tjodalyng, personer tilstede og andre ting som påvirker målingene.

Tabell 30: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Tjodalyng.

Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
K-1	11.mar	12:20 - 12:45	0	0	dør lukket
K-3	11.mar	12:50 - 13:15	0	0	dør åpen

Rom K-1 ble nesten ikke brukt siden det er et kunst- og håndverksrom, dermed er lufthastighetene på dette rommet mindre interessante enn for rom K-3. Det ble kun målt i tre punkter på rom K-3 og seks punkter i rom K-1 etter endt skoledag. Nedenfor ser man måleresultatene for rom K-3 i to høyder.



Figur 36: Lufthastigheter: Tjodalyng rom K-3 ved begge høyder.

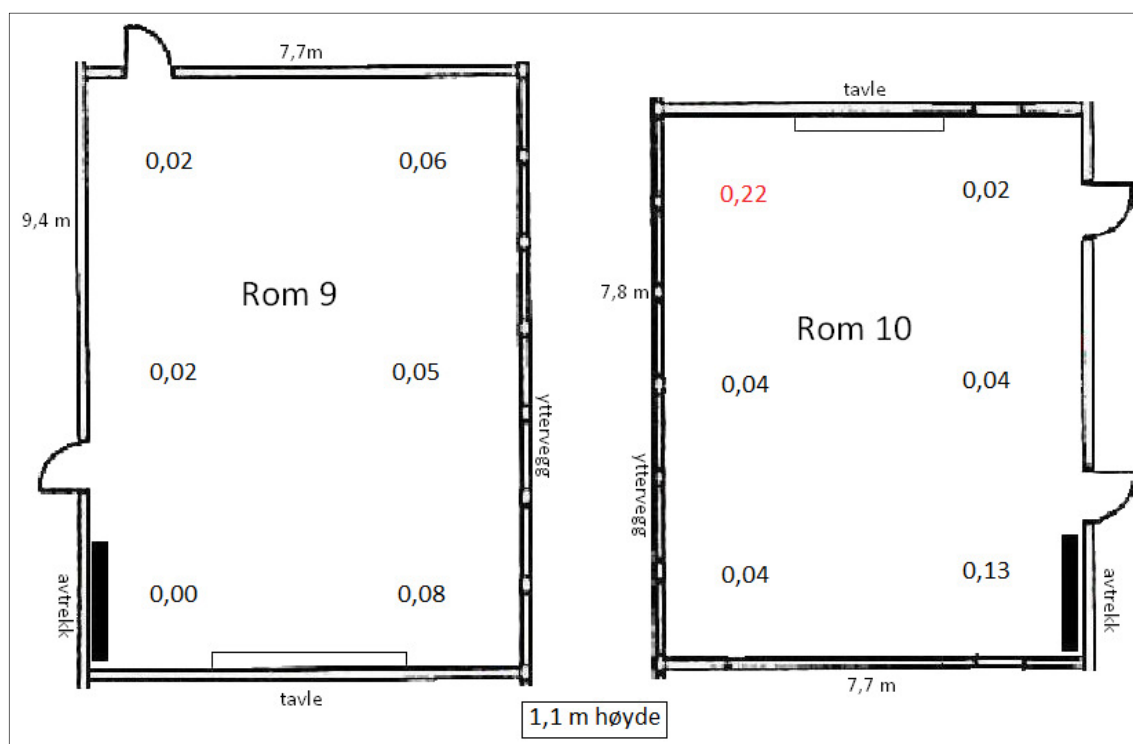
7.4.3 Mellomhagen ungdomsskole

Tabell 31 viser når det ble gjort lufthastighetsmålinger på Mellomhagen, personer tilstede og andre ting som påvirker målingene.

Tabell 31: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Mellomhagen.

Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
9	08.mar	13:28 - 13:48	20	1	alle vinduer lukket
	11.mar	14:50 - 15:07	0	0	alle vinduer lukket
10	08.mar	13:42 - 14:05	22	1	4 vinduer åpne
	11.mar	14:35 - 14:50	0	0	alle vinduer lukket

Den hybride løsningen Mellomhagen har, med vinduer, er mye omdiskutert pga. faren for trekk. Målingene ble utført ved 1,1 m høyde over gulvet mot slutten av skoledagen. Den 8.mars var det undervisning mens målingene ble gjennomført. 11.mars var klasserommene tomme. Det er mest interessant med lufthastigheten når det er vinduslufting og elever til stede. Utendørs var det 5,4 °C da vindusluftingen foregikk på rom 10 den 8.mars. Nedenfor kan man se begge rommenes måleresultater for 8.mars.



Figur 37: Lufthastigheter: Mellomhagen rom 9 og 10 8.mars.

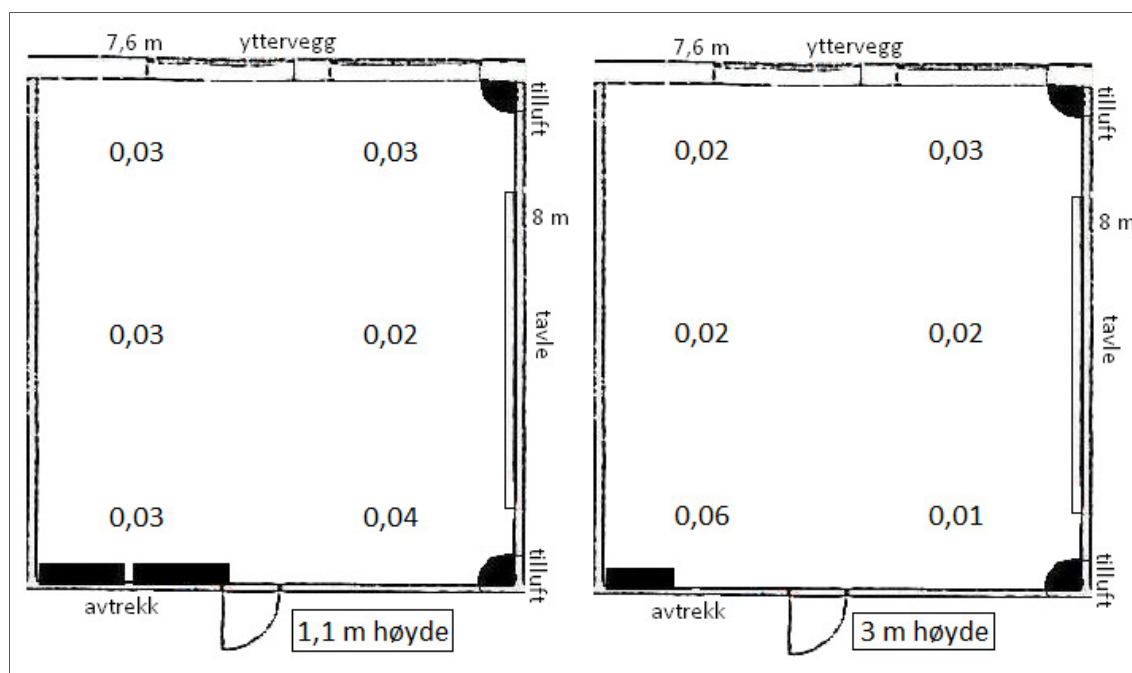
7.4.4 Nordstrand skole

Tabell 32 viser når det ble gjort lufthastighetsmålinger på Nordstrand, personer tilstede og andre ting som påvirker målingene.

Tabell 32: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Nordstrand.

Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
7	14.mar	12:45 - 13:05	22	1	ingen vinduer åpne
8	14.mar	13:10 - 13:25	19	1	ingen vinduer åpne

Begge klasserommene på Nordstrand var ganske like og hadde vanlig undervisning mens målingene ble utført. Figur 38 viser lufthastigheter for rom 8 i høydene 1,1 m og 3 m over gulvet.



Figur 38: Lufthastigheter: Nordstrand rom 8 ved begge høyder.

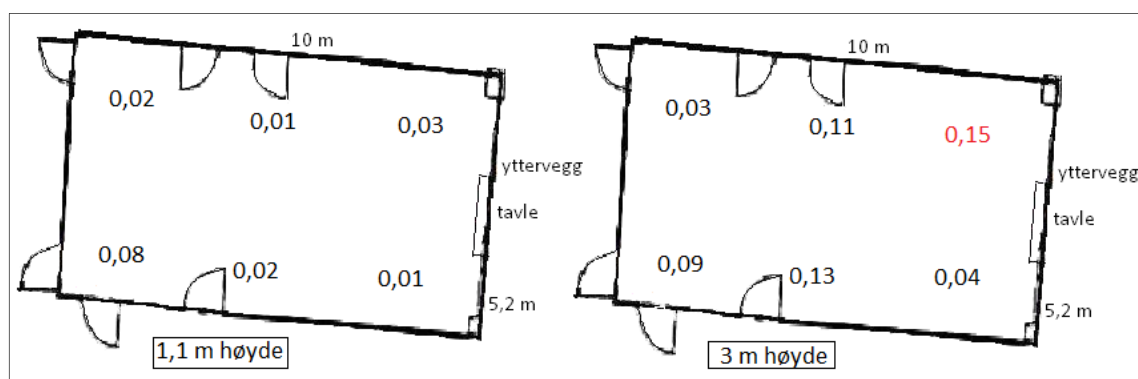
7.4.5 Rommen skole

Tabell 33 viser når det ble gjort lufthastighetsmålinger på Tjodalyng, personer tilstede og andre ting som påvirker målingene.

Tabell 33: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Rommen.

Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
1147	15.mar	11:30 - 11:50	0	0	1/6 dører åpne
2082	15.mar	10:55 - 11:15	2	0	4/6 dører åpne

Det var veldig lite bruk av klasserommene på Rommen under målingene. For rom 1147 var det ingen tilstede pga. friminutt. I rom 2082 var det ikke undervisning, men to elever satt der med oppgaver, se Figur 39 for resultater i to høyder.



Figur 39: Lufthastigheter: Rommen rom 2082 ved begge høyder.

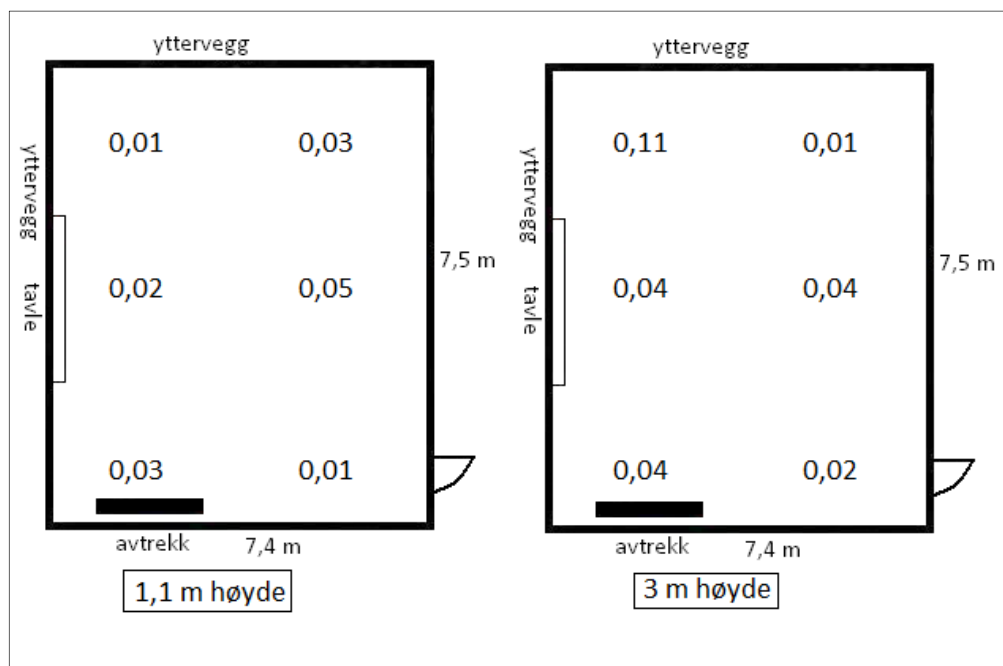
7.4.6 Elvebakken videregående skole

Tabell 34 viser når det ble gjort lufthastighetsmålinger på Elvebakken, personer tilstede og andre ting som påvirker målingene.

Tabell 34: Informasjon om lufthastighetsmålinger på Elvebakken.

Klasserom	Dato	Klokkeslett	Antall elever	Antall lærere	Annet
507B	18.mar	13:17 - 13:38	27	1	
509	18.mar	13:50 - 14:05	0	0	Dør åpen

Klasserom 507B er mest interessant for målingene på Elvebakken siden det var vanlig undervisning da de ble utført. Målingene på rom 509 ble utført med tomt rom. Nedenfor ser man måleresultatene for rom 507B i to høyder.



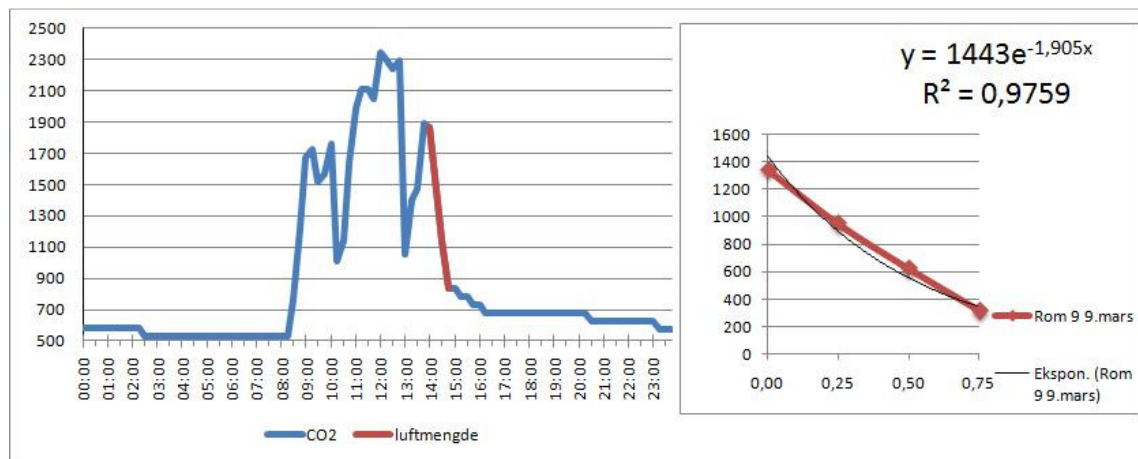
Figur 40: Lufthastigheter: Elvebakken rom 507B ved begge høyder.

7.5 Luftmengder

Ved hjelp av eksponentielle trendlinjer i Excel på CO₂-kurvene er luftmengdene for klasserommene estimert. Elvebakken er ikke med på denne vurderingen. Det er beregnet for tre dager, hvorav dag 1 er den dagen loggerne ble hengt opp. Det er dermed ikke komplett logging for hele dag 1. Dag 2 og 3 er tilsvarende dag 1 og 2 for CO₂- og temperaturresultatene. Luftmengdene er beregnet ut fra slutten av dagen da CO₂-konsentrasjonen i rommet synker ned til uteluftkonsentrasjon.

Av Figur 41 ser man Mellomhagen rom 9 for 9.mars og måten Excel ble brukt på CO₂-grafene.

Formelen $y = 1443e^{-1,905x}$ viser at luftskiftet er 1,905 og romkonsentrasjonen er 1443 ved τ lik 0. R-kvadrert verdi skal være så nær 1 som mulig for å få en bra tilnærming. Alle luftskiftene funnet for alle klasserom de tre dagene er så multiplisert med romvolum og dividert på antall personer i rommet for å få luftmengden [m³/h-elev].



Figur 41: Luftmengde, bilde fra Excel, Mellomhagen.

Tabell 36 viser de beregnede luftmengdene basert på metoden forklart ovenfor for hvert klasserom. Observert antall personer er både elever og lærere som befant seg i rommet før CO₂-konsentrasjonen begynte å synke. Personer i rommet og tidspunkter ble registrert av lærere på skolene i et skjema for bruk av klasserom. Det var mangelfull utfylling av skjemaet og det er derfor mange klasserom som er uvisse (markert med *). Det er ikke beregnet for Elvebakken siden det ikke er CO₂-logging for skolen.

Tabell 35: Beregnede luftmengder [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{elev}$] for skolene.

Skole	Klasserom	DAG 1		DAG 2		DAG 3	
		Observert antall personer	Luftmengde	Observert antall personer	Luftmengde	Observert antall personer	Luftmengde
Mellomhagen	Rom 9	25	6,8	25	17,1	24*	9,3
	Rom 10	23	10,2	16	12,6	24*	6,6
RA	Rom 116	24	25,7	23	23,0	21	19,9
	Rom 117	11	22,9	19	12,6	30*	9,2
Tjodalyng	Rom K-1	24*	24,8	24*	21,2	24*	35,5
	Rom K-3	26*	29,0	26*	23,7	26*	31,8
Nordstrand	Rom 7	24	26,1	24	24,8	24	13,3
	Rom 8	22	12,4	22	34,4	21	59,1
Rommen	Rom 1147	29	18,8	30*	18,9	30*	11,7
	Rom 2082	20*	18,0	20*	8,0	20*	15,4
Elvebakken	Rom 507B						
	Rom 509						

*Uvisst hva antallet personer var, brukt antall fra Tabell 36

Man ser at klasserommene som har registrert antall personer har høyere og mer sannsynlige luftmengder enn de andre i forhold til Tabell 36. Kravet på $26 \text{ m}^3/\text{h}$ per person er oppfylt for noen av klasserommene, men kravet til total luftmengde inkluderer også luftmengde pga. materialer og inventar. Ingen av klasserommene oppfyller derfor kravet for total luftmengde, men RA, Tjodalyng og Nordstrand er ikke langt unna. Det vil sjelden være fulle klasserom, spesielt på Rommen og RA med basemetoden.

Tabell 36 viser krav til luftmengde ut fra NS-EN 15251 med kategori 2 av inneluftkvalitet.

Tabell 36: Krav til luftmengder[m³/h·elev] for skolene.

Skole	Klasserom	Maksimalt antall elever	Gulvareal	Krav [m ³ /h elev] etter NS-EN 15251
Mellomhagen	Rom 9	24	72	33,5
	Rom 10	24	60	32,3
RA	Rom 116	30	57	30,8
	Rom 117	30	56	30,7
Tjodalyng	Rom K-1	24	90	35,4
	Rom K-3	26	89	34,6
Nordstrand	Rom 7	30	61	31,1
	Rom 8	30	61	31,1
Rommen	Rom 1147	30	58	30,8
	Rom 2082	20	52	32,5
Elvebakken	Rom 507B	30	56	30,7
	Rom 509	30	56	30,7

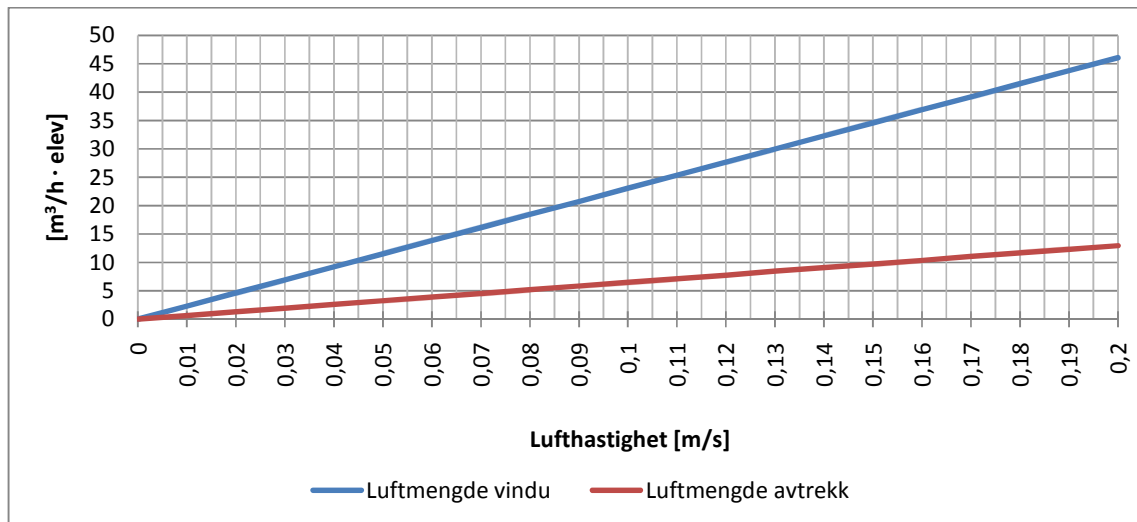
Luftmengdene er beregnet med lavt forurensende bygning, kategori 2. Dette tilsvarer kravet i TEK10 på 2,5 m³/h·m² og i tillegg 26 m³/h per person. Formelen er gitt slik:

$$\dot{V}_s = \frac{26 \cdot \text{antall elever} + 2,5 \cdot A_{\text{gulv}}}{\text{antall elever}}$$

Maksimalt antall elever er basert på antall pulter i rommet, så det er ikke tatt hensyn til eventuelle lærere i rommet.

For hybrid ventilasjon på Mellomhagen er det interessant å se hvordan luftmengdene inn via vindu varierer med lufthastigheten ute. Det er derfor beregnet en luftmengde når vinduene er 100 % åpne med varierende lufthastigheter med formler fra Kapittel 5.4. Disse luftmengdene gjelder for begge klasserommene på Mellomhagen. I tillegg er luftmengden i avtrekket med et areal på 0,45 m² beregnet med varierende luftmengder.

Figur 42 viser luftmengden basert på 25 elever i rommet som funksjon av lufthastigheter fra 0 til 0,2 m/s for vindusløsningen med 4 åpninger og for avtrekket.



Figur 42: Luftmengde som funksjon av lufthastighet i vindu og avtrekk på Mellomhagen.

Ved full hastighet er kapasiteten til avtrekket $220 \text{ m}^3/\text{h}$ [15]. Delt på 25 elver blir det $8,8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{elev}$. Ut fra Tabell 35 ble den høyeste luftmengden beregnet for Mellomhagen funnet til $17,1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{elev}$. Disse luftmengdene kan indikere at avtrekket fjerner mindre luft enn det som kommer inn via vinduene og at det er snakk om svært lave lufthastigheter. For avtrekket med luftmengde på $8,8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{elev}$ får man rundt $0,14 \text{ m/s}$, mens $17,1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{elev}$ via vindu indikerer en hastighet på rundt $0,07 \text{ m/s}$. Figur 42 viser hvor mye luftmengdene vil øke ved økende lufthastighet.

7.6 Energibruk

Det ble innhentet energibruk for skolene ved befaringene, men kun skolene i Oslo hadde oversikt over dette. Rommen hadde ikke energibruken oppdelt i oppvarmingskilder, og varmepumpene som skal stå for oppvarmingen er ikke oppe og kjører. Derfor driftes oppvarmingen på skolen med elkjel fram til varmepumpene får kjørt seg inn. For Rommen blir elkjel og elektrisitet dermed på samme post. Elvebakken og Nordstrand hadde energibruk oppdelt i oppvarmingskilder og elektrisitet.

Tabell 37: Innhentet energibruk 2010 for skolene.

Energibruk 2010	Elektrisitet [kWh]	Fjernvarme [kWh]	Oljekjel [kWh]	Elkjel [kWh]	Totalt [kWh]
Nordstrand	399600		46484,5	860200	1306284,50
Elvebakken	1500812	1700000			3200812,00
Rommen	1478000				1478000,00

Man ser at Elvebakken har totalt høyest energibruk, det kommer av at denne skolen har størst oppvarmingsareal av skolene. Rommen er i underkant av 1000 m² større enn Nordstrand, men har bare rundt 170 000 kWh mer energibruk enn Nordstrand.

SIMIEN ble brukt til å simulere ett klasserom på hver av skolene for å se på spesifikk energibruk mot innhentet spesifikk energibruk. Rom 7 på Nordstrand, rom 507B på Elvebakken og rom 1147 på Rommen er valgt. Resultatet av dette er i Tabell 38:

Tabell 38: Innhentet spesifikk energibruk mot SIMIEN spesifikk energibruk.

Skole	Areal skole [m ²]	Spesifikk innhentet [kWh/m ²]	Areal klasserom [m ²]	Spesifikk SIMIEN [kWh/m ²]
Nordstrand	7500	174,2	61	146,0
Elvebakken	16200	197,6	56	219,7
Rommen	8478	174,3	52	145,1

Her er innhentet spesifikk energibruk basert på hele oppvarmingsarealet til skolen. Spesifikk energibruk fra SIMIEN gjelder for et klasseromsareal. Man ser at SIMIEN gir annerledes spesifikk energibruk enn for den innhentede energibruken. Forskjellen skyldes mest at skolens totale spesifikke energibruk ikke bare gjelder klasserom, men alle mulige rom som kan ha både lavere og høyere energibruk enn et klasserom. For eksempel kan en gang ha lavere energibruk og en gymsal ha høyere energibruk enn et klasserom. Resultatet av simuleringene avhenger av virkningsgraden til varmegjenvinner i ventilasjonsaggregatet. Jo lavere virkningsgrad desto mer varmetap gjennom ventilasjonen. Elvebakken har blitt simulert med 50 %, Rommen med 84 % og Nordstrand med 55 %.

7.7 Intervjuer

For skolene med behovsstyrt ventilasjon kom det generelt fram at det trekk ikke er et problem. Det de fleste ansatte kommenterer er at det kan bli for kaldt eller for varmt. Ifølge verneombudet på Nordstrand klages det mye på at det er for varmt om vinteren og for kaldt om sommeren. Mens på Tjodalving er det mest problemer med varme i rommene i tilknytning til fyrrommet og på datarom.

Rommen og Elvebakken har basemetode og her kan det oppstå dårlig luftkvalitet etter lengre opphold, spesielt i innebygde rom. Ansatte på Elvebakken synes også det er noe plagsom støy fra rørsystemet og trafikken utenfor. For Rommen er det varierende hva ansatte mener om klasserommene; enkelte synes noen rom ofte er for varme og innestengte mens andre synes rom er for kalde. Det er enkelte store rom på Rommen som kan deles i to mindre rom og der er det store problemet at skilleveggen sørger for at avtrekk blir i et rom og tilluft i det andre. Det er dårlig gjennomtenkt.

Mellomhagen sin hybride løsning med vinduslufting gjør ansatte "mer obs på omgivelsene inne" når man må lukke og åpne vinduer ved undervisningen. Det skjer automatisk, men om man synes det er for kaldt eller varmt kan man åpne eller lukke manuelt. Løsningen er ikke testet om sommeren ennå, og rektor er spent på om det blir nok kjøleeffekt til å holde ønskelig temperatur. Det er generelt ikke noen plager med trekk, lukter eller støv, det oppfattes bare godt når det blir luftet. En lærer med allergi har ikke merket noen plager ved ufiltrert luft siden anlegget startet høsten 2010.

På RA er det generelt misnøye med inneklimate. Nesten ingen oppholdsrom har vinduer som kan åpnes og termostaten er ikke manuelt justerbar i rommene. Lærere synes "det er frustrerende å ikke kunne lufte eller justere varmen selv". Lærere tar heller ikke hensyn til at rommene er dimensjonert for et maksimalt antall personer. Temperaturen er ustabil på hele skolen, ofte slående varmt og sterke skiller mellom kaldt og varmt i et rom eller mellom rom. Man kjenner også lukt utenfra i perioder med mye biler eller røyking utenfor. Støy overføres lett mellom rommene så elevene får konsentrasjonsproblemer, de er også sløve og vil ha ofte pauser. Ansatte føler seg ofte utmattet etter endt arbeidsdag.

8. Diskusjon av resultater

8.1 CO₂-konsentrasjon

For alle klasserom med CO₂-logging kom det tydelig fram når det var undervisning på skolene. Det var imidlertid forskjellig blant skolene med vanlig undervisning og basemetode i forhold til når CO₂-konsentrasjonen steg og sank. For Mellomhagen, Nordstrand og Tjodalyng, med vanlig undervisning, kan man se når det er undervisning og ikke. På skolene med basemetode, dvs. Rommen, Elvebakken og RA, var det ikke like enkelt å se noen klare skiller mellom dette. Skoler med basemetode skaper kanskje et større variasjonsområde for tilført luftmengde i forhold til vanlig undervisning som gir et fastere mønster.

For skolene med behovsstyring og hybrid ventilasjon med kulvert oppstod konsentrasjoner over 1000 ppm ved lengre undervisningstimer og mange elever. Dette må man forvente om ventilasjonen ikke klarer å tilføre nok friskluft til rommet slik at forurensninger blir uttynnet fort nok. Allikevel oppstår ikke disse toppene over lengre tid da de synker brått ved pausene så om det påvirker komforten for elever og ansatte er ikke sikkert. Utenom slike topper i løpet av skoledagen holder disse skolene seg under 1000 ppm resten av dagen. Skolen med hybrid ventilasjon med vindusløsning, Mellomhagen, har derimot CO₂-konsentrasjoner godt oppe i rundt 2000 ppm ved lengre undervisningstimer og holder seg høyt hele skoledagen. Det kan gi ubehag å oppholde seg i luft med høyt CO₂-innhold over lengre tid med tanke på lukter og luftkvalitet.

De lokale målingene av CO₂ gjort på Elvebakken og Mellomhagen viser at sensor som styrer ventilasjonen i klasserommene ikke nødvendigvis alltid er korrekt. I det ene klasserommet på Elvebakken viste sensoren på veggen mye lavere verdi enn i seks punkter rundt i rommet. På Mellomhagen viste CO₂-sensoren på veggen noe høyere verdier enn i rommet. Plassering og kalibrering av sensorer er viktig for å få optimal utnyttelse av ventilasjonen. Det er viktig å plassere sensor i oppholdssonen eller så nærme som mulig.

8.2 Temperaturer

Temperatur i oppholdssonen i klasserommene viser at kravet for maksimal temperatur ved vinterforhold er oppfylt da ingen av klasserommene går over 24 °C. Dette er øvre anbefalte grense for inneklimate kategori 2, den nedre er på 20 °C. Minimumstemperaturene på skolene med behovsstyrt ventilasjon er kun lave utenom skoledagen eller like ved skolestart og vil derfor ikke ha noen påvirkning på elevenes velbefinnende. Av intervjuer med ansatte på Rommen, Tjodalyng, Nordstrand og Elvebakken var det ingen problemer med trekk på skolene. Det vanligste var små klager på at det var for varmt eller for kaldt i enkelte rom.

På Mellomhagen er det ofte temperaturer lavere enn 20 °C ved skolestart pga. vindusluftingen. I løpet av skoledagen vil luftingen føre til at temperaturen synker noe, men aldri så mye at det ut fra kravet er for kaldt. Hva hver enkelt i rommet opplever er ikke nødvendigvis likt med hva temperaturen i oppholdssonen viser. De ansatte på skolen mente luftingen var frisk og behagelig. Det som kan skape stort ubehag ved direkte vinduslufting er store temperaturforskjeller mellom hode og føtter, spesielt over lengre tid. De dagene det ble logget temperaturer var det ved skolestart utetemperatur på 1,8 - 2 °C og ved skoleslutt 6 - 7 °C. Det forteller at tilluftstemperaturen er ganske lav når vinduene åpner. I følge de ansatte ved skolen var det allikevel sjelden problemer med trekk, lave temperaturer eller ubehagelige lukter utenfra.

For RA, skolen med kulvert, var det ikke likt temperaturnivå i klasserommene som ble undersøkt. Det er uvisst hvorfor temperaturene ble så forskjellige, men det kan muligens være noe galt med loggeren på rom 116. Av SD-anlegget viste sensoren i rommet temperaturer på nivå med rom 117, ca. 22 °C, så det er tydelig noe galt. De ansatte opplever at skolen har ustabil temperatur, de blir tunge i hodet og må ta ofte pauser fordi elevene blir sløve, dette indikerer at det er noe feil. Ifølge vaktmester har oppvarmingssystemet mange installasjonsfeil, og alt av aktuatorer og noe elektrisk utstyr er byttet ut i løpet av våren 2011. Om man ser bort fra feilloggingen i rom 116 vil RA oppfylle temperaturkravet for vintersesongen.

Temperatur logget i avtrekk bekrefter at varmegjenvinning er lønnsomt om uteluften er lik eller kaldere enn settpunktet for tilluften. Skoler brukes ikke mye av sommersesongen, men ellers i året vil varmegjenvinning kunne spare en del energi på oppvarming av tilluft. Mengden luft som kan gjenvinnes avhenger av tilluftens temperatur, temperatur i avtrekk og virkningsgraden til varmegjenvinneren. Dette påvirker også energibruken til oppvarming i tillegg til ventilasjonsprinsipp og type varmegjenvinner.[25]

8.3 Lufthastigheter

For Mellomhagen viser det seg at lufthastighetene blir for høye i nakkehøyde ved vinduene når det luftes. På skolene RA og Nordstrand er det fortrenningsventilasjon. Her viser det seg at lufthastigheter rett foran tilluftsventil på vegg er for høy til å kunne plassere elever der. På RA var det pulter rett foran ventilen, men på Nordstrand satt de minst 2 meter unna. Det burde være strengere krav til en minimum avstand mellom ventiler og pulter i klasserom og bedre rettleiding slik at det følges i praksis. Det krever mer plass å ha ventiler i vegg pga. denne trekkfaren.

På Rommen, Tjodalyng og Elvebakken, som har omrøring, ble noen av de høye lufthastighetene målt i takhøyde rett under tilluftsventilene. Ellers i rommene var det ingen høye lufthastigheter på skolene

med behovsstyrt ventilasjon som burde gi plagsom trekk. Det er allikevel ikke mulig å si med total sikkerhet at dette er tilfelle, for det er målt i ganske få punkter og høyder i klasserommene.

8.4 Luftmengder

De beregnede luftmengdene til klasserommene basert på CO₂-loggingen er veldig usikre. Kravet til luftmengde i hvert klasserom kommer på rundt 30 m³/h per elev for alle klasserommene med utgangspunkt i TEK10. For det første avhenger beregningen av hvilken bit av den synkende CO₂-kurven man velger og hvor lav konsentrasjonen er ved τ lik 0. For det andre vet man ikke eksakt antall personer i alle klasserom, og dermed er det brukt dimensjonerende antall elever for luftmengdeberegningen i disse rommene. I de klasserommene der antall personer var kjent fikk man luftmengder som var nærmere kravet om 26 m³/h per person, men det trengs fortsatt høyere luftmengder enn dette pga. materialer og inventar og beregningene er korrekte.

Luftmengder basert på vindusareal og avtrekkets areal på Mellomhagen ga en indikasjon på at noe av luften som tilføres via vinduene også går ut gjennom vinduene. Men mest sannsynlig er det avtrekkets kapasitet som bestemmer luftmengden levert av vinduene.

8.5 Energibruk

Energibruk er mest interessant for de hybride ventilasjonsløsningene, dessverre var det ikke mulig å få tak i tall på dette. Innhentet energibruk for skolene i Oslo er derfor vurderingsgrunlaget for energibruken til skolene. Siden Elvebakken er størst i areal har den også størst energibruk, mot Rommen og Nordstrand som har under halvparten så mye.

Simulert med SIMIEN for et klasserom fra hver skole hadde Nordstrand og Rommen lavere spesifikk energibruk enn innhentet energibruk. Det viser at skolen totalt har et høyt spesifikt energibruk og at klasserommene ikke er de rommene som bruker mest energi. Elvebakken hadde derimot høyere spesifikk energibruk for et klasserom enn hele skolen totalt. Det totale arealet innebærer alle typer rom, og en skole med mange rom som krever mye energi vil få høyere spesifikk energibruk. Et klasserom med høyere spesifikk energibruk enn skolen totalt tilsier at klasserommene er energikrevende. Men det er ikke nødvendigvis klasserommene som er mest energikrevende på skolen, for å finne ut dette burde alle rom på skolene undersøkes og simuleres.

Virkningsgraden til varmegjenvinnere har mye å si på energibruken. En dårlig virkningsgrad gir høyere varmetap via ventilasjonen og dermed høyere energibruk. Energibruken blir også påvirket av U-verdien til bygningskonstruksjonen og infiltrasjonen.

9. Konklusjon

Det bekreftes av målingene at CO₂-konsentrasjonen kryper noe over anbefalingen på 1000 ppm for et klasserom i løpet av en skoledag. Det forekommer ikke lenge og ellers holder konsentrasjonen seg under anbefalingen. For hybrid ventilasjon med vindusløsning er den derimot ikke bare over dette en kort periode, men ganske høy over hele skoledagen. Inneluftkvalitet ut fra CO₂-konsentrasjon er derfor tilfredsstillende for skolene, utenom skolen med hybrid ventilasjon med vindusløsning, for kategori 2.

Temperaturene på skolene holder seg innenfor 22 ± 2 °C i løpet av skoledagen. De ulike ventilasjonsløsningene gir derfor ønsket temperatur i oppholdssonen og oppfyller inneklimate kategori 2. Ut fra intervjuer med ansatte var det problemer med temperatur på skolen med hybrid ventilasjon med kulvert. Det oppleves sterkt ustabil temperatur og ofte er skolen slående varm. Det har vært problemer med oppvarmingssystemet, og det er sannsynligvis årsaken.

Selv om lufthastighet ikke er målt i mange nok punkter eller høyder i klasserommene kan man anslå at skolene med behovsstyrt ventilasjon og hybrid ventilasjon med kulvert har lave nok hastigheter i oppholdssonen, dvs. under 0,15 m/s. Det ble også bekreftet at tilluftsventiler i vegg krever ekstra planlegging i forhold til plassering slik at elever ikke skal oppleve trekk. For hybrid ventilasjon med vindusløsning vil det bli for høye hastigheter ved vindu og avtrekk når det luftes, men ifølge ansatte var ikke trekk noe problem på skolen.

Beregningene av luftmengder i klasserommene er svært usikre og må sees på med et kritisk blikk. Allikevel kan man av disse anslå at skolene med behovsstyrt ventilasjon og hybrid ventilasjon med kulvert oppfyller kravet om luftmengde per person på 26 m³/h og 2,5 m³/h·m² for lavt forurensende bygning kategori 2. Skolen med hybrid ventilasjon med vindusløsning har derimot en større usikkerhet ved seg da det er et samspill mellom avtrekk, vindusåpning og lufthastighet som bestemmer luftmengden.

Energibruken til skolene kunne vist om hybrid ventilasjon har lavere energibruk enn behovsstyrt ventilasjon. For skolene i Larvik, som har både hybrid og behovsstyrt ventilasjon, var det ikke mulig å innhente tall på energibruken, mens for skolene i Oslo med behovsstyrt ventilasjon var tallene tilgjengelige. Spesifikk energibruk over året for hele oppvarmingsarealet til skolene lå på 174 – 198 kWh/m².

Det er mange faktorer som bestemmer inneklimate og samspillet mellom dem er viktig for trivsel og læring på skolen. Av temperatur, CO₂ og lufthastighet som er målt for disse seks skolene kommer hybrid ventilasjon med vindusløsning totalt dårligst ut med for høy CO₂-konsentrasjon og fare for

trekk. Behovsstyrt ventilasjon og hybrid ventilasjon med kulvert gir ut fra disse tre faktorene tilfredsstillende verdier for inneklimate kategori 2. Det må likevel nevnes at disse tre inneklimateparameterene ikke nødvendigvis gir korrekt bilde av det totale inneklimate på skolene og at flere parametere burde vært undersøkt i tillegg til at ansatte og elever burde følges opp med undersøkelser på trivsel og komfort.

Forslag til videre arbeid kan innebære kommende punkter, hvor de hybride løsningene er mest interessante:

- Logge flere parametere i tillegg til ovennevnte over en lengre tidsperiode; for eksempel mikrobiologisk vekst, luftmengder, støy
- Registrere eksakt hvordan skoledagen forløper ved å være tilstede
- Måle eller registrere energibruken over en lengre tidsperiode
- Utføre spørreundersøkelser, både vinter og sommer, på ansatte og elever om trivsel og komfort

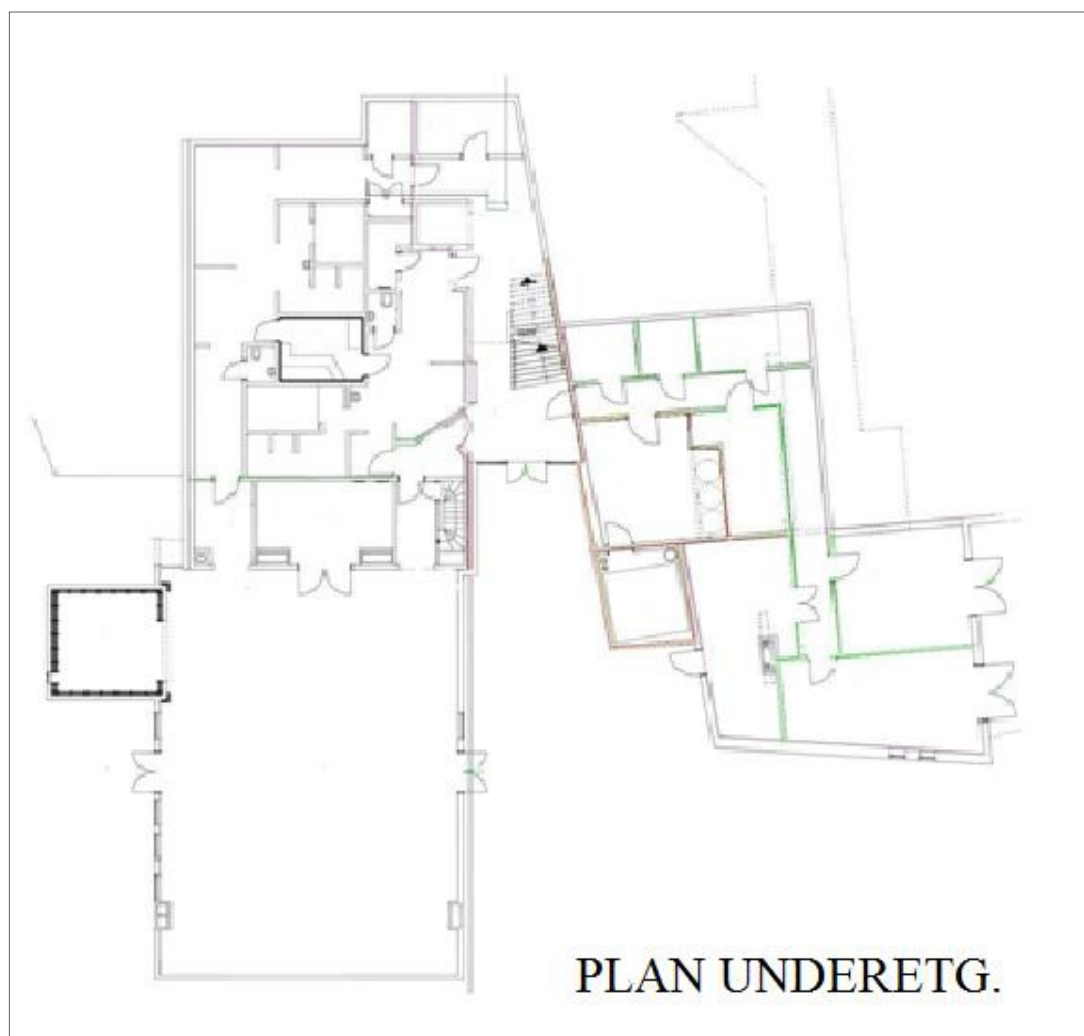
Kilder

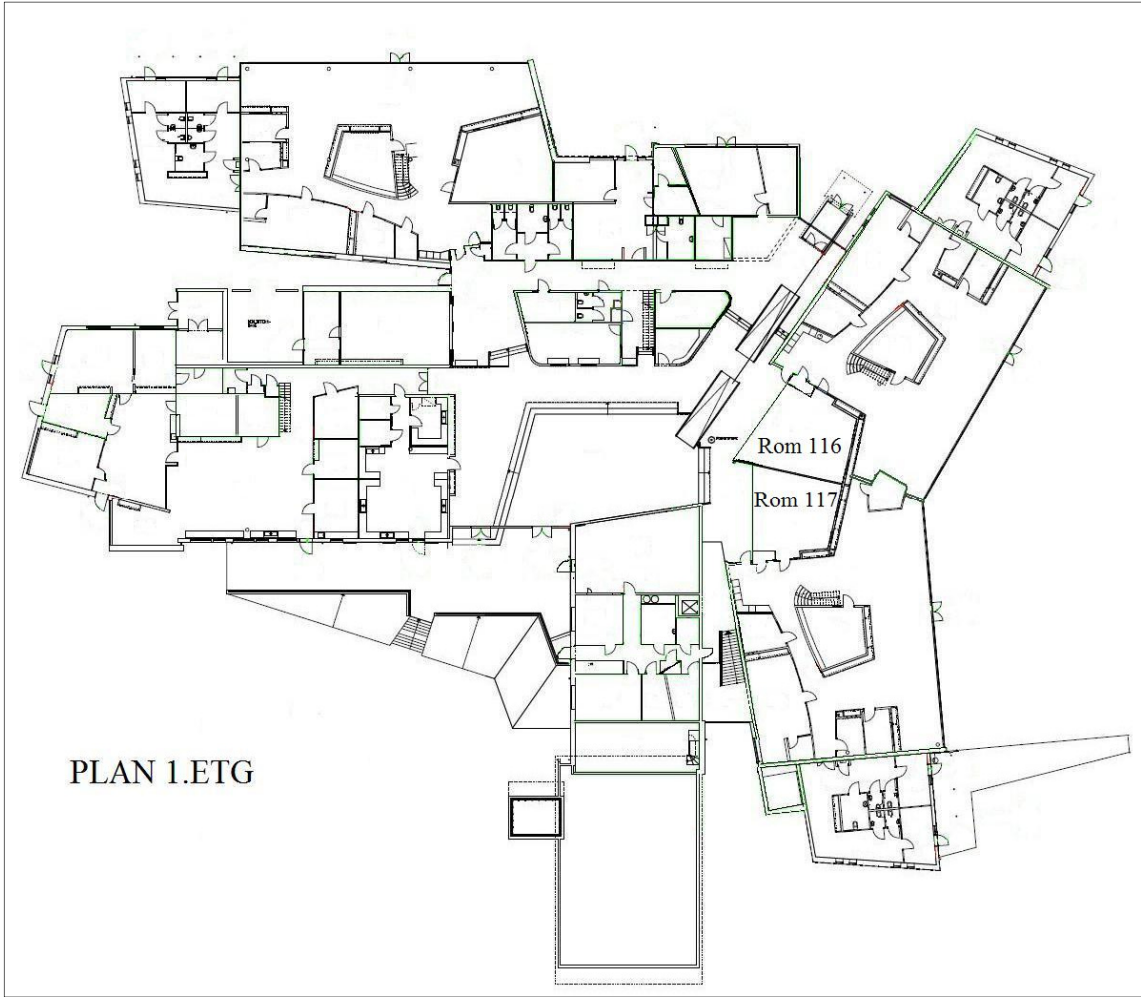
1. Mysen, M., et al., *Evaluation of simplified ventilation system with direct air supply through the facade in a school in a cold climate*. Energy and Buildings, 2005. **37**(2): p. 157-166.
2. Mysen, M., *Ventilation Systems and their Impact on Indoor Climate and Energy Use in Schools in Energi og prosesssteknikk*. 2005, NTNU: Trondheim.
3. Dokka, T.H. and T.A. Vik, *Hybrid ventilasjon. Muligheter og barrierer - Eksempler - Kontrollstrategier - Prosjekteringsverktøy*. 2001, SINTEF.
4. Mathisen, H.M., et al., *Valg mellom naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon*. 2004, SINTEF.
5. Thyholt, M. and T.A. Vik, *Hybrid ventilasjon i kontor- og skolebygninger*. Norsk VVS.
6. Byggemiljø. *Hybrid ventilasjon*. 2008 01.02.2011]; Available from: <http://www.byggemiljo.no/category.php/category/Hybrid%20ventilasjon/?categoryID=308>.
7. Stava, T.O. and M.B.K. Triki, *Studie av energieffektivitet i ventilasjonsanlegg*, in *Maskin, Energi- og Prosesssteknikk*. 2009, Høgskolen Stord/Haugesund: Haugesund.
8. Eide, A., *Behovsstyring av energi- og inneklimaytelser - oppfølging i praksis*, in *Institutt for energi og prosesssteknikk*. 2009, NTNU: Trondheim.
9. Utdanningsdirektoratet. *Skoleanlegg, nasjonal rådgivningstjeneste*. 2004 15.04.2011]; Available from: <http://www.skoleanlegg.utdanningsdirektoratet.no/>.
10. Saracevic, L., *Behovsstyrt ventilasjon*, in *Institutt for energi og prosesssteknikk*. 2007, NTNU: Trondheim.
11. Byggforsk, *Byggdetaljer 552.323 Behovsstyrt ventilasjon*. 2005.
12. Wachenfeldt, B.J., M. Mysen, and P.G. Schild, *Air flow rates and energy saving potential in schools with demand-controlled displacement ventilation*. Energy and Buildings, 2007. **39**(10): p. 1073-1079.
13. Byggforsk, *Byggdetaljer 552.335 Klimaanlegg Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg*. 2000.
14. BE, *Veiledning til TEK10*. 2010.
15. Friis, M., *Energibruk og inneklima i skolebygning med alternativ ventilasjonsløsning*, in *Fakultet for Ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for energi- og prosesssteknikk*. 2010, NTNU: Trondheim.
16. Hareide, B. and E. Dybing, *Anbefalte faglige normer for inneklima*, H.-o. sosialdepartementet, Editor. 1998.
17. Nilsson, P.-E., et al., *Achieving the desired indoor climate*. 2003: Studentlitteratur
18. *NS-EN 13779:2007 Ventilasjon i yrkesbygninger - Ytelseskrav for ventilasjons- og romklimatiseringssystemer*. 2007.
19. *NS-EN 15251:2007 Inneklimateparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*. 2007.
20. *NS-EN ISO 7730:2005 Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort (ISO 7730:2005)*. 2005.
21. Byggforsk, *Byggdetaljer 421.505 Innemiljø Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger*. 2000.
22. Hanssen, S.O., et al., *Enøk i bygninger. Effektiv energibruk*. 2 ed. 1996: SINTEF Universitetsforlaget
23. Byggforsk, *Byggdetaljer 552.311 Inneklimate og ventilasjon i skoler*. 2005.
24. *Programbyggerne. Dataprogram SIMIEN*. 2010]; Available from: www.programbyggerne.no
25. Nisson, P.-E., *Energy Recovery*, in *AIR*. 2008, SWEGON Air Academy.

VEDLEGG

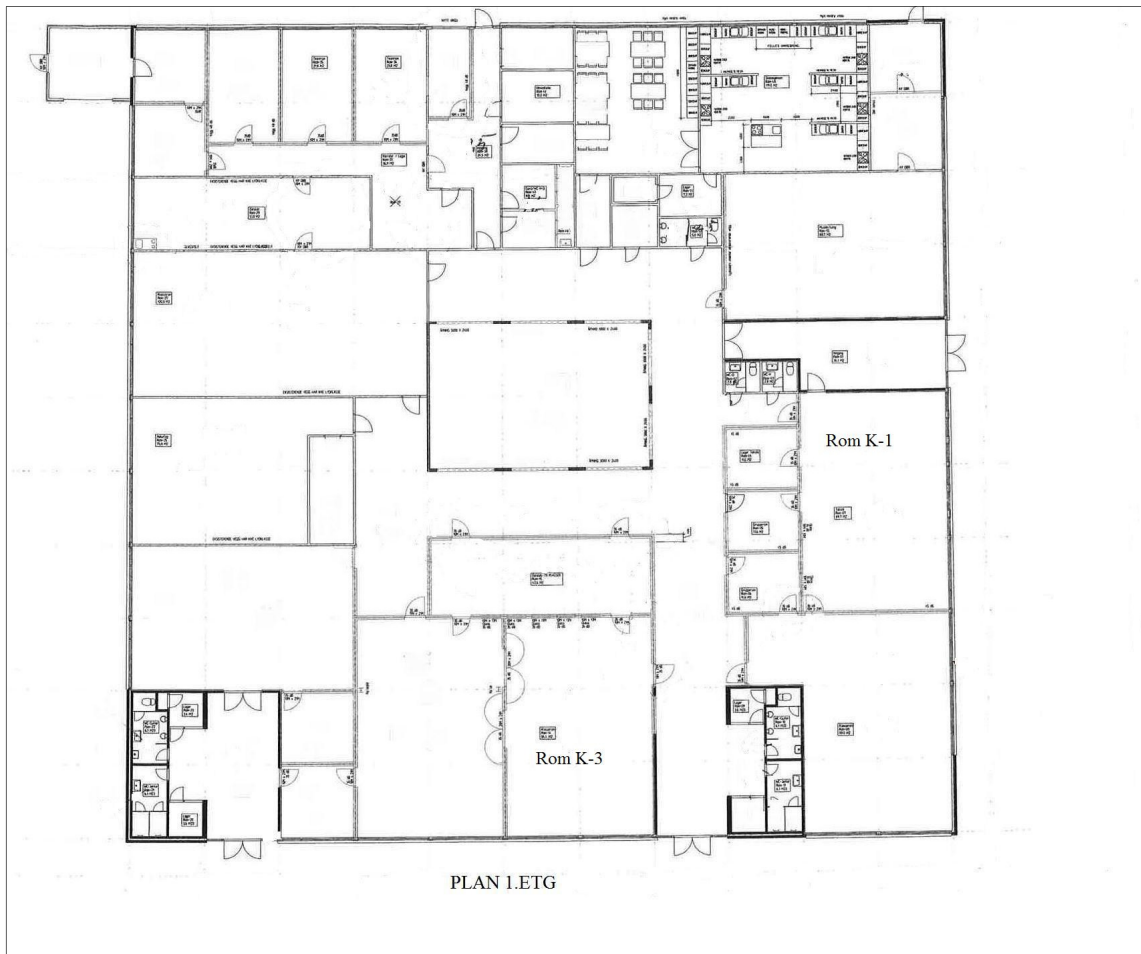
Vedlegg 1 - Plantegninger

RA ungdomsskole:

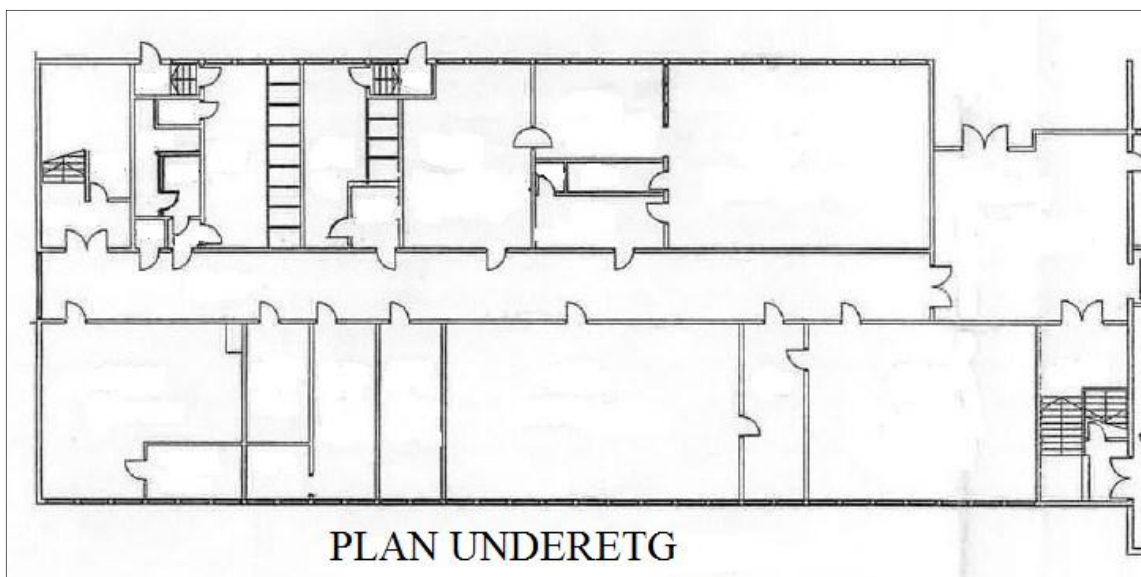


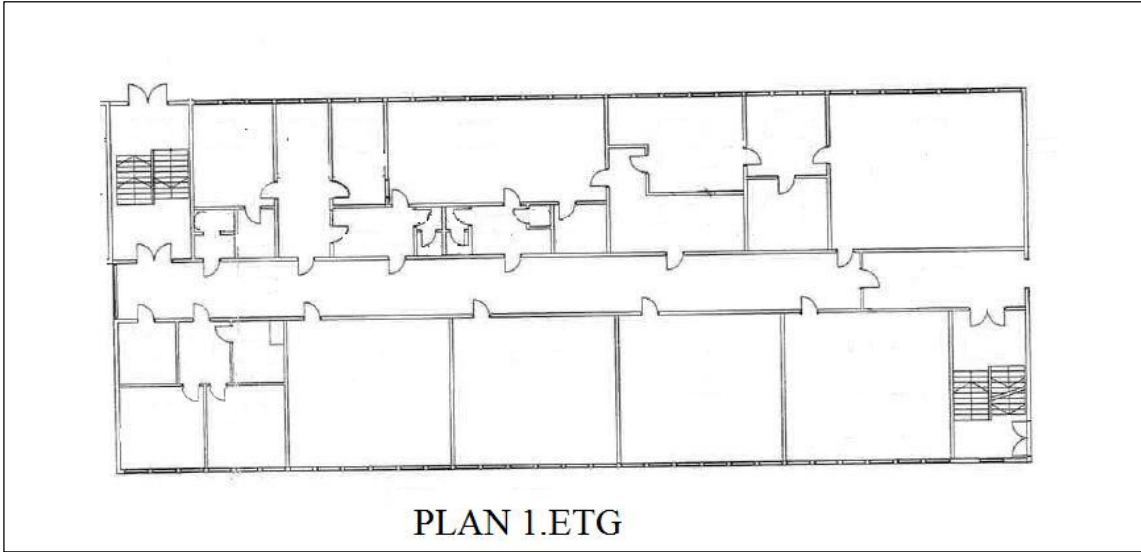


Tjodalyng ungdomsskole:

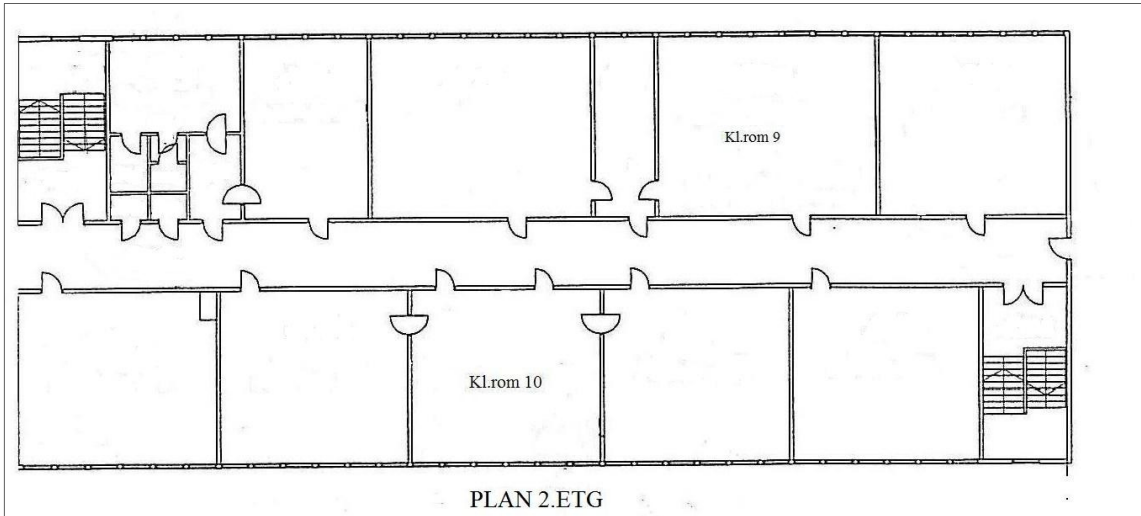


Mellomhagen ungdomsskole:



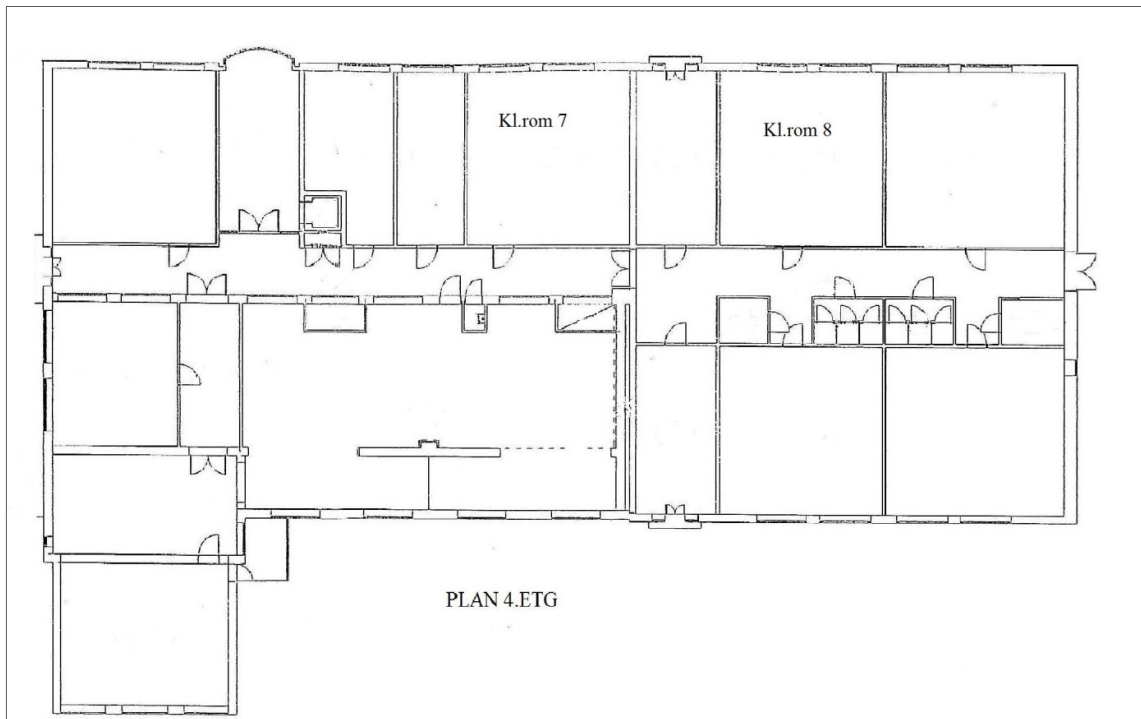


PLAN 1.ETG

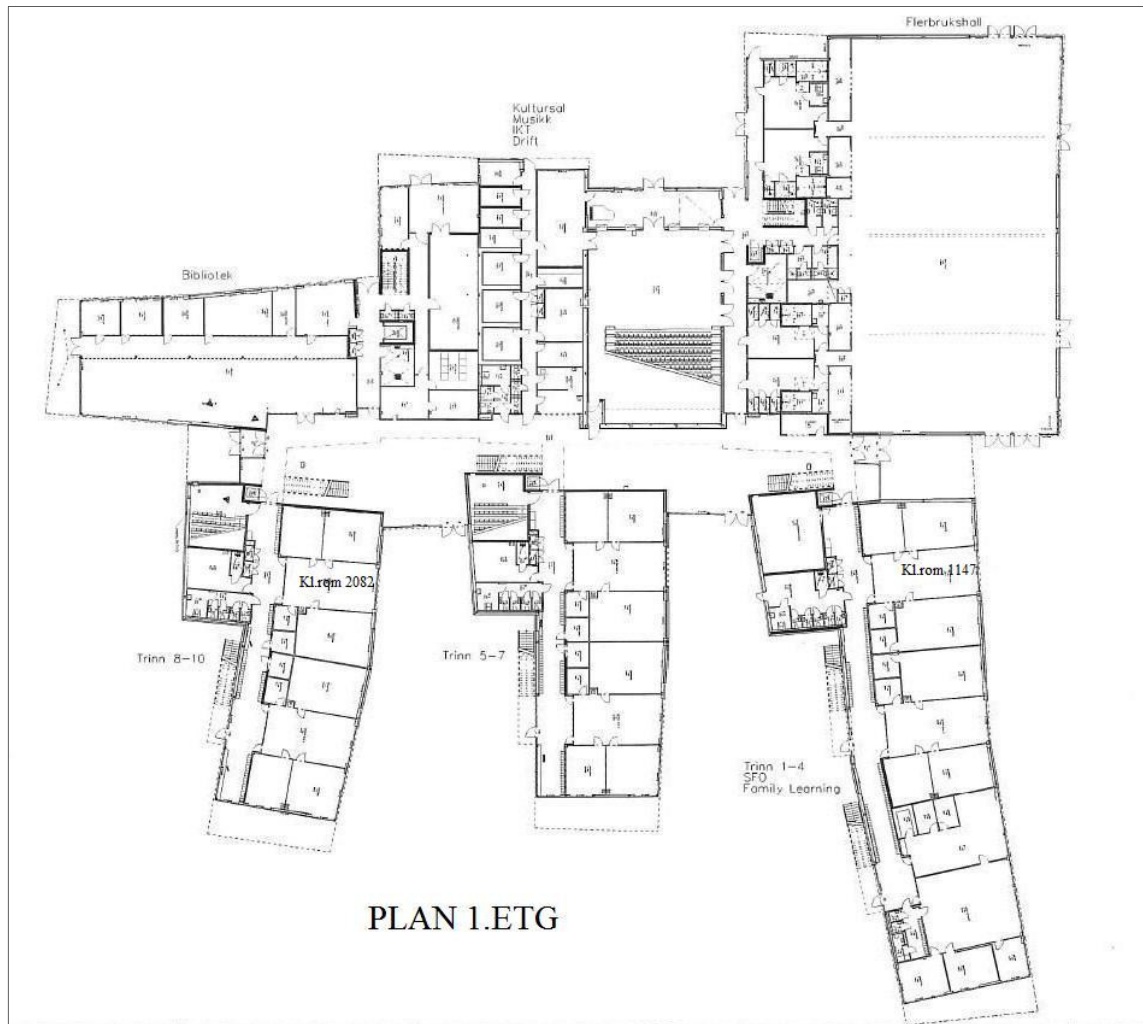


PLAN 2.ETG

Nordstrand skole:

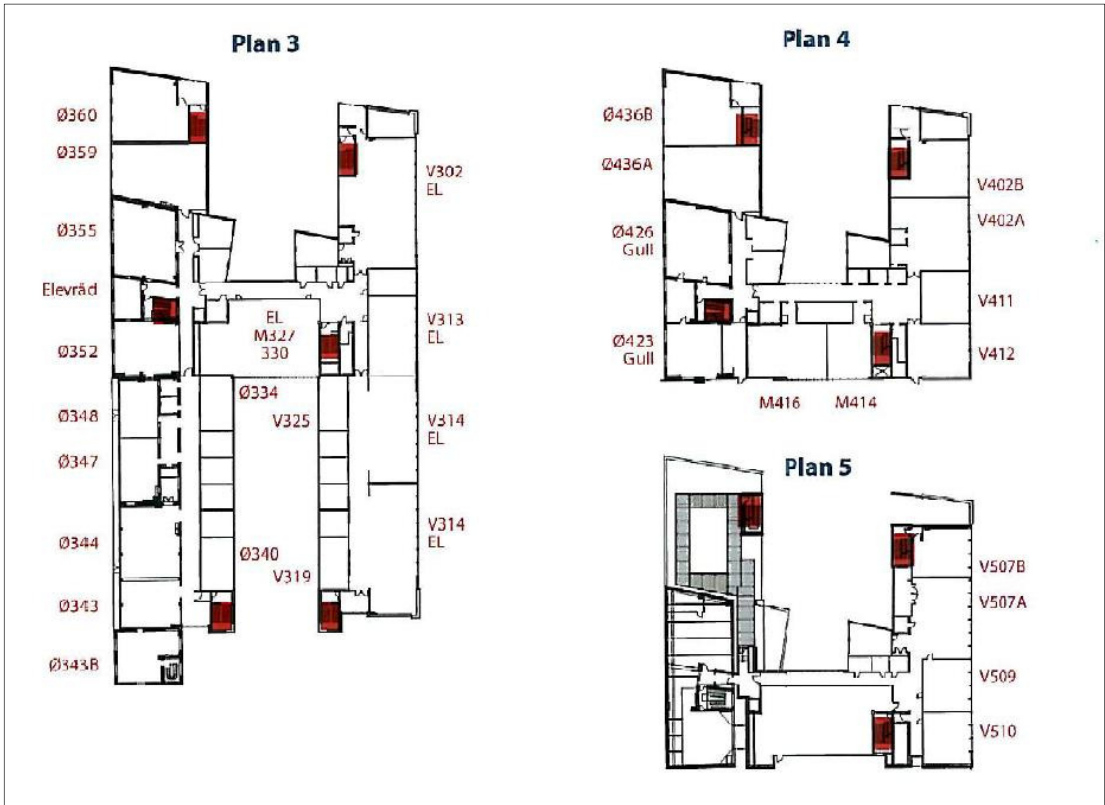


Rommen skole og kultursenter:



Elvebakken videregående skole:





Vedlegg 2 – SIMIEN inndata

Nordstrand klasserom 7:

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	17	
Areal tak [m ²]:	0	
Areal gulv [m ²]:	0	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	10	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	61	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	213	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0.21	
U-verdi tak [W/m ² K]	0.00	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0.00	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1.10	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	15.7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0.06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	53	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1.50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	70	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	70,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	16,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,87	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	10,0	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	10,0	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,0	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,0	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,9	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,0	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	12,0	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,18	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	

Elvebakken klasserom 507B:

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	40	
Areal tak [m ²]:	0	
Areal gulv [m ²]:	0	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	7	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	56	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	178	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,21	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,00	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,00	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,43	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	13,5	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	16	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsqr. varmeqjenvinner [%]:	50	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	50,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	16,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,88	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	10,0	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	10,0	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,0	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,0	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,9	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,0	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	12,0	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,38	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	

Rommen klasserom 2082:

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	3	
Areal tak [m ²]:	0	
Areal gulv [m ²]:	58	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	10	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	58	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	146	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,15	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,00	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,10	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,40	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	16,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	16	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsqr. varmegjenvinner [%]:	84	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	84,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	16,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,88	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	

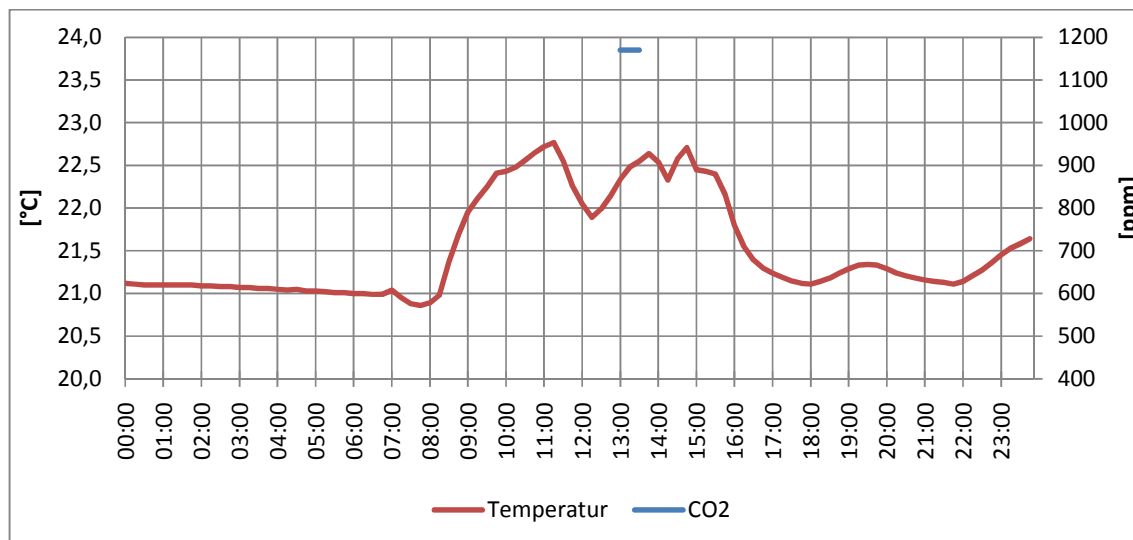
Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	10,0	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	10,0	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,0	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,0	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,9	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,0	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	12,0	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,38	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	

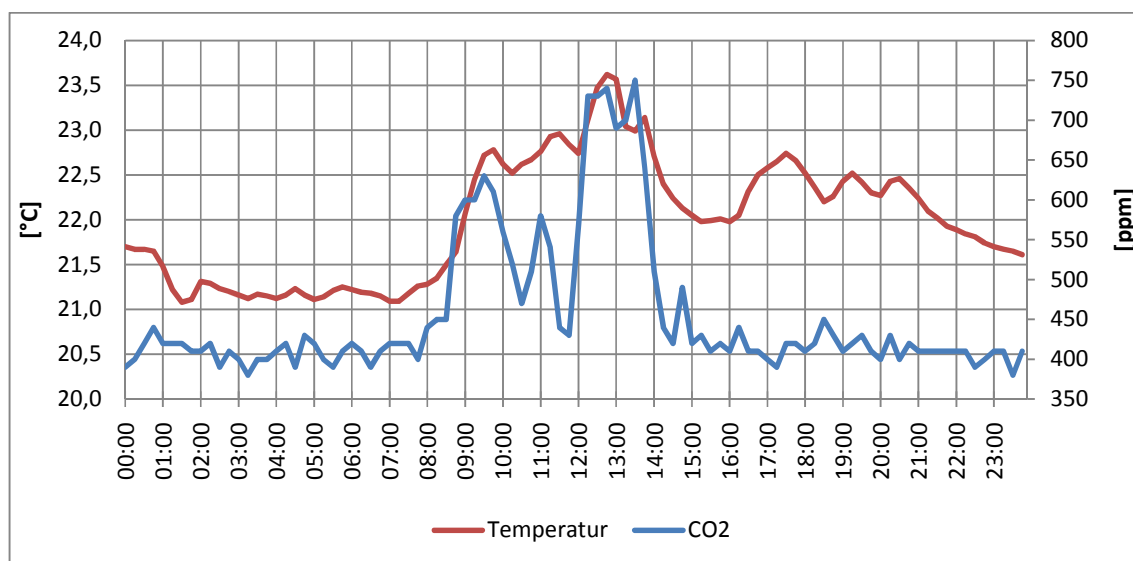
Vedlegg 3 – Inneklima sammenligning

Inneklimasammenligning for Elvebakken blir litt annerledes enn for de andre skolene siden det ikke ble logget CO₂-konsentrasjon. Det er markert CO₂-konsentrasjon som ble målt lokalt i punkt 1.

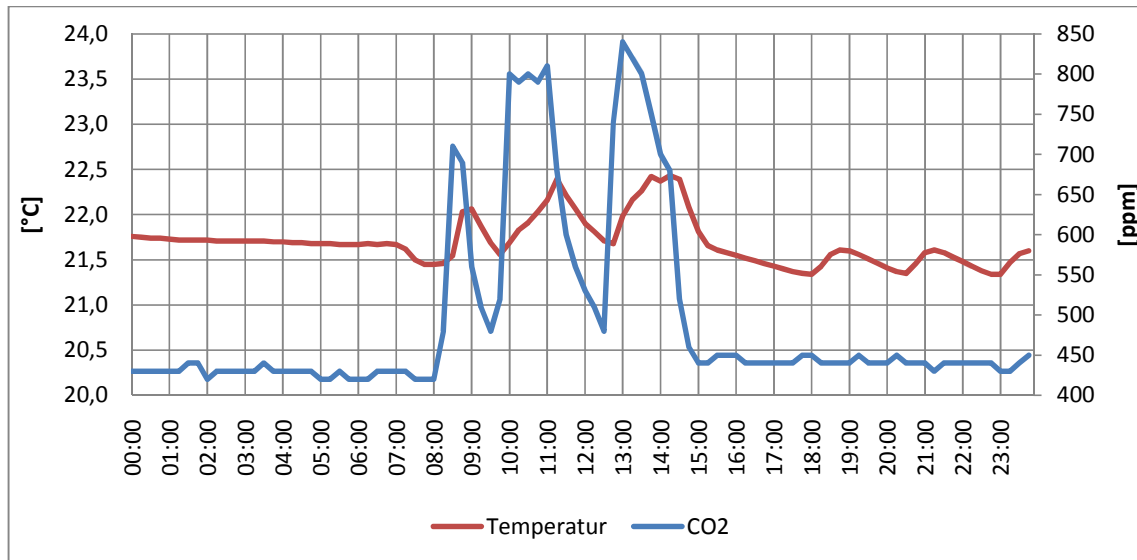
Elvebakken rom 507B den 17.mars er valgt. Man ser at CO₂-konsentrasjonen er målt 18.mars kl. 13:15 til 13:30. Temperaturen varierer med undervisninga, her er det basemetode.



Rommen klasserom 2082 den 17.mars har basemetode og er for 10.klasse. Man ser av CO₂-konsentrasjonen at det er varierende bruk over skoledagen. Temperaturen er høy etter bruk av rommet og synker sakte etter endt skoledag. Stigningen i temperatur rundt kl. 16:00 ser ikke ut til å komme av mange personer.

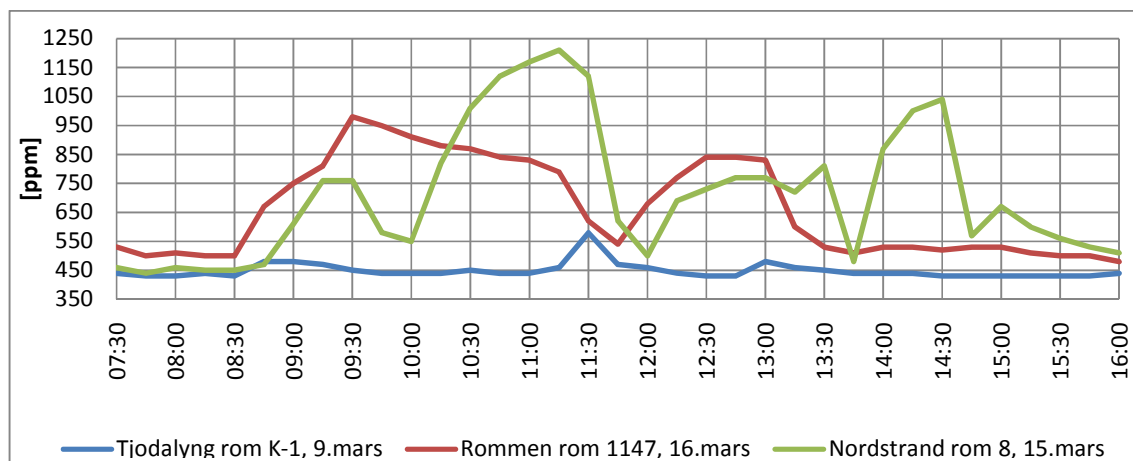


Tjodalyng rom K-3 har vanlig undervisning og er brukt ifølge timeplanen til skolen den 10.mars.
Temperaturen stiger og synker like brått som CO₂-konsentrasjonen.

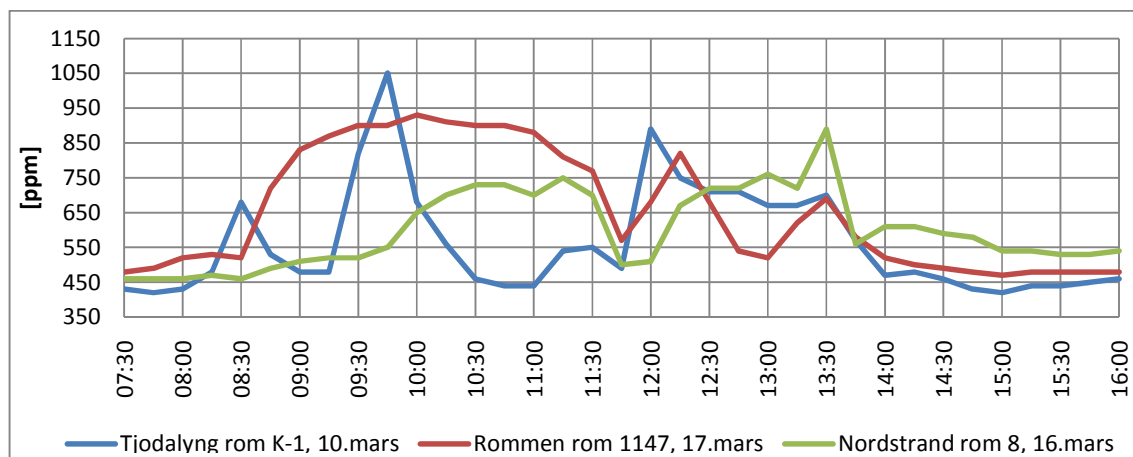
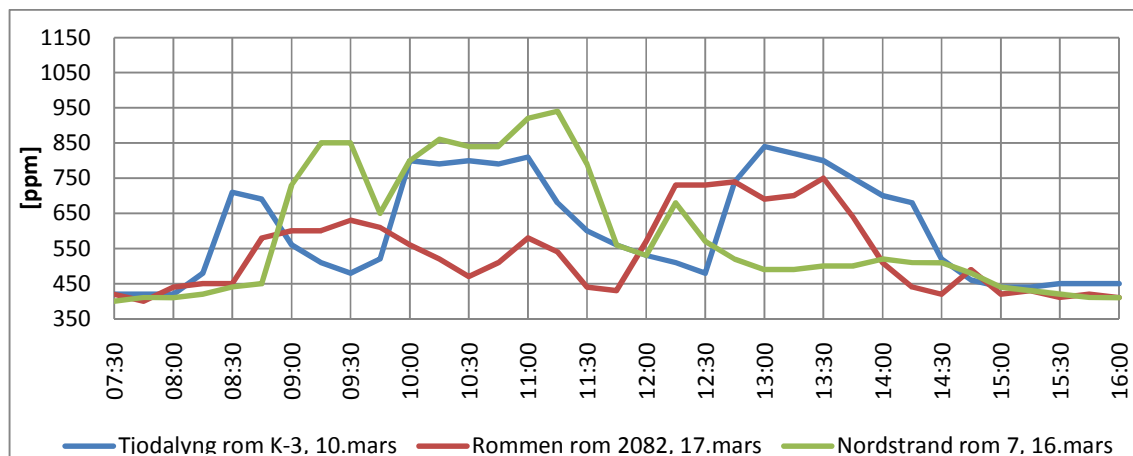


Vedlegg 4 - CO₂-resultater

Her vises de behovsstyrte skolene for begge dagene, men først den andre dagen for de tre behovsstyrte klasserommene presentert i kapittel 7.2.

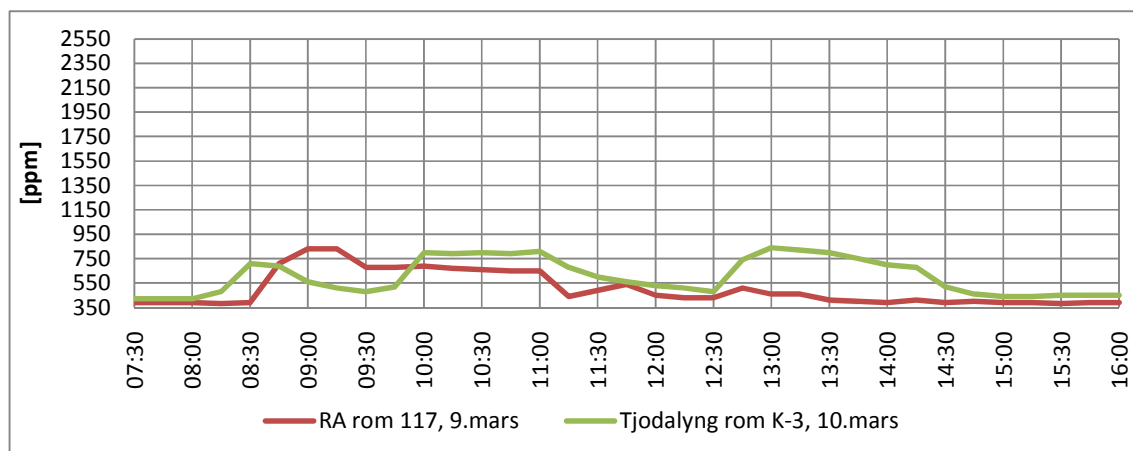


De tre andre behovsstyrte klasserommene, dag 1 og 2:

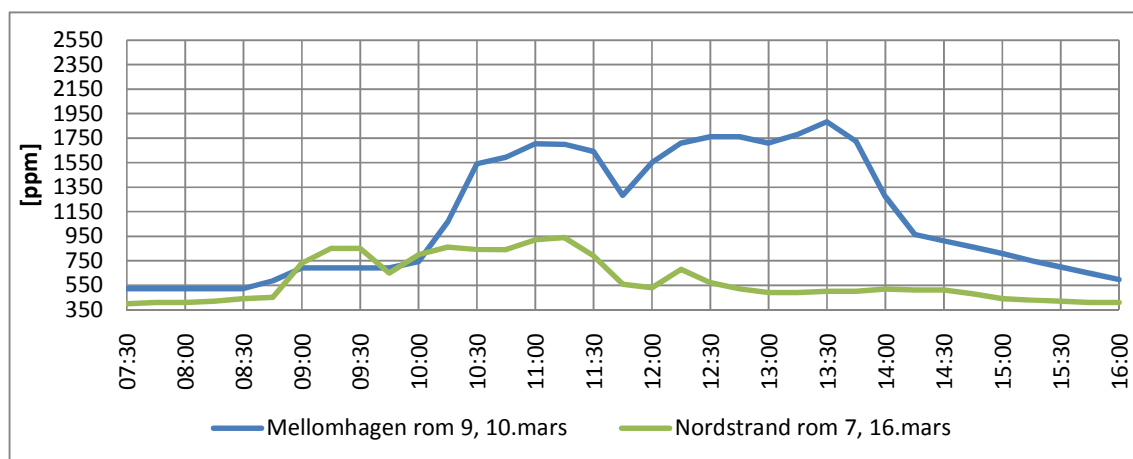


For de hybride klasserommene sammenlignet mot behovsstyrt ventilasjon kommer først den andre dagen for klasserommene presentert i kapittel 7.2.

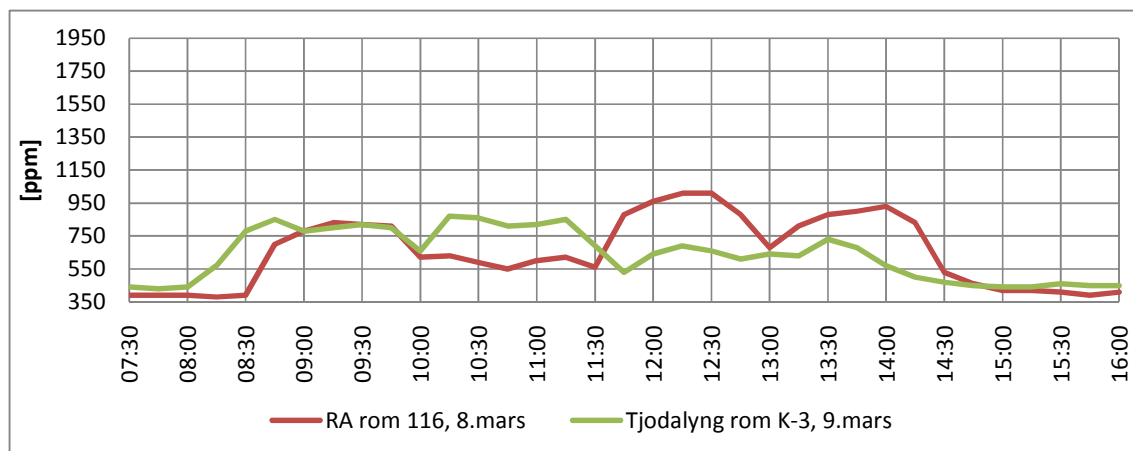
Hybrid ventilasjon med kulvert rom 117 dag 2:

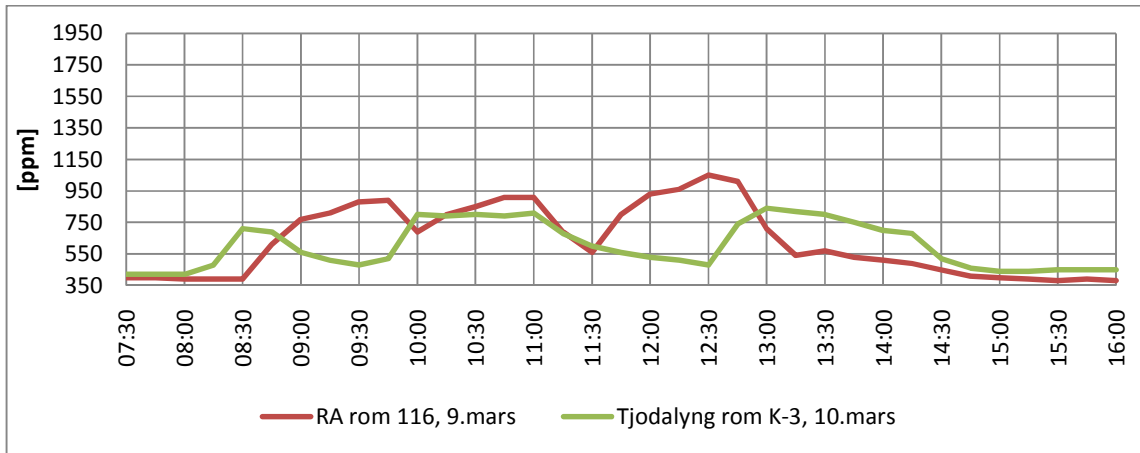


Hybrid ventilasjon med vindusløsning rom 9 dag 2:

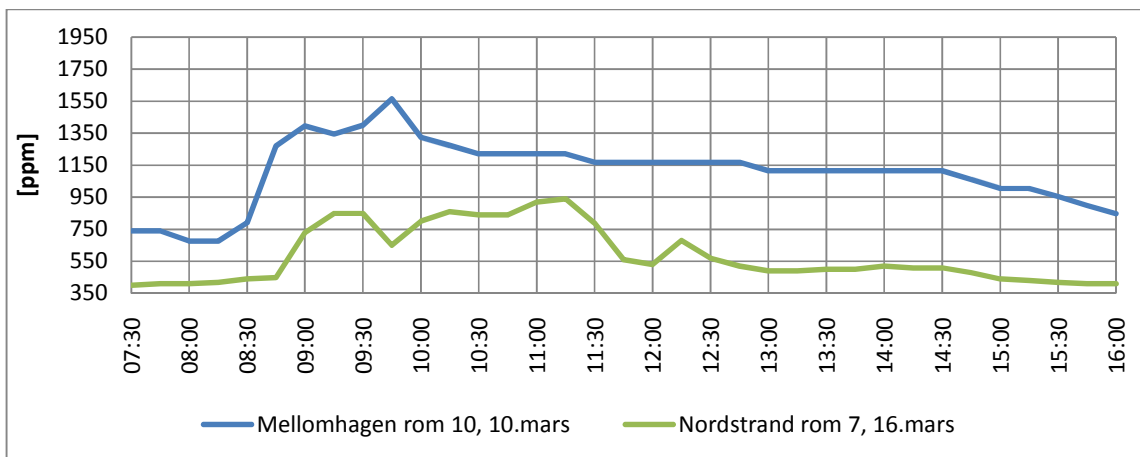
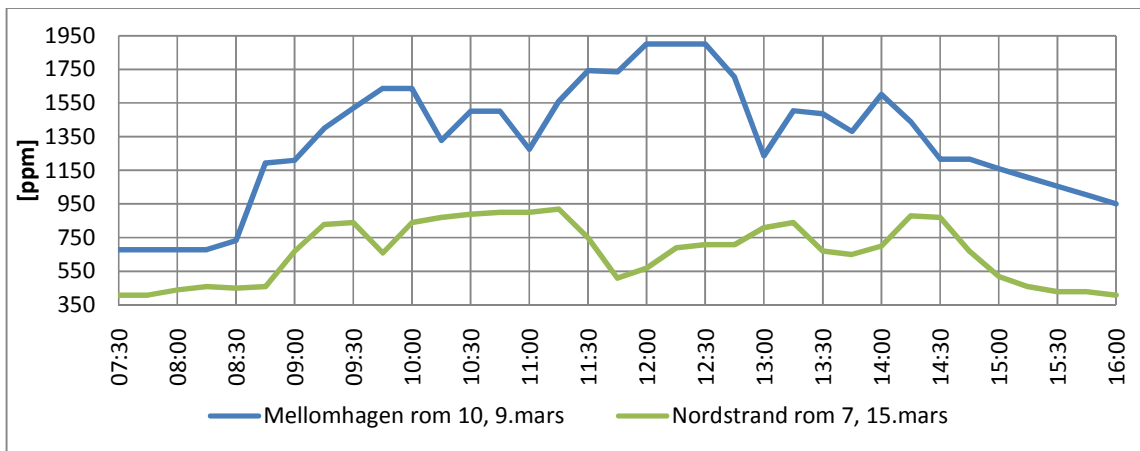


Hybrid ventilasjon med kulvert rom 116, dag 1 og 2:



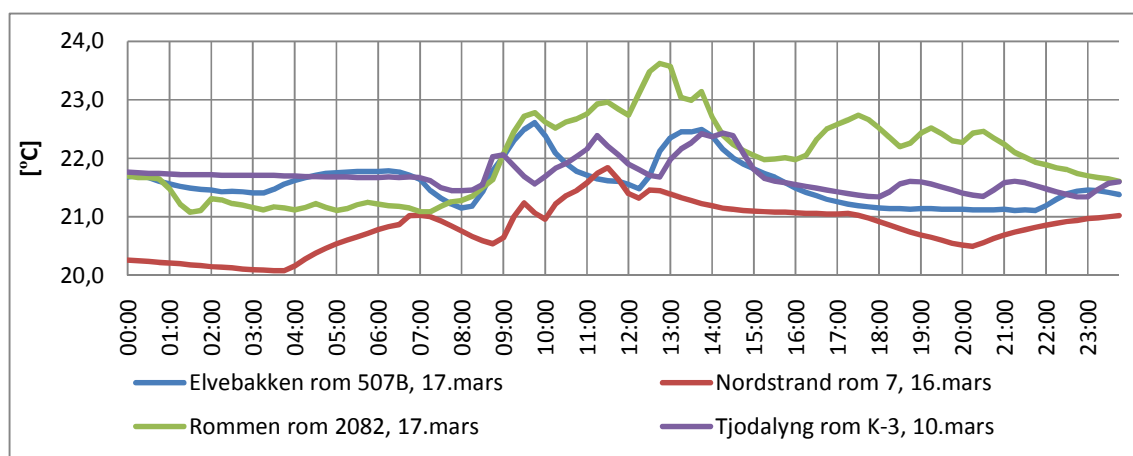


Hybrid ventilasjon med vindusløsning rom 10, dag 1 og 2:



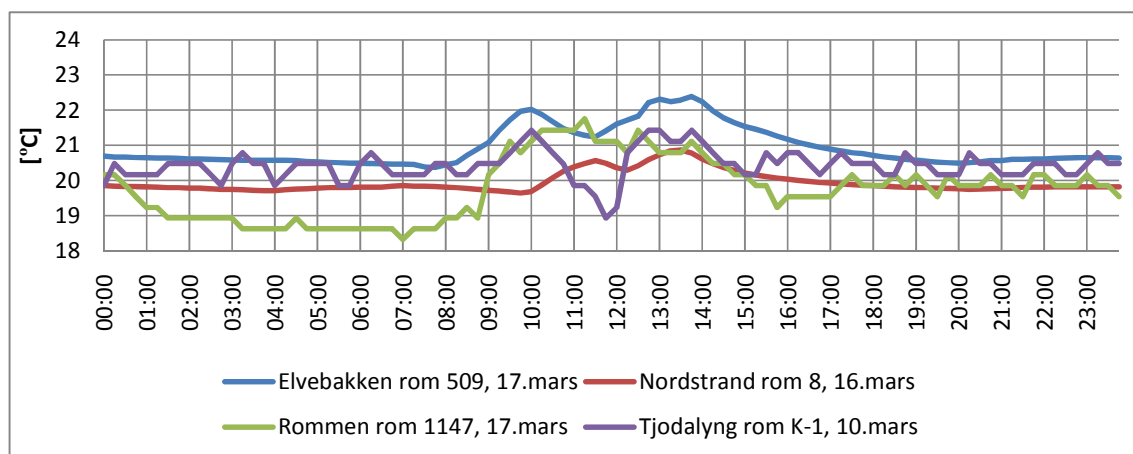
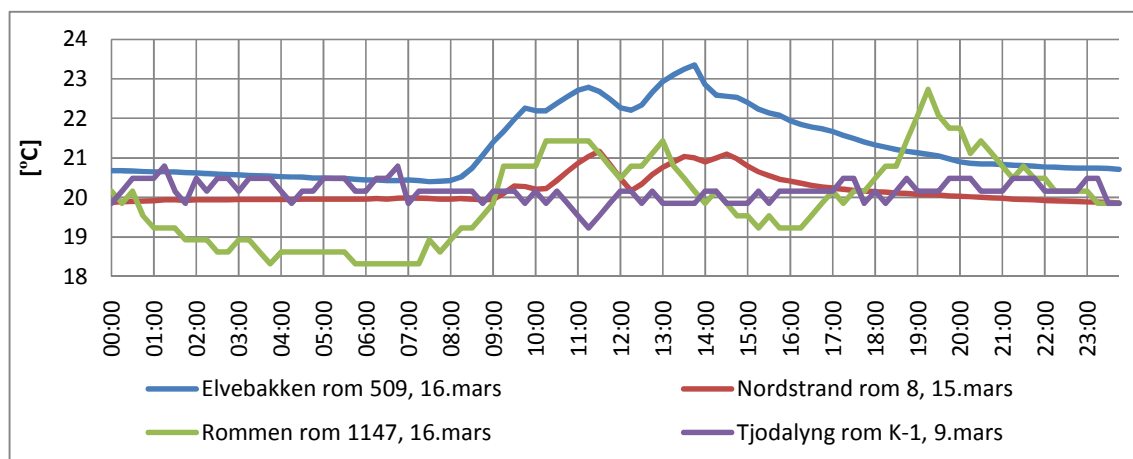
Vedlegg 5 – Temperaturresultater

Sammenligning av skolene med behovsstyrt ventilasjon kommer her, med den andre dagen for rommene presentert i kapittel 7.3. først.



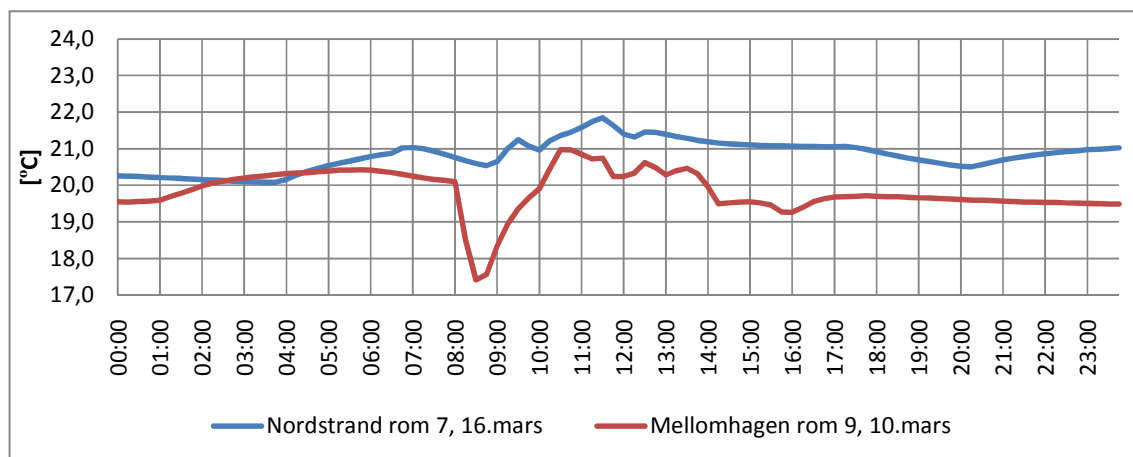
Sammenligning av klasserommene med behovsstyrt ventilasjon som ikke er nevnt i kapittel 7.3.

Behovsstyrt ventilasjon dag 1 og 2:

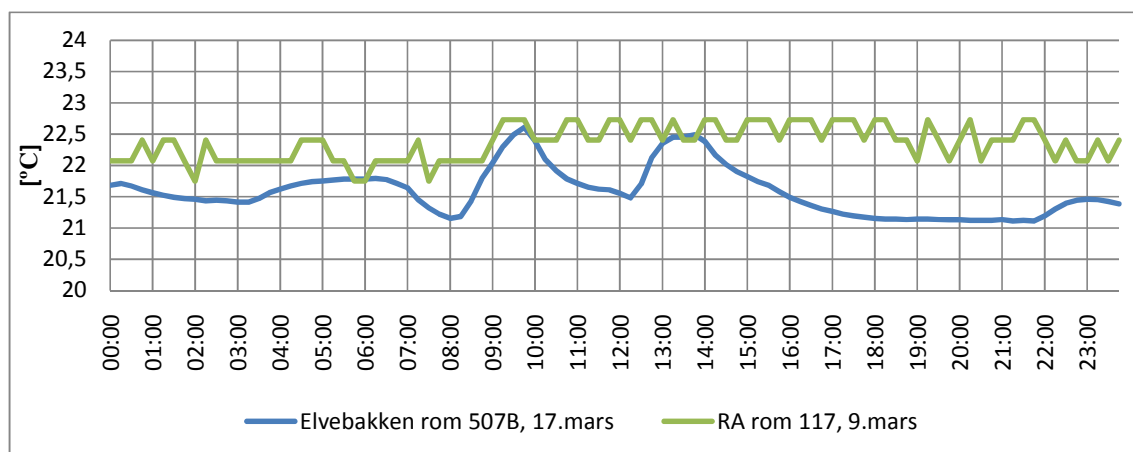


Sammenligning av de hybride løsningene mot behovsstyrt ventilasjon for den andre dagen fra kapittel 7.3. er vist i kommende grafer.

Hybrid ventilasjon med vindusløsning rom 9 dag 2:

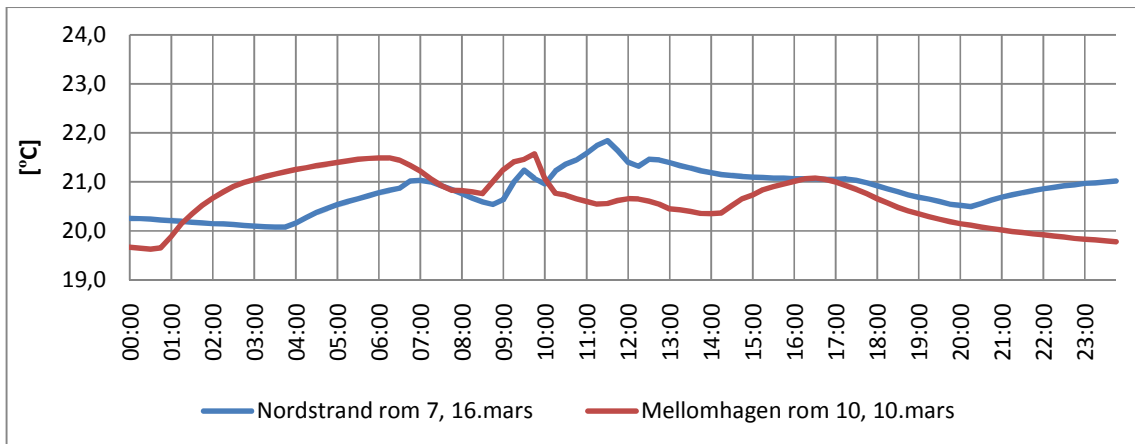
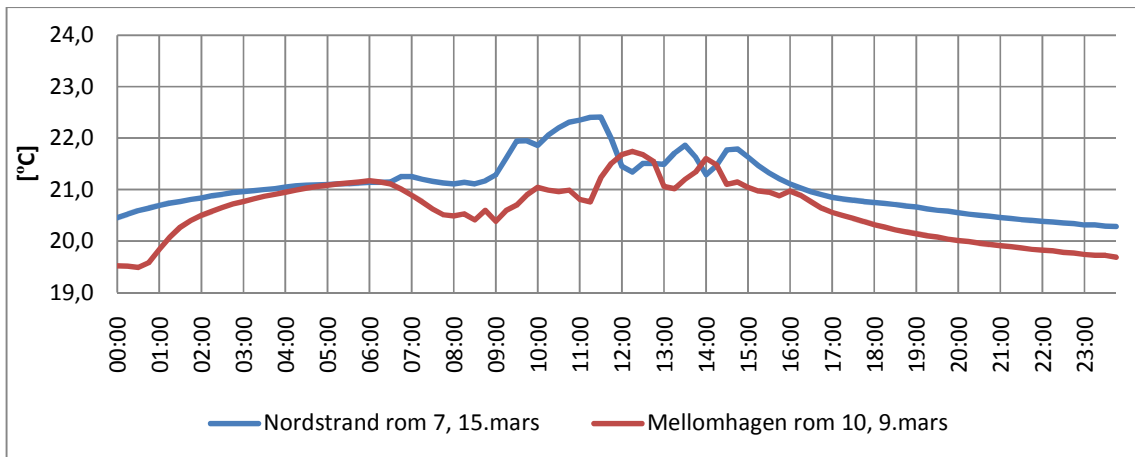


Hybrid ventilasjon med kulvert rom 117 dag 2:

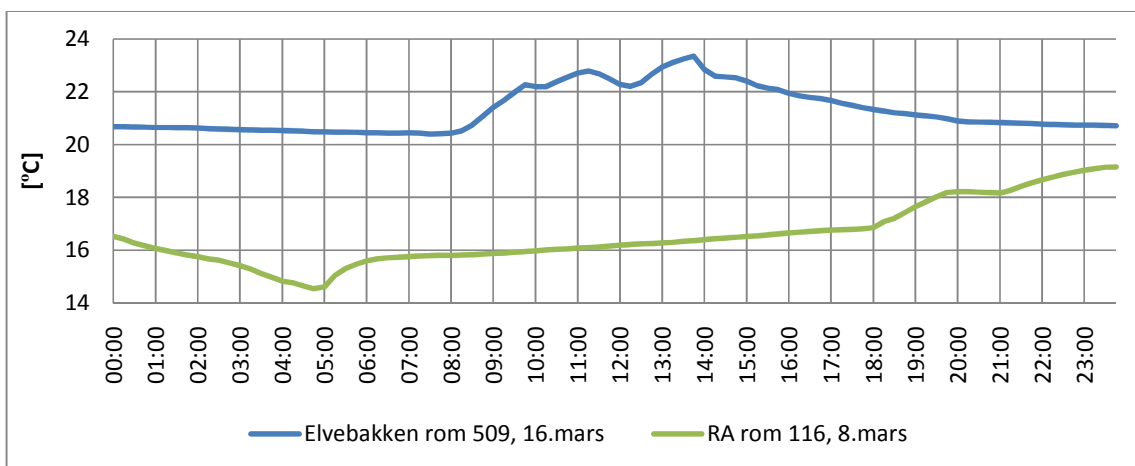


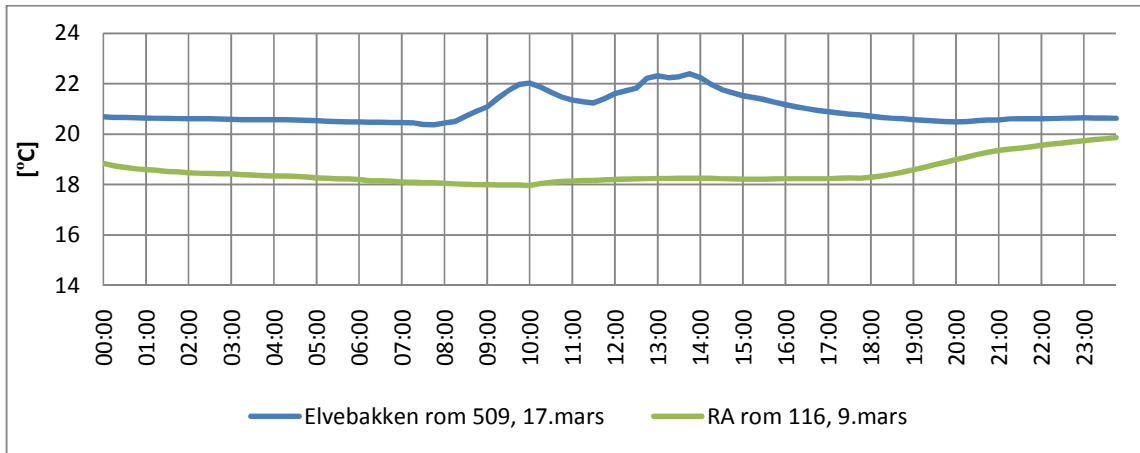
Sammenligning av klasserommene med hybrid ventilasjon mot behovsstyrt ventilasjon som ikke er nevnt i kapittel 7.3. er vist i de kommende grafene.

Hybrid ventilasjon med vindusløsning rom10, dag 1 og 2:



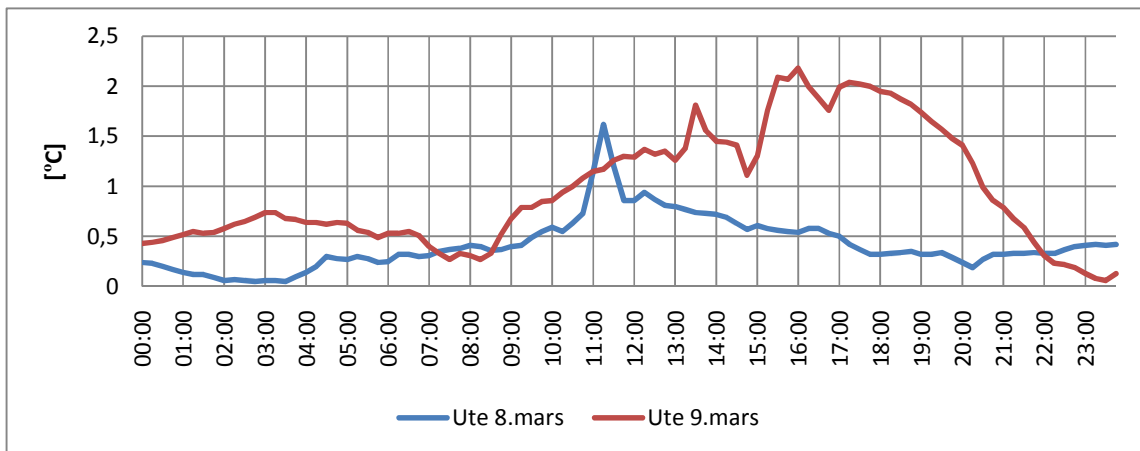
Hybrid ventilasjon med kulvert rom 116, dag 1 og 2:



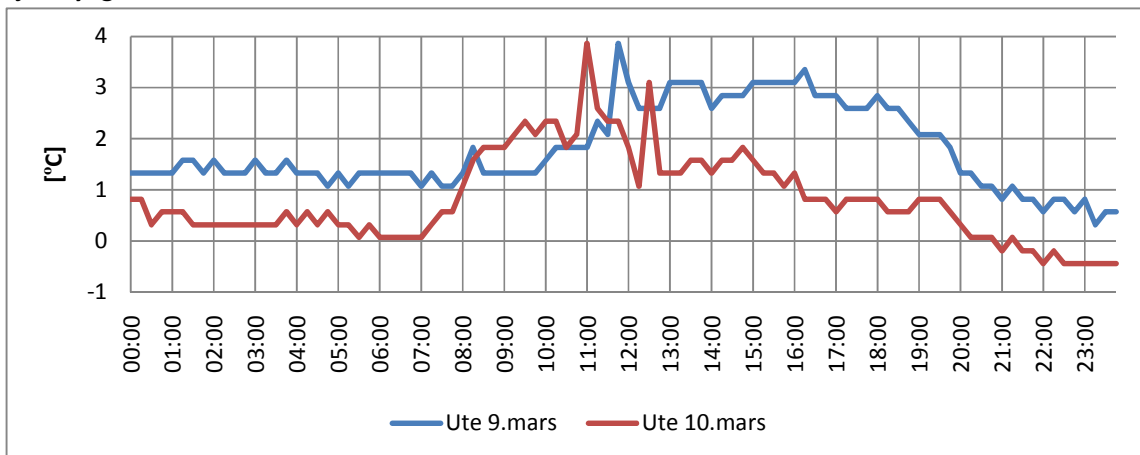


Resultatet fra logging av utetemperatur på skolene:

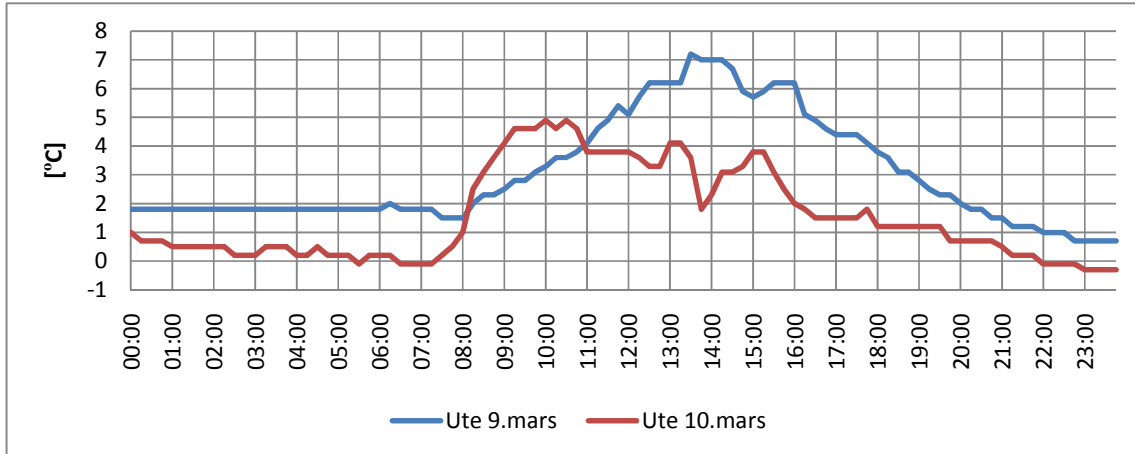
RA, ute:



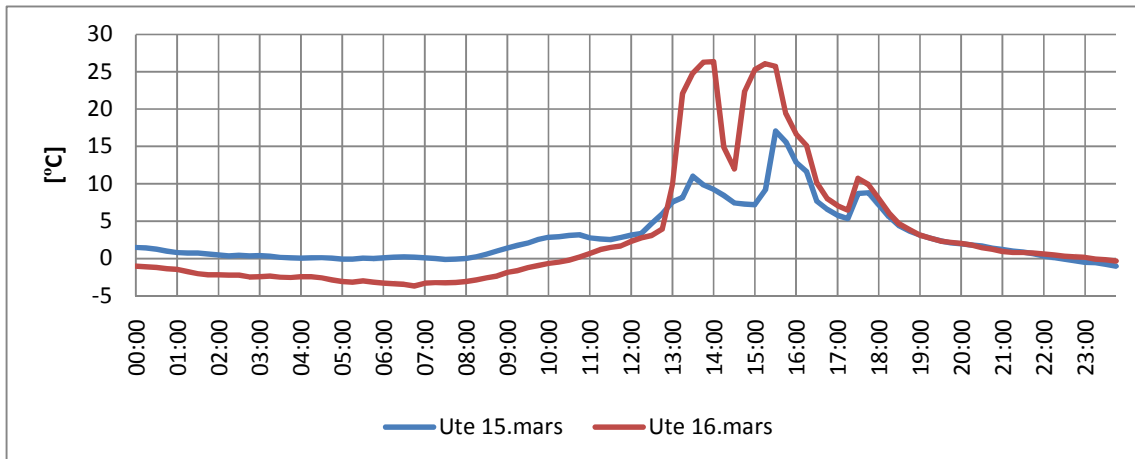
Tjodalyng, ute:



Mellomhagen, ute:

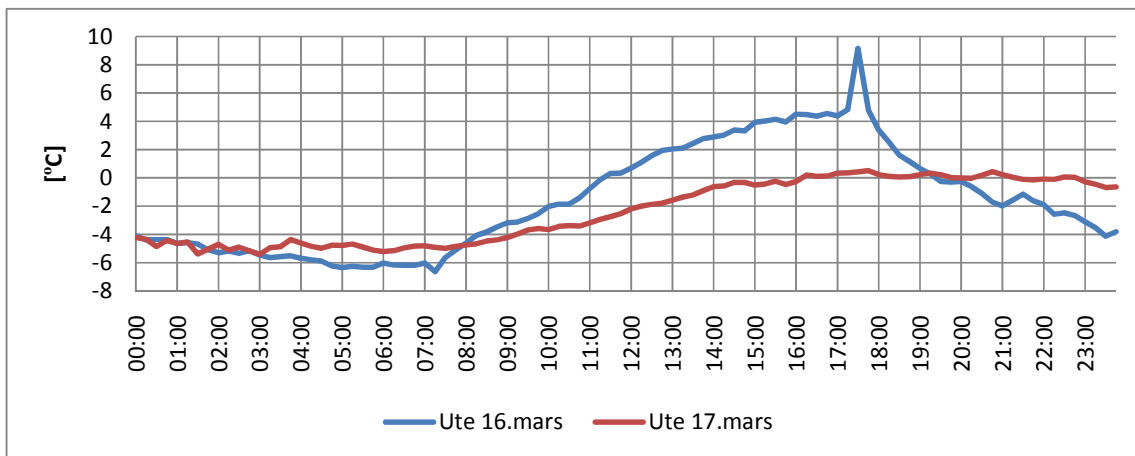


Nordstrand, ute:

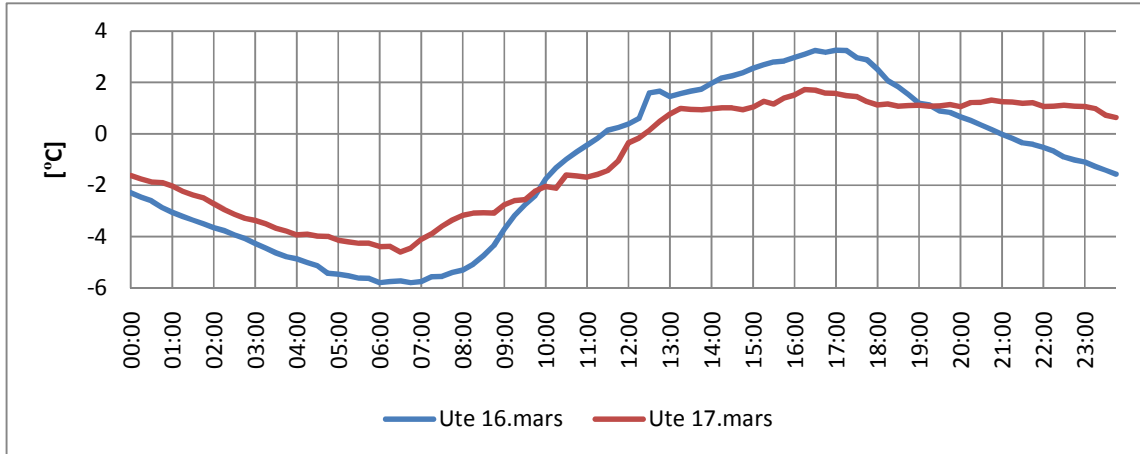


Loggeren stod eksponert for solstråling utover dagen.

Rommen, ute:

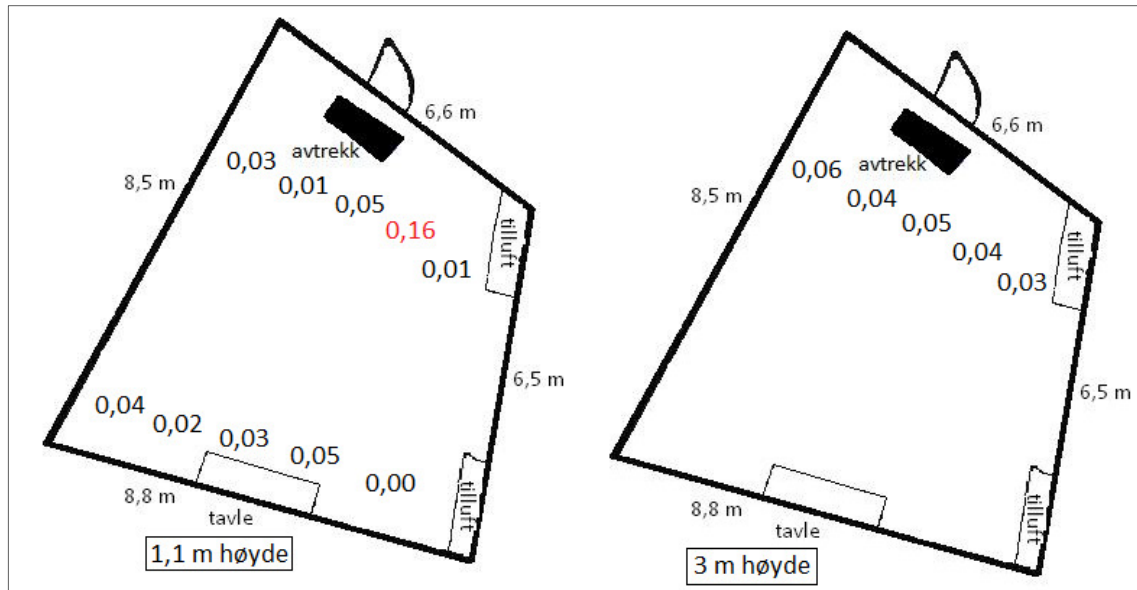


Elvebakken, ute:

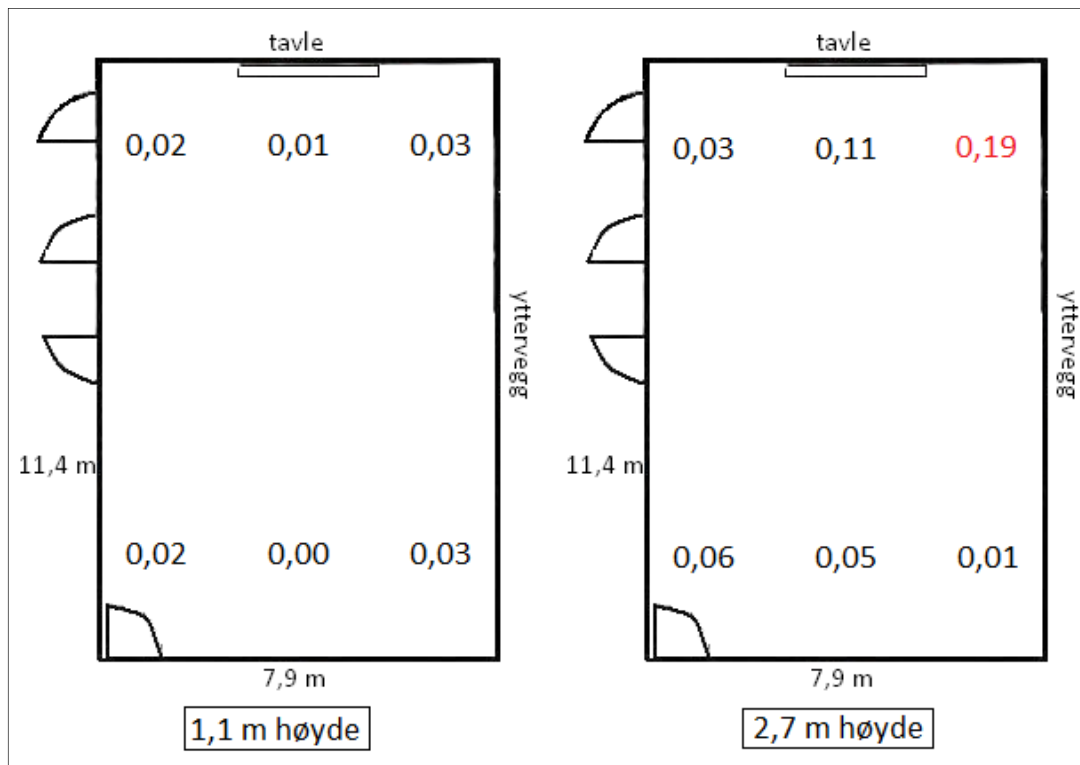


Vedlegg 6 - Lufthastighetsresultater

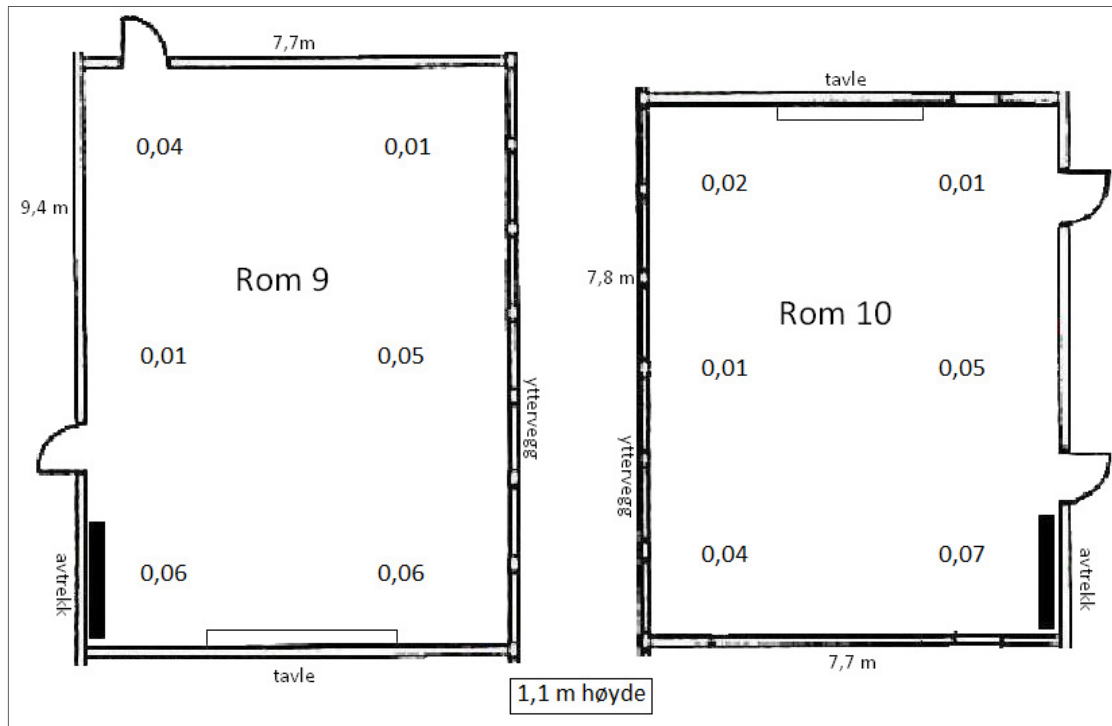
RA rom 116 ved 1,1 m og 3 m:



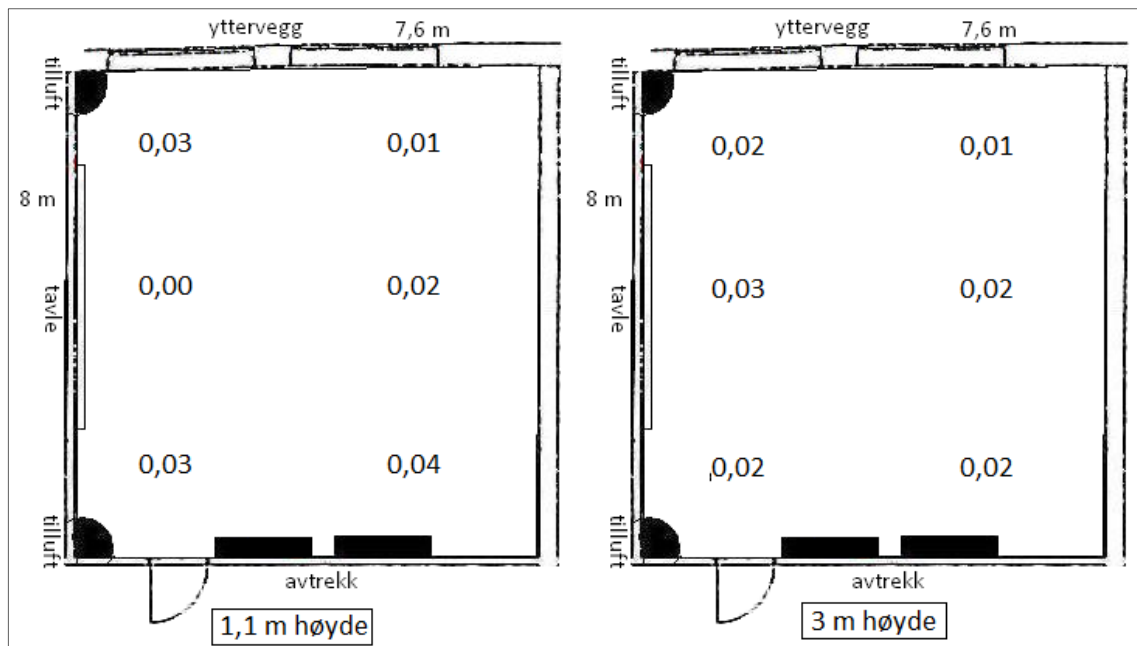
Tjodalyng rom K-1 ved 1,1 m og 2,7 m:



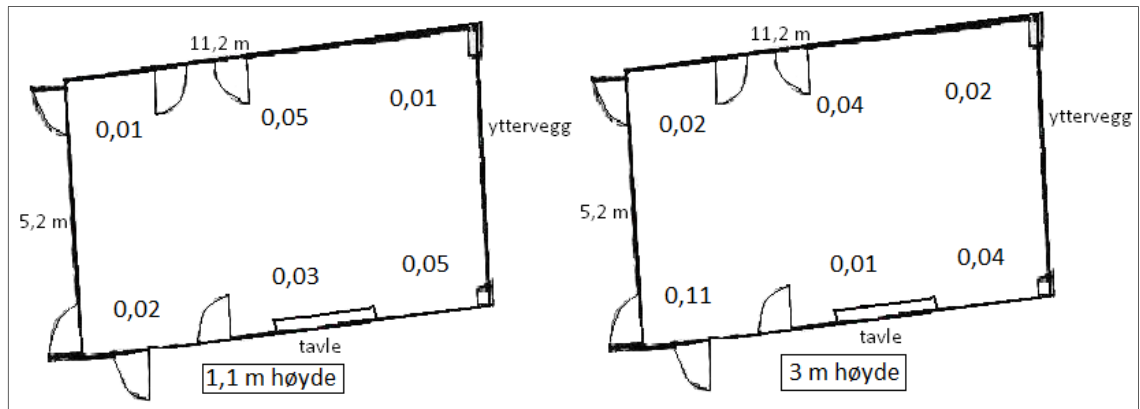
Mellomhagen rom 9 og 10, 11.mars:



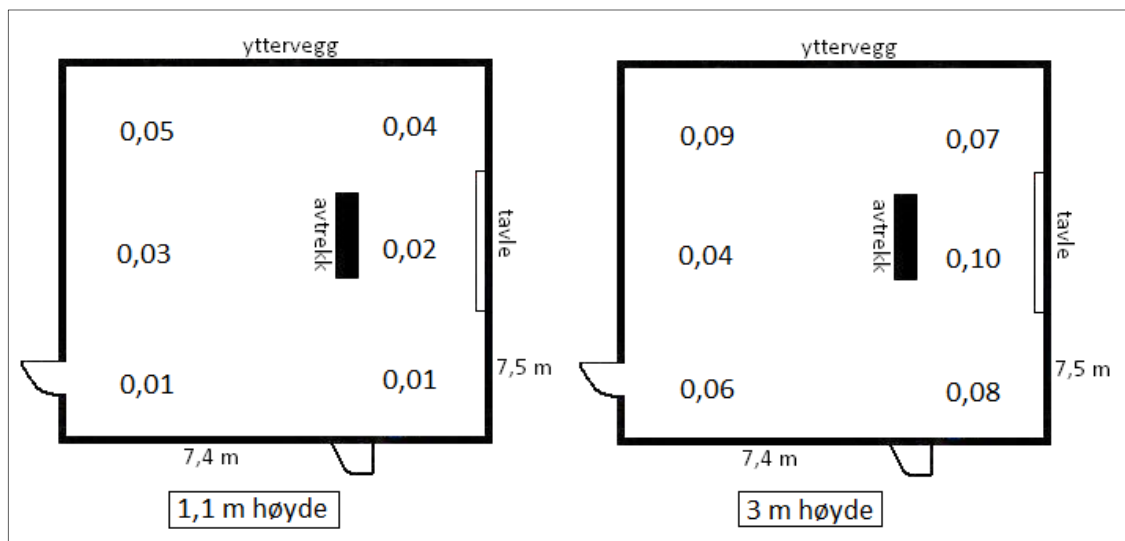
Nordstrand rom 7 ved 1,1 m og 3 m:



Rommen rom 1147 ved 1,1 m og 3 m:



Elvebakken rom 509 ved 1,1 m og 3 m:



Vedlegg 7 – SIMIEN resultater

Nordstrand rom 7:

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	7833 kWh	128,4 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	1071 kWh	17,6 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	8904 kWh	146,0 kWh/m ²

Elvebakken rom 507B:

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	3007 kWh	54,2 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	9189 kWh	165,6 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	12195 kWh	219,7 kWh/m ²

Rommen rom 2082:

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	8416 kWh	145,1 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	8416 kWh	145,1 kWh/m ²