

# Behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon i skolebygg - energibruk og inneklima

**Bendik Solhaug**

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juni 2008

Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT

Biveileder(e): Hans Martin Mathisen, EPT

Johan Halvarsson, EPT



# Oppgavetekst

Oppgaven skal utarbeides ut fra følgende punkter:

1. Innledningsvis skal kandidaten gjennomføre en spørreundersøkelse blant relevante aktører for å finne i hvilken grad prinsippet behovsstyrt ventilasjon er kjent og anvendt innen installasjons- og byggebransjen
2. Deretter skal han ta for seg to eller flere skoler i Trondheim som bruker behovsstyrt ventilasjon for å se om det er samsvar mellom intensjoner og resultat når behovsstyrt ventilasjon er benyttet. Det er her ønskelig å bruke skoler som er relativt nye og like både med hensyn til arkitektur og byggeår samtidig som det forutsettes at man ahr tilgang til detaljerte data på energibruken på skolene.
3. Resultatene skal sammenlignes opp mot skoler som ikke har behovsstyrt ventilasjon for på denne måten få sammenlignet skoler som er relativt nye, og like, og se om det er noen forskjeller ved bruk av andre styringsstrategier for ventilasjonsanlegg og energibruk i forbindelse med dette.
4. Videre skal kandidaten holde resultat opp mot eldre skoler med og uten behovsstyrt ventilasjon for å se om det er noen forbedringer i energibruk eller om det står på stedet hvil. Hvis det ikke avdekkes redusert energibruk i nyere bygg skal kandidaten gi en vurdering av grunner til at det ikke har vært det.
5. I forbindelse med energisparing ved behovsstyrt ventilasjon er det svært viktig å sammenligne hva man i teorien skal kunne spare ved simulering/beregning, og hva man faktisk sparer i det virkelige bygg. Her kan eksempelvis beregningsprogrammer av typen VIP+ eller tilsvarende benyttes. Dette punkt forutsetter at kandidaten får tilgang til nødvendige input-data samtidig som tid og arbeidsbelastning tillater det.

Oppgaven gitt: 04. februar 2008

Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT



# Masteroppgave

for

Student Bendik Tilley Solhaug

Våren 2008

Behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon i  
skolebygg - energibruk og inneklima

Innlevert: Juni 2008

Norges teknisk-  
naturvitenskapelige universitet  
NTNU

Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2008-44

## MASTEROPPGAVE

for

Student Bendik Tilley Solhaug

Våren 2008



### Behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon i skolebygg - energibruk og inneklima

*Demand Controlled Ventilation (DCV) in school buildings – energy use and indoor climate*

#### **Bakgrunn**

Av hensyn til arbeidsmiljø og inneklima i moderne bygg er tilfredsstillende ventilasjon og klimatisering av stor betydning. For å oppnå dette trenger vi avanserte tekniske installasjoner. Driften av anleggene krever imidlertid ofte opptil 50 % av elektrisitetsforbruket og 40 % av den totale energibruken, noe som sterkt påvirker både driftsøkonomi og den samfunnsmessige bærekraft på lang sikt.

I en prosjektoppgave gjennomført høsten 2007 har kandidaten satt seg inn i konseptet behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon for å undersøke i hvilken grad dette signifikant vil kunne redusere energibruken i skolebygg samtidig som kravene til godt inneklima opprettholdes. I denne Masteroppgaven er det ønskelig at han viderefører dette arbeidet og innhenter erfaringsdata og målinger fra virkelige bygg slik at det kan fremskaffes et bedre underlag for å vurdere om det er samsvar mellom teori og praksis hensyn til energibruk og inneklima ved behovsstyrt klimatisering.

Oppgaven skal gjennomføres i Trondheim og i løpet av de 14 første dagene skal oppgaven avgrenses og detaljutføres i nært samarbeid med veilederne.

#### **Mål**

Å vurdere om det er samsvar mellom teori og praksis hensyn til energibruk og inneklima ved bruk av behovsstyrt ventilasjon i skolebygg

#### **Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:**

1. Innledningsvis skal kandidaten gjennomføre en spørreundersøkelse blant relevante aktører for å finne i hvilken grad prinsippet behovsstyrt ventilasjon er kjent og anvendt innen installasjons- og byggebransjen.
2. Deretter skal han ta for seg to eller flere skoler i Trondheim som bruker behovsstyrt ventilasjon for å se om det er samsvar mellom intensjoner og resultat når behovsstyrt ventilasjon er benyttet. Det er her ønskelig å bruke skoler som er relativt nye og like både med hensyn til arkitektur og byggeår samtidig som det forutsettes at man har tilgang til detaljerte data på energibruken på skolene.

Side 1 av 3

3. Resultatene skal sammenlignes opp mot skoler som ikke har behovsstyrt ventilasjon for på denne måten få sammenlignet skoler som er relativt nye, og like, og se om det er noen forskjeller ved bruk av andre styringsstrategier for ventilasjonsanlegg og energibruk i forbindelse med dette.
4. Videre skal kandidaten holde resultatene opp mot eldre skoler med og uten behovsstyrt ventilasjon for å se om det er noen forbedringer i energibruk eller om det står på stedet hvil. Hvis det ikke avdekkes redusert energibruk i nyere bygg skal kandidaten gi en vurdering av grunner til at det ikke har vært det.
5. I forbindelse med energisparing ved behovsstyrt ventilasjon er det svært viktig å sammenligne hva man i teorien skal kunne spare, ved simulering/beregning, og hva man faktisk sparer i det virkelige bygg. Her kan eksempelvis beregningsprogrammer av typen VIP+ eller tilsvarende benyttes. Dette punkt forutsetter at kandidaten får tilgang til nødvendige input-data samtidig som tid og arbeidsbelastning tillater det.

-- ” --

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og evt. forsøksplan for oppgaven til evaluering og evt. diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved evt. 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 bearbejdet, 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 evt. 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 bygg, bedrifter, næringsvirksomheter og 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 i undervisnings- og forskningsformål, samt til publikasjoner.

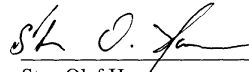
Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. (Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maks. en maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to - 2 komplette, kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til evt. medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og evt. leveres direkte til de respektive.

Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

Institutt for energi og prosesseteknikk, 25. januar 2008.

  
for Johan Hustad  
Instituttleder

  
Sten Olaf Hanssen  
Faglig ansvarlig/veileder

Medveiledere/kontaktpersoner:  
Professor II Hans Martin Mathisen, Institutt for energi- og prosesseteknikk, NTNU  
Stipendiat Johan Halvarsson, Institutt for energi- og prosesseteknikk, NTNU



## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i forbindelse med 5. årskurs ved NTNU, og er vektlagt 30 studiepoeng. Prosjektoppgaven ble skrevet våren 2008 og er utført ved Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi og Institutt for energi- og prosessteknikk. Oppgaven er utformet av Sten Olaf Hanssen, i samarbeid med undertegnede. Sten Olaf Hanssen har også vært veileder for prosjektet.

I forbindelse med prosjektet ønsker jeg først og fremst å takke Professor Sten Olaf Hanssen som har vært min veileder. Videre vil jeg takke medveileder Johan Halvarsson som alltid har stilt seg disponibel og har vært meget villig til å hjelpe. Vil også rette en takk til den andre medveilederen min Hans Martin Mathisen.

Ellers ønsker jeg å takke Tor Claussen og Jan Fredrik Kvendbø ved Trondheim Kommune som har gode tips og råd og gitt meg tilgang til tegninger av byggene som er undersøkt i oppgaven. Frode Paulsen ved GK AS fortjener også en stor takk for den hjelpen han har gitt meg under arbeidet med masteroppgaven. Til slutt ønsker jeg å takke Roger Næss som er driftsansvarlig på Charlottenlund ungdomsskole for at jeg fikk komme å se på det behosstyrte ventilasjonsanlegget på skolen, og alle som tok seg tid til å svare på spørreundersøkelsen som ble sendt ut i forbindelse med masteroppgaven.

Trondheim 30.06.2008

Bendik Tilley Solhaug

## Sammendrag

Denne masteroppgaven gikk ut på studere konseptet behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon i skolebygg, og gjøre beregninger i den forbindelse. I tillegg ble det gjennomført en spørreundersøkelse.

Spørreundersøkelsen viste at behovsstyrt ventilasjon er et velkjent begrep i bransjen, og at dette er noe som brukes i de fleste prosjekt i dag. Beregningene viste også at man sparer energi ved å bruke behovsstyrt energi, og at dette er et system man burde ta i bruk i bygninger hvor det personantallet varierer.

## Abstract

This master thesis was a study of the concept demand controlled ventilation in school buildings, and to perform some calculations on these school buildings. A questionnaire was also sent out to people in different HVAC companies.

The questionnaire showed that demand controlled ventilation is a well known concept, and that this is something that is used in almost every project today. The calculations also showed that demand controlled ventilation saves energy, and that this is a system that should be used in buildings where the number of people vary.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Spørreundersøkelse</b>	<b>3</b>
2.1	Valg av analysemetode . . . . .	3
2.2	Spørreskjema . . . . .	4
2.2.1	Strukturen i et spørreskjema . . . . .	5
2.2.2	Generelle regler for spørsmålsformulering . . . . .	6
2.2.3	Måleinstrumenter i en survey . . . . .	7
2.3	Bruk av spørreskjemaet . . . . .	8
2.3.1	Vanlige brukere . . . . .	8
2.3.2	Administratorer . . . . .	9
2.3.3	Fordeler og ulemper ved spørreskjema. . . . .	11
2.4	Datagrunnlag . . . . .	12
2.5	Frafall . . . . .	12
2.6	Svar på spørreskjema . . . . .	13
2.6.1	Byggeiere . . . . .	13
2.6.2	Entreprenører . . . . .	13
2.6.3	Konsulenter . . . . .	14
2.6.4	Produsenter . . . . .	15
2.6.5	Sammendrag av svarene på spørreskjemaet . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole</b>	<b>19</b>
3.1	Beskrivelse av Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole . . . . .	19
3.2	Systembeskrivelse av ventilasjonsanlegget på Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Energiberegninger på Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole</b>	<b>24</b>
4.1	Beregning av luftmengder i rom med VAV, CO <sub>2</sub> -/ temperaturstyring	26
4.1.1	Estimat på luftmengder i lærerrom . . . . .	28
4.1.2	Estimat på luftmengder i elevarealer . . . . .	31
4.1.3	Estimat på luftmengder i allrommet . . . . .	32
4.1.4	Estimat på luftmengder i musikk-/dramarommet . . . . .	33
4.1.5	Estimat på luftmengder i personal-/møterommet . . . . .	34
4.1.6	Estimat på luftmengder i kunst og håndverksrommet . . . . .	36
4.1.7	Estimat på luftmengder i data-/kursrommet . . . . .	37
4.1.8	Estimat på luftmengder i teknologiroommet . . . . .	37
4.1.9	Estimat på luftmengder i dataverkstedet . . . . .	38
4.1.10	Estimat på luftmengder i fritidsklubben . . . . .	39
4.1.11	Total luftmengde i rom med VAV, CO <sub>2</sub> -/ temperaturstyring	40
4.2	Beregning av luftmengder i rom med CAV, 30/100 % . . . . .	40
4.2.1	Estimat på luftmengder i møterom . . . . .	42
4.2.2	Estimat på luftmengder i kjøkken . . . . .	42
4.2.3	Estimat på luftmengder i møte-/grupperom . . . . .	42

4.2.4	Estimat på luftmengder i Formidling-/grupperom . . . . .	43
4.2.5	Estimat på luftmengder i kunst og håndverk, tre og metall . . . . .	43
4.2.6	Estimat på luftmengder i keramikk/lakk . . . . .	44
4.2.7	Estimat på luftmengder i bibliotek . . . . .	44
4.2.8	Estimat på luftmengder i natur og miljø . . . . .	44
4.2.9	Total luftmengde CAV 30/100 %, tilstedeværelse/temperatur . . . . .	45
4.3	Beregning av luftmengder i rom med CAV . . . . .	45
4.4	Total luftmengde på Charlottenlund og Åsheim . . . . .	45
4.5	Energibetraktninger Charlottenlund og Åsheim . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Blussuvoll ungdomsskole</b>	<b>53</b>
5.1	Beskrivelse av Blussuvoll ungdomsskole . . . . .	53
5.2	Systembeskrivelse av ventilasjonsanlegget på Blussuvoll ungdomsskole . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Energiberegninger Blussuvoll ungdomsskole</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Diskusjon og konklusjon</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Anbefalinger</b>	<b>60</b>
<b>A</b>	<b>PHP-kode til internettsidene</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Internettsidene</b>	<b>VII</b>
<b>C</b>	<b>Plantegninger av Åsheim Ungdomsskole</b>	<b>VIII</b>
<b>D</b>	<b>Plantegning Blussuvoll ungdomsskole</b>	<b>XIII</b>
<b>E</b>	<b>Systemskjema av ventilasjonsanlegget på Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole</b>	<b>XVII</b>
<b>F</b>	<b>Systemskjema av ventilasjonsanlegget på Blussuvoll Ungdomsskole</b>	<b>XXIV</b>
<b>G</b>	<b>Rommatriser Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole</b>	<b>XXXI</b>
<b>H</b>	<b>Rommatriser Blussuvoll ungdomsskole</b>	<b>XXXVII</b>
<b>I</b>	<b>Oversikt over ligninger som brukes til å finne estimat på total luftmengde i rom med VAV, CO<sub>2</sub>/temperatur-styring.</b>	<b>XLVI</b>
<b>J</b>	<b>Beregninger</b>	<b>XLVIII</b>
J.1	Estimat på luftmengder på Charlottenlund og Åsheim . . . . .	XLVIII
J.1.1	Estimat på luftmengder i lærerrom . . . . .	XLVIII
J.1.2	Estimat på luftmengder i elevarealer . . . . .	LIII
J.1.3	Estimat på luftmengder i allrommet . . . . .	LVIII
J.1.4	Estimat på luftmengder i musikk-/dramarommet . . . . .	LX

---

J.1.5	Estimat på luftmengder i personal-/møterommet . . . . .	LXV
J.1.6	Estimat på luftmengder i kunst og håndverksrommet . . . . .	LXX
J.1.7	Estimat på luftmengder i teknologirommet . . . . .	LXXIV
J.1.8	Estimat på luftmengder i fritidsklubben . . . . .	LXXVIII

## Figurer

1	Innloggingssiden til spørreskjemaet . . . . .	8
2	Internettsiden hvor respondenten velger type bruker . . . . .	8
3	Spørreskjema for byggeiere . . . . .	9
4	Administratormeny . . . . .	10
5	Legge til nye brukere . . . . .	10
6	Internettsiden som viser brukere som ikke har svart å spørreskjemaet	11
7	Internettsiden som viser byggeiere som har svart på spørreskjemaet	11
8	Internettsiden som viser svarene til en byggeier . . . . .	12
9	Tilstedeværelsefordeling på Berg . . . . .	29
10	Energiforbruk Charlottenlund Ungdomsskole 2007 . . . . .	47
11	Energiforbruk Åsheim Ungdomsskole 2007 . . . . .	48
12	Energiforbruk Blussuvoll Ungdomsskole 17.06.07-17.06.08 . . .	58

## Tabeller

1	Svarfordeling byggeiere . . . . .	13
2	Svarfordeling entreprenører . . . . .	15
3	Svarfordeling konsulenter . . . . .	16
4	Svarfordeling produsenter . . . . .	18
5	Systemoppdeling luftbehandlingsanlegg og luftmengder . . . . .	19
6	Energibudsjett Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole . . . . .	24
7	Oversikt over rom med VAV, CO <sub>2</sub> /temperatur . . . . .	27
8	Oversikt over rom med CAV, 30/100 % tilstedeværelse/temperatur på Charlottenlund og Åsheim . . . . .	41
9	Oversikt over rom med CAV på Charlottenlund og Åsheim . . . . .	50
10	Estimat på energibruk Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole ved senkede luftmengder . . . . .	50
11	Estimat på energibruk Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole ved senkede luftmengder og senket energibruk av vifter . . . . .	51
12	Luftmengder Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole . . . . .	51
13	Estimat på luftmengder på Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole . . . . .	52
14	Estimat på energibruk på Blussuvoll ungdomsskole . . . . .	58



# 1 Innledning

Tilfredsstillende ventilasjon av skolebygg er viktig for å sikre et godt inneklima og gode arbeidsforhold for elever og ansatte. Ventilasjonsanlegget består av avanserte tekniske installasjoner og driften av disse anleggene kan kreve opptil 50% av elektrisitetsforbruket og 40% av den totale energibruken.

Denne masteroppgaven er en videreføring av en prosjektoppgave gjennomført høsten 2007, hvor konseptet behovsstyrt ventilasjon ble studert for å undersøke i hvilken grad dette signifikant vil kunne redusere energibruken i skolebygg samtidig som kravene til godt inneklima opprettholdes. Det var i denne masteroppgaven ønskelig å videreføre arbeidet fra prosjektoppgaven, ved å ta steget fra det generelle og over til konkrete bygg. Dette gjennomføres ved å innhente erfaringsdata og målinger fra virkelige bygg for å kunne undersøke om det er samsvar mellom teori og praksis. Spørsmålet som stilles er om man sparer energi ved å bruke behovsstyrt ventilasjon i virkelige bygg, eller om det bare ser bra ut på papiret.

I utgangspunktet skulle oppgaven gjennomføres i fem deler. Den første delen gikk ut på å gjennomføre en spørreundersøkelse blant relevante aktører i bransjen, for å prøve å få svar på hvor utbredt behovsstyrt ventilasjon er og i hvilken grad dette ventilasjonsprinsippet er kjent og anvendt innen installasjons- og byggebransjen. I neste punkt skulle to, eller flere, skoler med behovsstyrt ventilasjon og som samtidig var forholdsvis like med hensyn til arkitektur og byggeår sammenlignes for å se om det var noen forskjell i energibruk til ventilasjon på forholdsvis like bygg. Deretter skulle disse byggene sammenlignes opp i mot skoler som var like i forhold til arkitektur og byggeår, men som ikke har behovsstyrt ventilasjon, for å avdekke eventuelle forskjeller i energibruk i forbindelse med dette. Videre skulle disse igjen sammenlignes med skoler som var eldre, både med og uten behovsstyrt ventilasjon, for å se om man står på stedet hvil i forhold til energibruk og ventilasjonsstrategier som brukes. Til slutt skulle det gjøres simulering på skolene for gjøre en sammenligning på hva man i teorien kan spare, og det man virkelig sparer.

I løpet av gjennomføringen av oppgaven er det imidlertid gjort noen endringer på disse punktene. Hovedårsaken til dette var manglende tilgang til forespeilt data. Som en forutsetning når denne oppgaven ble utformet, var at det fantes tilgang på formålsfordelt data på skolene som skulle studeres. Dette ville gjort at man for eksempel kunne ha hentet ut hvor mye energi viftene på skolen bruker osv. Disse dataene fantes dog ikke, og dette kompliserte hele prosessen. Det fantes energistatistikk på skolene, men den eneste oppdelingen var i fjernvarme og fastkraft. Dermed måtte man ta en del antagelser og deretter gjøre et estimat på energibruken.

Videre skulle det vise seg vanskelig å finne eldre skoler som var tilfredsstillende nok til at de kunne brukes i punkt 4. Det finnes eldre skoler i Trondheim, men de fleste av disse er oppusset og kan i praksis ses på som nye med tanke på byggematerialer. Dermed ble det vanskelig å få gjennomført dette punktet skikkelig. Dette i tillegg til problemene nevnt over, medførte at dette punktet ble prioritert bort, for å heller holde mer fokus på del 2 og 3 av oppgaven siden disse også alene

kunne gi fornuftige svar på oppgaven.

Punkt fem ble også bortprioritert hovedsaklig på grunn av tid og arbeidsbelastning. Det som viste seg å være et problem her, var å finne program som kunne håndtere behovstyrte ventilasjonsanlegg som styres etter både CO<sub>2</sub> og temperatur og samtidig ikke var alt for avanserte. Det ble ikke funnet noe program som innfridde disse kravene.

Konklusjonen fra dette blir at hovedvekten legges på punkt 1, punkt 2 og punkt 3 i denne oppgaven.

## 2 Spørreundersøkelse

I innledningen av denne masteroppgaven ble det utført en spørreundersøkelse blant personer i VVS bransjen. Disse igjen kunne være byggeiere, entreprenører, konsulenter eller produsenter. Selve spørreskjemaet er utformet av Sten Olaf Hans, Johan Halvarsson og Hans Martin Mathisen. Det har i denne oppgaven blitt laget et webgrensesnitt for innhenting av svar/data fra respondentene, for å effektivisere denne delen (se vedlegg A for kildekode til nettsidene). Det ble også opprettet en database til å håndtere svardataene. Formålet med spørreundersøkelsen var å få et innblikk i hvor kjent behovsstyrt ventilasjon (DCV) er i bransjen, og hvilke erfaringer de forskjellige aktørene har med denne typen ventilasjon.

I dette kapitlet vil det bli sett på hvilke grunnleggende metode som er valgt for å samle inn data. Denne vil bli beskrevet og det vil bli gitt en begrunnelse for hvorfor den har blitt valgt.

### 2.1 Valg av analysemetode

Analysemetoden, eller forskningsdesignet som det også kalles, er forskerens plan eller skisse for en undersøkelse. Denne kan klassifiseres etter en rekke faktorer. En av disse faktorene er skille mellom kvalitative og kvantitative forskningsopplegg, som av mange også blir sett på som det grunnleggende metodevalget [?]. På et helt enkelt og grunnleggende nivå kan man si at hovedforskjellen mellom de to er at kvantitative metoder gir talldata og kvalitative metoder gir tekstdata, eller som Tove Thagaard har uttalt det [?]:

“Kvalitative metoder søker å gå i dybden og vektlegger betydning, mens kvantitative metoder vektlegger utbredelse og antall”.

Formålet med kvantitativ design skal som navnet indikerer svare på kvantitative spørsmål, eksempel på slike spørsmål kan være hvor mange prosent av befolkningen som kommer til å stemme ved neste stortingsvalg, og hvor mange som har avtjent førstegangstjeneste. Det er ofte vanlig med ganske store representative utvalg i slike design. Kvalitative design derimot, går mer inn på å for eksempel finne ut hvordan forholdene er for kvinner i militæret, og hva som blir gjort for å tilrettelegge for kvinner og hvordan de mestrer hverdagen i et mannsdominert miljø.

I de fleste tilfeller vil selve forskningsspørsmålet og det fenomen som studeres angi det forskningsdesignet eller teknikken som passer best for datainnsamlingen [?]. For å belyse problemstillingen i denne oppgaven har kvantitativ metode blitt benyttet. Som nevnt over, foreligger datamaterialet i tall ved kvantitativ metode, i motsetning til kvalitativ metode hvor datamaterialet foreligger som tekst. Spørsmålene i spørreskjemaet som har blitt utarbeidet og brukt i denne oppgaven er på formen, “1. Kjenner du til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon?”, “2. Hvis ja på spørsmål 1, har behovsstyrt ventilasjon blitt valgt i noen av deres prosjekter?”, “3. Hvis ja på spørsmål 2, hvorfor ble behovsstyrt ventilasjon valgt i

disse bygningene?” etc. Det som kjennetegner disse spørsmålene er at man for eksempel kan telle opp hvor mange av de som er spurt som kjenner til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon, og hvor mange av dem igjen som har brukt dem i sine prosjekter osv., noe som helt klart kjennetegner en kvantitativ metode.

Når det gjelder selve dataene, er det vanlig å skille mellom to typer: Primærdata og sekundærdata [?]. Primærdata er data som innsamles av forskeren selv, mens sekundærdata er data som allerede foreligger som for eksempel statistikk fra SSB (Statistisk sentralbyrå). Det betyr at det i denne oppgaven er snakk om primærdata, siden dataene er samlet inn i løpet av gjennomføringen av masteroppgaven. Når primærdata innhentes skilles det gjerne mellom disse teknikkene: Spørreskjema, intervju, observasjon, og fysiske/medisinske målinger i eksperimenter. I denne oppgaven er det teknikken spørreskjema som har blitt brukt, og den skal vi komme nærmere inn på i delkapittel 2.2.

## 2.2 Spørreskjema

Et spørreskjema er et skjema som inneholder spørsmål som respondenten skal svare på. Det er forskjellige måter respondenten kan svare på skjemaet på, hvor de vanligste er at enten selve skjemaet blir sendt pr. post eller e-post, eller at respondenten får spørsmålene via en internettside, over telefon eller ved et personlig besøk. I denne oppgaven ble det sent en epost til respondentene med spørsmål om de ville delta og med en link til selve spørreskjemaet som ble besvart via en internettside.

I forbindelse med spørreskjemaer sier man gjerne at det har to dimensjoner, hvor den ene er grad av nærhet og den andre er grad av standardisering [?]. Grad av nærhet sier noe om den fysiske avstanden man har til fenomenet man studerer. For eksempel vil et spørreskjema som sendes ved hjelp av e-post eller som blir besvart på internett ha liten grad av nærhet, i motsetning til et besøksintervju, hvor intervjuer og respondent møtes, som har stor grad av nærhet. Den andre dimensjonen, grad av standardisering, skiller mellom to grader: Høyt og lavt standardiserte intervjuer. At et spørreskjema har høy standardisering vil si at de som blir spurt får helt identiske spørsmål, og at de fremføres på den helt samme måten. Ved lav standardisering derimot, kan man være mer fleksibel rundt spørsmålene. Under et telefon- eller besøksintervju kan intervjueren for eksempel spinne videre på spennende tråder som dukker opp under når spørsmålene stilles, noe man ikke kunne gjort ved et spørreskjema med høy grad av standardisering. Fordelen med en høy standardisering er at man kan utelukke tilfeldige målefeil og gi mer pålitelige data. På den andre siden får man ulempen at man ikke kan følge opp interessante ting som kan dukke opp under intervjuet. Spørreskjemaet i denne oppgaven har lav grad av nærhet siden det blir besvart over internett, og høy standardisering siden det er de samme spørsmålene som blir stilt (innenfor de fire undergruppene byggeier, entreprenør, konsulent og produsent) og de blir fremstilt på eksakt samme måte gjennom en nettside.

Svarene fra respondenten i denne undersøkelsen blir lagret i en MySQL-database på serveren til NTNU. For å få tilgang til svarene til den enkelte respondent er det laget en nettside som man må ha adminrettigheter for å få tilgang til.

### 2.2.1 Strukturen i et spørreskjema

Gjennomføringen av en spørreundersøkelse kan deles inn i flere trinn [?]. Det første trinnet går på utforming av forskningsspørsmålene, eller problemstillingene. I denne fasen har forskeren en idé om hva som skal studeres og hva selve surveyen skal gå ut på, og forskjellige problemstillinger settes opp.

Etter at problemstillingen er satt opp, og man har en idé om hva man vil studere, går man videre til å definere eventuelle deltema i spørreundersøkelsen. I denne oppgaven var ikke selve spørreskjemaet så stort, så man kan si at den hadde et deltema; behovsstyrt ventilasjon og bransjens kjennskap til dette begrepet.

Deretter går man over til formulere spørsmålene som skal være med i spørreskjemaet. Spørsmålene er selve måleinstrumentet i surveyen, og vil bli sett nærmere på i kapittel 2.2.3.

Etter at spørsmålene er utformet, og spørreskjemaet er klart, er det vanlig å ha en forundersøkelse. Denne går ut på å sende spørreskjemaet til et mindre utvalg personer som gir tilbakemeldinger på hvordan det gikk. Dette gjør man for å se hvordan spørreskjemaet fungerer i praksis, og vil si om det trengs å gjøre noen endringer før spørreskjemaet får sin endelige form og sendes ut til hovedutvalget av respondenter. I denne oppgaven ble et lite utvalg personer fra klassen valgt til å svare på spørreundersøkelsen, i tillegg til at Johan Halvarsson fikk gjennomføre spørreundersøkelsen. Det var ingen nevneverdige endringer på spørreskjemaet, bortsett fra et par omformuleringer på et par spørsmål. Deretter ble det sendt en epost til utvalget av respondenter som er valgt ut av Johan Halvarsson og Sten Olaf Hanssen hvor de ble spurt om de kunne svare på undersøkelsen sammen med en link til internettsiden som registrerer svarene. Svarene ble registrert elektronisk i en MySQL-database, og når svarene hadde kommet inn startet den statistiske bearbeidingen.

I innledningen til spørreskjemaet bør det være en innledning som gir en kort presentasjon av formålet med undersøkelsen og hvem som står bak, person(er) og institusjon. Respondenten bør også gjøres klar over at deltagelse er frivillig, men at det er viktig for verdien av undersøkelsen at den enkelte respondent deltar. Dette ble tatt hånd av i eposten som sendes ut til respondentene.

Videre bør spørreskjemaet åpne med lette, nøytrale spørsmål og ufarlige spørsmål, slik at respondenten blir motivert til å fortsette og fullføre spørreskjemaet. Dette er viktig for å få opp svarprosenten. Dette er sikret i dette spørreskjemaet ved at det stilles enkle spørsmål av typen "Kjenner du til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon?".

Det neste som er viktig er å holde seg til et tema om gangen. Oppsplittelse av tema vil virke forvirrende for respondenten og gjøre at svarprosenten kan falle. Dette vil imidlertid ikke være noen fare i denne oppgaven da den holder seg til et tema hele tiden, nemlig behovsstyrt ventilasjon.

Innenfor hvert tema brukes den såkalte “trakt-teknikken”. Den går ut på at man først stiller generelle spørsmål, for deretter å stille mer spesifikke. Dette er også sikret i oppgaven ved å først starte med et spørsmål om generell kjennskap til begrepet behovsstyrt ventilasjon, for deretter å komme mer spesifikt inn på dette temaet.

### 2.2.2 Generelle regler for spørsmålsformulering

Det finnes et sett med regler når man skal utforme spørsmål i en survey, hvor de viktigste er:

- Tilpass formuleringer etter målgruppen. Skal undersøkelsen sendes til et tilfeldig utvalg av befolkningen, bruk formuleringer som er forståelig for alle og unngå faguttrykk og fremmedord. Skal undersøkelsen sendes ut til en gruppe med personer som har temaet som fagområde kan faguttrykk anvendes.
- Det er ikke nødvendig å være original når man utarbeider spørreskjemaet. Det er viktigere at respondentene skjønner spørsmålene og svaralternativene, slik at det ikke kommer inn uriktige svar på grunn av feiltolkning av spørsmålene eller svaralternativene.
- Ikke lag spørsmålene for lange. Det er vanlig å sette grensen på spørsmåls-lengden i et spørreskjema til mellom 20 og 30 ord. Blir spørsmålene lenger enn dette vil det for noen respondenter oppfattes som vanskelig. Ved å gjøre spørsmålene innenfor den anbefalte lengden gjør dette også at spørsmålene blir klarere og det tar kortere tid å svare på spørsmålene, noe som igjen høyner svarprosenten.
- Ikke still flerdimensjonale spørsmål, det vil si spørsmål som spør hvor det stilles mer enn en ting samtidig. Et eksempel på dette i forbindelse med behovsstyrt ventilasjon kan være: “Bør kommunene øke budsjettet til skolesektoren slik at man kan investere i behovsstyrt ventilasjon?”. Hvis en respondent svarer “Ja” på dette spørsmålet, vet man egentlig ikke hva som måles. Er svaret gitt ut i fra et ønske hos respondenten om å øke skolebudsjettet, eller ut i fra et ønske om å få behovsstyrt ventilasjon i skoler, eller et ønske om begge deler.
- Unngå ledende spørsmål. Visse ord har en positiv eller negativ klang som kan trekke respondenten til en bestemt retning, og sånn sett være ledende for det svaret respondenten gir. Et eksempel på dette kunne vært et spørsmål på denne formen: ‘Er du for eller i mot behovsstyrt ventilasjon, som har vist seg å være svært energieffektivt, i norske skoler?’. Her vil respondenten ledes til å svare “Ja” på grunn denne delen av setningen: “..som har vist seg å være svært energieffektivt, ..”. Dette eksempelet var satt litt på spissen for å understreke poenget, men i andre tilfeller kan slike ledende spørsmål være

verre å oppdage. Derfor bør man gå skikkelig igjennom spørreskjemaet slik at dette unngås.

- Alle mulige svarmuligheter må være med i lukkede spørsmål (forklaring på hva dette er i delkapittel 2.2.3. Dette setter store krav til den som utformer spørreskjemaet, men det er viktig å unngå at visse svaralternativer mangler. At svaralternativer mangler kan føre til en opphopning i kategorier som “Andre svar”, “Både og” og “Vet ikke”. Samtidig kan det føre til at spørsmålet blir ledende siden respondenten blir ledet til å svare noe annet enn det han eller hun egentlig mener.
- Ikke ha for mange svarkategorier. Selv om det er viktig å dekke alle mulige svaralternativer ved lukkede spørsmål, er det også viktig å begrense antall svarmuligheter slik at det ikke blir for tungt for respondenten å lese gjennom alle alternativene.

### 2.2.3 Måleinstrumenter i en survey

Måleinstrumentet i en survey er selve spørsmålene man finner i spørreskjemaet. Disse spørsmålene deles ofte grovt inn i to grupper: Lukkede og åpne spørsmål [?].

**Lukkede spørsmål:** I et spørreskjema er dette den mest benyttede formen på spørsmålene. Denne typen spørsmål har faste svaralternativer som respondenten må krysse av ved det svaralternativet som passer best. Fordelen med lukkede spørsmål hvor man har faste svaralternativer er at det tar kortere tid for respondenten å fylle ut spørreskjemaet. Dette igjen kan føre til en høyere svarprosent. Dataregistreringen og dataanalysen vil forenkles ved lukkede spørsmål, siden det blir lettere å sammenligne svarene når respondentene har samme svaralternativer. Dette fører også til at spørreskjemaet standardiseres. Ulempen ved dette er at det kan hende respondentene ikke finner svaralternativer som passer for deres meninger. For å unngå dette må man være grundig i utformingen av svaralternativene, slik at man dekker flest mulig svar.

**Åpne spørsmål:** I åpne spørsmål formulerer respondenten selv svarene, dermed unngår man problemet med at respondenten ikke finner et svaralternativ som dekker hans eller hennes mening. Dermed vil man i visse tilfeller kunne få svar som man kanskje ikke hadde tenkt på når svaralternativene ble utformet ved lukkede spørsmål. Ved åpne spørsmål kan det imidlertid bli vanskeligere å sammenligne svarene, hvis det kommer mange forskjellige svar og med ulike formuleringer i tillegg. Dette vil også øke vanskelighetsgraden, og dermed ta lengre tid, for respondenten, noe som medfører at man vil få en lavere svarprosent. Det er viktig å få lagret svarene på åpne spørsmål så nøyaktig som mulig, dette er imidlertid ikke noe problem i denne oppgaven da svarene registreres og lagres elektronisk nøyaktig slik respondenten skrev dem inn.

Åpne spørsmål brukes ofte sammen med lukkede spørsmål, det vil si at svardelen består av både lukkede svaralternativer og et eget kommentarfelt hvor respondenten kan skrive inn egne kommentarer. Dette gir respondenten muligheten

til å legge inn egne svar i tillegg til svaralternativene som allerede er der eller utdype dem.

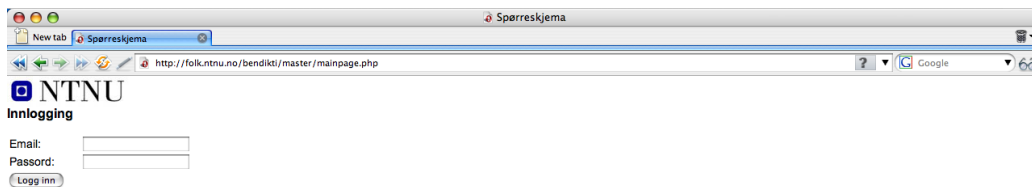
I spørreskjemaet i denne oppgaven er det i noen tilfeller brukt lukkede spørsmål og i andre brukt lukkede spørsmål i kombinasjon med åpne spørsmål.

## 2.3 Bruk av spørreskjemaet

Dette delkapittelet tar for seg hvordan spørreskjemaet fungerer, og hvilke muligheter man har som vanlig bruker og bruker med administratorrettigheter.

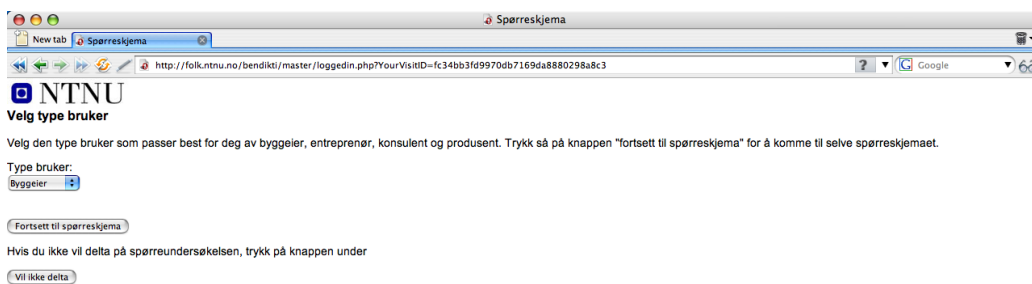
### 2.3.1 Vanlige brukere

Den første siden respondentene på spørreundersøkelsen kommer til er selve innloggingssiden, og er vist i figur 1:



Figur 1: Innloggingssiden til spørreskjemaet

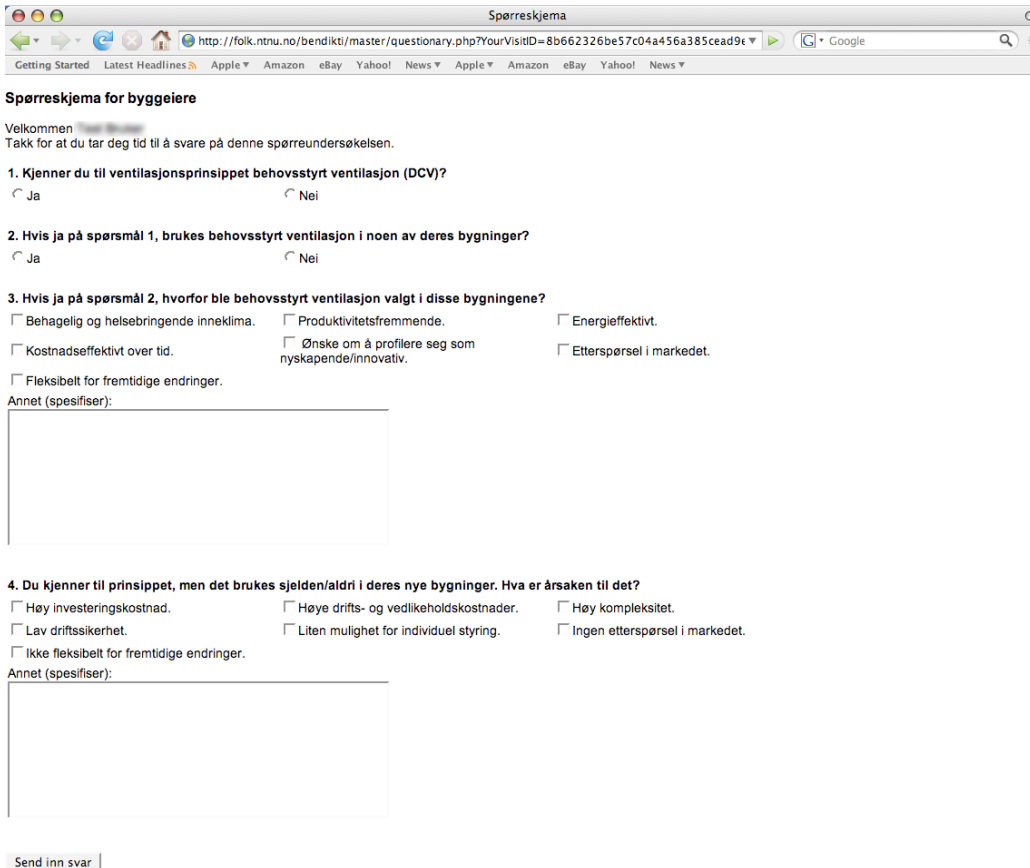
På denne siden logger brukeren inn med epostadressen sin og et passord som har blitt tilsendt på epost. I tilfeller hvor brukeren er en respondent som skal svare på spørreskjemat, og altså ikke har administratorrettigheter, vil personen komme til siden vist i figur 2.



Figur 2: Internettetsiden hvor respondenten velger type bruker

Som man ser av figur 2 får respondenten her en “rullgardinmeny” hvor han eller hun kan velge den typen bruker som passer best av “byggeier”, “entreprenør”, “konsulent” og “produsent”. I tillegg finnes det en mulighet for å gi beskjed om at man ikke vil delta. Når brukeren klikker videre på knappen merket med “fortsett til spørreskjema”, vil han eller hun komme til et spørreskjema som vil inneholde litt forskjellig spørsmål avhengig av hvilken av de fire brukere respondenten valgte. Et eksempel på en side med et slikt spørreskjema er vist i figur 3.





Spørreskjema

http://folk.ntnu.no/bendikti/master/questionary.php?YourVisitID=8b662326be57c04a456a385cead9e

Getting Started Latest Headlines Apple Amazon eBay Yahoo! News Apple Amazon eBay Yahoo! News

**Spørreskjema for byggeiere**

Velkommen  
Takk for at du tar deg tid til å svare på denne spørreundersøkelsen.

**1. Kjenner du til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon (DCV)?**

Ja  Nei

**2. Hvis ja på spørsmål 1, brukes behovsstyrt ventilasjon i noen av deres bygninger?**

Ja  Nei

**3. Hvis ja på spørsmål 2, hvorfor ble behovsstyrt ventilasjon valgt i disse bygningene?**

Behagelig og helsebringende innelima.  Produktivetsfremmende.  Energieffektivt.  
 Kostnadseffektivt over tid.  Ønske om å profilere seg som nyskapende/innovativ.  Etterspørsel i markedet.  
 Fleksibelt for fremtidige endringer.

Annet (spesifiser):

**4. Du kjenner til prinsippet, men det brukes sjelden/aldri i deres nye bygninger. Hva er årsaken til det?**

Høy investeringskostnad.  Høye drifts- og vedlikeholdskostnader.  Høy kompleksitet.  
 Lav driftssikkerhet.  Liten mulighet for individuell styring.  Ingen etterspørsel i markedet.  
 Ikke fleksibelt for fremtidige endringer.

Annet (spesifiser):

Send inn svar

Figur 3: Spørreskjema for byggeiere

Dette er det spørreskjemaet respondenten kommer til om han eller hun velger brukeren “byggeier”. Tilsvarende spørreskjema finnes for de andre brukerne, dog med litt andre spørsmål. Når respondenten har svart på undersøkelsen og sender den inn ved å trykke på knappen “send inn svar”, får han eller hun en beskjed som takker for at vedkomnet tok seg tid til å svare på undersøkelsen. Svarene vil nå være lagret på en MySQL-database, og være tilgjengelig for brukere med administrator rettigheter på internettsiden.

### 2.3.2 Administratorer

Administratorer bruker samme innloggingsside som respondentene, vist i figur 1. Forskjellen ser man først når man logger inn, har brukeren administratorrettigheter vil brukeren sendes til hovedsiden for administratorer. Her ligger det en administratormeny, som inneholder valgene som er vist i figur 4.

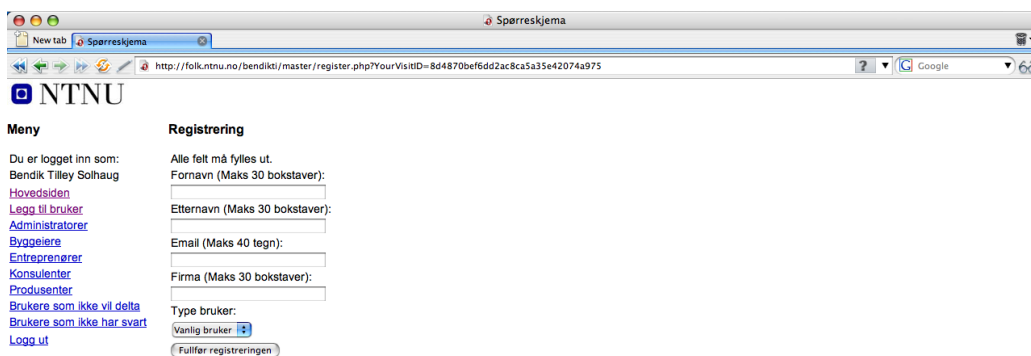
Som man ser av figur 4, så har en administrator følgende valg: Legge til en ny bruker, se hvilke brukere som har administratorrettigheter, se hvilke brukere som har svart spørreskjema for henholdsvis byggeier, entreprenør, konsulent og produsent. I tillegg har en administrator mulighet til å se hvilke brukere som ikke vil delta på spørreundersøkelsen og hvilke brukere som ikke har svart enda samt



Figur 4: Administratormeny

utloggingsmulighet.

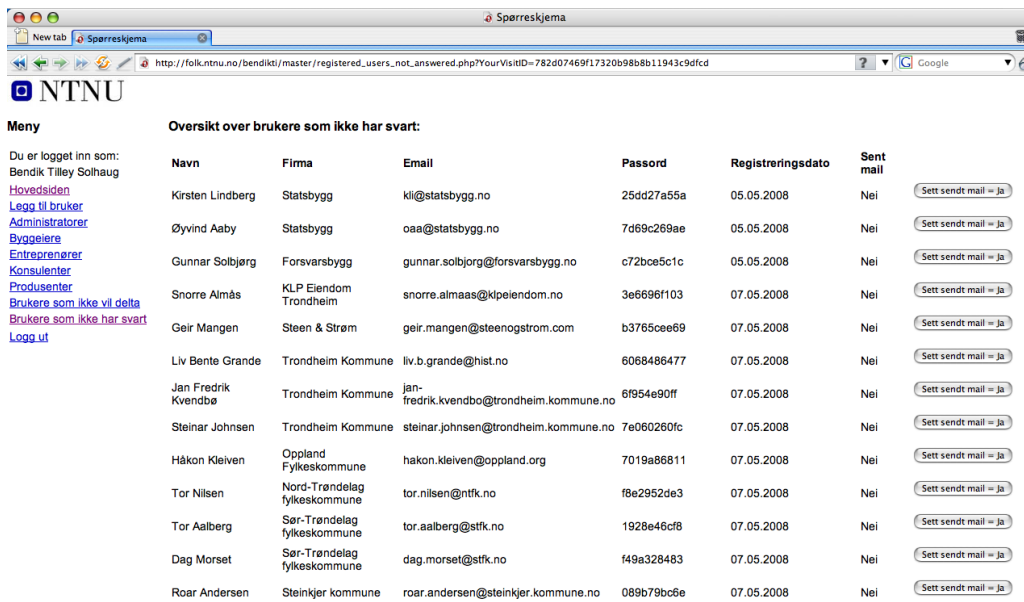
Fremgangen for en administrator vil vanligvis være at han eller hun først legger til en ny bruker. Ved å bruke linken i menyen kommer man da til siden hvor man kan registrere nye brukere (figur 5)



Figur 5: Legge til nye brukere

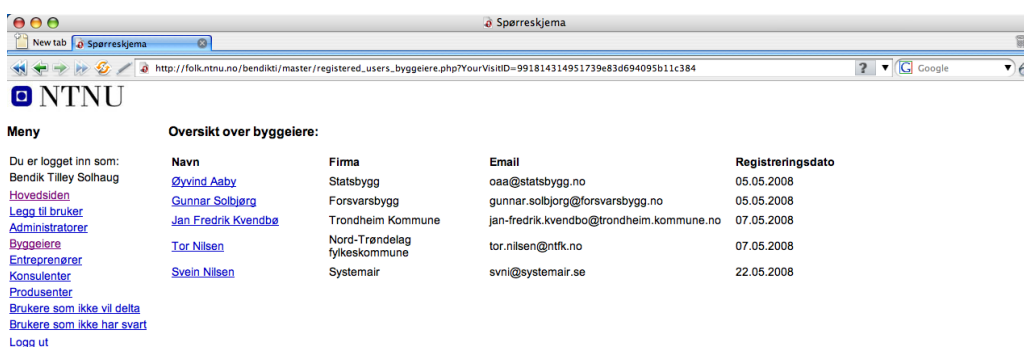
Som man ser av figur 5 må man legge til fornavn, etternavn, epostadresse og firma, i tillegg må man velge om brukeren man legger til skal være en “vanlig bruker” eller “administrator”. Når man trykker på “fullfør registreringen”, vil brukeren bli lagret og vises i listen over “brukere som har svart”. Denne siden er vist i figur 6

Her har man da en oversikt over alle brukere som er lagt til, men som ikke har svart på spørreundersøkelsen enda. Som man ser av figur 6, har man en oversikt over hvilke brukere man har sendt epost til og hvilke man ikke har sendt til. Dette gjør det lettere å holde orden på hvem man har sendt epost til, slik at man unngår å sende samme epost flere ganger til samme person. Så fort man har sendt epost til en av brukerne, oppdaterer man listen ved å trykke på knappen “Sett sendt mail = Ja” som da endrer sendt mail statusen til “ja” umiddelbart.



Figur 6: Internettssiden som viser brukere som ikke har svart å spørresjemaet

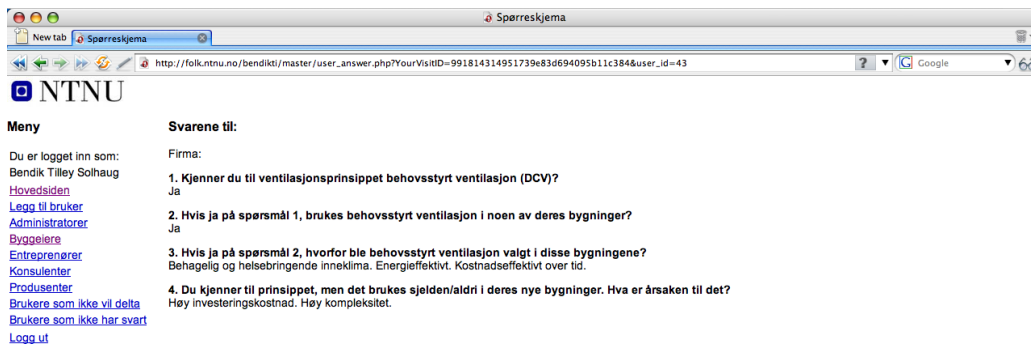
Videre har administratorer mulighet til å se hva de forskjellige brukerne har svart på spørresjemaet. Ved å gå inn på linken “Byggeiere” får man en oversikt over alle byggeiere, på akkurat samme måte som listen over brukere som ikke har svart og som er vist i figur 6. Den eneste forskjellen er man i denne listen er at det for hver bruker er en link man kan trykke på for å se svarene til den brukeren. En tilsvarende liste finnes det også for “entreprenører”, “konsulenter” og “produsenter”. I figur 8 er det vist et eksempel på hvordan svarene til en bruker som er registrert som “byggeier” blir representert. Tilsvarende sider finnes for “entreprenører”, “konsulenter” og “produsenter”, disse kan finnes i vedlegg.



Figur 7: Internettssiden som viser byggeiere som har svart på spørresjemaet

### 2.3.3 Fordeler og ulemper ved spørreskjema.

De store fordelene med et spørreskjema kontra telefonintervjuer og besøksintervjuer er at de er relativt lite ressurskrevende. Det er billigere å innhente informa-



Figur 8: Internett siden som viser svarene til en byggeier

sjon, er mer egnet for store utvalg og i spørreundersøkelser hvor respondentene er spredt over et stort geografisk område. I tillegg har man den fordelen at undersøkelsen er kontaktfri, dermed unngår man det som kalles intervju effekter, som kort kan forklares med at intervjueren påvirker respondenten.

Det største problemet med spørreskjemaer er å få respondenten til å svare og returnere spørreundersøkelsen. I mange tilfeller faller svarprosenten ned mot 50 %, mens man ofte får en svarprosent opp i mot 80 % ved personlige intervju [?]. Et annen ulempe er at ved spørreskjemaer har man ikke muligheten til å oppklare problemer eller misforståelser som skulle oppstå i forbindelse med spørreskjemaet.

## 2.4 Datagrunnlag

Siden denne masteroppgaven i stor grad dreier seg om behovsstyrt ventilasjon, er det naturlig å sende spørreskjemaet til utvalgte personer innenfor installasjons- og byggebransjen. Dette utvalget ble foretatt av Sten Olaf Hanssen, Hans Martin Mathisen og Johan Halvarsson. Det ble sendt en epost til tilsammen 64 stykker hvor de ble spurt om de ville delta på en spørreundersøkelse, sammen med en link til selve spørreundersøkelsen, og det er disse respondentene som utgjør datagrunnlaget i denne spørreundersøkelsen

## 2.5 Frafall

En feilkilde i spørreundersøkelser er at de har et ganske høyt frafall av respondenter. Dette kommer av at mange er lite motivert for å sette av tid til å fylle ut spørreskjemaet, og svarprosenten faller ofte ned mot 50 %. Denne svarprosenten kan imidlertid økes ved at for eksempel respondentene har en interesse for temaet som taes opp i spørreundersøkelsen. Dette hjalp imidlertid ikke på svarprosenten i denne undersøkelsen, da den endte opp på 53 % (se delkapittel 2.6)

## 2.6 Svar på spørreskjema

I dette kapittelet vil spørsmålene som ble stilt til henholdsvis byggeiere, entreprenører, konsulenter og produsenter bli presentert sammen med svarfordelingene. Skjemaet ble sendt til 64 personer. Det var 30 stykker som pr. 30.06.08 ikke hadde svart på spørreskjemaet, noe som ga en svarprosenten på 53 %.

### 2.6.1 Byggeiere

Antall byggeiere som svarte på spørreskjemaet: 10

Spørsmål 1: Kjenner du til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon?								
Svaralternativ:	Ja	Nei						
Antall:	10	0						
Spørsmål 2: Hvis ja på spørsmål 1, brukes behovsstyrt ventilasjon i noen av deres bygninger?								
Svaralternativ:	Ja	Nei						
Antall:	8	2						
Spørsmål 3: Hvis ja på spørsmål 2, hvorfor ble behovsstyrt ventilasjon valgt i disse bygningene?								
Svaralternativ:	3.1*	3.2*	3.3*	3.4*	3.5*	3.6*	3.7*	3.8*
Antall:	6	0	8	7	2	0	3	0
Spørsmål 4: Du kjenner til prinsippet, men det brukes sjelden/aldri i deres nye bygninger. Hva er årsaken til det?								

Svaralternativ:	4.1*	4.2*	4.3*	4.4*	4.5*	4.6*	4.7*	4.8*
Antall:	3	0	5	1	1	1	0	0

Tabell 1: Svarfordeling byggeiere

Alle byggeiere svarte ja på spørsmålet om de kjente til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon (pr 31.05.08), og alle untatt en svarte ja på at dette var en løsning som brukes i deres bygninger. Ut i fra dette må man kunne si at dette er en løsning som absolutt er kjent for byggeiere, og som brukes i stor grad i byggeprosjekter.

### 2.6.2 Entreprenører

Antall entreprenører som svarte på spørreskjemaet: 7

Ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon var også godt kjent blant entreprenørene. Alle svarte svarte at de kjente til prinsippet og at det hadde blitt valgt i noen av deres prosjekter (pr 31.05.08). Det som går igjen når det gjelder hvorfor

- 3.1\*: Behagelig og helsebringende innelima
- 3.2\*: Produktivitetsfremmende
- 3.3\*: Energieffektivt
- 3.4\*: Kostnadseffektivt over tid
- 3.5\*: Ønske om å profilere seg som nyskapende/innovativ
- 3.6\*: Etterspørsel i markedet
- 3.7\*: Fleksibelt for fremtidige endringer
- 3.8\*: Annet

- 4.1\*: Høy investeringskostnad
- 4.2\*: Høye drifts- og vedlikeholdskostnader
- 4.3\*: Høy kompleksitet
- 4.4\*: Lav driftssikkerhet
- 4.5\*: Liten mulighet for individuell styring
- 4.6\*: Ingen etterspørsel i markedet
- 4.7\*: Ikke fleksibelt for fremtidige endringer
- 4.8\*: Annet

Spørsmål 1: Kjenner du til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon?			
Svaralternativ:	Ja	Nei	
Antall:	5	2	
Spørsmål 2: Hvis ja på spørsmål 1, har behovsstyrt ventilasjon blitt valgt i noen av deres prosjekt?			
Svaralternativ:	Ja	Nei	
Antall:	4	1	
Spørsmål 3a: Hvis ja på spørsmål 2, hvorfor ble behovsstyrt ventilasjon valgt i disse bygningene?			

behovsstyrt ventilasjon velges av entreprenører, er at det er ønsket av byggeier. Nesten alle respondentene som er entreprenører har oppgitt dette som en av grunnene (pr 31.05.08). Andre ting som går igjen er at det velges på grunn av egne erfaringer og at det er energieffektivt. Sigmund Haavi fra Teknobygg nevner at behovsstyrt ventilasjon sjelden/aldri velges i deres prosjekt på grunn av dårlig for-tjeneste. De andre respondentene har valgt å la dette feltet stå blankt, noe som indikerer at behovsstyrt ventilasjon velges ofte i deres prosjekter.

### 2.6.3 Konsulenter

Antall konsulenter som svarte på spørreskjemaet: 9

Alle konsulentene som svarte på spørreundersøkelsen svarte at de kjente til behovsstyrt ventilasjon og at dette ventilasjonsprinsippet hadde blitt brukt i noen av deres prosjekter (pr 31.05.08). Dette betyr at ut i fra disse resultatene kan si at behovsstyrt ventilasjon også er godt kjent i konsulentbransjen.

Svaralternativ:	3a.1*	3a.2*	3a.3*	3a.4*					
Antall:	3	0	3	0					
Spørsmål 3b: Hva anser du som positivt med behovsstyrt ventilasjon?									
Svaralternativ:	3b.1*	3b.2*	3b.3*	3b.4*	3b.5*	3b.6*			
Antall:	2	1	5	2	1	0			
Spørsmål 4: Du kjenner til prinsippet, men det brukes sjelden/aldri i deres nye bygninger. Hva er årsaken til det?									
Svaralternativ:	4.1*	4.2*	4.3*	4.4*	4.5*	4.6*	4.7*	4.8*	4.9*
Antall:	0	1	2	0	0	0	0	0	0

Tabell 2: Svarfordeling entreprenører

- 3a.1\*: Ønsket av byggeiere
- 3a.2\*: Valgt av konsulent
- 3a.3\*: På grunn av egne erfaringer
- 3a.4\*: Annet
- 3b.1\*: Behaglig og helsebringende inn klima

- 3b.2\*: Produktivitetsfremmende
- 3b.3\*: Energieffektivt
- 3b.4\*: Kostnadseffektivt over tid
- 3b.5\*: Fleksibelt for framtidige endringer
- 3b.6\*: Annet

- 4.1\*: Vi har liten kompetanse på behovsstyrt ventilasjon
- 4.2\*: Dårlig økonomisk fortjeneste
- 4.3\*: Kunden er ikke villig til å betale
- 4.4\*: Komplisert å installere
- 4.5\*: Komplisert å samarbeide med andre disipliner
- 4.6\*: Risiko for omfattende garantiarbeid/etterkontroll

HVORFOR DET VELGES /HVORFOR DET IKKE VELGES - SKRIV UT ALLE OG SAMMENLIGN

## 2.6.4 Produsenter

Antall produsenter som svarte på spørreskjemaet: 8

Det var to produsenter som leverte blankt på spørreundersøkelsen, det antas dermed at disse to ikke ønsket å delta på spørreundersøkelsen, selv om man hadde mulighet for å angi dette i starten av spørreundersøkelsen uten å gå til selve spørreskjemaet. I den videre beskrivelsen av svarene vil uttrykket "alle produsenter" bli brukt. Dette gjelder da alle produsenter, untatt de som har levert blankt.

Alle produsentene svarte at de hadde hørt om ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon (pr 31.05.08). Ut i fra disse resultatene kan man derfor gå ut i fra

4.7\*: Krevende å tilpasse installasjonen ved endrede behov

4.8\*: Gir ingen forbedring av inn klimaet

4.9\*: Annet

Spørsmål 1: Kjenner du til ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon?								
Svaralternativ:	Ja	Nei						
Antall:	9	0						
Spørsmål 2: Hvis ja på spørsmål 1, har behovsstyrt ventilasjon blitt valgt i noen av deres bygninger?								
Svaralternativ:	Ja	Nei						
Antall:	9	0						
Spørsmål 3: Hvis ja på spørsmål 2, hvorfor ble behovsstyrt ventilasjon valgt i disse bygningene?								
Svaralternativ:	3.1*	3.2*	3.3*	3.4*	3.5*	3.6*	3.7*	3.8*
Antall:	3	1	0	9	6	3	1	3
Spørsmål 4: Du kjenner til prinsippet, men det brukes sjelden/aldri i deres nye bygninger. Hva er årsaken til det?								
Svaralternativ:	4.1*	4.2*	4.3*	4.4*	4.5*	4.6*	4.7*	
Antall:	0	0	1	0	0	0	5	

Tabell 3: Svarfordeling konsulenter

at dette er et velkjent ventilasjonsprinsipp blant produsentene av slikt utstyr. Alle svarer også "ja" på at de har produkter i sitt sortiment som er tilpasset for behovsstyrt ventilasjon. Videre viser svarene at firmaene Swegon og TROX Auranor har komplette systemløsninger for behovsstyrt ventilasjon, mens Flexit ikke har det. Dette kan si noe om satsningsområdene og størrelsen på firmaene. Den største andelen svarer også at det er stor etterspørsel etter disse produktene i markedet (3 av 5 ENDRES ETTERHVERT), mens en litt mindre andel svarer at det er middels etterspørsel (2 av 5 ENDRES ETTERHVERT). Ingen svarer at det er liten etterspørsel i markedet etter disse produktene. Samtidig svarer alle at produktutvikling av denne produktgruppen inngår i deres virksomhet.

3.1\*: Ønsket av byggeiere

3.2\*: Behagelig og helsebringende inn klima

3.3\*: Produktivitetsfremmende

3.4\*: Energieffektivt

3.5\*: Kostnadseffektivt over tid



- 3.6\*: Fleksibelt for fremtidige endringer
- 3.7\*: Enklere å oppfylle myndighetskrav
- 3.8\*: Annet

- 4.1\*: Vi har liten kompetanse på behovsstyrt ventilasjon
- 4.2\*: For komplisert og tidskrevende å prosjektere
- 4.3\*: Kunden er ikke villig til å betale
- 4.4\*: Prinsippet har for lav pålitelighet/for høy fare for systemsvikt
- 4.5\*: Komplisert å samarbeide med andre disipliner
- 4.6\*: Gir ingen forbedring av inneklimaet
- 4.7\*: Annet

### 2.6.5 Sammendrag av svarene på spørreskjemaet

Svarene fra respondentene i spørreundersøkelsen i denne masteroppgaven indikerer at ventilasjonsprinsippet behovsstyrt ventilasjon er godt kjent og utbredt i bransjen. Alle de som svarte hadde hørt om behovsstyrt ventilasjon (pr 31.05.08), og har brukt det i sine byggeprosjekter eller har det i sitt produktsortiment. Grunnene til at det var så utbredt varierte noe, men de viktigste grunnene var følgende:

For byggeiere:

- Energieffektivt
- Kostnadseffektivt over tid

For entreprenører:

- Ønsket av byggeiere
- På grunn av egne erfaringer

For konsulenter:

- Energieffektivt
- Kostnadseffektivt over tid
- Ønsket av byggeiere

Når det gjelder produsenter, svarte alle at de hadde hørt om behovsstyrt ventilasjon og at de hadde produkter som var tilpasset dette ventilasjonsprinsippet.

Dette kan ikke tolkes på noen annen måte enn at behovsstyrt ventilasjon er svært utbredt i bransjen, og at dette er et ventilasjonsprinsipp som brukes i svært mange prosjekter.

En liten andel nevner imidlertid at dette ventilasjonsprinsippet ikke sjelden eller aldri velges i deres prosjekter. Denne andelen befinner seg stort sett blant byggeierene, og det er ingen av entreprenørene eller konsulentene som sier at de aldri eller sjelden bruker dette ventilasjonsprinsippet (pr 31.05.08). De viktigste grunnene som nevnes i denne forbindelse er:

Spørsmål 1: Kjenner du til begrepet behovsstyrt ventilasjon?				
Svaralt.:	Ja	Nei		
Antall:	8	0		
Spørsmål 2: Hvis ja på spørsmål 1, har dere produkter som er tilpasset for behovsstyrt ventilasjon?				
Svaralt.:	Ja	Nei		
Antall:	8	0		
Spørsmål 3a: Hvis nei på spørsmål 2, hva er årsaken til det?				
Ingen har svart nei på spørsmål 2				
Spørsmål 3b: Hvis ja på spørsmål 2, har dere komplette systemløsninger for behovsstyrt ventilasjon?				
Svaralt.:	Ja	Nei		
Antall:	7	1		
Spørsmål 4: Hvordan opplever dere at etterspørselen for denne produktgruppen er i markedet?				
Svaralt.:	Liten	Middels	Stor	
Antall:	0	5	3	

Spørsmål 5: Inngår produktutvikling av denne produktgruppen i deres virksomhet?				
Svaralt.:	Ja	Nei		
Antall:	8	0		
Spørsmål 6: Hvis nei på spørsmål 5, har dere planer om å starte opp en slik produktutvikling?				
Ingen har svart nei på spørsmål 5				

Tabell 4: Svarfordeling produsenter

- Høy investeringskostnad
- Høy kompleksitet
- Lav driftssikkerhet
- Dårlig økonomisk fortjeneste

### 3 Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole

I del 2 av denne masteroppgaven, skulle det ses på to, eller flere, skoler i Trondheim som bruker behovsstyrt ventilasjon og som samtidig er relativt nye og like med hensyn til både arkitektur og byggeår. Valget i denne oppgaven falt da på de to skolene Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole. Dette er to så såkalte tvillingskoler, det vil si at de har helt lik arkitektur, består av samme byggematerialer og har samme styringsstrategi på ventilasjon, lys etc.

#### 3.1 Beskrivelse av Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole

Charlottenlund består av to bygg, bygg A og bygg J, mens Åsheim bare består av bygg A. Det er altså bygg A som er identiske for de to skolene, og plantegningene kan finnes i vedlegg C. I denne oppgaven er det da altså bygg A for de to skolene som vil bli sammenlignet. Bygg A består av 4 etasjer, plan U, plan 1, plan 2 og plan 3. Kjelleren (plan U), består av en del lagerrom, toaletter, en fritidsklubb, samt et teknisk rom. Plan 1 består blant annet av kontorer, elevarealer/klasserom, fellesarealer, toaletter, grupperom, kjøkken, spiserom og lærerrom. Plan 2 består i hovedsak av personal/møterom, lagerrom, data/kursrom, grupperom, bibliotek, elevarealer/klasserom, garderober samt toaletter. Plan 3 består kun av et teknisk rom.

#### 3.2 Systembeskrivelse av ventilasjonsanlegget på Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole

Systemnr:	Plassering aggregat	Betjener	[m/h]
36.01	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Base 1	11500
36.02	Teknisk rom tak, base 2/3	Base 2/3	23000
36.03	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Spesialromsfløy og administrasjon	9000
36.04	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Allrom, musikk, bibliotek etc	17000
36.05	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Fritidsklubb	2000
36.06	Varmluftsgardiner	Ytterdører	
36.07	Diverse spesialsystemer	Spesialromsfløy	
Sum			62500

Tabell 5: Systemoppdeling luftbehandlingsanlegg og luftmengder

Ventilasjonsanlegget består av sju undersystem med systemnummer 36.01 til 36.07. Disse er vist i tabell 5.

Anlegget er balansert, det vil si at det er tilførsel av behandlet friskluft, samt mekanisk avtrekk av samme mengde luft som tilføres. I sekundære rom som toaletter og bøttekott er det kun mekanisk avtrekk med luftoverstrømning fra tiliggende rom. De fleste av arealene ventileres etter omrøringsprinsippet via takmonterte virveldiffusorer samt spesialdesignede tilluftsventiler for elevarealene. Allrommet har i tillegg til omrøringsventilasjon også fortrenningsventilasjon.

De to skolebyggene ventileres ved hjelp av tre forskjellige ventilasjonsprinsipper, VAV (“Variable Air Volume”) og to forskjellige utgaver av CAV (“Constant Air Volume”):

- VAV: Tilførsel og avtrekk i de forskjellige rommene reguleres ut i fra ventilasjonsprinsippet VAV (“Variable Air Volume”). I elevarealene reguleres pådraget av luftmengde eller CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i rommet samt romtemperaturen. Ved tilstedeværelse i rommet tilføres det en minimum luftmengde til rommet. Så fort CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen overstiger 600 PPM, økes luftmengden som tilføres rommet. Maksimal luftmengde tilføres hvis CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen når 1000 PPM. VAV-anlegget reguleres trinnløst mellom disse punktene, så den luftmengden som tilføres hvis CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen ligger mellom 600 PPM og 1000 PPM er avhengig av selve CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen. Hvis temperaturen overstiger 25 °C, overstyres CO<sub>2</sub>-måleren, og det tilføres maksimal luftmengde, uavhengig av hva CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er.

Arealer hvor VAV ikke benyttes, er luftmengden konstant (“Constant Air Volume”), dette er som nevnt løst på to forskjellige måter:

- CAV, metode 1: Konstant fast luftmengde tilføres/avtekkes
- CAV, metode 2: Konstant minimal/maksimal luftmengde tilføres/avtrekkes basert på tilstedeværelse i rommene eller temperatur. Bevegelsesføler i rommet gir signal til CAV-spjeld som åpner for maksimal luftmengde. Hvis det ikke er noen i rommet, men temperaturen overstiger en forhåndsinnstilt verdi, overstyres termostaten bevegelsesføleren og åpner for maksimal luftmengde. Hvis det ikke er noen tilstede i rommet og temperaturen er under den grenseverdien, tilføres den minimale luftmengden, som er ca. 30 % av dimensjonerende maksimal mengde.

Videre har vi disse spesialtilfellene:

- Allrommet

Allrommet ventileres etter omrøringsprinsippet via tilluftsventiler i skjørt mot korridor samt etter fortrenningsprinsippet via tilførsel av tilluft fra scene-kanten. Tilførselskanalen for denne delen er utstyrt med eget ettervarmebatteri som regulerer etter en kurve mellom 20 °C for å unngå kaldtrekk og for

stor nærsone. I tillegg kommer overstrømningsluft fra korridorer, vestibyle og galleri.

Total luftmengde i allrommet reguleres med VAV basert på CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen eller temperaturen i rommet. Ved høye utetemperaturer og/eller høy bersonbelastning skal lufteluker og ytterdører i glassfasade åpnes for å øke luftgjennomstrømningen i rommet.

- Luftbehandling:

Luftbehandlingsaggregatene er plassert i teknisk rom henholdsvis i kjeller (36.01/03/04/05) og på tak av base 2/3 (36.02). For spesialsystem (36.07) er avtrekksviftene plassert på tak.

Uteluften tas inn gjennom inntaksrist, "snøfilter", spjeld, filter EU7, roterende varmegjenvinner, varmebatteri og føres så ut i kanalnettet ved hjelp av en tilluftsvifte.

Brukt luft fra klimacellene trekkes ved hjelp av avtrekksvifte gjennom stengespjeld, filter EU7, varmegjenvinner og føres ut gjennom jethette.

Systemet reguleres i økonomisk sekvens, det vil si at ved økende varmebehov legger varmegjenvinner inn før varmebatteri.

Luftbehandlingsanlegget dekker ikke byggets transmisjonstap, og all oppvarming skjer ved hjelp av byggets varmeanlegg (gulvvarme og radiatorer).

- 36.01 BB02 Avtrekk fra toaletter 192-196 base 1:

Viften starter ved forsering av system 36.04 (allrom/grendahus) via timer 36.04 XG01. Timeren er plassert i skap 1 i vestibylen. Viften trekker luft fra toalettene (rom 192-196) i base 1 som anvendes ved utleie av grendahuset. Ved start av viften åpner spjeld DD192-51, mens spjeld 192-52 stenger. Ved stans skjer motsatte forløp med spjeldene.

- Varmluftsgardiner

Varmluftsgardiner er montert over ytterdører i rom 163 (garderobe base 2), rom 263 (garderobe base 3), rom 186 (garderobe base 1) og rom 191 (garderobe base 1). Varmluftsgardinene startes manuelt via bryterpanel. Varme-pådrag styres via SD-anlegget.

- BB01 Sponavsugaggregat rom 215

Sentralaggregatet består av vifte, filter og avfallsenhet. Viften genererer nødvendig undertrykk for å transportere spon og støv til avfallsenheten i aggregatet. Avsugpunktene er utstyrt med skyvespjeld og støvsugeruttakene med klaffeventiler. Ved hjelp av mikrobryter starter anlegget automatisk. Ved stans av anlegget renes filteret automatisk.

Aggregatet behandler spon fra 4 bearbeidingsmaskiner i maskinrommet, samt 3 støvsugerpunkter (1 ved aggregat i rom 215 og 2 i rom 216).

Spon og flis samles i avfallssekk som er montert på tralle inne i filterenheten.

Avkastluft og flis samles i avfallssekk som er montert på tralle inne i filterenheten.

Avkastluft fra aggregatet føres over tak via jethette.

- BB02 Keramikkovn rom 218

Viften benyttes ved bruk av keramikkovnen i tidsperoider hvor ventilasjonsanlegget (36.03) ikke er i normal drift (helger etc.). Viften startes manuelt fra timer XG01 i rommet (0-24 timer). Avkastluft føres over tak via takviften.

- BB03 Maling/lakk rom 218

Viften benyttes ved av/nisje for maling/lakk. Viften startes manuelt fra av/på bryter XG02 i rommet. Avkastluft føres over tak via takviften.

- BB04 Teknologi rom 228

Viften benyttes ved bruk av avsugsarmer for lodding. Viften startes manuelt fra bryter XG03 i rommet. Avkastluft føres over tak via takviften

- BB05 Forberedelse rom 235

EX-viften går konstant og trekker luft fra gasskapet i rommet. Avkastluft føres over tak via jethette.

- BB06 Forberedelse rom 235

Viften går konstant og trekker luft fra 3 kjemikalieskap i rommet. Avkastluft føres over tak via takviften.

- BB07 Mobilt avtrekksskap/punktavsug for lærerarbeidsplass

Viften startes ved bruk av mobilt avtrekksskap og/eller punktavsug for lærerarbeidsplass. Viften startes manuelt fra av/på-bryter XG04 i rommet. Avkastluft føres over tak via takviften. Normalavtrekket fra rommet (36.03) går automatisk ned til minimum luftmengde ved bruk av viften for å unngå ubalanse (undertrykk) i rommet.

- BB08 Punktavsug elevarbeidsplasser rom 326

Viften startes ved bruk av punktavsug for elevarbeidsplasser. Viften startes manuelt fra av/på-bryter XG05 i rommet. Avkastluft føres over tak via takviften. Normalavtrekket fra rommet (36.03) går automatisk ned til minimum luftmengde ved bruk av viften for å unngå ubalanse (undertrykk) i rommet.

- BB09 Kjøkken 1 og rom 125 og 134

Viften er forriglet med ventilasjonsaggregat 36.04 og trekker avtrekksluft fra kjøkken 1 og 2 via volumhetter over komfyrene. Ved anvendelse av komfyrene forseres avtrekket over hettene ved hjelp av timer XG06 og XG07 i rommene. Tilluftsmengden økes tilsvarende slik at det oppnås luftbalanse i rommet.

- Kjøkkenventilatorer

Følgende minikjøkken er utstyrt med kjøkkenventilatorer over komfyr:

- 145 Mottaksskole
- 152 Fellesareal base 2
- 176 Fellesareal base 1
- 201 Personalrom
- 252 Fellesareal base 3

Ventilatorene er utstyrt med egen vifte/motor som fører avkastluften direkte ut i det fri via jethetter

## 4 Energiberegninger på Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole

I driftsintruksen til Charlottenlund/Åsheim, er det satt opp et energibudsjett for de to skolene. Dette er vist i tabell 6:

Budsjettposter:	Totalt:	
	Areal skole: 5000 m <sup>2</sup>	
	kWh/år:	kWh/m <sup>2</sup> ·år:
1 - Oppvarming:	221538	44:
2 - Ventilasjon:	130687	26
3 - Varmtvann:	155000	31
4 - Vifter/pumper:	137400	27
5 - Belysning:	170000	34
6 - Diverse:	156000	31
7 - Kjøling:	0	0

Tabell 6: Energibudsjett Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole

Denne har blitt utarbeidet under følgende forutsetninger:

- Post 1:

Dimensjonerende uteforhold, dvs. DUT = -19 °C, samt normalår for ute-temperatur. Et graddagtall på 4000 har blitt benyttet, det tas ikke hensyn til soneregulering og eventuell helge- og nattesenkning, noe som ville ført til en liten reduksjon.

- Post 2:

Driftstid for ventilasjonsanleggene er som følger:

- 36.01 2000 timer/år (base 1)
- 36.02 2000 timer/år (base 2/3)
- 36.03 2000 timer/år (adm.)
- 36.04 2500 timer/år (grendehus funksjon)
- 36.05 1000 timer/år (Fritidsklubb)

Det antas også at de roterende varmegjenvinnerne har en virkningsgrad på 75 %.

- Post 3:

Forbruk av varmtvann: 450 personer, 230 dager/år



- Post 4:  
Vifter og pumper har følgende antagelser:
  - Antas at sum enkeltvifter er ca 5 kW, driftstid ca 1000 timer/år
  - Antas at sum pumper er ca. 5 kW, driftstid på ca 4000 timer/år
- Post 5:  
Belysning beregnes fra erfaringstall hentet fra NS3031
- Post 6:  
Diverse beregnes fra erfaringstall hentet fra NS3031
- Post 7:  
Det er ikke kjøleanlegg i byggene

Det påpekes at når dette energibudsjettet ble satt opp i driftsinstruksen til de to skolene, er den gamle NS3031 brukt, tallene er altså ikke beregnet etter nye NS3031:2007.

Siden det er behovsstyrt ventilasjon, og energibruk i forbindelse med denne ventilasjonsformen, denne oppgaven omhandler, vil det bli gått litt nærmere inn på luftmengdene som tilføres disse skolene i denne oppgaven. Siden tallene i energibudsjettet i tabell 6 er beregnet ut i fra at ventilasjonsanlegget tilfører maksimal luftmengde hele driftstiden, kan man få en indikasjon på hva man kan spare energimessig ved å bruke behovsstyrt ventilasjon ved å se litt nærmere på luftmengdene. Det vil derfor bli sett på luftmengdene som tilføres via ventilasjonsanlegget, før det gjøres en energibetraktning i forbindelse med dette.

Under bolken luftbehandling i rommatrisen for Charlottenlund og Åsheim finner man hvilke ventilasjonsløsninger de forskjellige rommene har. De to skolene har 3 forskjellige typer ventilasjonsløsninger:

- VAV, CO<sub>2</sub>/temperatur:  
I rom med denne løsningen reguleres tilførselen friskluft og avtrekket av inneluften etter CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen samt temperaturen i rommet, og blir således et VAV-system (“Variable Air Volume” - “Variabelt Luft Volum”). Luftmengden i rommet øker når CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen overstiger 600 ppm og maks luftmengde oppnås ved en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 1000 ppm. I tillegg vil rommene med denne løsningen tilføres maksimal luftmengde hvis romtemperaturen overstiger 25 °C, uavhengig av hva CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er.
- CAV, 30/100 % tilstedeværelse/temperatur:  
Konstant maksimal/minimum luftmengde tilføres/avtrekkes basert på tilstedeværelse i rommene eller temperatur. Bevegelsesføler i rommet gir signal til CAV-spjeld som åpner for maks luftmengde. Hvis det ikke er noen i

rommet, men temperaturen overstiger en forhåndsinnstilt verdi, overstyrer termostaten bevegelsesføleren og åpner for maksimal luftmengde. Hvis det ikke er noen tilstede i rommet og temperaturen er under den grenseverdien, tilføres den minimale luftmengden, som er ca. 30 % av dimensjonerende maksimal mengde.

- CAV:

Konstant fast luftmengde tilføres/avtrekkes.

Alle rom, unntatt rommene med de to ovennevnte ventilasjonsløsningene, har denne ventilasjonsløsningen. for romoversikt.

For å finne luftmengdene som tilføres tar vi rom med de forskjellige ventilasjonsløsningene hver for seg:

#### **4.1 Beregning av luftmengder i rom med VAV, CO<sub>2</sub>-/ temperaturstyring**

Det er til sammen 20 rom som har denne ventilasjonsløsningen. Tabell 7 gir en oversikt over disse rommene og hvilke systemnummer som ventilerer det korresponderende rommet:

Plan:	Romnr.:	Type rom:	Systemnr.:
U	015	Fritidsklubb	36.05
1	100	Allrom	36.04
1	122	Musikk/drama	36.04
1	155	Lærerrom	36.02
1	158	Elevareal	36.02
1	160	Elevareal	36.02
1	162	Elevareal	36.02
1	178	Lærerrom	36.01
1	181	Elevareal	36.01
1	183	Elevareal	36.01
1	185	Elevareal	36.01
2	201	Personal-/møterom	36.04
2	222	K&H, tekstil/tegning	36.04
2	227	Data-/kursrom	36.04
2	228	Teknologirom	36.04
2	229	Dataverksted	36.04
2	255	Lærerrom	36.02
2	258	Elevareal	36.02
2	260	Elevareal	36.02
2	262	Elevareal	36.02

Tabell 7: Oversikt over rom med VAV, CO<sub>2</sub>/temperatur

Som vi ser av tabell 7, har følgende forskjellige typer rom denne ventilasjonsløsningen:

- Tre lærerrom.
- Ni elevarealer.
- Ett allrom.
- Ett musikk-/dramarom.
- Ett personal-/møterom.
- Ett kunst og håndverksrom (tekstil/tegning).
- Ett data-/kursrom.
- Ett teknologirom
- Ett dataverksted
- En fritidsklubb

For å finne tilført luftmengde i disse rommene har ligning 1 blitt brukt.

$$\begin{aligned}
 Q_{DCV-CO_2} = & \frac{1}{1000l/m^3} \left( \sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) \right. \\
 & \left. + q_{min} \cdot (t_{op} - t_{DCV-TOT}) \right) [m^3/dag] \quad (1)
 \end{aligned}$$

Hvor

- $Q_{DCV-CO_2}$  er det totale luftvolumet som tilføres.
- Antall personer<sub>*i*</sub> er antall personer som er tilstede i rommet i intervall *i*.
- $q_{DCV}$  er den stasjonære ventilasjonsraten pr. person ved et CO<sub>2</sub>-nivå på 1000 ppm [l/s·person].
- $t_{DCV-i}$  tiden i intervall *i* for de intervallene som tilfører mer enn minimum luftmengde [s/dag].
- $t_{DCV-TOT}$  er summen av alle  $t_{DCV-i}$ , det vil si den totale tiden i løpet av et døgn ventilasjonsanlegget tilfører mer enn minimum luftmengde [s/dag].
- $q_{min}$  er minimale ventilasjonsmengden som tilføres rommet i driftstiden. Denne verdien er gitt av for hvert rom. [m<sup>3</sup>/s].
- $t_{op}$  er driftstiden på ventilasjonsanlegget [s/dag].

De to parametrene  $q_{DCV}$  og  $t_{op}$  er konstante og like for alle rommene hvor ventilasjonen styres etter CO<sub>2</sub>/temperatur. Disse verdiene er funnet i vedlegg J, og er:

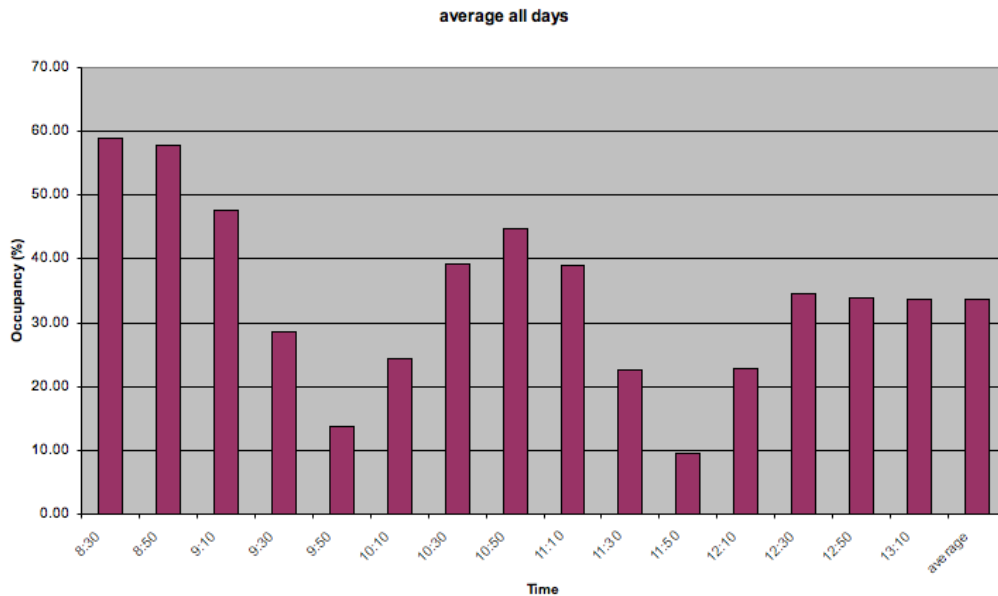
- $q_{DCV} = 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person}$
- $t_{op} = 10 \text{ h/dag} = 36000 \text{ s/dag}$

De andre parametrene må finnes for hver av de forskjellige typene rom. Når alle parametrene er funnet kan ligning 1 brukes til å finne et estimat på den totale luftmengden som tilføres de forskjellige rommene med VAV som styres etter CO<sub>2</sub>-konsentrasjon/temperatur.

Finner parametrene som er forskjellige for de ulike typene rom, og gjør deretter et estimat på luftmengden i rommene:

#### 4.1.1 Estimat på luftmengder i lærerrom

På skolen er det tre lærerrom med VAV som styres etter CO<sub>2</sub>/temperatur. Bestemmer først parametrene "Antall personer tilstede i rommet", " $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$ " og " $q_{min}$ ":



Figur 9: Tilstedeværelsefordeling på Berg

- Antall personer tilstede i rommet:

For å gjøre et estimat på hvor mange personer som oppholder seg i lærerrommene, tas det utgangspunkt i en undersøkelse utført på Berg barneskole. Resultatet fra denne undersøkelsen er vist i figur 9, og figuren viser elevfordelingen i et elevareal en gjennomsnittsdag.

Fordelingen i et lærerrom vil imidlertid være litt annerledes enn for et elevareal, så får å ta høyde for dette antas det at 70 % av maksimalt antall i lærerrommet er tilstede fra 0800-0830 og fra 1310-1600 for å gjøre henholdsvis forarbeid til første time og etterarbeid på slutten av dagen. I tillegg antas det at hvert lærerrom er dimensjonert for 30 personer. Figur 9 gir dermed følgende fordeling i gjennom dagen:

- 0700-0800: Ca. 0 %, 0 personer
- 0800-0830: Ca. 80 %, 24 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 18 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 17 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 14 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 8 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 4 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 7 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 12 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 14 personer

- 1110-1130: Ca. 39 %, 12 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 7 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 3 personer
- 1210-1230: Ca. 22 %, 7 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 10 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 10 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 10 personer
- 1330-1600: Ca. 80 %, 24 personer
- 1600-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for lærerrommene er angitt i tabell ?? og ?? i vedlegg ??, og er  $270 \text{ m}^3/h$  for alle lærerrommene.

$$\Rightarrow q_{min} = 270 \text{ m}^3/h = 75 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.1, og følgende verdier ble funnet:

- $\sum_{i=1}^9 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 2540398 \text{ l/dag}$
- $t_{DCV-TOT} = 17820 \text{ s/dag}$

Disse verdiene settes så inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for et lærerrom:

$$Q_{DCV-CO_2-lærer} = \frac{1}{1000 \text{ l/m}^3} \cdot (2540398 \text{ l/dag} + 75 \text{ l/s} \cdot (36000 - 17820) \text{ s/dag})$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-lærer} = 3904 \text{ m}^3/\text{dag}$$

Multipliserer med tre for å få for alle lærerrommene:

$$\Rightarrow 3 \cdot Q_{DCV-CO_2-lærer} = 3 \cdot 3904 \text{ m}^3/\text{dag} = 11712 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.1.2 Estimat på luftmengder i elevarealer

Først må verdier for hvor mange personer som er tilstede i rommet og parametrene  $t_{DCV}$ , gulvarealet i klasserommet og  $q_{min}$  finnes:

- Antall personer tilstede i rommet:

For å gjøre et esitmat på hvor mange personer som oppholder seg i elevarealene, er det også tatt utgangspunkt i undersøkelsen utført på Berg (finn ut hvilken skole u.skole, b.skole???) [REF TIL UNDERSØKELSE], og det tas også her utgangspunkt i figur 9.

Det står ikke noe om maks antall personer i elevarealene i driftsinstruksene, men det er vanlig at slike åpne løsninger er dimensjonert for å takle mellom 70 og 90 personer. I denne oppgaven antas det derfor at hvert elevareal er dimensjonert for 85 personer. Sammen med data fra figur 9 fås følgende personfordeling i løpet av dagen:

- 0700-0830: Ca. 0 %, 0 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 50 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 49 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 40 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 24 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 11 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 20 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 33 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 38 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 33 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 19 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 8 personer
- 1210-1230: Ca. 22 %, 19 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 27 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 27 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 27 personer
- 1330-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for elevarealene er angitt i tabell ?? og ?? i vedlegg ??, og er  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  for alle elevarealene.

$$\Rightarrow q_{min} = 700 \text{ m}^3/\text{h} = 194,4 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.2, og følgende verdier ble funnet:

- $\sum_{i=1}^6 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 1658622l/dag$
- $t_{DCV-TOT} = 6060s/dag$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for et elevareal:

$$Q_{DCV-CO_2-elev} = \frac{1}{1000l/m^3} \cdot (1658622l/dag + 194,4l/s \cdot (36000 - 6060)s/dag)$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-elev} = 7479m^3/dag$$

Dette er for et elevareal, multipliserer med ni for å få den totale luftmengden for alle elevarealene:

$$\Rightarrow 9 \cdot Q_{DCV-CO_2-elev} = 9 \cdot 7479m^3/dag = 67311m^3/dag$$

#### 4.1.3 Estimert på luftmengder i allrommet

- Antall personer tilstede i rommet:

Antar at det i allrommet er like mange elever som i et elevareal, unntatt mellom 1010 og 1110 hvor det antas en større personbelastning (185 personer) på grunn av lunsj. det vil si at vi får følgende fordeling:

- 0700-0830: Ca. 0 %, 0 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 50 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 49 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 40 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 24 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 11 personer
- 1010-1110: Lunsj, 185 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 33 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 19 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 8 personer
- 1210-1230: Ca. 22 %, 19 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 27 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 27 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 27 personer



– 1330-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for allrommet er angitt i tabell ?? i vedlegg ??, og er  $3600 \text{ m}^3/h$ .

$$\Rightarrow q_{min} = 3600 \text{ m}^3/h = 1000 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.3, og følgende verdier ble funnet:

–  $\sum_{i=1}^1 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 4944051 \text{ l/dag}$

–  $t_{DCV-TOT} = 4560 \text{ s/dag}$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for allrommet:

$$Q_{DCV-CO_2-allrom} = \frac{1}{1000 \text{ l/m}^3} \cdot (4944051 \text{ l/dag} + 1000 \text{ l/s} \cdot (36000 - 4560) \text{ s/dag})$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-allrom} = 36384 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.1.4 Estimat på luftmengder i musikk-/dramarommet

- Antall personer tilstede i rommet:

Antar at personbelastningen i musikk-/dramarommet følger figur 9. I tillegg antas det at musikk-/dramarommet er dimensjonert for maksimalt 40 personer. Dermed fås følgende fordeling i løpet av dagen:

- 0700-0830: Ca. 0 %, 0 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 24 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 23 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 19 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 11 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 5 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 9 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 16 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 18 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 16 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 9 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 4 personer

- 1210-1230: Ca. 22 %, 9 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 13 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 13 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 13 personer
- 1330-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for musikk-/dramarommet er angitt i tabell ?? i vedlegg ??, og er  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$\Rightarrow q_{min} = 300 \text{ m}^3/\text{h} = 83 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.4, og følgende verdier ble funnet:

- $\sum_{i=1}^9 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 1268531 \text{ l/dag}$
- $t_{DCV-TOT} = 11400 \text{ s/dag}$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for musikk-/dramarommet:

$$Q_{DCV-CO_2-musikk} = \frac{1}{1000 \text{ l/m}^3} \cdot (1268531 \text{ l/dag} + 83 \text{ l/s} \cdot (36000 - 11400) \text{ s/dag})$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-musikk} = 3310 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.1.5 Estimat på luftmengder i personal-/møterommet

- Antall personer tilstede i rommet:

Antar at personbelastningen i personal-/møterommet følger figur 9, bortsett fra at det antas at 59 % av lærerne kommer 0800 og blir på skolen til 1600. Videre antas det at personal-/møterommet er dimensjonert for maksimalt 85 personer. Dermed fås følgende fordeling i løpet av en dag:

- 0700-0800: Ca. 0 %, 0 personer
- 0800-0830: Ca. 59 %, 50 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 50 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 49 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 40 personer

- 0930-0950: Ca. 28 %, 24 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 11 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 20 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 33 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 38 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 33 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 19 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 8 personer
- 1210-1230: Ca. 22 %, 19 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 27 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 27 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 27 personer
- 1330-1600: Ca. 59 %, 50 personer
- 1600-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for personal-/møterommet er angitt i tabell ?? i vedlegg ??, og er  $710 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$\Rightarrow q_{min} = 710 \text{ m}^3/\text{h} = 197 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.5, og følgende verdier ble funnet:

- $\sum_{i=1}^7 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 2422182 \text{ l/dag}$
- $t_{DCV-TOT} = 8220 \text{ s/dag}$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for personal-/møterommet:

$$Q_{DCV-CO_2-pers} = \frac{1}{1000 \text{ l/m}^3} \cdot (2422182 \text{ l/dag} + 197 \text{ l/s} \cdot (36000 - 8220) \text{ s/dag})$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-pers} = 7895 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.1.6 Estimat på luftmengder i kunst og håndverksrommet

- Antall personer tilstede i rommet:

Antar at personbelastningen i kunst og håndverksrommet følger figur 9. Videre antas det at personal-/møterommet er dimensjonert for maksimalt 30 personer. Dermed fås følgende fordeling i løpet av en dag:

- 0700-0830: Ca. 0 %, 0 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 18 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 17 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 14 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 8 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 4 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 7 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 12 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 14 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 12 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 7 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 3 personer
- 1210-1230: Ca. 22 %, 7 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 10 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 10 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 10 personer
- 1330-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for kunst og håndverksrommet er angitt i tabell ?? i vedlegg ??, og er  $270 \text{ m}^3/h$ .

$$\Rightarrow q_{min} = 270 \text{ m}^3/h = 75 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.6, og følgende verdier ble funnet:

- $\sum_{i=1}^5 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 462802 \text{ l/dag}$
- $t_{DCV-TOT} = 4980 \text{ s/dag}$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for kunst og håndverksrommet:

$$Q_{DCV-CO_2-kunst} = \frac{1}{1000l/m^3} \cdot (462802l/dag + 75l/s \cdot (36000 - 4980)s/dag)$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-kunst} = 2789m^3/dag$$

#### 4.1.7 Estimat på luftmengder i data-/kursrommet

Dataverkstedet får tilført mye luft i forhold til romvolumet for å fjerne varme fra datamaskiner. Dermed vil ikke tilstedeværelse av personer ha så mye å si. Selv når den minste luftmengden tilføres ( $276 m^3/h$ ) vil det det være hele 12 luftskifter pr. time ( $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{276m^3/h}{105m^3} = 2,6h^{-1}$ ). For å ta hensyn til at personer i rommet, antas det at det tilføres en luftmengde lik snittet av minimumsmengden og maksimumsmengden. Vi har at minimum luftmengde til dataverkstedet er  $276 m^3/h$  og maksimal luftmengde er  $700 m^3/h$ . Dermed får vi:

$$Q_{DCV-CO_2-kurs} = \frac{(276 + 700)m^3/h}{2} \cdot 10h/dag = 4880m^3/h$$

#### 4.1.8 Estimat på luftmengder i teknologirommet

- Antall personer tilstede i rommet:

Antar at personbelastningen i kunst og håndverksrommet følger figur 9. Videre antas det at personal-/møterommet er dimensjonert for maksimalt 30 personer. Dermed fås følgende fordeling i løpet av en dag:

- 0700-0830: Ca. 0 %, 0 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 18 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 17 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 14 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 8 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 4 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 7 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 12 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 14 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 12 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 7 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 3 personer

- 1210-1230: Ca. 22 %, 7 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 10 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 10 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 10 personer
- 1330-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for teknologirommet er angitt i tabell ?? i vedlegg ??, og er  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$\Rightarrow q_{min} = 300 \text{ m}^3/\text{h} = 83 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.7, og følgende verdier ble funnet:

- $\sum_{i=1}^5 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 462802 \text{ l/dag}$
- $t_{DCV-TOT} = 4980 \text{ s/dag}$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for teknologirommet:

$$Q_{DCV-CO_2-tek} = \frac{1}{1000 \text{ l/m}^3} \cdot (462802 \text{ l/dag} + 83 \text{ l/s} \cdot (36000 - 4980) \text{ s/dag})$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-tek} = 3037 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.1.9 Estimat på luftmengder i dataverkstedet

Dataverkstedet får tilført mye luft i forhold til romvolumet for å fjerne varme fra datamaskiner. Dermed vil ikke tilstedeværelse av personer ha så mye å si. Selv når den minste luftmengden tilføres ( $276 \text{ m}^3/\text{h}$ ) vil det det være hele 12 luftskifter pr. time ( $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{276 \text{ m}^3/\text{h}}{23 \text{ m}^3} = 12 \text{ h}^{-1}$ ). For å ta hensyn til at personer i rommet, antas det at det tilføres en luftmengde lik snittet av minimumsmengden og maksimumsmengden. Fra (VEDLEGG/TABELL MED ROMOVERSIKT) har vi at minimum luftmengde til dataverkstedet er  $276 \text{ m}^3/\text{h}$  og maksimal luftmengde er  $700 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dermed får vi:

$$Q_{DCV-CO_2-data} = \frac{(276 + 700) \text{ m}^3/\text{h}}{2} \cdot 10 \text{ h/dag} = 4880 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.1.10 Estimat på luftmengder i fritidsklubben

Fritidsklubben betjenes av eget aggregat (systemnummer 36.05).

- Antall personer tilstede i rommet:

Antar at personbelastningen i fritidsklubben følger figur 9, i tillegg til at fritidsklubben er i bruk etter skoletid ved at det er 50 personer der fra 1310 til 1500. Videre antas det at fritidsklubben er dimensjonert for maksimalt 85 personer. Dermed fås følgende fordeling i løpet av en dag:

- 0700-0830: Ca. 0 %, 0 personer
- 0830-0850: Ca. 59 %, 50 personer
- 0850-0910: Ca. 58 %, 49 personer
- 0910-0930: Ca. 47 %, 40 personer
- 0930-0950: Ca. 28 %, 24 personer
- 0950-1010: Ca. 13 %, 11 personer
- 1010-1030: Ca. 23 %, 20 personer
- 1030-1050: Ca. 39 %, 33 personer
- 1050-1110: Ca. 45 %, 38 personer
- 1110-1130: Ca. 39 %, 33 personer
- 1130-1150: Ca. 22 %, 19 personer
- 1150-1210: Ca. 9 %, 8 personer
- 1210-1230: Ca. 22 %, 19 personer
- 1230-1250: Ca. 32 %, 27 personer
- 1250-1310: Ca. 32 %, 27 personer
- 1310-1330: Ca. 32 %, 27 personer
- 1330-1500: Ca. 59 %, 50 personer
- 1600-1700: Ca. 0 %, 0 personer.

- $q_{min}$ :

$q_{min}$  for fritidsklubben er angitt i tabell ?? i vedlegg ??, og er  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$\Rightarrow q_{min} = 600 \text{ m}^3/\text{h} = 167 \text{ l/s}$$

- $\sum_{i=1}^n (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i})$  og  $t_{DCV-TOT}$ :

Et estimat på disse verdiene er beregnet i vedlegg J.1.7, og følgende verdier ble funnet:

$$- \sum_{i=1}^{12} (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 4798002 \text{ l/dag}$$

$$- t_{DCV-TOT} = 17220s/dag$$

Settes disse verdiene inn i ligning 1 får vi følgende luftmengde for fritidsklubben:

$$Q_{DCV-CO_2-fri} = \frac{1}{1000l/m^3} \cdot (4798002l/dag + 167l/s \cdot (36000 - 17220)s/dag)$$

$$\Rightarrow Q_{DCV-CO_2-fri} = 7934m^3/dag$$

#### 4.1.11 Total luftmengde i rom med VAV, CO<sub>2</sub>-/ temperaturstyring

For å finne den totale luftmengden tilført fra anlegget med VAV, CO<sub>2</sub>-/temperaturstyring, summeres alle verdiene funnet i delkapittel J.1.1, J.1.2, J.1.3, J.1.4, J.1.5, J.1.6, 4.1.7, J.1.7, 4.1.9 og J.1.8, som gir:

$$Q_{VAV-CO_2} = Q_{VAV-CO_2-laerer} + Q_{VAV-CO_2-elev} + Q_{VAV-CO_2-allrom}$$

$$+ Q_{VAV-CO_2-musikk} + Q_{VAV-CO_2-pers} + Q_{VAV-CO_2-kunst}$$

$$+ Q_{VAV-CO_2-kurs} + Q_{VAV-CO_2-tek} + Q_{VAV-CO_2-data} + Q_{VAV-CO_2-fri}$$

$$\Rightarrow Q_{VAV-CO_2} = (11712 + 67311 + 36384 + 3310 + 7895 + 2789$$

$$+ 4880 + 3037 + 4880 + 7934)m^3/dag$$

$$\Rightarrow Q_{VAV-CO_2} = 150132m^3/dag$$

## 4.2 Beregning av luftmengder i rom med CAV, 30/100 %

Det er tilsammen 14 rom som har denne løsningen for styring av luftmengdene til rommet. Tabell 8 gir en oversikt over disse rommene og hvilke systemnummer som ventilerer det korresponderende rommet:

I disse rommene styres ventilasjonen, som tidligere nevnt, etter tilstedeværelse og temperatur. Ved tilstedeværelse, eller en temperatur i rommet på over 25 °C, tilføres maksimal luftmengde. Hvis ingen av disse betingelsene er tilstede, ventileres det med minimum luftmengde (dette er ca. 30 % av maksimal luftmengde for disse rommene, derfor er det kalt CAV, 30/100 % tilstedeværelse/temperatur).

Det antas at tilstedeværelsen i disse rommene følger figur 9, dermed vil det være tilstedeværelse i rommene mellom 0830 og 1320. Det betyr at i ventilasjonsanlegget driftstid på 10 timer, mellom 0700 og 1700, har vi følgende fordeling:



Plan:	Romnr.:	Type rom:	Systemnr.:
1	118	Møterom	36.03
1	125	Kjøkken 1	36.04
1	133	Møte-/grupperom	36.04
1	134	Kjøkken 2	36.04
1	159	Formidling/gruppe	36.02
1	161	Formidling/gruppe	36.02
1	182	Formidling/gruppe	36.01
1	184	Formidling/gruppe	36.01
2	216	K&H, tre/metall	36.03
2	218	Keramikk/lakk	36.03
2	233	Møte/gruppe	36.04
2	234	Bibliotek	36.04
2	236	Natur og miljø	36.03
2	259	Formidling/gruppe	36.02
2	261	Formidling/gruppe	36.02

Tabell 8: Oversikt over rom med CAV, 30/100 % tilstedeværelse/temperatur på Charlottenlund og Åsheim

- 0700-0830:  $q_{min}$  tilføres.
- 0830-1320:  $q_{maks}$  tilføres.
- 1320-1700:  $q_{min}$  tilføres.

Det vil si at det tilføres minimum luftmengde 5,2 timer pr. dag, og maksimal luftmengde 4,8 timer pr. dag.

Som vi ser av tabell 8, så er det 8 forskjellige typer rom:

- Ett møterom
- To kjøkken
- To møte-/grupperom
- Seks formidling-/grupperom
- Ett kunst og håndverksrom, tre/metall
- Ett keramikk-/lakkrom
- Ett bibliotek
- Ett natur og miljørom

Finner luftmengdene til de forskjellige romtypene med denne ventilasjonsløsningen:

#### 4.2.1 Estimat på luftmengder i møterom

- $\dot{V}_{min} = 126 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\dot{V}_{maks} = 280 \text{ m}^3/\text{h}$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-moterom} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-moterom} = 126 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,2 \text{ h/dag} + 280 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4,8 \text{ h/dag}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-moterom} = 1999 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.2.2 Estimat på luftmengder i kjøkken

- $\dot{V}_{min} = 522 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\dot{V}_{maks} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-kjokken} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-kjokken} = 522 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,2 \text{ h/dag} + 1000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4,8 \text{ h/dag}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-kjokken} = 7514 \text{ m}^3/\text{dag}$$

Siden det er to kjøkken, som tilføres den samme luftmengden, multipliseres denne verdien med to:

$$\Rightarrow 2 \cdot Q_{CAV-30/100-kjokken} = 2 \cdot 7514 \text{ m}^3/\text{dag} = 15028 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.2.3 Estimat på luftmengder i møte-/grupperom

- $\dot{V}_{min} = 216 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\dot{V}_{maks} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-gruppe/mote} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-gruppe/mote} = 216m^3/h \cdot 5,2h/dag + 400m^3/h \cdot 4,8h/dag$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-gruppe/mote} = 3043m^3/dag$$

Siden det er to gruppe-/møterom, som tilføres den samme luftmengden, multipliseres denne verdien med to:

$$\Rightarrow 2 \cdot Q_{CAV-30/100-gruppe/mote} = 2 \cdot 3043m^3/dag = 6086m^3/dag$$

#### 4.2.4 Estimat på luftmengder i Formidling-/grupperom

- $\dot{V}_{min} = 324 m^3/h$
- $\dot{V}_{maks} = 750 m^3/h$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-form/gruppe} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-form/gruppe} = 324m^3/h \cdot 5,2h/dag + 750m^3/h \cdot 4,8h/dag$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-form/gruppe} = 5285m^3/dag$$

Siden det er seks formidling-/grupperom, som tilføres den samme luftmengden, multipliseres denne verdien med seks:

$$\Rightarrow 6 \cdot Q_{CAV-30/100-form/gruppe} = 6 \cdot 5285m^3/dag = 31710m^3/dag$$

#### 4.2.5 Estimat på luftmengder i kunst og håndverk, tre og metall

- $\dot{V}_{min} = 522 m^3/h$
- $\dot{V}_{maks} = 1020 m^3/h$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-tre/metall} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-tre/metall} = 522m^3/h \cdot 5,2h/dag + 1020m^3/h \cdot 4,8h/dag$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-tre/metall} = 7610m^3/dag$$

#### 4.2.6 Estimat på luftmengder i keramikk/lakk

- $\dot{V}_{min} = 522 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\dot{V}_{maks} = 1020 \text{ m}^3/\text{h}$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-keramikk/lakk} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-keramikk/lakk} = 522 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,2 \text{ h/dag} + 1020 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4,8 \text{ h/dag}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-keramikk/lakk} = 7610 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.2.7 Estimat på luftmengder i bibliotek

- $\dot{V}_{min} = 522 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\dot{V}_{maks} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-bibliotek} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-bibliotek} = 522 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,2 \text{ h/dag} + 1000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4,8 \text{ h/dag}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-bibliotek} = 7514 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.2.8 Estimat på luftmengder i natur og miljø

- $\dot{V}_{min} = 522 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\dot{V}_{maks} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$

Dermed får vi:

$$Q_{CAV-30/100-nat/mil} = \dot{V}_{min} \cdot t_{V_{min}} + \dot{V}_{maks} \cdot t_{V_{maks}}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-nat/mil} = 522 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,2 \text{ h/dag} + 1000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4,8 \text{ h/dag}$$

$$\Rightarrow Q_{CAV-30/100-nat/mil} = 7514 \text{ m}^3/\text{dag}$$

#### 4.2.9 Total luftmengde CAV 30/100 %, tilstedeværelse/temperatur

For å finne den totale luftmengden tilført fra anlegget med CAV 30/100 %, tilstedeværelse/temperatur, summeres alle verdiene funnet i delkapittel 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7 og 4.2.8, som gir:

$$\begin{aligned}
 Q_{CAV-30/100} &= Q_{CAV-30/100-moterom} + Q_{CAV-30/100-kjokken} \\
 &+ Q_{CAV-30/100-gruppe/mote} + Q_{CAV-30/100-form/gruppe} + Q_{CAV-30/100-tre/metall} \\
 &+ Q_{CAV-30/100-keramikk/lakk} + Q_{CAV-30/100-bibliotek} + Q_{CAV-30/100-nat/mil} \\
 \Rightarrow Q_{CAV-30/100} &= (1999 + 15028 + 6086 + 31710 \\
 &+ 7610 + 7610 + 7514 + 7514)m^3/dag \\
 \Rightarrow Q_{CAV-30/100} &= 85071m^3/dag
 \end{aligned}$$

#### 4.3 Beregning av luftmengder i rom med CAV

Det er tilsammen ?? rom som har denne ventilasjonsløsningen. Tabell 9 gir en oversikt over disse rommene og hvilke systemnummer som ventilerer det korresponderende rommet:

I disse rommene vil den samme luftmengden tilføres i hele driftstiden til ventilasjonsanlegget, og luftmengdene er gitt i vedlegg (VEDLEGG ROMMATRISER). For å finne den totale luftmengden som tilføres med CAV-systemet summeres dermed alle disse luftmengdene. Dette er gjort, og en luftmengde på 17210 m<sup>3</sup>/h ble funnet. Med en driftstid på 10 timer hver dag, får vi da følgende luftmengde pr. dag:

$$Q_{CAV} = 17210m^3/h \cdot 10h/dag$$

$$Q_{CAV} = 172100m^3/dag$$

#### 4.4 Total luftmengde på Charlottenlund og Åsheim

For å finne den totale luftmengden som tilføres på Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole, summeres den totale luftmengden for rommene som styres etter VAV CO<sub>2</sub>/temperatur, CAV 30/100 % tilstedeværelse/temperatur og CAV:

$$Q_{Ch.lund/Åsheim} = Q_{VAV-CO_2} + Q_{CAV-30/100} + Q_{CAV}$$

$$\Rightarrow Q_{Ch.lund/Asheim} = (150132 + 85071 + 172100)m^3/dag$$

$$\Rightarrow Q_{Ch.lund/Asheim} = 407303m^3/dag$$

## 4.5 Energibetraktninger Charlottenlund og Åsheim

Ved å bruke ligning med de luftmengden funnet i delkapittel 4.4 vil post 2 i energibudsjettet få den nye verdien 39440 kWh/år. Også post 4, vifter og pumper, vil få en lavere verdi på grunn av at viftene ikke trenger å gå for fullt når en mindre luftmengde tilføres. Dette ses det foreløpig bort fra. Da fås følgende energioversikt:

Hvis vi sammenligner tabell 6 og 10, ser vi den totale energibruken har gått ned med ca 90000 kWh/år bare ved å ta hensyn til energisparing som følge av en mindre ventilasjonsluftmengde å varme opp.

Som nevnt tidligere vil man også spare energi på grunn av at viftene vil gå på en lavere effekt ved lavere luftmengder. Dette har imidlertid ikke blitt sett på i like detaljert grad. Det kommer rett og slett av at energibehovet til viftene er avhengig av SFP-faktoren ("Specific Fan Power" - "Spesifikk Vifteeffekt") etter formelen:

$$E_{fan} = \frac{\dot{V}_{on} \cdot SFP_{on} \cdot t_{i,on} + \dot{V}_{off} \cdot SFP_{off} \cdot t_{i,off}}{3600} [kWh] \quad (2)$$

hvor:

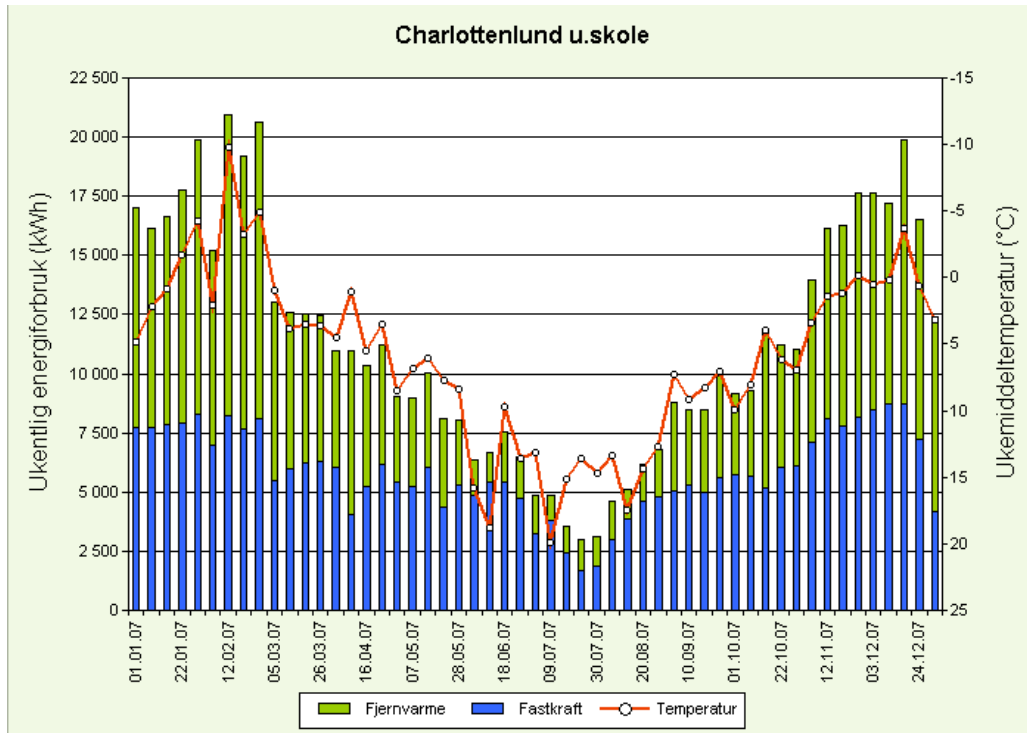
- $V_{on}$  er luftmengden i driftstiden [ $m^3/h$ ]
- $V_{off}$  er luftmengden utenfor driftstiden [ $m^3/h$ ]
- $SFP_{on}$  er spesifikk vifteeffekt relatert til luftmengder i driftstiden [ $kW/m^3/s$ ]
- $SFP_{off}$  er spesifikk vifteeffekt relatert til luftmengder utenfor driftstiden [ $kW/m^3/s$ ]
- $t_{i,on}$  er antall timer i driftstiden i måned  $i$  [h]
- $t_{i,off}$  er antall timer utenfor driftstiden i måned  $i$  [h]

SFP-faktoren er som vi ser igjen avhengig av hvilke luftmengder som faktisk tilføres, så får å få et noenlunde bra estimat på denne måtte vi hatt viftekaraktistikken for viftene på skolene. Dette ble desverre ikke funnet, og av den grunn er det ikke gjort et mere detaljert forsøk på å gjøre et estimat på energibesparelsen.

Hvis det derimot antas at energibruk til vifter halveres ved de luftmengdene som er funnet ved behovsstyrt ventilasjon, vil man få energioversikt vist i tabellen:

Sammenligner vi tabell 6 og 10, ser vi den totale energibruken nå er redusert med ca. 159231 kWh/år.

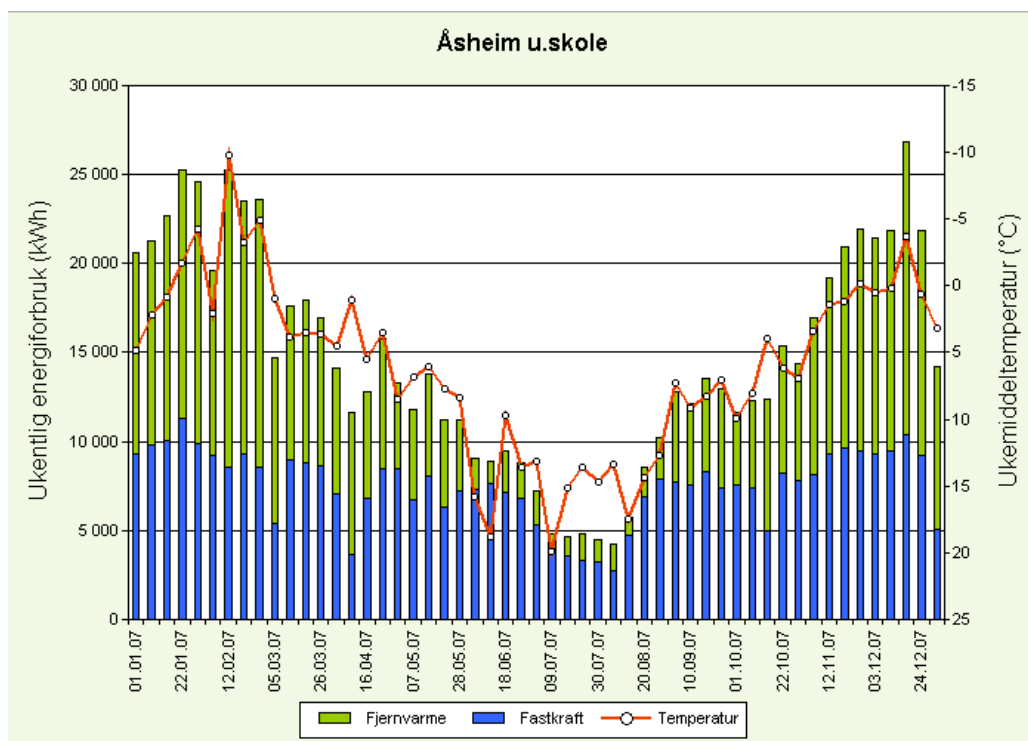
Resultatene som er funnet kan også sammenlignes med den faktiske energibruken på de to skolene, fra energistatistikk fra Trondheim Energi: Figur D og



Figur 10: Energiforbruk Charlottenlund Ungdomsskole 2007

figur 11 viser energibruken for 2007 for henholdsvis Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole.

Summeres søylene i figur D og figur 11 finner vi et energiforbruk på Charlottenlund og Åsheim på henholdsvis 590000 kWh/år og 762000 kWh/år (ca verdier). Pr. kvadratmeter blir disse verdiene henholdsvis  $118 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$  og  $152 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$ . Som vi ser er det en ganske stor differanse mellom de to skolene. Siden disse to skolene er tvillingskoler, og i prinsippet skal være helt like, tyder mye på at det bruksmønsteret på de to skolene som er utslagsgivende for differansen. Bruksmønsteret vil ha en stor innflytelse på behovsstyringen av ventilasjonsanlegget og hvor mye luft som tilføres lokalene, såfremt behovsstyringen fungerer som planlagt. Dette virker det som er tilfellet her, da den ene skolen har et betydelig mindre energiforbruk over året.



Figur 11: Energiforbruk Åsheim Ungdomsskole 2007



Plan:	Romnr.:	Type rom:	Systemnr.:
U	005	Tele	36.04
U	006	Lager	36.04
U	007	Lager/renhold	36.04
U	010	Lager/renhold	36.04
U	012	Trapp A	36.04
U	013	Gang	36.04
U	019	Tavle	36.04
1	101	Vestibyle	36.04
1	105	Pers. garderobe	36.03
1	110	Rektor	36.03
1	111	Gang	36.03
1	113	Eksp./vent.	36.03
1	114	Ktr.leder	36.03
1	115	Samtale	36.03
1	116	Kontor	36.03
1	117	Kontor	36.03
1	119	Kopi/arkiv	36.03
1	120	Lager	36.04
1	121	Gang	36.04
1	123	Øving	36.04
1	124	Øving	36.04
1	127	Spiserom	36.04
1	128	Kiosk	36.04
1	130	Vask	36.04
1	131	Gang	36.04
1	132	Trapp C	36.04
1	142	Svart rom	36.03
1	143	Grønt rom	36.03
1	144	Allrom	36.03
1	146	Datarom	36.03
1	147	Hvitt rom	36.03
1	148	Soverom	36.03
1	149	Kontor	36.03
1	151	Gang	36.02
1	152	Fellesareal	36.02
1	153	Grupperom	36.02
1	156	Møterom	36.02
1	163	Garderober	36.02
1	167	Garderober	36.02
1	175	Gang	36.01
1	176	Fellesareal	36.01
1	177	Grupperom	36.01
1	179	Møterom	36.01

1	186	Garderober	36.01
1	191	Garderober	36.01
2	205	Helsesøster	36.03
2	210	Sambruk	36.03
2	211	Gang	36.03
2	215	Maskinrom	36.03
2	221	Galleriet	36.04
2	231	Gang	36.03
2	235	Forb./lager	36.03
2	251	Gang	36.02
2	252	Fellesareal	36.02
2	253	Grupperom	36.02
2	256	Møterom	36.02
2	263	Garderober	36.02
2	268	Garderober	36.02

Tabell 9: Oversikt over rom med CAV på Charlottenlund og Åsheim

Budsjettposter:	Totalt:	
	Areal skole: 5000 m <sup>2</sup>	
	kWh/år:	kWh/m <sup>2</sup> ·år:
1 - Oppvarming:	221538	44
2 - Ventilasjon:	40157	8
3 - Varmtvann:	155000	31
4 - Vifter/pumper:	137400	27
5 - Belysning:	170000	34
6 - Diverse:	156000	31
7 - Kjøling:	0	0
Sum 1-7:	880095	175

Tabell 10: Estimat på energibruk Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole ved senkede luftmengder

Budsjettposter:	Totalt:	
	Areal skole: 5000 m <sup>2</sup>	
	kWh/år:	kWh/m <sup>2</sup> ·år:
1 - Oppvarming:	221538	44
2 - Ventilasjon:	40157	8
3 - Varmtvann:	155000	31
4 - Vifter/pumper:	68700	14
5 - Belysning:	170000	34
6 - Diverse:	156000	31
7 - Kjøling:	0	0
Sum 1-7:	811395	162

Tabell 11: Estimat på energibruk Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole ved senkede luftmengder og senket energibruk av vifter

Systemnr:	Plassering aggregat	Betjener	[m/h]
36.01	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Base 1	11500
36.02	Teknisk rom tak, base 2/3	Base 2/3	23000
36.03	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Spesialromsfløy og administrasjon	9000
36.04	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Allrom, musikk, bibliotek etc	17000
36.05	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Fritidsklubb	2000
36.06	Varmluftsgardiner	Ytterdører	
36.07	Diverse spesialsystemer	Spesialromsfløy	
Sum			62500

Tabell 12: Luftmengder Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole

Systemnr:	Plassering aggregat	Betjener	[m/h]
36.01	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Base 1	11500
36.02	Teknisk rom tak, base 2/3	Base 2/3	23000
36.03	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Spesialromsfløy og administrasjon	9000
36.04	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Allrom, musikk, bibliotek etc	17000
36.05	Teknisk rom kjeller, spesialromsfløy	Fritidsklubb	2000
36.06	Varmluftsgardiner	Ytterdører	
36.07	Diverse spesialsystemer	Spesialromsfløy	
Sum			62500

Tabell 13: Estimert på luftmengder på Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole

## 5 Blussuvoll ungdomsskole

Videre i oppgaven har det blitt valgt å sammenligne Blussuvoll med de to tvillingskolene Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole. Dette valget ble tatt med bakgrunn i en samtale med Frode Paulsen, som anbefalte denne skolen. Dette var på grunn av den på mange måter minner om Charlottenlund og Åsheim med tanke på byggemåte, byggematerialer og luftmengder. Blussuvoll har imidlertid ikke behovstyrt ventilasjon. Dermed passer denne skolen godt til å kunne gjøre en sammenligning opp i mot de to skolene som har det.

### 5.1 Beskrivelse av Blussuvoll ungdomsskole

Blussuvoll ungdomsskole består av et bygg med 3 etasjer; plan U, plan 1 og plan 2. Plan U består i hovedsak av en forsamlingsal med scene, garderober, dusj, toaletter, tilfluktsrom, fritidsklubb, kjøkken, fyrrom, lager, sløydromverksted og klasserom. Plan 1 består i hovedsak av musikkrom, vestibyle, personalrom, toaletter, gymsal, lærerrom, klasserom og grupperom. Plan 2 består i hovedsak av personalrom, lærerrom, grupperom, klasserom, bibliotek og formgivningsrom. For en komplett oversikt over rommene, henvises det til plantegningene for Blussuvoll ungdomsskole i vedlegg D. Skolen har et total areal på ca. 7700 m<sup>2</sup>.

### 5.2 Systembeskrivelse av ventilasjonsanlegget på Blussuvoll ungdomsskole

Ventilasjonsanlegget består av 18 undersystemer nummerert med systemnummer 36.01 til 36.18. Det vil i dette delkapittelet gis en kort beskrivelse av hvert av dem. Ved romanvisninger henvises det til vedlegg D.

- System 36.01:

System 36.01 betjener Base 1 og Base 2 i del C. Aggregatet er lokalisert i rom C0.90. Aggregatet har en kapasitet på 25000m<sup>3</sup>/h og består på tilluftsiden av følgende: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatludfelle. Avtrekkssiden består av: Filter, avtrekksvifte, spjelddel og aggregatlydfelle. I tillegg er det innmontert lyd-feller på både avkast og inntak. For mer detaljer, se systemskisse i vedlegg ?????. Tilluft føres til rommene via takventiler der det er systemhimling. I elevarealer er kanaler montert åpent på grunn av ønske om stort romvolum, og det er da montert dyser for tilførsel av tilluft. Avtrekk skjer via kontrollventiler. I garderober tilføres luften i garderobene, med avtrekk i tilhørende toaletter og dusj.

- System 36.02:

System 36.02 betjener helsestasjon i sokkel del C. Aggregatet er lokalisert i rom C0.90. Aggregatet har en kapasitet på 3700 m<sup>2</sup>/h og består på tillufts-

siden av følgende: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatlydfelle. Avtrekkssiden består av: Filter, avtrekksvifte, spjeld og aggregatlydfelle. I tillegg er det også her montert inn lydfeiler på både avkast og inntak. For mer detaljer, se systemskisse i vedlegg ????. Tilluft føres til rommene via takventiler der det er systemhimling. Ventiler for åpen montasje i lagerrom. Avtrekk via kontrollventiler. I garderobesrområder tilføres luften i garderobene, med avtrekk i tilhørende toaletter og dusj.

- System 36.03:

System 36.03 betjener Base 3 i 2. etasje del A. Aggregatet er lokalisert i teknisk rom B0.92. Aggregatet har en kapasitet på ca. 12000 m<sup>3</sup>/h og består på tilluftssiden av følgende: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatlydfelle. Avtrekkssiden består av: Filter, avtrekksvifte, spjelddel og aggregatlydfelle. For mer detaljer, se systemskisse i vedlegg ????. Tilluft føres til rommene via takventiler der det er systemhimling. I elevarealer er kanaler montert åpent på grunn av ønske om stort romvolum. Her er det montert dyser for tilførsel av tilluft. Avtrekk via kontrollventiler. Inntak og avkast er ført ut i yttervegg. Luften får via kanal i grunnen til inntak-/avkastårn.

- System 36.04:

System 36.04 betjener naturfag i 1. etasje del A, samt administrasjon i 2. etasje del B. Aggregatet er lokalisert i teknisk rom B0.92. Aggregatet har en kapasitet på ca 12000 m<sup>3</sup>/h og består på tilluftssiden av: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatlydfelle. Avtrekkssiden består av: Filter, avtrekksvifte, spjelddel og aggregatlydfelle. For mer detaljer, se systemskisse i vedlegg ????. Tilluft føres til rommene via takventiler der det er systemhimling. Avtrekk via kontrollventiler.

- System 36.05:

System 36.05 betjener allrom, musikkavdeling, bibliotekavdeling samt kjøkkenområde i del B. Aggregatet er lokalisert i teknisk rom B0.92. Aggregatet har en kapasitet på ca 13000 m<sup>3</sup>/h og består på tilluftssiden av: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatlydfelle. Avtrekkssiden består av: Filter, avtrekksvifte, spjelddel og aggregatlydfelle. For mer detaljer, se systemskisse i vedlegg ????. Tilluft føres til rommene via takventiler der det er systemhimling. Avtrekk via kontrollventiler. Ved større avtrekksmengder er det montert avtrekksrister i himling. Et særtrekk ved dette anlegget er at det betjener elev- og kantinekjøkken. Avtrekk fra kjøkkenutstyr går via egen avtrekksvifte over tak. Mer om dette i system 36.08.

- System 36.06:

System 36.06 betjener fritidsklubb i sokkel del B. Aggregatet er lokalisert i rom b0.92. Aggregatet har en kapasitet på ca. 3000 m<sup>3</sup>/h og består på tilluftssiden av: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatlydfelle. Avtrekkssiden består av: Filter, avtrekksvifte, spjelddel og aggregatlydfelle. Tilluft føres til rommene via takventiler der det er systemhimling. Avtrekk via kontrollventiler. Ved større avtrekksmengder er det montert avtrekksrister i himling.

- System 36.07:

System 36.07 betjener minihall med tilhørende garderober del B. Aggregatet er lokalisert i rom B0.94. Aggregatet har en kapasitet på ca. 15000 m<sup>3</sup>/h og tilluftssiden består av: Spjelddel, filter, roterende varmegjenvinner, tilluftsvifte, varmebatteri (vann) og aggregatlydfelle. Avtrekkssiden består av filter, avtrekksvifte, spjelddel og aggregatlydfelle. Tilluft i minihall via diffusorer, og avtrekk via sentrale avtrekkspunkt. Hallen kan adskilles i to soner via duk, og er derfor etablert med egne kanaler for hver sone. I garderobeområder tilføres luften i garderoben, med avtrekk i tilhørende toaletter og dusj.

- System 36.08:

System 36.08 er en trykkstyrt avtrekksvifte for åtte avtrekksvifter i elevkjøkken, samt storkjøkkenhette i elevkantine.

- System 36.09:

Avtrekk for heissjakt. Skal normalt ikke gå, aktiveres av brannvesen ved brann.

- System 36.10:

Sponavsug i sløydsal. Avkast over tak.

- System 36.11:

Avtrekk i keramikkovn i rom A1.21. Avkast over tak.

- System 36.12:

Avtrekk rom A1.24 maling/lakk. Avkast over tak.

- System 36.13:

Avtrekk fra naturfagsrom A1.13. Fire punktavsug, samt et flyttbart punktavsug til bord for lærer.

- System 36.14:

Avtrekk fra naturfagsrom A1.15. Fire punktavsug, samt et flyttbart punktavsug til bord for lærer.

- System 36.15:  
Avtrekksvifte for avtrekk fra skap for oppbevaring av gass i rom A1.14.
- System 36.16:  
Avtrekksvifte for avtrekk fra tre skap for oppbevaring av syrer/baser i rom A1.14.
- System 36.17:  
Avtrekksvifte for avtrekk fra renholdssentral rom B1.17
- System 36.18:  
Avtrekksvifte for omluft i varmesentral.



## 6 Energiberegninger Blussuvoll ungdomsskole

I driftsinstruksen til Blussuvoll er det ikke satt opp et energibudsjett likt det som det er gjort for Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole. Det har heller ikke blitt gjort i denne oppgaven, da det ikke forelå nok byningstekniske data til å sette opp et slikt energibudsjett. Imidlertid går det an å finne luftmengder som tilføres med ventilasjonsanlegget på Blussuvoll og sammenligne energibruk i forbindelse med dette mot verdier funnet på Charlottenlund/Åsheim.

Siden Blussuvoll ikke har behovsstyrt ventilasjon, og all luftmengde er konstante, vil det være enklere å finne total luftmengde for denne skolen enn for Charlottenlund/Åsheim. For å finne den totale luftmengden trenger vi bare å summere alle tilluftmengdene på skolen. Disse finnes i vedlegg H, og har blitt summer sammen til verdien:

$$Q_{Blussuvoll} = 88125m^3/h$$

Hvis det antas en driftsperiode på 10 timer pr. dag, fås følgende luftmengde pr. dag:

$$Q_{Blussuvoll} = 88125m^3/h \cdot 10h/dag = 881250m^3/dag$$

Vi ser at vi ender opp på en mye høyere luftmengde enn ved Charlottenlund og Åsheim, hvor vi fant luftmengden 407303 m<sup>3</sup>/h. Riktignok er Blussuvoll en større skole (ca 7700 m<sup>2</sup> mot ca. 5000<sup>2</sup>), men også pr. kvadratmeter, ligger Blussuvoll godt over nivået til Charlottenlund og Åsheim. Disse verdiene er på henholdsvis 114 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>· dag for Blussuvoll og 81 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>· dag for Charlottenlund/Åsheim. Dermed kan det tyde på at behovstyring har den effekten som er ønskelig, og at det faktisk bruker mindre ventilasjonsluft.

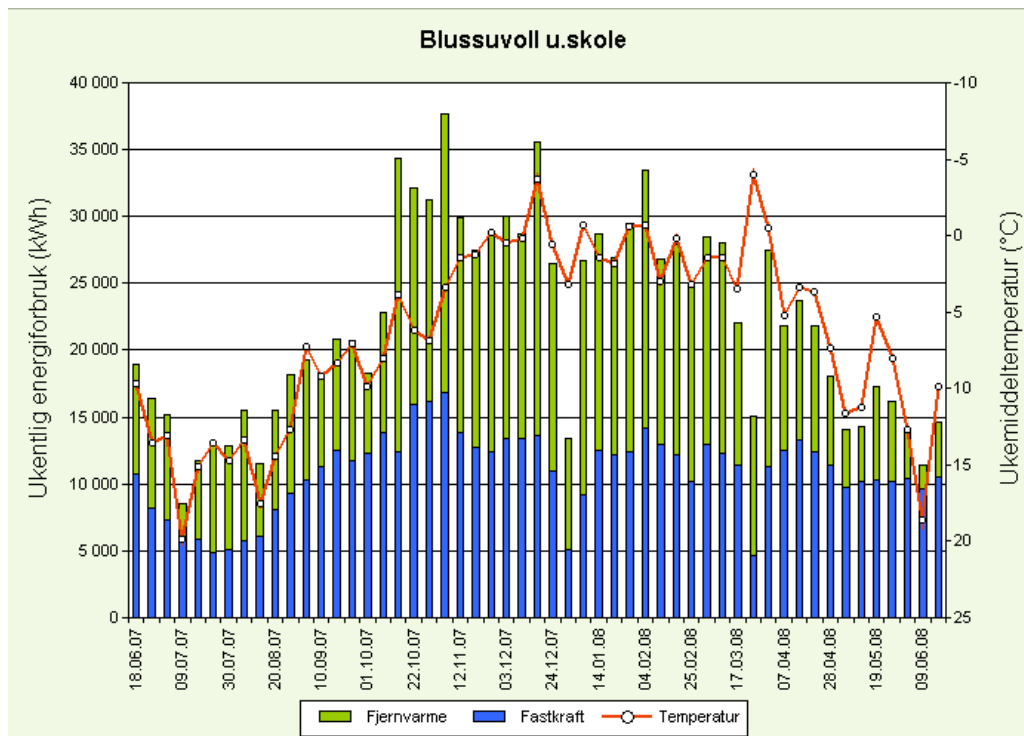
Selv om det ikke er satt opp noe energibudsjett for Blussuvoll på grunn av manglende data, kan det være interessant å se på et noe forenklet energibudsjett og sammenligne opp i mot energidata fra Trondheim Energi. Hvis det for eksempel antas at energibruken pr. kvadratmeter pr. år er den samme på Blussuvoll og Charlottenlund/Åsheim for alle postene i energibudsjettet (untatt post 2 - ventilasjon), så kan man multiplisere opp med arealet til Blussuvoll for å finne energibruk pr. år. Finner en verdi på post 2 - ventilasjon. Den ble funnet til å være 201953 kWh/år. Dermed kan man sette opp tabell 14 og sammenligne den totale energibruken over et år opp i mot energistatistikken fra Trondheim Energi:

Som man ser fra tabell 14 kommer man opp i en energibruk på 1487853 kWh/år. Figur 12 viser det reelle energiforbruket på Blussuvoll i løpet av et år (17.06.07-17.06.08).

Summeres søylene fås en verdi på 1229277 kWh/år, noe som ikke er alt for langt unna verdien funnet over på 1487853 kWh/år. Så estimatet på energibruken i forbindelse med oppvarming av ventilasjonsluften, kan stemme ganske bra selv om det er tatt en god del antagelser.

Budsjettposter:	Totalt:	
	Areal skole: 7700 m <sup>2</sup>	
	kWh/år:	kWh/m <sup>2</sup> ·år:
1 - Oppvarming:	338800	44
2 - Ventilasjon:	201953	26
3 - Varmtvann:	238700	31
4 - Vifter/pumper:	207900	27
5 - Belysning:	261800	34
6 - Diverse:	238700	31
7 - Kjøling:	0	0
Sum 1-7:	1487853	193

Tabell 14: Estimert på energibruk på Blussvoll ungdomsskole



Figur 12: Energiforbruk Blussvoll Ungdomsskole 17.06.07-17.06.08

## 7 Diskusjon og konklusjon

Som vi ser fra beregningene er det mye som tyder på at man sparer energi ved å bruke behovsstyrt ventilasjon. Dette er tydeligvis noe som er godt kjent i bransjen, hvis man ser på resultatene fra spørreundersøkelsen, og noe som nå blir brukt i så og si alle prosjekt.

Imidlertid er det en god del antagelser som ligger bak beregningene i denne oppgaven, så man skal være litt forsiktig med å konkludere alt for mye. Blant annet er det ikke tatt hensyn til at temperaturen kan overstige 25 grader, og dermed kjøre ventilasjonsanlegget på maks. Det er også antatt stasjonært CO<sub>2</sub>-nivå i alle intervallene som er en forenkling.

## 8 anbefalinger

Det skal komme skoler i trondheim med formålsfordelt energistatistikk. Det vil da være veldig interessant å studere dette nærmere, når man har bedre data tilgjengelig. I tillegg burde man i videre arbeid dratt ut på skolene og gjort målinger, som kunne gitt bedre og mer sikre beregninger.

## A PHP-kode til nettsidene

Skjermdumpene under viser eksempler på PHP-kodingen til nettsidene:

```
k?php
//Send NOTHING to the web browser prior to the session_start() line
session_name('YourVisitID');
ini_set('session.use_cookies', 0);
session_start();

//If no session value is present, redirect the user
if (!isset($_SESSION['user_id'])) {

    //Start defining the URL
    $url = 'http://'. $_SERVER['HTTP_HOST'] . dirname($_SERVER['PHP_SELF']);

    //Check for a trailing slash
    if ((substr($url, -1) == '/') OR (substr($url, -1) == '\\')) {
        $url = substr($url, 0, -1); //Chop of the slash
    }

    $url .= '/mainpage.php'; //Add the page.
    header("Location: $url");
    exit(); //Quit the script
}

if (!isset($_POST['submitted'])) { // Handle the form
    require_once('mysql_connect.php'); // Connect to the database
    //Get user ID
    $user_id = $_SESSION['user_id'];
    //Get answer 1
    $answer01 = escape_data($_POST['spn1']);
    //Get answer 2
    $answer02 = escape_data($_POST['spn2']);
```

```
//get answer 3
$answer3_1 = escape_data($POST[spam3_1]);
$answer3_2 = escape_data($POST[spam3_2]);
$answer3_3 = escape_data($POST[spam3_3]);
$answer3_4 = escape_data($POST[spam3_4]);
$answer3_5 = escape_data($POST[spam3_5]);
$answer3_6 = escape_data($POST[spam3_6]);
$answer3_7 = escape_data($POST[spam3_7]);
$answer3_8 = escape_data($POST[spam3_8]);

//get answer 4
$answer4_1 = escape_data($POST[spam4_1]);
$answer4_2 = escape_data($POST[spam4_2]);
$answer4_3 = escape_data($POST[spam4_3]);
$answer4_4 = escape_data($POST[spam4_4]);
$answer4_5 = escape_data($POST[spam4_5]);
$answer4_6 = escape_data($POST[spam4_6]);
$answer4_7 = escape_data($POST[spam4_7]);
$answer4_8 = escape_data($POST[spam4_8]);

// If everything is ok, insert the answers, log out and tell the user that the answers have been registered
if (empty($errors)) {
    $query = "INSERT INTO answers_buggelene (user_id, answer01, answer02, answer03, answer04, VALUES ('$user_id', '$answer01', '$answer02',
CONCAT('$answer3_1', '$answer4_3', '$answer4_2', '$answer4_3', '$answer4_4', '$answer4_5', '$answer4_6', '$answer4_7', '$answer4_8'))";
CONCAT('$answer4_1', '$answer4_2', '$answer4_3', '$answer4_4', '$answer4_5', '$answer4_6', '$answer4_7', '$answer4_8'))";

    // Run the query
    $result = @mysql_query ($query);

    //Set answered = YES
    $query = "UPDATE users SET answered = 'Ja' WHERE user_id= '$user_id'";

    //Run the query
    $result = @mysql_query ($query);

    //Delete password so the user can't log in no more
    $query = "UPDATE users SET password = 'Har svart' WHERE user_id= '$user_id'";

    //Run the query
    $result = @mysql_query ($query);
}
```

```
//Log out the user
$_SESSION = array(); //Destroy the variables
session_destroy(); //Destroy the session itself
echo ' <p>Svarene dine har blitt registrert.<br />
Takk for at du tok deg tid til å svare på spørreundersøkelsen.</p>';
} else { // Print any error messages
echo ' <p>';
foreach ($errors as $msg) { // Print each error.
echo " - $msg<br />";
}
echo ' </p><p>Var vennlig og prøv igjen</p>';
// Close the database connection
mysql_close();
}
} else { // Form has not been submitted
$errors = NULL;
}
}
```

```

k?php
//Send NOTHING to the web browser prior to the session_start() line
session_name ('YourVisitID');
ini_set('session.use_cookies', 0);
session_start();
//if no session value is present, redirect the user:
if (!isset($_SESSION['user-id'])) {
    //Start defining the URL.
    $url = 'http://'. $_SERVER['HTTP_HOST'] . dirname($_SERVER['PHP_SELF']);
    //Check for a trailing slash
    if ((substr($url, -1) == '/') OR (substr($url, -1) == '\\')) {
        $url = substr($url, 0, -1); //Chop of the slash
    }
    $url .= '/mainpage.php'; //Add the page.
    header("Location: $url");
    exit(); //Quit the script
}
if (!isset($_POST['submitted'])) { // Handle the form
    require_once('mysql_connect.php'); // Connect to the database
    //Get user ID
    $user_id = $_SESSION['user-id'];
    //Get answer 1
    $answer01 = escape_data($_POST['spn1']);
    //Get answer 2
    $answer02 = escape_data($_POST['spn2']);

```



```

//bet answer 3a
$answ3a_1 = escape_data($_POST['spm3a_1']);
$answ3a_2 = escape_data($_POST['spm3a_2']);
$answ3a_3 = escape_data($_POST['spm3a_3']);
$answ3a_4 = escape_data($_POST['spm3a_4']);

//bet answer 3b
$answ3b_1 = escape_data($_POST['spm3b_1']);
$answ3b_2 = escape_data($_POST['spm3b_2']);
$answ3b_3 = escape_data($_POST['spm3b_3']);
$answ3b_4 = escape_data($_POST['spm3b_4']);
$answ3b_5 = escape_data($_POST['spm3b_5']);
$answ3b_6 = escape_data($_POST['spm3b_6']);

//bet answer 4
$answ4_1 = escape_data($_POST['spm4_1']);
$answ4_2 = escape_data($_POST['spm4_2']);
$answ4_3 = escape_data($_POST['spm4_3']);
$answ4_4 = escape_data($_POST['spm4_4']);
$answ4_5 = escape_data($_POST['spm4_5']);
$answ4_6 = escape_data($_POST['spm4_6']);
$answ4_7 = escape_data($_POST['spm4_7']);
$answ4_8 = escape_data($_POST['spm4_8']);
$answ4_9 = escape_data($_POST['spm4_9']);

// If everything is ok, insert the comment in the questbook, and tell the user that the answers have been registered
if ($mysql($query)) {
    $query = "INSERT INTO answers_enhanced(answer_id, answer01, answer02, answer03a, answer03b, answer04) VALUES ('{$user_id}', '{$answer01}', '{$answer02}', CONCAT('{$answ3a_1}', '{$answ3a_2}', '{$answ3a_3}', '{$answ3a_4}', '{$answ3b_1}', '{$answ3b_2}', '{$answ3b_3}', '{$answ3b_4}', '{$answ3b_5}', '{$answ3b_6}', '{$answ4_1}', '{$answ4_2}', '{$answ4_3}', '{$answ4_4}', '{$answ4_5}', '{$answ4_6}', '{$answ4_7}', '{$answ4_8}', '{$answ4_9}'))";
    // Run the query
    $result = @mysql_query ($query);

    $query = "UPDATE users SET answered = 'Ja' WHERE user_id='{$user_id}'";
    //Run the query
    $result = @mysql_query ($query);

    //Delete password so the user can't log in no more
    $query = "UPDATE users SET password = 'Har svart' WHERE user_id='{$user_id}'";

```

```
//Run the query
$result = @mysql_query ($query);
echo '

Svarene dine har blitt registrert.<br />
Takk for at du tok deg tid til å svare på spørreundersøkelser.</p>';
} else { // Print any error messages
echo '<p>';
foreach ($errors as $msg) { // Print each error.
echo " - $msg<br />";
}
}
echo '</p><p>Var vennlig og prøv igjen</p>';
//Close the database connection
mysql_close();
}
} else { // Form has not been submitted
$errors = NULL;
}
}

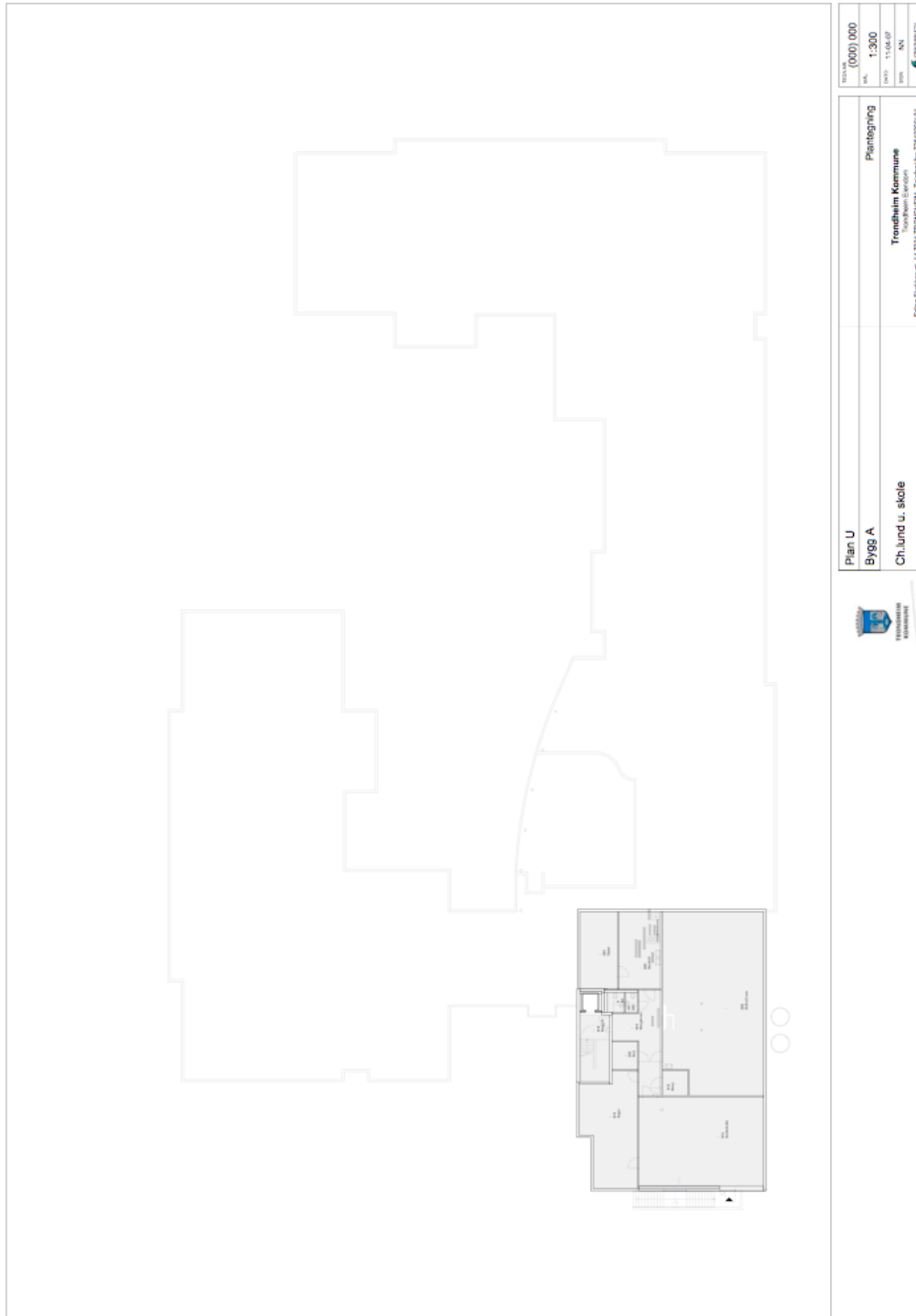

```

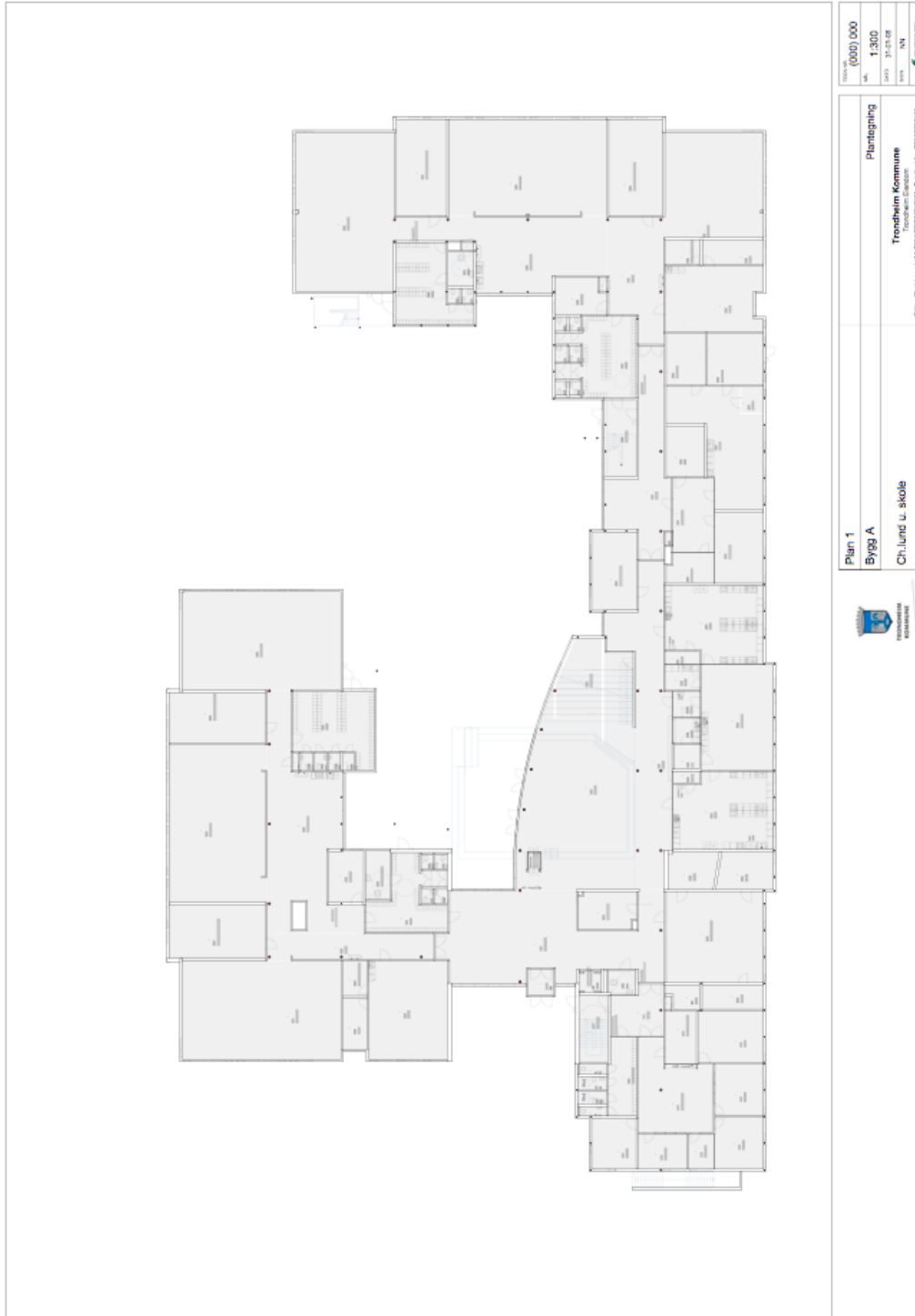
## **B Internettssidene**

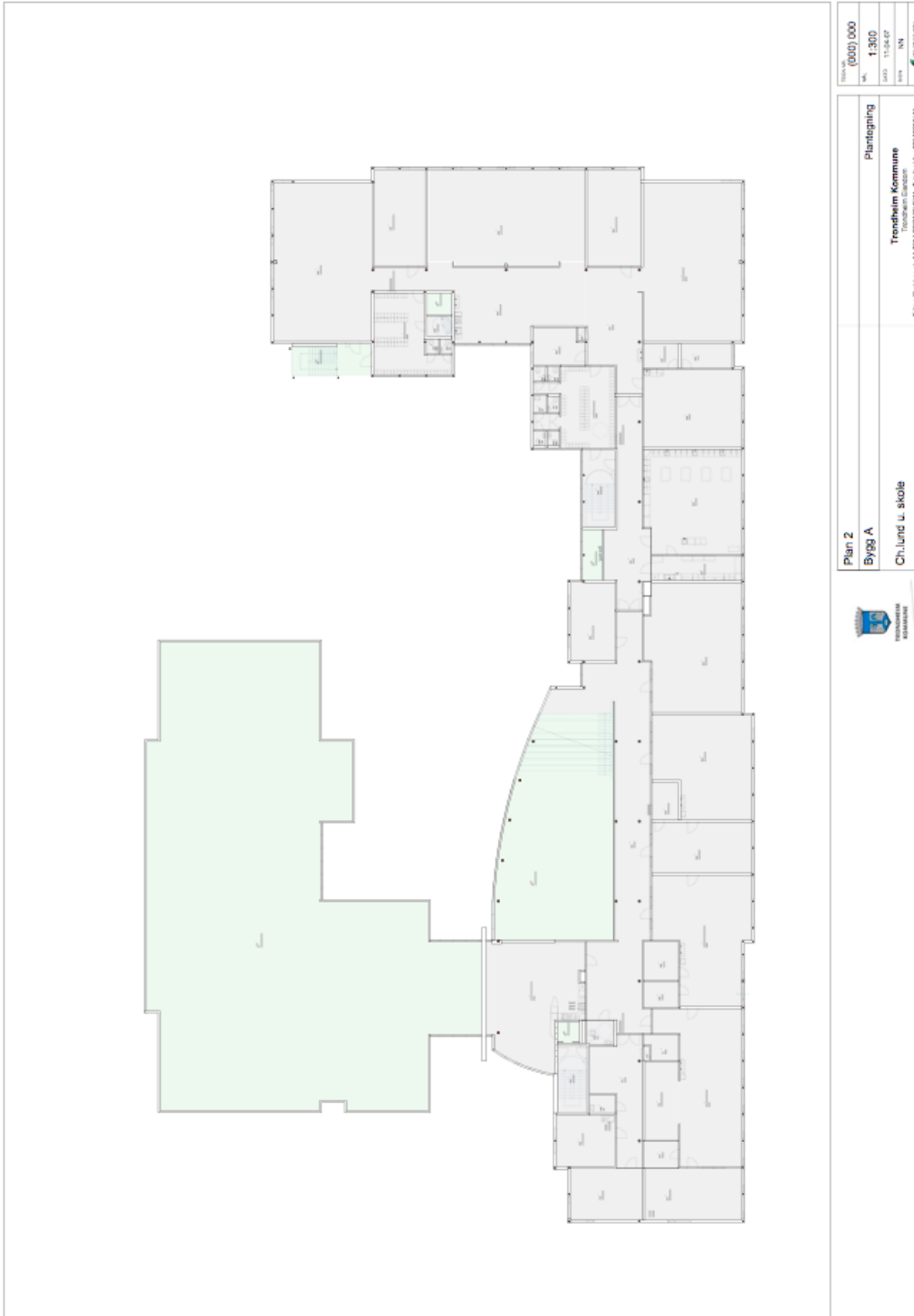
Skjermdump av internetssidene

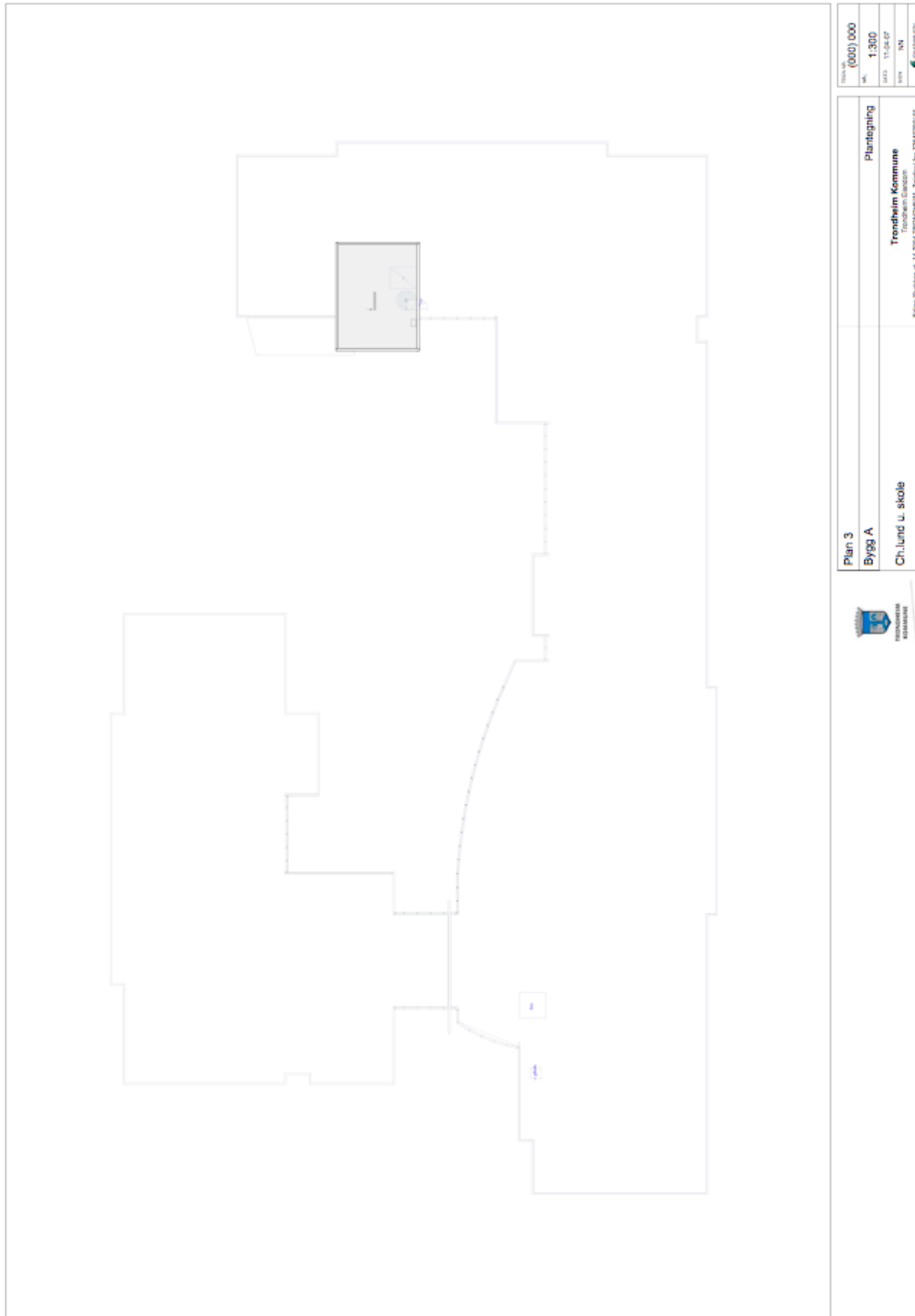
## C Plantegninger av Åsheim Ungdomsskole

Under følger plantegningene for de fire planene på Charlottenlund og Åsheim ungdomsskole (plan U, plan 1, plan 2 og plan 3). Siden Charlottenlund og Åsheim er tvillingskoler, vil de ha identiske plantegninger, selv om det er plantegningene for Charlottenlund som foreligger her.











## **D Plantegning Blussuvoll ungdomsskole**

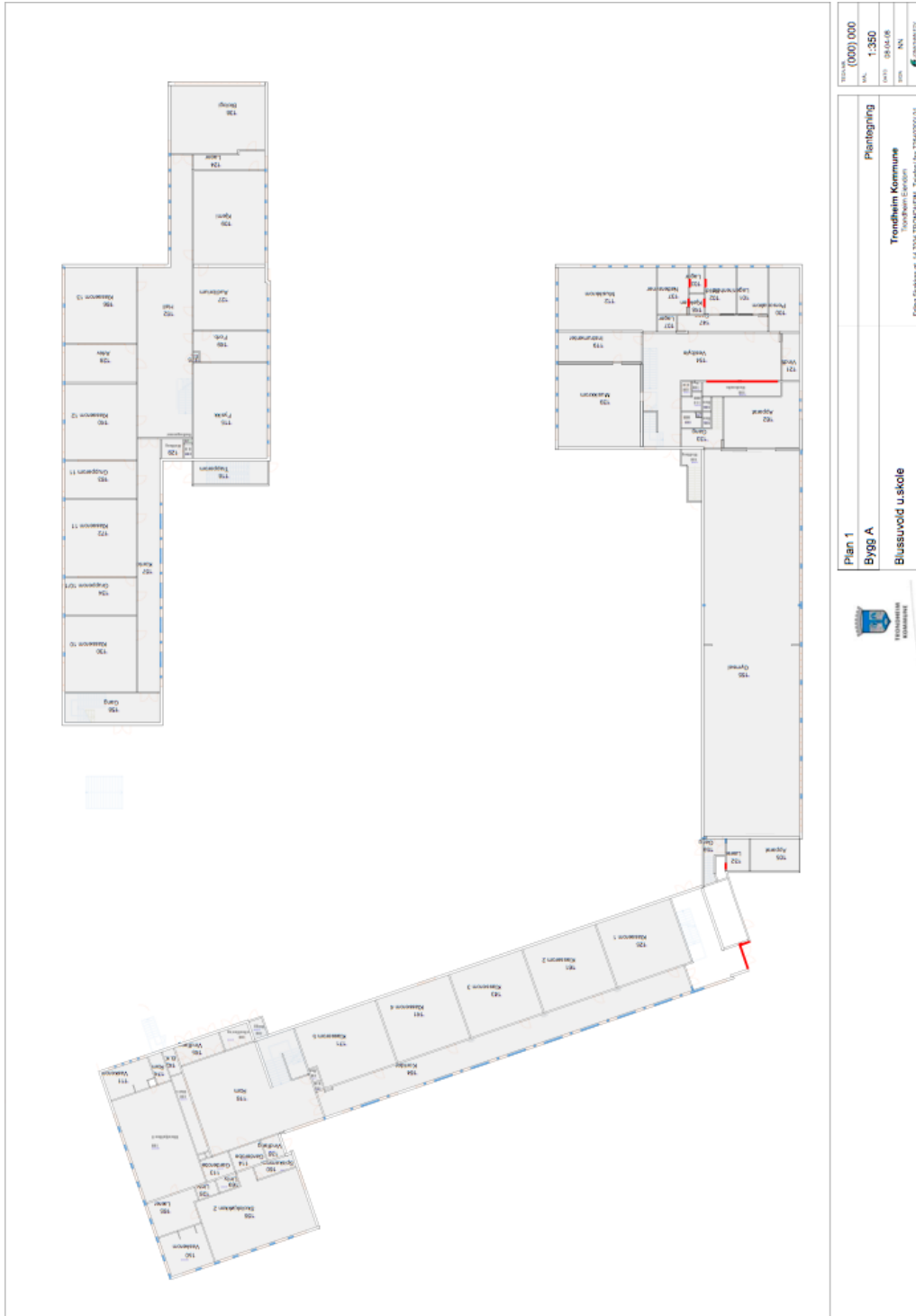
Under følger plantegningene for de tre planene på Blussuvoll ungdomsskole (plan U, plan 1 og plan 2).



TITTEL	[000] 000
MA	1:350
DATO	08-04-08
BYG	NN
BYG	NN

Plan U	Plantegning
Bygg A	Trondheim Kommune
Blussvoll skole	Blussvoll skole



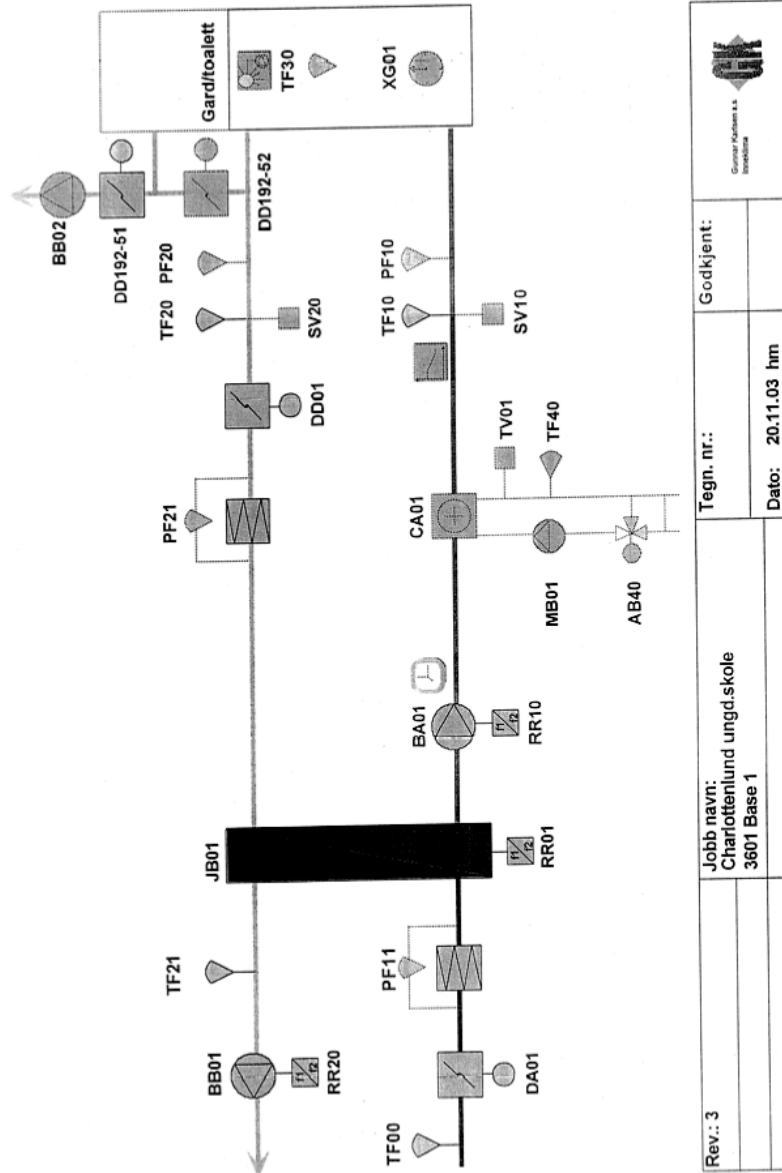


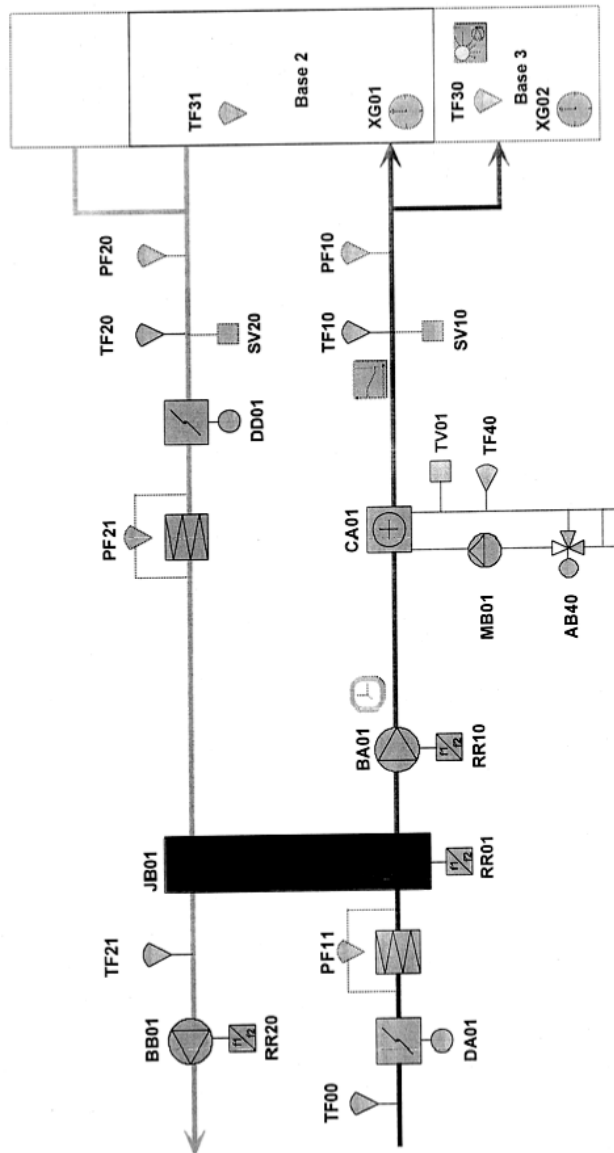
Behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon i skolebygg - energibruk og inneklima



Behovsstyrt og behovstilpasset ventilasjon i skolebygg - energibruk og inneklima

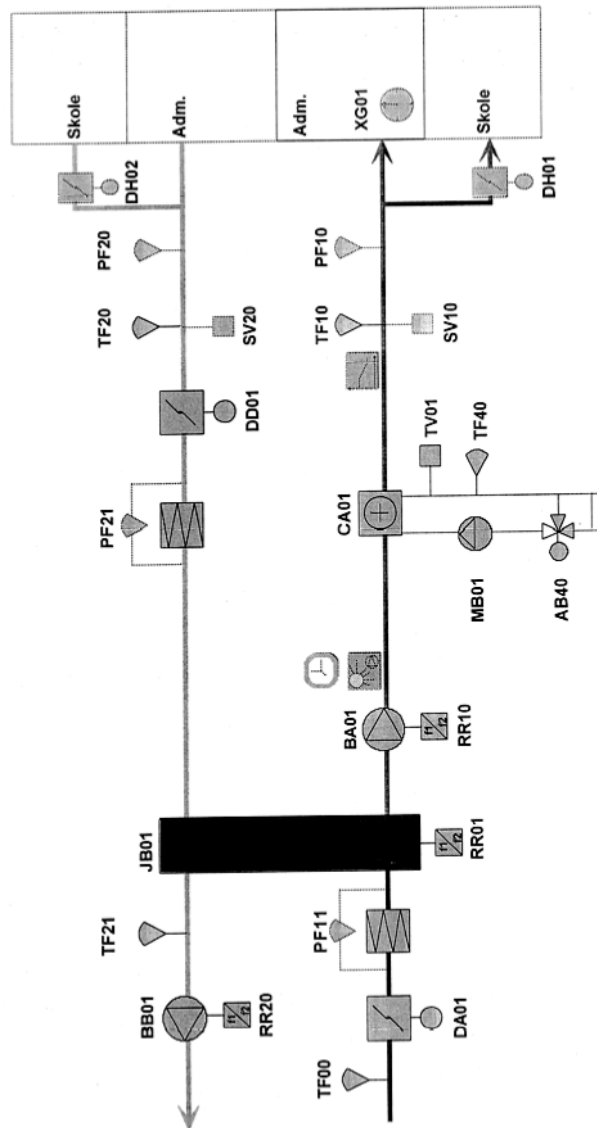
## E Systemskjema av ventilasjonsanlegget på Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole



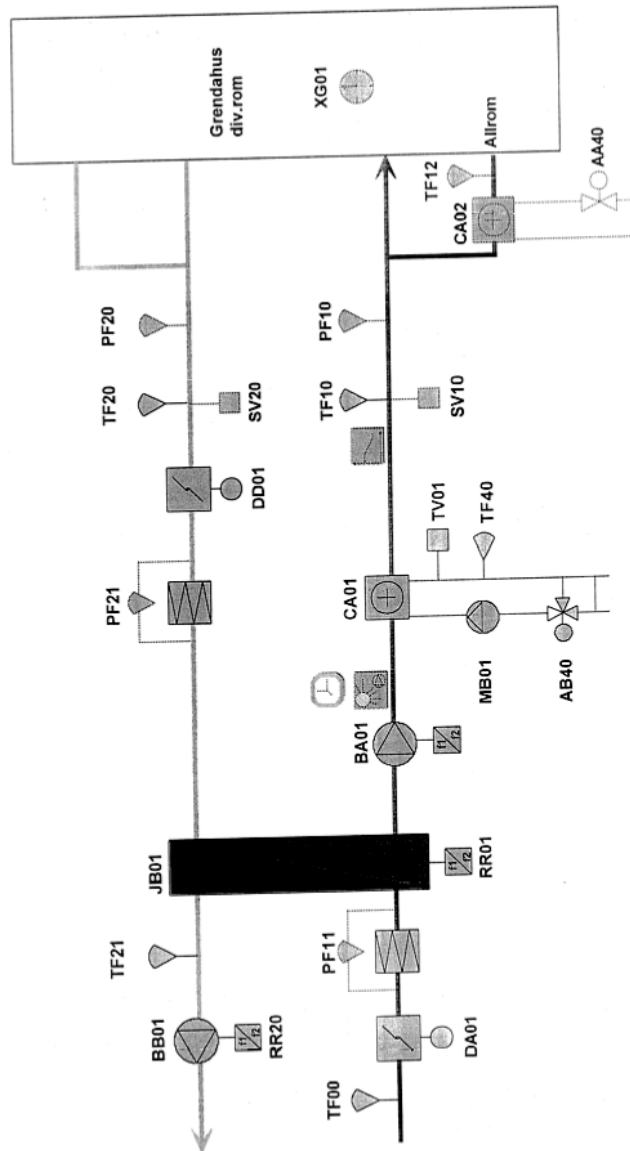


Rev.: 1	Jobb navn: Charlottenlund ungd.skole 3602 Base 2 og 3	Tegn. nr.:	Godkjent:
		Dato: 20.11.03 hm	



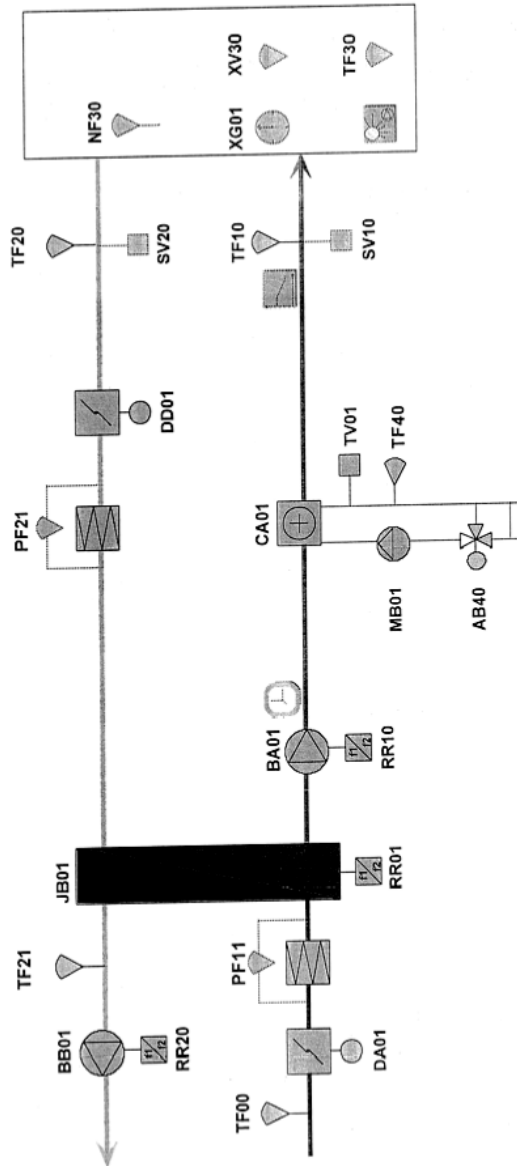


Rev.: 1	Jobb navn: Charlottenlund ungd.skole 3603 Spesiellromsløyf og administrasjon	Tegn. nr.:	Godkjent:
		Dato: 20.11.03 hm	
			 <small>Gunnar Kullbakk L.S. Ingeniør</small>

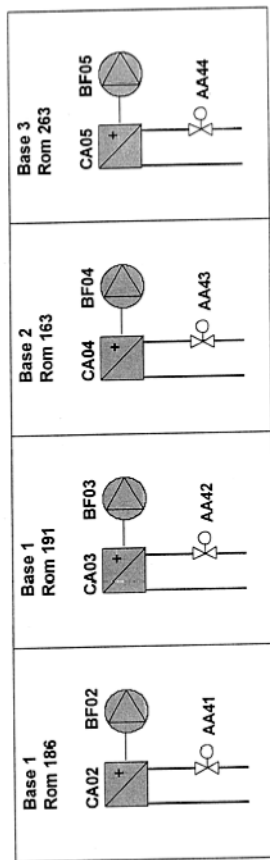



Rev.: 1	RR10	Jobb navn: Charlottenlund ungdomsskole 3604 Grendahus	Godkjent:
		Tegn. nr.:	
		Dato: 20.11.03 hrm	

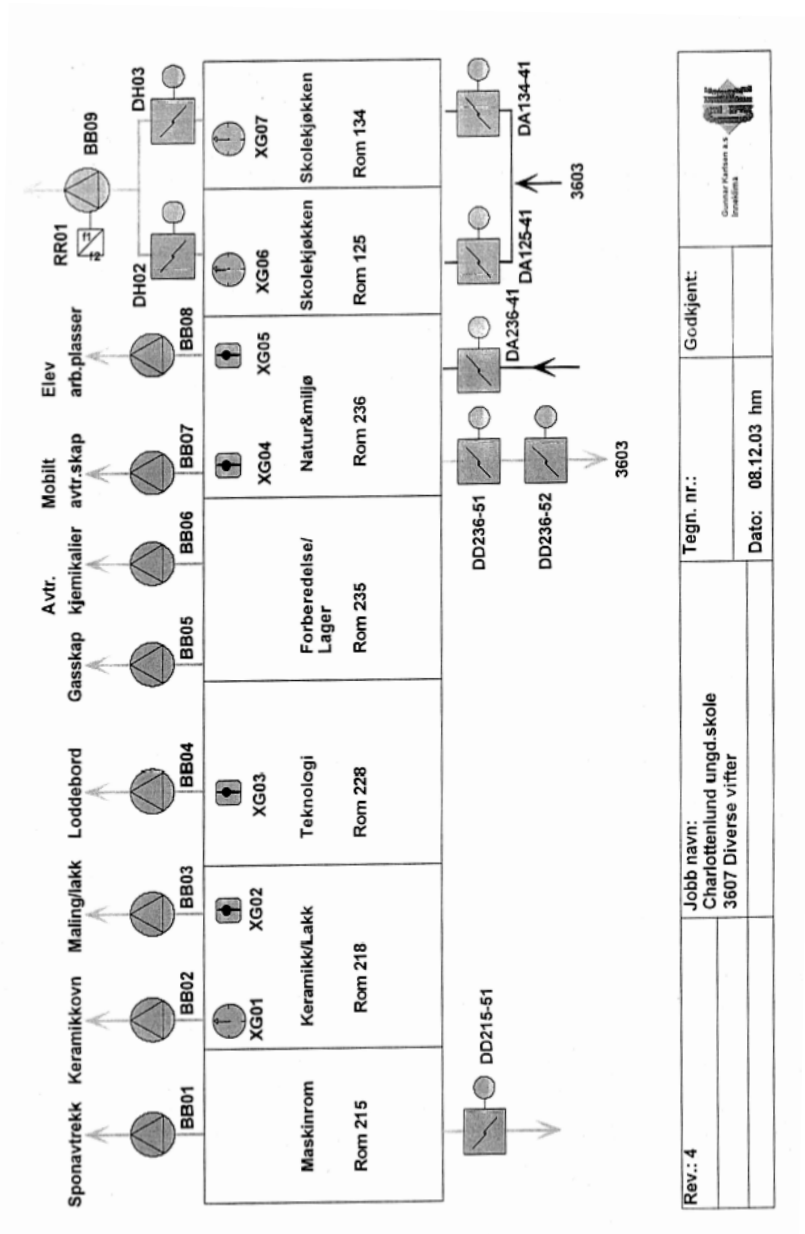




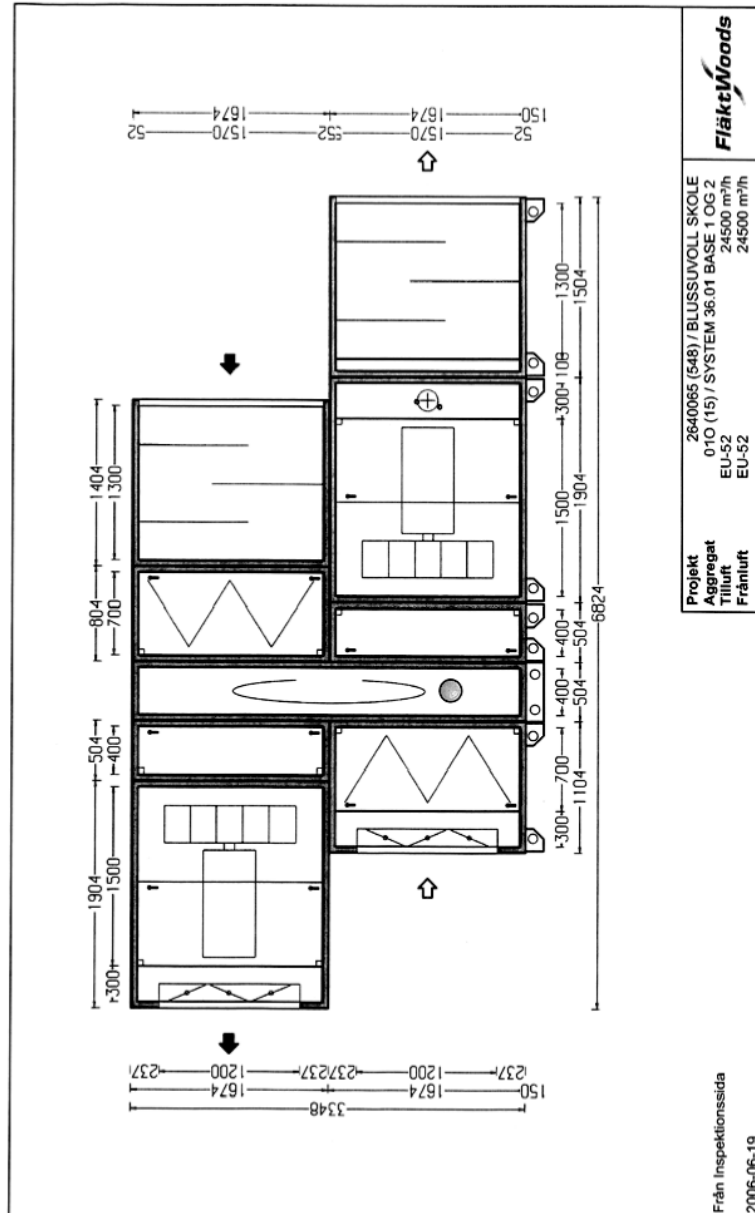
Rev.: 1	Jobb navn: Charlottenlund ungdomsskole 3605 Fritidsklubb	Tegn. nr.:	Godkjent:
		Dato: 20.11.03 hm	

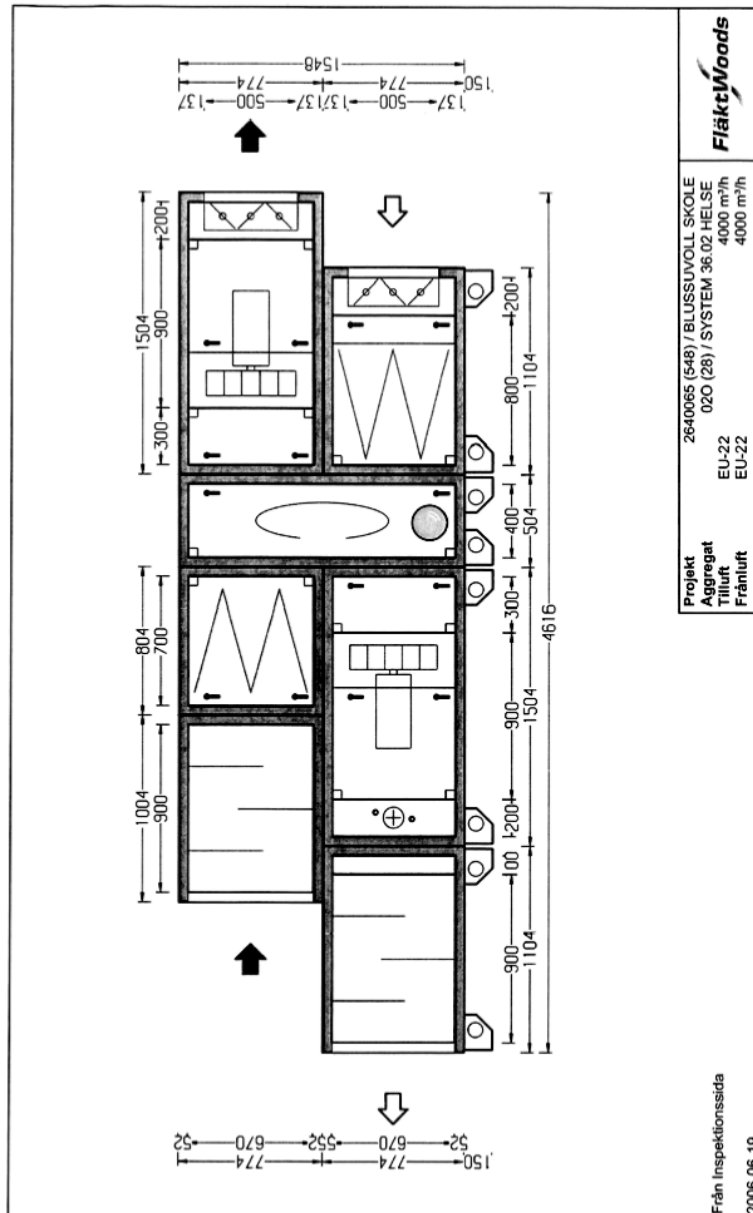


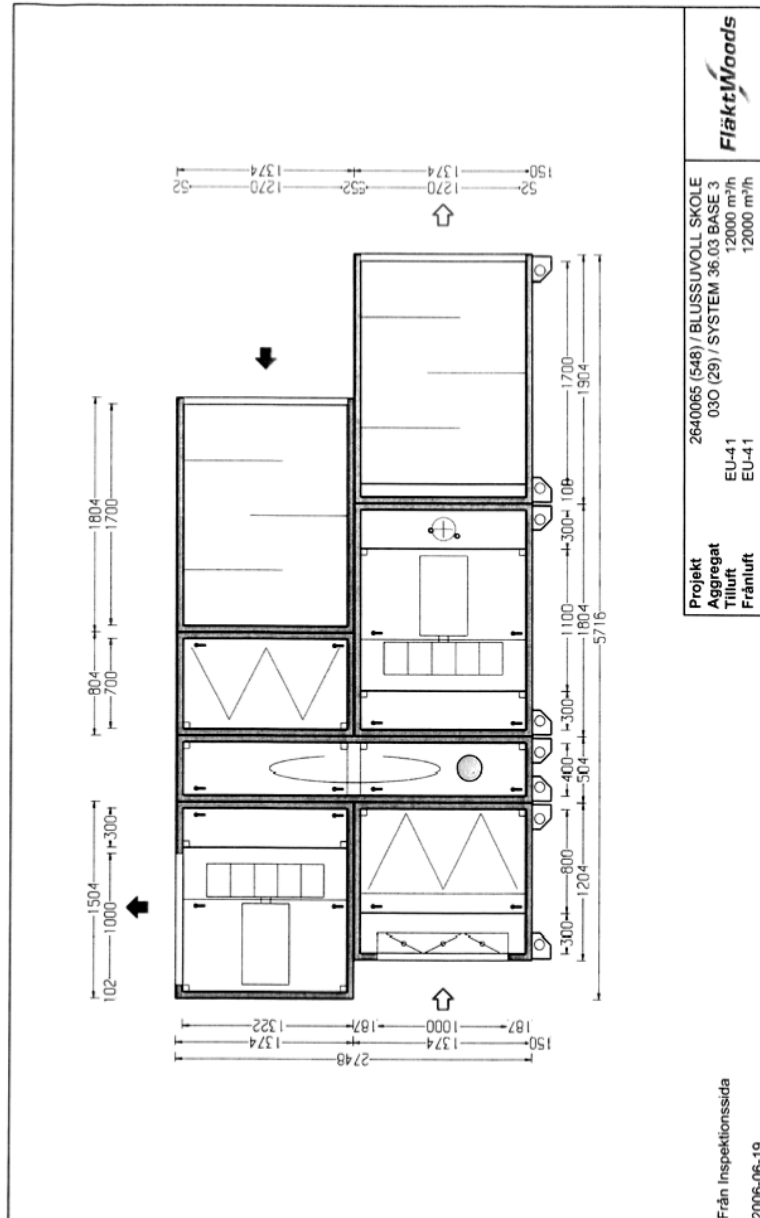
Rev.: 2	Jobb navn: Charlottelund ungdomsskole 3606 Varnluftsgardiner	Tegn. nr.:	Godkjent:
		Date: 20.11.03 hm	
 <small>Gunnar Kulseth s.s. Ingeniører</small>			

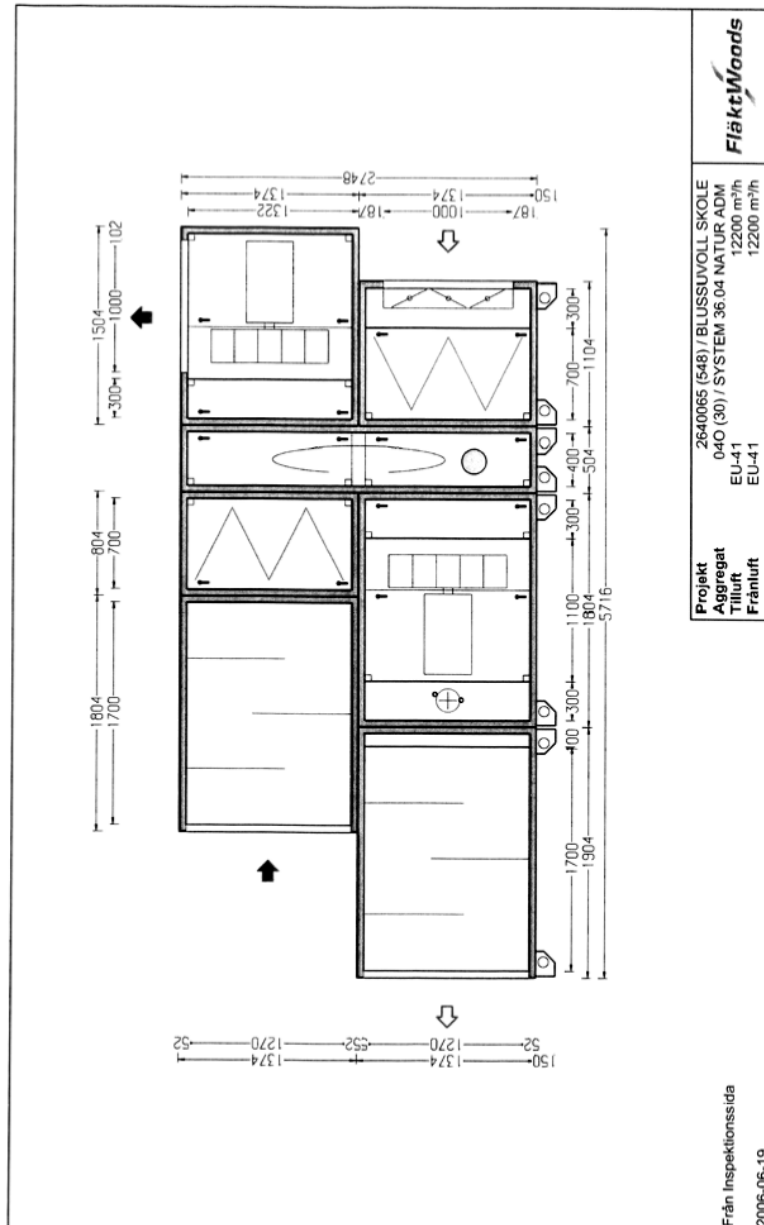


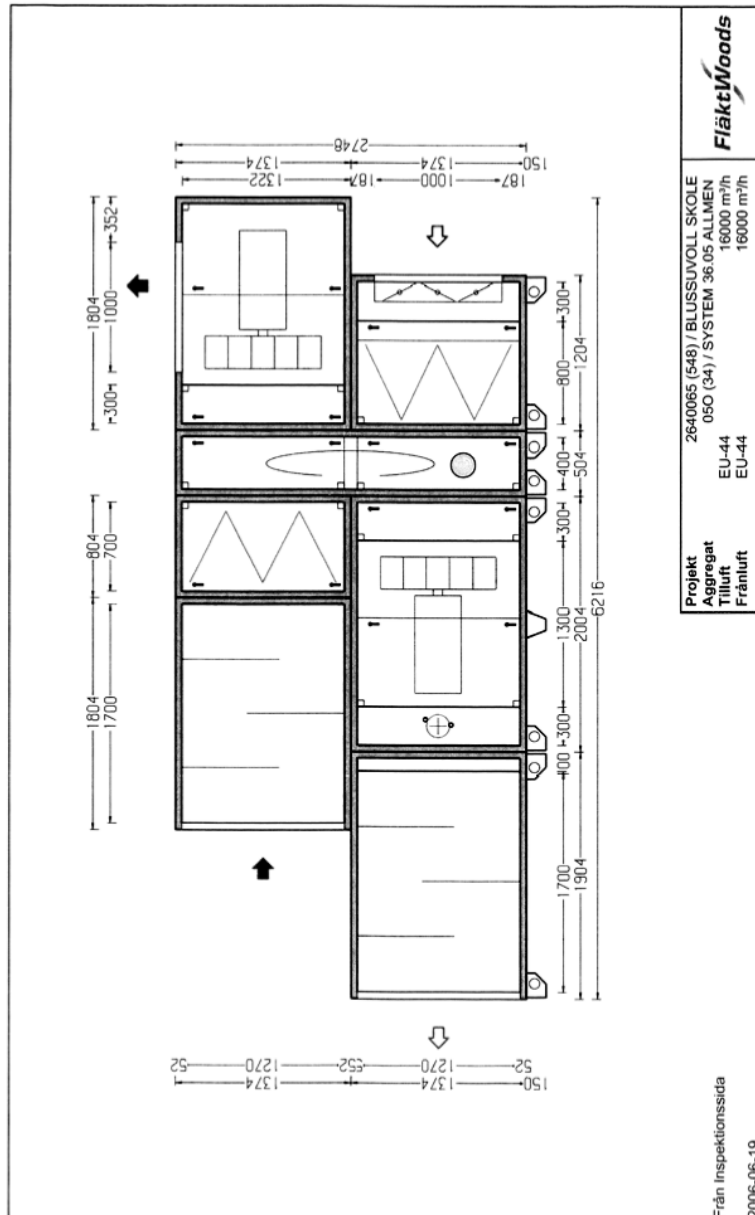
## F Systemskjema av ventilasjonsanlegget på Blussuvoll Ungdomsskole



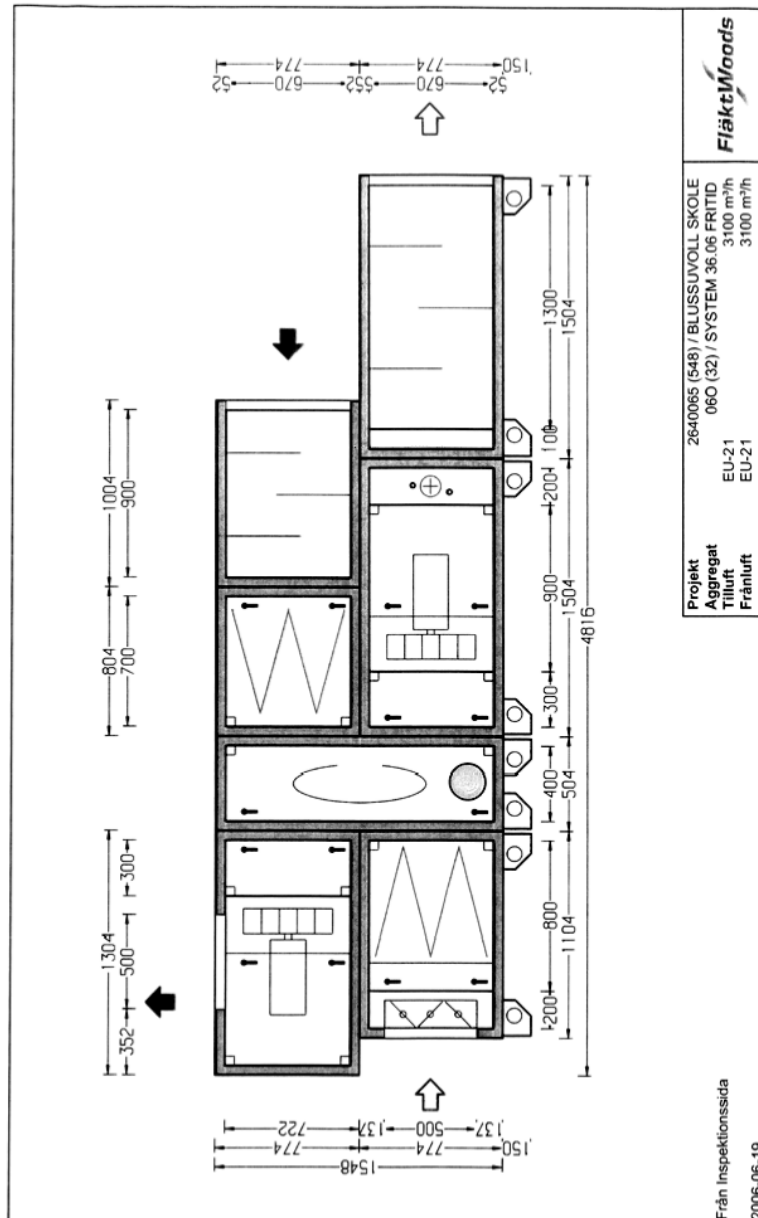


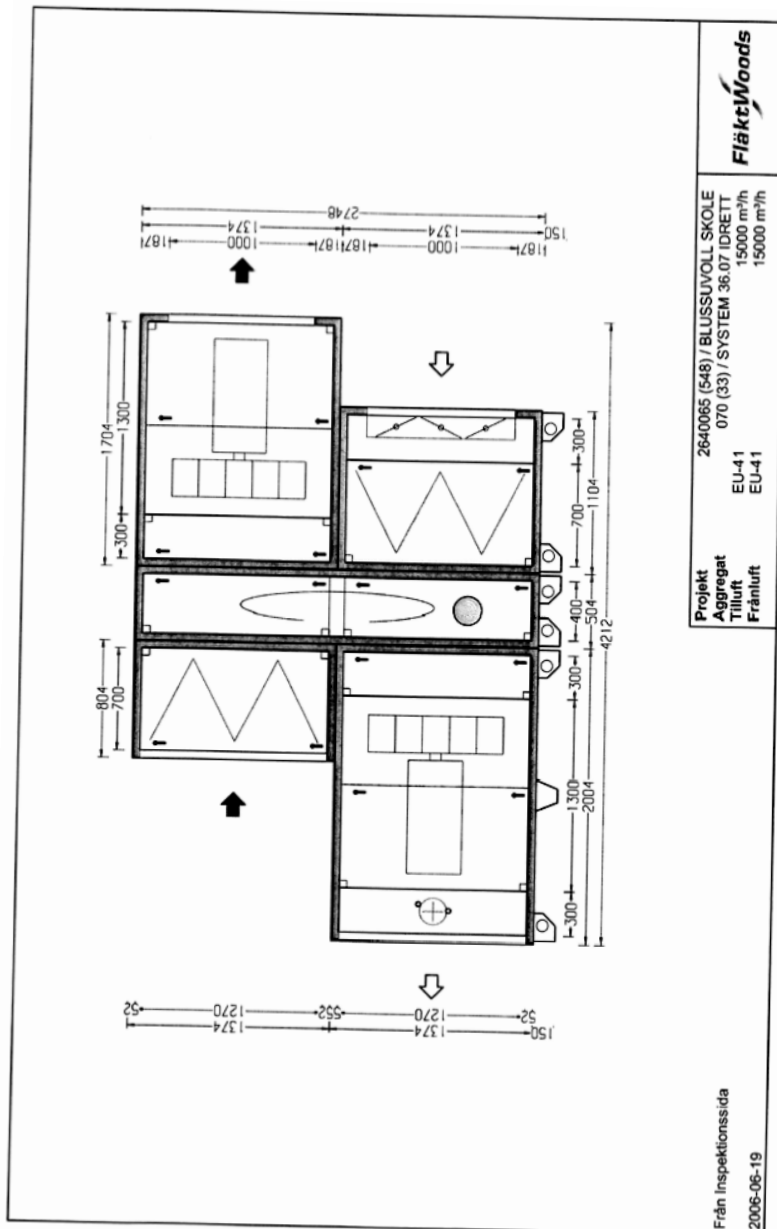












# G Rommatriser Charlottenlund og Åsheim Ungdomsskole

ROM		IKT		VARME		LUFTBHANDLING							INNEKLIMA			KOMMENTARER											
Rom nr.	Type rom	TELETEKNISK	DATATEKNISK	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	IKT	
100	Århus																										
101	Århus																										
102	Århus																										
103	Århus																										
104	Århus																										
105	Århus																										
106	Århus																										
107	Århus																										
108	Århus																										
109	Århus																										
110	Århus																										

ROM	IKT		INNEMILJØ										KOMMENTARER						
	TELETEKNIKK	DATATEKNIKK/SIKKERHET	LUFTBEHANDLING																
Type rom	VARME		LYS										LVD						
	Radatorer	Radatorer	Radatorer	Termostathode på radiator	Motorventil: lokal styring i rommet	Motorventil: sentral styring fra SD-anl.	Andre funksjoner, se kommentarfelt	System nr.	Andre funksjoner, se kommentarfelt	Bryter	Timer for sone	Dimming		Antennetak	Innsjerm (uloh)	Teleslynnsantenne	Keytaranlegg		
Rom nr.	Arrel	Datautsk/teletak	IF-detektor	Adgangskontroll	Andre funksjoner, se komm.	Tilrh m <sup>3</sup> /h	Arrelk m <sup>3</sup> /h	CAV 30/100% fukt/værelstemp	CAV	Timer for start system	System nr.	Andre funksjoner, se kommentarfelt	Bryter	Timer for sone	Dimming	Antennetak	Innsjerm (uloh)	Teleslynnsantenne	Keytaranlegg
111	Ungro					100		X			36.03								
112	Frøysa A		X	X		600	600	X	X	X	36.03			X					
113	Elektronikk	4	X	X		120	120	X	X	X	36.03			X					
114	RF-utstyr	2	X	X		120	120	X	X	X	36.03			X					
115	Skredder	7	X	X		160	160	X	X	X	36.03			X					
116	Kontor	21	X	X		160	160	X	X	X	36.03			X					
117	Kontor	21	X	X		160	160	X	X	X	36.03			X					
118	Meet	20	X	X		200	200	X	X	X	36.03			X					
119	Kjøkket i skole	10	X	X		100	100	X	X	X	36.04			X					
120	Lager	12				600					36.04								
121	Ungro	140				1000	1000				36.04								
122	Maskinrom	72	X	X		200	200	X	X	X	36.04			X					
123	Ungro	16				270	270	X	X	X	36.04			X					
124	Ungro	17	X	X		1000	1100	X	X	X	36.04			X					
125	Kjøkken 1	60				50	50	X	X	X	36.04			X					
126	Lager	3				1000	1000	X	X	X	36.04			X					
127	Sjenerom	67				100	100	X	X	X	36.04			X					
128	Kontor	6				100	100	X	X	X	36.04			X					
129	Ungro	6				100	100	X	X	X	36.04			X					
130	Ungro	7				200	200	X	X	X	36.03			X					
131	Ungro	16				100	100	X	X	X	36.03			X					
132	Telesyn	24				100	100	X	X	X	36.03			X					
133	Maskinrom	20				400	210	X	X	X	36.04			X					
134	Kjøkken 2	50				100	100	X	X	X	36.04			X					
135	Lager	2				50	50	X	X	X	36.04			X					
136																			
141	Utvalgt	11				100	100	X	X	X	36.03			X					
142	Skole	28				200	200	X	X	X	36.03			X					
143	Skole	28				200	200	X	X	X	36.03			X					
144	Skole	28				400	400	X	X	X	36.03			X					

ROM	IKT		INNEMILJØ										KOMMENTARER							
	TELETEKNISK/DATA/TEKNISSIKKERHET	SIKKERHET	VARME	LUFTBEHANDLING										LYS	LYD					
ROM nr.	Areal	Dokument/teknisk	IR-detektor	Adgangskontroll	Røddetektor	Guilvarme	Termosensorer på røddetektor	Motorvekt: lokal styring i rommet	Motorvekt: sentral styring fra SD-enhet	Andre funksjoner, se kommentarfelt	System nr.	Timer for start system	Bryter	Timer for scene	Dimming	Artennertak	Innsjekking (uttak)	Tøstøy/gjensvarme	Høyttalerlogg	
145	Bald	16																		
146	Oslo	13	X																	
147	Intell.com	17																		
148	Sveinsson	21																		
149	Motor	6																		
151	Oslo	26																		
152	Prentesentral	75																		
153	Gruppe	16																		
155	Løner	62	X																	
156	Møte	11																		
157	Bygget	7																		
158	Skoleareal	127																		
159	Formidlingsgruppe	42																		
160	Skoleareal	126																		
161	Formidlingsgruppe	41																		
162	Skoleareal	127																		
163	Skoleareal	36																		
164	WC	4																		
165	WC	4																		
166	Reparert peltrom	6																		
167	Skoleareal	42																		
168	WC	4																		
169	WC	4																		
170	Skoleareal	2																		
171	WC	4																		
172	WC	4																		
173	WC	4																		
175	Oslo	41																		
176	Prentesentral	74																		

ROM	IKT		INNEMILJØ										KOMMENTARER												
	TELETEKNISK/DATA/TEKNISK SIKKERHET	VARME	LUFTBEHANDLING																						
ROM nr.	Type rom	Ansl.	Deurstat./teknisk	IF- detektor	Adgangskontroll	Radiatorer	Golvvarme	Temperatshode på radiator	Motorventil: lokal styring fra SD-ant.	Motorventil: sentral styring fra SD-ant.	Andre funksjoner, se komment.	Tilbukt m <sup>3</sup> /h	Avtrekk m <sup>3</sup> /h	VAV, CO2/temperatur	CAV 20/100% tiltak, veksell/temperatur	System nr.	Andre funksjoner, se kommentert	Bytter	Timer for sone	Økning	Antennestak	Innsjekkem (uttak)	Tekstspesifisering	Fysisk/teknisk	
177	Gruppe	10										210	210												
178	Loket	62		X		X	X	X	X	X	900 270 900 270	900 270 900 270	X	X	X	X	36.01	X	X						
179	Støtte	11									180	180					36.01	X	X						
180	Lager	7									2200	2200					36.01	X	X						
181	Etterbehold	10				X	X	X	X	X	710 324 150 324	710 324 150 324	X	X	X	X	36.01	X	X						
182	Arbeidsstasjon	44				X	X	X	X	X	2300	2300					36.01	X	X						
183	Etterbehold	11				X	X	X	X	X	710 324 150 324	710 324 150 324	X	X	X	X	36.01	X	X						
184	Arbeidsstasjon	41		X		X	X	X	X	X	710 324 150 324	710 324 150 324	X	X	X	X	36.01	X	X						
185	Etterbehold	10		X		X	X	X	X	X	710 324 150 324	710 324 150 324	X	X	X	X	36.01	X	X						
186	Etterbehold	44		X		X	X	X	X	X	460	460					36.01	X	X						
187	Støtte	2				X	X	X	X	X	160	160					36.01	X	X						
188	AVC	2				X	X	X	X	X	100	100					36.01	X	X						
189	AVC	2				X	X	X	X	X	100	100					36.01	X	X						
190	AVC	2				X	X	X	X	X	100	100					36.01	X	X						
191	Etterbehold	34				X	X	X	X	X	400	400					36.01	X	X						
192	AVC	1				X	X	X	X	X	100	100					36.01	X	X						
193	AVC	1				X	X	X	X	X	70	70					36.01	X	X						
194	AVC	1				X	X	X	X	X	70	70					36.01	X	X						
195	AVC	1				X	X	X	X	X	70	70					36.01	X	X						
196	AVC	1				X	X	X	X	X	70	70					36.01	X	X						
2	2. etasje										1700	1700					36.04	X	X						
201	Arbeidsstasjon	80		X		X	X	X	X	X	1710	1710					36.04	X	X						
202	AVC	8				X	X	X	X	X	100	100					36.03	X	X						
203	Etterbehold	26		X		X	X	X	X	X	200	200					36.03	X	X						
204	Etterbehold	4				X	X	X	X	X	100	100					36.03	X	X						
205	Etterbehold	4				X	X	X	X	X	300	300					36.03	X	X						
206	Etterbehold	26				X	X	X	X	X	200	200					36.03	X	X						
207	Etterbehold	38		X		X	X	X	X	X	600	600					36.03	X	X						
208	Etterbehold	41		X		X	X	X	X	X	160	160					36.03	X	X						
209	Etterbehold	32				X	X	X	X	X	520	520					36.03	X	X						




Rom nr.	Type rom	Areal	IKT			VARMEN	INNEMILJØ											KOMMENTARER			
			TELETEKNISK	DATATEKNISK	SIKKERHET		LUFTBEHANDLING	LYS	LYD												
204	SIKRETT	7																			
205	SIKRETT	7																			
206	Tring 3	4																			
207	Conservator	40																			
208	SIKRETT	7																			
209	SIKRETT	7																			
210	SIKRETT	7																			
211	SIKRETT	7																			
212	SIKRETT	7																			
213	SIKRETT	7																			



## H Rommatriser Blussvoll ungdomsskole

ROM		LUFTBEHANDLING							KOMMENTARER
Rom nr.	Type rom	Areal	Tiluft m <sup>3</sup> /h	Avtrekk m <sup>3</sup> /h	Overstrømming	Tiluftventil	Avtrekksventil	Timer	
A1-01	Trepp								36.04
A1-02	Trepp	200				LPK 180-300			36.04
A1-03	Skole								36.04
A1-04	Korridor								36.04
A1-05	Korridor	200			-200	LPK 180-300			36.04
A1-06	Korridor								36.04
A1-10	Miljørom	10	150	150		LPK 125-180	EXC 180		36.04
A1-11	TKMK	20	300	300		LPK 200-300	2 x EXC 160		36.04
A1-12	Musikkteknologi	20	300	300		LPK 200-300	2 x EXC 180		36.04
A1-13	Naturfag lab 1	77	1000	850	-150	4 x LPK 180-260	GRL 500x200 TRG 315		36.04
A1-14	Lager forb	19		300	300				36.04
A1-15	Tekn./ Naturfag la	81	1000	850	-150	4 x LPK 180-260	GRL 500x200 TRG 315		36.04
A1-16	Lager	7,4		100	100		EXC 125		36.04
A1-17	Telesal	77	800	700	-100	4 x LPK 180-260	GRL 500x200 TRG 315		36.04
A1-18	Tegning	89	800	700	-100	4 x LPK 180-260	GRL 500x200 TRG 315		36.04
A1-19	Lager	9,8		100	100				36.04
A1-20	Gardenobe	41	500		-500	LPK 250-318			36.04
A1-20b	Permobil	12		100	100		EXC 125		36.04
A1-20c	wc	1,6		100	100		EXC 125		36.04
A1-20d	wc	1,6		100	100		EXC 125		36.04
A1-20e	wc	1,6		100	100		EXC 125		36.04
A1-20f	wc	1,6		100	100		EXC 125		36.04
A1-21	Lager	10		500	500		2 x GRL 400x200 TRG 250		36.04
A1-22	Karantakk	41	500		-500				36.04
A1-23	Treimetal	83	800		-800		GRL 400x150 TRG 250		36.04
A1-24	Maling/lekk	4,6		250	250				36.04
A1-25	Lager	4,6		100	100		EXC 125		36.04
A1-26	th	4,6		100	100		EXC 125		36.04
A1-27	Vestled	41	500		-500				36.04
A1-28	Gardenobe	50	400	200	-200	2 x LPK 180-260	GRL 400x150 TRG 250		36.04
A1-28b	wc	2,2		100	100	LPK 250-318	EXC 200		36.04
A1-28c	wc	2,2		100	100		EXC 125		36.04
A1-28d	wc	2,2		100	100		EXC 125		36.04
A1-29	hvc	8,2		100	100		EXC 125		36.04
A1-30	lg-rom	34	400	400		LPK 200-318	2 x EXC 200		36.04
A1-31	Verk.dala	8,1	200	200		LPK 180-300	EXC 180		36.04
B0-10	Pers.gard	29	400		-400	LPK 250-318			36.04
B0-10b	wc	1,8		100			EXC 125		36.04

 <b>Gunnar Kvernøen s.a</b> <b>INNEKLIMA</b>											
<b>Rommatrikse Blussuvoll skole VENTILER</b>											
LUFTBEHANDLING											
ROM	Type rom	Areal	Tilutt m <sup>3</sup> /h	Avtrekk m <sup>3</sup> /h	Overstrøming	Tilførsel	Avtrekksventil	Timer	System nr.	KOMMENTARER	
A2-01	Trapp							X	36.03		
A2-02	Trapp								36.03		
A2-03	Sluse								36.03		
A2-04	Korridor								36.03		
A2-05	Fellesareal	72	900	900		2 x LPK 250-315	GRL 600x200 TRG ø315		36.03		
A2-06	Korridor								36.03		
A2-10	Gruppe	11	200	200		LPK 180-200	EXC 200		36.03		
A2-11	Elevarsal	151	2000	2000		IBIS	Gibseriet 600x600		36.03	Eget lydtemper kammer	
A2-12	Formidling	60	2000	2000		6 x LPV 800x200	Gibseriet 600x600		36.03	Eget lydtemper kammer	
A2-13	Gruppe	9,5	200	200		LPK 180-200	2 x EXC 125		36.03		
A2-14	Gruppe	9,5	200	200		LPK 180-200	2 x EXC 125		36.03		
A2-15	Elevarsal	149	2000	2000		IBIS	Gibseriet 600x600		36.03	Eget lydtemper kammer	
A2-16	Gruppe	11	200	200		LPK 180-200	2 x EXC 125		36.03		
A2-17	Lager	9,9	100	100		LPC 125	EXC 125		36.03	Ikke hilling	
A2-18	Elevarsal	148	2000	1800		IBIS	Gibseriet 600x600		36.03	Eget lydtemper kammer	
A2-19	Formidling	42	900	900		3 x LPV 600x300	GRL 600x200 TRG ø315		36.03	Overstrøming fra A2.21 Fellesfunksjoner	
A2-20	L.kopi	8,9	300	300			2 x EXC 180		36.03		
A2-21	L.fellesfunksjoner	33	300			LPK200-250			36.03		
A2-22	Lærerkontor	62	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 200		36.03		
A2-22b	Lærerkontor	22,4	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 200		36.03		
A2-22c	Lærerkontor	17,1	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 200		36.03		
A2-23	RH	3		100			EXC 125		36.03	Ikke hilling. Overstrøming fra korridor	

Gammle Karlsen s.s INNEKLIMA										
Rommatrise Blussvoll skole VENTILER										
ROM										
LUFTBEHANDLING										
Rom nr.	Type rom	Areal	Tilutt m <sup>2</sup> /h	Avtrekk m <sup>2</sup> /h	Overstrøming	Tilførsel	Avtrekksventil	Timer	System nr.	KOMMENTARER
B0-01b	Tilsynsvakt	6,5	120	120		LPV 400x150-125	EXC 125		38.06	
B0-04	Foaje	300	300			LPK 200-250			38.06	
B0-05	Korridor	200	200			LPK 100-200			38.06	
B0-11	ve/jang	4,4	100	100					38.06	
B0-11b	wc	1,3	100	100			EXC 125	X	38.06	
B0-11c	wc	1,3	100	100			EXC 125		38.06	
B0-12	Sambuk	15	200	200		LPK 100-200	2 x EXC 125		38.06	
B0-13	RWC	7,2	100	100			EXC 125		38.06	Overstrøming fra B0.15
B0-14	Permobal	12	100	100			EXC 125		38.06	Overstrøming fra B0.15
B0-34	Frikidsstue	105	2000	1800		4 x LPK 250-315	Gitterfelt 600x800		38.06	Egensproduisert kammer, lydempet
B0-34b	Kjøkken	8	100	100					38.06	Eget kjøkkenavtrekk. Overstrøming
B0-34c	Lager DJ	5,8		100			EXC 125		38.06	Overstrøming

ROM		LUFTEHANDLING						KOMMENTARER	
Kom nr.	Type rom	Areal	Thiukt m <sup>3</sup> /h	Avstak m <sup>3</sup> /h	Overdrøining	Thiukt m <sup>3</sup> /h	Avstak m <sup>3</sup> /h	System nr.	
B0-06	Korridor		100	100		LPK 100-125	EXC 125	38.07	
B0-08	Korridor							38.07	
B0-17	th	1,9		100	100		EXC 125	38.07	
B0-18	Gard-g	21	550		-550	LPK 250-315	EXC 125	38.07	
B0-19	HCwc	6,5	100				EXC 125	38.07	
B0-20	dusj-g	15	450				3 x EXC 160	38.07	Overstrøming fra B0.18
B0-21	wc	2,5	100				EXC 125	38.07	
B0-22	dusj-g	15	450				3 x EXC 160	38.07	
B0-23	Gard-g	22	550			LPK 250-315		38.07	
B0-24	Gard-g	22	550			LPK 250-315		38.07	
B0-25	wc	2,5	100				EXC 125	38.07	
B0-26	Dusj-g	15	450				3 x EXC 160	38.07	
B0-27	HCwc	6,5	100				EXC 125	38.07	Overstrøming fra B0.29
B0-28	Dusj-g	15	450				3 x EXC 160	38.07	
B0-29	Gard-g	21	500			LPK 250-315		38.07	
B0-30	Treningsrom	67	900			4 x KDYa 3-18		38.07	
B0-31	Sislerom	11	100			GRL 600x200-315-K	EXC 125	38.07	
B0-32	Lærar gard.	4,5					EXC 125	38.07	Overstrøming fra korridor
B0-32b	dusj/wc	4	100				EXC 125	38.07	Overstrøming fra korridor
B0-33	Lærar gard.	4,5					EXC 125	38.07	
B0-33b	dusj/wc	4	100				EXC 125	38.07	
B0-02	Trapp		100			???????		38.07	
B1-15	Apparatrom/lager	31						38.07	
B1-16	Apparatrom/lager	29						38.07	Egan vilt avstak 150 m <sup>3</sup> /h over tak
B1-17	renhold	5,9	150					38.07	
B1-18	Hall	496	12000	12000		20 x CVH 315	2 x GRL 600 x 1400	38.07	

ROM			LUFTBEHANDLING							KOMMENTARER
Rom nr.	Type rom	Areall	Tiluft m <sup>3</sup> /h	Avvask m <sup>3</sup> /h	Overstrøming	Tilførselsl	Avvaskningsl	Timer	System nr.	
B0-10c	wc	1,8		100					38.04	Festhelling
B0-10d	dusj	2,9		100					38.04	
B0-10e	dusj	2,9		100					38.04	
B0-15	Hovedisjer/bis	49	125	125			LPC 180		38.04	
B2-14	Mete lærer	20	350				LPK 200-250	2 EXC 200	38.04	
B2-15	Samtale	6,2	120				LPK 125-160	EXC 125	38.04	
B2-16	Samtale	5,2	120				LPK 125-160	EXC 125	38.04	
B2-17	Arkivisjer	10	100		-100			EXC 125	38.04	Overstrøming fra Korridor
B2-18	Mete adm	23	350				LPK 200-250	2 EXC 200	38.04	
B2-19	Kontorlandskap	60	450	250			2 x LPV 500-500-e-160	GRL 300x150 TRG 200-B	38.04	
B2-20	Kopi	4,7	100		100			EXC 125	38.04	
B2-21	Rektor	20	250				LPK 180-200	2 x EXC 125	38.04	
B2-22	Kontofeder	14	200	200			LPK 180-200	2 x EXC 125	38.04	
B2-23	wc	1,7		100		100		EXC 125	38.04	Festhelling, Overstrøming fra Etapledisjon
B2-24	wc	1,7		100		100		EXC 125	38.04	Festhelling, Overstrøming fra Etapledisjon
B2-25	Ekspedisjon	30	250						38.04	
C2-23	Personal		1000	1000			4 x 600x250-200	GRL 500x200-315-B	38.04	
C2-10	RWC	7		100		100		EXC 180	38.04	Overstrøming fra korridor
C2-22	Gruppe	8,9		150			LPK 125-160	EXC 180	38.04	
C2-23	Personal/Mete	84	1000	1000			5 st. LPV 500-500-e-160	GRL 600x200, TRG s315-B	38.04	

ROM		LUFTBEHANDLING										KOMMENTARER
Rom nr.	Type rom	Areall	Tilrett m <sup>2</sup>	Avrekk m <sup>3</sup>	Overstyring	Tilretteventil	Avrekkventil	Thermostat	System nr.			
B0-16	Stodfager skole	97	120	120		LPC 125	EXC 125		38.05			
B0-90	Hovedleie	9,2	120	120		LPC 125	EXC 125	X	38.05			
B0-91	Tale	12	120	120		LPC 125	EXC 125		38.05			
B1-01	Korridor		300			LPK 200-250			38.05		Ubalans, men ok pga. nominelt størrelse	
B1-03	Utsalling arena		500			2 x LPV 500x200-160			38.05			
B1-04	Altrom		5500	5800		Dygestamal ø350	GRL 1200x800		38.05		Avrekk 12 eip.	
B1-05	Korridor								38.05			
B1-10	Musikk/drama	69	1000	1000		5 stk LPV 500x200-160	GRL 500x200-TRG 315-L		38.05		Spjekk hending IIIII	
B1-11	Giving	39	500	500		2 x LPK 200-350	GRL 400x200-ø250-B		38.05		Spjekk hending IIIII	
B1-12	Lydstudio	11	120	120		LPK 125-160	EXC 160		38.05		Spjekk hending IIIII	
B1-13	Lager BK	20	100	100		LPC 125	EXC 125		38.05			
B1-14	Scene	45	500	500		2 x ø CVH 250	Gibarrmed ø250		38.05		Ventilator 12 eip.	
B1-19	Lager BK	25	100	100			EXC 125		38.05			
B1-20	wc	2,1	100	100			EXC 125		38.05			
B1-21	Kantinekj. m/koak	22	1350	1500		Tilrett i hette+ LPK160-26	Hette 2450x1400		38.05		Avrekk i hette + eget avrekk over ventar 1000x1000	
B1-21b	Kjell	5,1							38.05			
B1-23b	Lager	5,1	100	100			EXC 125		38.05			
B1-22	Spiserom	57	1000	1000		2 x LPK 250-315	GRL 500x200-TRG 315-K		38.05			
B1-23	Kjøkken 2	61	1000	500		2 x LPK 250-315	GRL 400x200, TRG ø250-L		38.05		1 stk. 1/2 x 1/2 vann, generell avrekk slanger med utløsing filter	
B1-23b	Lager	4,8	100	100					38.05			
B1-24	Kjøkken 1	60	1000	400		2 x LPK 250-315	GRL 400x200, TRG ø250-L		38.05		1 stk. 1/2 x 1/2 vann, generell avrekk slanger med utløsing filter	
B1-24b	Lager	4,7	100	100			EXC 125		38.05			
B1-25	Vaskerom	9,7	100	100		LPK 125-160	EXC 125		38.05			
B2-10	Møte lærer	28	300	300		2 x LPV 500x200-160	GRL 300x150-300-K		38.05		Sløssutløsing	
B2-11	Bibliotek	108	1200	1200		3 x LPK 250-315	Gibarrmed 800x600		38.05		Egensproduisert kammer, lydisolert med anal. ø400	
B2-12	Sveiforsvare	1,6	100	100		?????????	?????????		38.05			
B2-13	kontor	10	120	120		LPK 125-100	EXC 160		38.05			
C1-10	wc	7	100	100			EXC 160		38.05		Overstrømming fra Korridor B1,B1	
C1-22	Gruppe	8,9	150	150		LPK 125-100	EXC 160		38.05			
C1-23	Møte lærer	28	450	450		2 x LPK 160-200	GRL 400x200, TRG ø250		38.05			

ROM		LUFTBEHANDLING							KOMMENTARER
Rom nr.	Type rom	Areall	Tiluft m <sup>3</sup> /h	Avtrekk m <sup>3</sup> /h	Overstrøming	Tilførsel	Avtrekksventil	Timer	System nr.
BO-01	Korridor								36.02
BO-07	Korridor	12,9							36.02
CO-03	Korridor	28,6	120	120		LPKs 190-125	EXC 125		36.02
CO-04	Ventilerom skoleh.	19,3	200	200		LPKs 190-200	EXC 200		36.02
CO-05	Korridor	11,4							36.02
CO-06	Ventilerom	81	500	300	-200	2 x LPKs 160-200	2 x EXC 160	Timer for ventilasjon	36.02
CO-10	Reinhold	20,1	200	200		LPC 160	EXC 200		36.02
CO-11	Lager	13,2	120	120		LPC 125	EXC 125		36.02
CO-12	Ventilsted	11,8	120	120		LPC 125	EXC 125		36.02
CO-13	Lager FAU	23,7	120	120		LPC 125	EXC 125		36.02
CO-14	Lager	6,2	100	100		LPC 125	EXC 125	Ikke hending	36.02
CO-15	Lager FAU	3,6							36.02
CO-16	Lager b/s	7	100	100		LPC 125	EXC 125	Ikke hending	36.02
CO-17	Gard.	7,9	200	100	-200	LPK 190-200		Overstrøming fra CO-17b og CO-17c	36.02
CO-17b	dusj	3,8	100	100	100		EXC 125		36.02
CO-17c	vc	1,7		100	100		EXC 125	Fashtilfylling	36.02
CO-18	Lager	5,1		120	120		EXC 125	Overstrøming fra CO-19 Lab.	36.02
CO-19	Lab	7,6	120			LPK 125-180	EXC 125		36.02
CO-20	Koplrøkk	7,6	100	100		LPK 100-125	EXC 125		36.02
CO-21	Arkiv	8,3	100	100	100	LPK 100-125	EXC 125		36.02
CO-22	Stalerom Måle/vei	10,9	100	100	100		EXC 125	Overstrøming fra CO-08 Ventilerom	36.02
CO-23	hc/nc	5,8		100	100		EXC 125	Overstrøming fra CO-08 Ventilerom	36.02
CO-24	Hebesesler	20,8	150	150		LPK 125-180	EXC 160		36.02
CO-25	Personalf. møte	24,4	450	450		2 x LPK 180-200	7777777		36.02
CO-26	Hebesesler	15,7	180	180		LPK 125-180	EXC 180		36.02
CO-27	Eksp.	12,8	120	120		LPK 125-180	EXC 125		36.02
CO-28	Hebesesler	19,1	180	180		LPK 125-180	EXC 160		36.02
CO-29	Legg	15,8	180	180		LPK 125-180	EXC 180		36.02
CO-30	Barn- og familiefj	16,1	180	180		LPK 125-180	EXC 160		36.02
CO-31	Skolehebesesler	19,9	180	180		LPK 125-180	EXC 180		36.02

ROM		LUFTBEHANDLING										KOMMENTARER
Rom nr.	Type rom	Areall	Tilfuk m <sup>3</sup> /h	Avtrekk m <sup>3</sup> /h	Overtrykk	Tilførsel	Avtrekksvifte	Timef	Dysem nr.			
C1-01	Trapp								34.01			
C1-02	Korridor								34.01			
C1-03	Korridor								34.01			
C1-04	Korridor								34.01			
C1-05	Fellesareal	59	900	900		2 x LPK 250-315	GRL 500x200 TRG ø315		34.01			Kjøleenhets med innebygget motor. ca. 150 m <sup>3</sup> /h.
C1-11	Garderober	47	400	0	-400	DDO 250-315			34.01			Overstryking til per mobil og 3 stk. WC
C1-11b	Per mobil	12	100	100	100		EXC 125		34.01			
C1-11c	WC	1,8	100	100	100		EXC 125		34.01			Festhelling
C1-11d	WC	1,8	100	100	100		EXC 125		34.01			Festhelling
C1-11e	WC	1,8	100	100	100		EXC 125		34.01			Festhelling
C1-12	Elevareal	140	2000	2000		BIS 250-3000	GRL 1200x250		34.01			Eget lydempet kammer lages
C1-13	Garderober	53	500		-500	DDO 250-315			34.01			Overstryking til tilhørende toalett
C1-13b	WC	1,4	100	100	100				34.01			Festhelling
C1-13c	WC	1,4	100	100	100				34.01			Festhelling
C1-13d	WC	1,7	100	100	100				34.01			Festhelling
C1-13e	WC	1,4	100	100	100				34.01			Festhelling
C1-13f	WC	1,4	100	100	100				34.01			Festhelling
C1-14	Elevareal	152	2000	2000		BIS 250-3000	GRL 600x500		34.01			Eget lydempet kammer lages
C1-15	Formidling	41	900	900		2 x LPK 250-315	GRL 500x200 TRG ø315		34.01			
C1-16	Formidling	57	2000	2000		8 stk. LPV 600x300	Østermet 600x600		34.01			Eget lydempet kammer lages
C1-17	Gruppe	14	250	250		LPK 200-250	2 x EXC 125		34.01			
C1-18	Gruppe	20	300	300		LPK 200-250	2 x EXC 180		34.01			
C1-19	Lager	6	100	100		LPK 125	EXC 125		34.01			Ikke helling
C1-20	L.kopi	9,8	200	100	100	LPK 160-200	EXC 125		34.01			Overstryking til C1.21
C1-21	RH	3,1	100	100	100		EXC 125		34.01			Festhelling
C1-24	Lærerkontor	29,4	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 200		34.01			
C1-24b	Lærerkontor	28,9	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 200		34.01			
C1-25	L.fellesutskjønner	33	300	300		LPK 200-250	2 x EXC 180		34.01			
C1-26	Elevareal	57,8	2000	2000		777777	GRL 600x500		34.01			Eget lydempet kammer lages
C2-05	Fellesareal	59	900	900		2 x LPK 250-315	GRL 500x200, TRG ø315		34.01			Kjøleenhets med innebygget motor. ca. 150 m <sup>3</sup> /h.
C2-11	Garderober	47	400		-400	DDO 250-315			34.01			Overstryking til per mobil og 3 stk. WC
C2-11b	Per mobil	12	100	100	100				34.01			



ROM			LUFTEBEHANDLING							KOMMENTARER
Rom nr.	Type rom	Areall	Tiluft m <sup>3</sup> /h	Arbeids m <sup>3</sup> /h	Overstyring	Tiluftvare	Arbeidsvare	Timer	System nr.	
C2-11c	wc	1,8	100	100	100				38.01	Festhaling
C2-11d	wc	1,8	100	100	100				38.01	Festhaling
C2-11e	wc	1,8	100	100	100				38.01	Festhaling
C2-12	Eleveraal	149	2000	2000		IBS 250-3000	ORL 120b250		38.01	Eget lyddempet kammer lages
C2-13	Garderober	53	500		-500	CDD 250-315			38.01	Overstyring til Bihverands lokalet
C2-13b	wc	1,4	100	100	100		EXC 125		38.01	Festhaling
C2-13c	wc	1,4	100	100	100		EXC 125		38.01	Festhaling
C2-13d	wc	1,7	100	100	100		EXC 125		38.01	Festhaling
C2-13e	wc	1,4	100	100	100		EXC 125		38.01	Festhaling
C2-13f	wc	1,4	100	100	100		EXC 125		38.01	Festhaling
C2-14	Eleveraal	152	2000	2000		IBS 250-3000	GRL 800z500		38.01	Eget lyddempet kammer lages
C2-15	Formidling	41	900	900		2 x LPK 250-315	GRL 800z200, TRG ø315		38.01	
C2-16	Formidling	57	2000	2000		6 stb. LPV 800-300	Gitterrist 800x800		38.01	Eget lyddempet kammer lages
C2-17	Gruppe	14	250	250		LPK 200-250	2 x EXC 125		38.01	
C2-18	Gruppe	20	300	300		LPK 200-250	2 x EXC 125		38.01	
C2-19	Lager	8	100	100		LPC 125	EXC 125		38.01	Ingen hveling.
C2-20	L.kopi	9,8	200	100	100	LPK 180-200	EXC 125		38.01	
C2-21	RH	4,8	190	100	100		EXC 125		38.01	Festhaling
C2-24	Lærerkontor	29	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 300		38.01	
C2-24b	Lærerkontor	20,9	350	350		LPK 200-250	2 x EXC 200		38.01	
C2-25	L.fellesfunksjoner	33,1	300	300		LPK 200-250	2 x EXC 160		38.01	
C2-26	Eleveraal	57,8	2000	2000		IBS 250-3000	GRL 800z500		38.01	Eget lyddempet kammer lages

## I Oversikt over ligninger som brukes til å finne estimat på total luftmengde i rom med VAV, CO<sub>2</sub>/temperaturstyring.

I dette kapittelet vil det bli gitt en oversikt over ligninger som brukes i delkapittel ?? til å gjøre et estimat på den totale luftmengden som tilføres rom hvor ventilasjonen styres etter CO<sub>2</sub>/temperatur.

Ligning 1 angir den totale mengden luft som tilføres et rom som har et behovsstyrt ventilasjonssystem styrt etter CO<sub>2</sub>/temperatur [KILDE].

LIGNING SATT INN I KAP 4

For å kunne bruke ligning 1, må vi ha to uttrykk for å finne verdier for henholdsvis  $q_{DCV}$  og  $t_{DCV-MAX}$ .

Hvis man antar full omrøring av inneluften, og lik CO<sub>2</sub>-produksjon fra alle personene i rommet, kan ligning 3 brukes til å finne  $q_{DCV}$ .

$$C_{eq} = C_{ute} + \frac{g_{CO_2} \cdot 1000}{q_{DCV}} [mg/m^3] \quad (3)$$

Hvor

- $C_{eq}$  er likevektskonsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i rommet [mg/m<sup>3</sup>].
- $C_{ute}$  er CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen ute [mg/m<sup>3</sup>].
- $g_{CO_2}$  er produksjonsraten CO<sub>2</sub> pr. person i rommet [mg/s · person].

Ligning 3 kan skrives om, slik at man får et uttrykk for  $q_{DCV}$ :

$$q_{DCV} = \frac{g_{CO_2} \cdot 1000}{C_{eq} - C_{ute}} [l/s \cdot person] \quad (4)$$

Hvis man har oppgitt  $C_{eq}$  og  $C_{ute}$  i ppm (“parts per million”), må det regnes om til antall mg pr. m<sup>3</sup>. Det kan i så fall gjøres ved å bruke den idéelle gasslov (ligning 5, og i tillegg antar atmosfærisk trykk (101,325 kPa) og en temperatur på 298,15 K (25 °C):

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (5)$$

Hvis man vil finne konsentrasjonen CO<sub>2</sub> i mg pr. m<sup>3</sup>, skriver man om ligning 5, bruker partialtrykket til CO<sub>2</sub> ( $p = p_{CO_2}$ ), samt at  $R = \bar{R} / M_{CO_2}$ , hvor  $M_{CO_2}$  er molekylvekten til CO<sub>2</sub> (44 g/mol). Dette gir ligning 6:

$$\frac{m}{V} = \frac{p_{CO_2} \cdot M_{CO_2}}{\bar{R} \cdot T} \quad (6)$$

For å gjøre et anslag på den faktiske tiden ventilasjonsanlegget går for fullt,  $t_{DCV-MAX}$ , brukes den generelle fortynningsligningen. Denne kan utledes fra en massebalanse for et rom [KILDE]:

(FIGUR)

Hvor:

- $V_r$ : Volumet på rommet [ $\text{m}^3$ ].
- $C_{ute}$ :  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen ute [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ].
- $C$ :  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen i rommet [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ].
- $q$ : generert  $\text{CO}_2$  i rommet [ $\text{mg}/\text{h}$ ].
- $\dot{V}$ : ventilasjonsrate [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].
- $t$ : tid [ $\text{h}$ ].
- $n$ : antall luftskifter,  $n = \frac{\dot{V}}{V_r}$  [ $\text{h}^{-1}$ ].

For å finne en ligning for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen, settes det først opp en massebalanse for rommet:

Endring  $\text{CO}_2$ -konsentrasjon i rom =  $\text{CO}_2$  generert +  $\text{CO}_2$  tilført -  $\text{CO}_2$  fjernet.  
 Fra figur (?????) får vi da følgende ligning:

$$V_r \cdot dC = q \cdot dt + n \cdot V_r \cdot C_i \cdot dt - n \cdot V_r \cdot C \cdot dt \quad (7)$$

Skriver om på ligning 7, og får:

$$\frac{dC}{dt} + n \cdot C = \frac{q}{V_r} + n \cdot C_i \quad (8)$$

Ligning 8 er en 1. ordens differensialligning på formen:

$$\frac{dy}{dx} + f(x) \cdot y = r(x)$$

Hvis vi integrerer ligning 8 med grenseverdiene  $C_0$  og  $C$  ved henholdsvis tidene 0 og  $t$ , får vi den generelle fortynningsligningen:

$$C = \frac{q}{n \cdot V_r} \cdot (1 - e^{-n \cdot t}) + (C_0 - C_i) \cdot e^{-n \cdot t} + C_i \quad (9)$$

## J Beregninger

### J.1 Estimat på luftmengder på Charlottenlund og Åsheim

#### J.1.1 Estimat på luftmengder i lærerrom

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft enn minimumsmengden på  $270 \text{ m}^3/\text{h}$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer lærere til lærerrommet klokken 0800 pluss tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0800 kommer det 24 personer inn i elevarealet. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $270 \text{ m}^3/\text{h}$ ) til 24 personer og luftmengden  $1273 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 24 \text{ personer} = 170 \text{ l/s} = 612 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Tiden det tar før vi når luftmengden på  $612 \text{ m}^3/\text{h}$  kan dermed finnes fra ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg}/\text{m}^3$
- $C_{ute} = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg}/\text{m}^3$
- $C = 1000 \text{ ppm} = 1798 \text{ mg}/\text{m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9 \text{ mg}/\text{s} \cdot \text{pers.} \cdot 24 \text{ pers.} = 216 \text{ mg}/\text{s} = 777600 \text{ mg}/\text{h}$
- $\dot{V} = 270 \text{ m}^3/\text{h}$
- $V = 158 \text{ m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{270 \text{ m}^3/\text{h}}{158 \text{ m}^3} = 1,7 \text{ h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1798 \text{ mg}/\text{m}^3 &= \frac{777600 \text{ mg}/\text{h}}{1,7 \text{ h}^{-1} \cdot 158 \text{ m}^3} \cdot (1 - e^{-1,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (630 \text{ mg}/\text{m}^3 - 630 \text{ mg}/\text{m}^3) \cdot e^{-1,7 \text{ h}^{-1} \cdot t} + 630 \text{ mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1798 \text{ mg}/\text{m}^3 &= 2895 \text{ mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-1,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}) + 630 \text{ mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1168 \text{ mg}/\text{m}^3 &= 2895 \text{ mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-1,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}) \\
 \Rightarrow 0,40 &= 1 - e^{-1,7 \text{ h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,60 &= -e^{-1,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 0,60 = e^{-1,7h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow -0,51 = -1,7h^{-1} \cdot t$$

$$\Rightarrow t = \frac{-0,51}{-1,7h^{-1}} = 0,30h = 18min$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 18 minuttene etter at det har kommet lærere inn i lærerrommet. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $60 + 18 = 78$  minuttene:

- 0700-0818:

- $\dot{V} = 270m^3/h$

- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen holdes på 1000 ppm hele tiden. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i elevarealet. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0830 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på 270 m<sup>3</sup>/h, vil minimumsmengden bli brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0818-0830:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 24personer = 170l/s = 612m^3/h$

- $t_{DCV-1} = 12minutt/dag = 720s/dag$

- 0830-0850:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 18personer = 127l/s = 457m^3/h$

- $t_{DCV-2} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0850-0910:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 17personer = 120l/s = 432m^3/h$

- $t_{DCV-3} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0910-0930:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 14personer = 100l/s = 360m^3/h$

- $t_{DCV-4} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0930-0950:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 8personer = 57l/s = 205m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 0950-1010:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 4personer = 28l/s = 101m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1010-1030:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1030-1050:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 12personer = 85l/s = 306m^3/h$
  - $t_{DCV-5} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1050-1110:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 14personer = 100l/s = 360m^3/h$
  - $t_{DCV-6} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1110-1130:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 12personer = 85l/s = 306m^3/h$
  - $t_{DCV-7} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 3personer = 21l/s = 76m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$

- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1230-1250:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1250-1310:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1310-1330:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1330-1600:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 24personer = 170l/s = 612m^3/h$
  - $t_{DCV-8} = 150minutt/dag = 9000s/dag$

Når lærerrommet tømmes klokken 1600, vil ventilasjonsanlegget fortsette å tilføre  $612 m^3/h$  til konsentrasjonen går under 600 ppm (gitt i driftsinstruksen [KILDE DRIFTSINSTRUKS]). Tiden dette tar kan finnes fra ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 1000ppm = 1798mg/m^3$
- $C_{ute} = 350ppm = 630mg/m^3$
- $C = 600ppm = 1079mg/m^3$
- $q = g_{CO_2} \cdot Antallpersoner = 9mg/s \cdot pers. \cdot 0pers. = 0mg/s = 0mg/h$
- $\dot{V} = 612m^3/h$

- $V = 158m^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{612m^3/h}{158m^3} = 3,9h^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1079mg/m^3 &= \frac{0mg/h}{3,9h^{-1} \cdot 158m^3} \cdot (1 - e^{-3,9h^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (1798mg/m^3 - 630mg/m^3) \cdot e^{-3,9h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3 \\
 \Rightarrow 1079mg/m^3 &= 1168mg/m^3 \cdot e^{-3,9h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3 \\
 \Rightarrow 449mg/m^3 &= 1168mg/m^3 \cdot e^{-3,9h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,38 &= e^{-3,9h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,97 &= -3,9h^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,97}{-3,9h^{-1}} = 0,25h = 15min
 \end{aligned}$$

Det vil si at ventilasjonsanlegget fortsetter å tilføre  $612 m^3/h$  til 16.15:

- 1600-1615:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 24personer = 170l/s = 612m^3/h$
  - $t_{DCV-9} = 15minutt/dag = 900s/dag$

Etter dette vil ventilasjonsanlegget tilføre minimum luftmende resten av driftstiden:

- 1615-1700:
  - $\dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “ $Antallpersoner_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}$ ” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :
  - $24personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 720s/dag = 122170l/dag$
- $i = 2$ :
  - $18personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 152712l/dag$



- $i = 3$ :

$$17 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 144228 \text{ l/dag}$$

- $i = 4$ :

$$14 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 118776 \text{ l/dag}$$

- $i = 5$ :

$$12 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 101808 \text{ l/dag}$$

- $i = 6$ :

$$14 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 118776 \text{ l/dag}$$

- $i = 7$ :

$$12 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 101808 \text{ l/dag}$$

- $i = 8$ :

$$24 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 9000 \text{ s/dag} = 1527120 \text{ l/dag}$$

- $i = 9$ :

$$612 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 900 \text{ s/dag} = 170 \text{ l/s} \cdot 900 \text{ s/dag} = 153000 \text{ l/dag}$$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^9 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 2540398 \text{ l/dag}$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 17820 \text{ s/dag}$$

### J.1.2 Estimert på luftmengder i elevarealer

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft en minimumsmengden på  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer personer inn i elevareal klokken 0830 pluss tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0830 kommer det 50 personer inn i elevarealet. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $700 \text{ m}^3/\text{h}$ ) til 50 personer og luftmengden  $1273 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 50 \text{ personer} = 354 \text{ l/s} = 1274 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Dermed kan vi bruke ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C_{ute} = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$

- $C = 1000\text{ppm} = 1798\text{mg}/\text{m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9\text{mg}/\text{s} \cdot \text{pers.} \cdot 50\text{pers.} = 450\text{mg}/\text{s} = 1620000\text{mg}/\text{h}$
- $\dot{V} = 700\text{m}^3/\text{h}$
- $V = 315\text{m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{700\text{m}^3/\text{h}}{315\text{m}^3} = 2,2\text{h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1798\text{mg}/\text{m}^3 &= \frac{1620000\text{mg}/\text{h}}{2,2\text{h}^{-1} \cdot 315\text{m}^3} \cdot (1 - e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (630\text{mg}/\text{m}^3 - 630\text{mg}/\text{m}^3) \cdot e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t} + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1798\text{mg}/\text{m}^3 &= 2338\text{mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t}) + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1168\text{mg}/\text{m}^3 &= 2338\text{mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 \Rightarrow 0,50 &= 1 - e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,50 &= -e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,50 &= e^{-2,2\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,69 &= -2,2\text{h}^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,69}{-2,2\text{h}^{-1}} = 0,31\text{h} = 19\text{min}
 \end{aligned}$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 19 minuttene etter at det har kommet personer inn i elevarealene. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $90 + 19 = 109$  minuttene:

- 0700-0849
  - $\dot{V} = 700\text{m}^3/\text{h}$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{\text{DCV}-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen holdes stasjonært på 1000 ppm. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i elevarealet. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0830 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på 700 m<sup>3</sup>/h blir denne brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0849-0850:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 50personer = 354l/s = 1274m^3/h$
  - $t_{DCV-1} = 1minutt/dag = 60s/dag$

- 0850-0910:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 49personer = 346l/s = 1246m^3/h$
  - $t_{DCV-2} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0910-0930:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 40personer = 283l/s = 1019m^3/h$
  - $t_{DCV-3} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0930-0950:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 24personer = 170l/s = 612m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 0950-1010:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 11personer = 78l/s = 218m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1010-1030:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 20personer = 141l/s = 508m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1030-1050:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 33personer = 233l/s = 839m^3/h$
  - $t_{DCV-4} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1050-1110:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 38personer = 269l/s = 968m^3/h$
  - $t_{DCV-5} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1110-1130:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 33personer = 233l/s = 839m^3/h$
  - $t_{DCV-6} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 19personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 8personer = 57l/s = 205m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 19personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1230-1250:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1250-1310:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1310-1330:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 700m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

På slutten av dagen vil ventilasjonsanlegget fortsette å tilføre 700 m<sup>3</sup>/h til klokken 1700.

- 1330-1700:

- $\dot{V} = 700m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “Antall personer<sub>i</sub> · q<sub>DCV</sub> · t<sub>DCV-i</sub>” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :

$$50personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 60s/dag = 21210l/dag$$

- $i = 2$ :

$$49personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 415716l/dag$$

- $i = 3$ :

$$40personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 339360l/dag$$

- $i = 4$ :

$$33personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 279972l/dag$$

- $i = 5$ :

$$38personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 322392l/dag$$

- $i = 6$ :

$$33personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 279972l/dag$$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^6 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 1658622l/dag$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 6060s/dag$$

### J.1.3 Estimat på luftmengder i allrommet

I allrommet vil det ikke være nok personbelastning til at ventilasjonsanlegget tilfører noe annet enn minimum luftmengde, untatt mellom klokken 1010 og 1110 når personbelastningen er 185 personer. Når det kommer 185 personer til allrommet klokken 1010, kan vi finne hvor lang tid det tar før CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen når 1000 ppm fra ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350\text{ppm} = 630\text{mg}/\text{m}^3$
- $C_{ute} = 350\text{ppm} = 630\text{mg}/\text{m}^3$
- $C = 1000\text{ppm} = 1798\text{mg}/\text{m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9\text{mg}/\text{s} \cdot \text{pers.} \cdot 185\text{pers.} = 1665\text{mg}/\text{s} = 5994000\text{mg}/\text{h}$
- $\dot{V} = 3600\text{m}^3/\text{h}$
- $V = 979\text{m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{3600\text{m}^3/\text{h}}{979\text{m}^3} = 3,7\text{h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1798\text{mg}/\text{m}^3 &= \frac{5994000\text{mg}/\text{h}}{3,7\text{h}^{-1} \cdot 979\text{m}^3} \cdot (1 - e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (630\text{mg}/\text{m}^3 - 630\text{mg}/\text{m}^3) \cdot e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t} + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1798\text{mg}/\text{m}^3 &= 1654\text{mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t}) + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1168\text{mg}/\text{m}^3 &= 1654\text{mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 \Rightarrow 0,70 &= 1 - e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,30 &= -e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,30 &= e^{-3,7\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -1,2 &= -3,7\text{h}^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-1,2}{-3,7\text{h}^{-1}} = 0,32\text{h} = 20\text{min}
 \end{aligned}$$

Etter dette vil det tilføres en luftmengde på:

$$\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 185personer = 1308l/s = 4709m^3/h$$

Etter klokken 1110 vil personbelastningen gå ned til 33 personer, men ventilasjonsanlegget vil fortsette å tilføre samme luftmengde helt til CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen kommer ned til 600 ppm. Tiden dette tar kan også finnes fra ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 1000ppm = 1798mg/m^3$
- $C_{ute} = 350ppm = 630mg/m^3$
- $C = 600ppm = 1079mg/m^3$
- $q = g_{CO_2} \cdot Antallpersoner = 9mg/s \cdot pers. \cdot 33pers. = 297mg/s = 1069200mg/h$
- $\dot{V} = 4709m^3/h$
- $V = 979m^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{4709m^3/h}{979m^3} = 4,8h^{-1}$

Dermed får vi:

$$1079mg/m^3 = \frac{1069200mg/h}{4,8h^{-1} \cdot 979m^3} \cdot (1 - e^{-4,8h^{-1} \cdot t})$$

$$+ (1798mg/m^3 - 630mg/m^3) \cdot e^{-4,8h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3$$

$$\Rightarrow 1079mg/m^3 = 228mg/m^3 \cdot (1 - e^{-4,8h^{-1} \cdot t}) + 1168mg/m^3 \cdot e^{-4,8h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3$$

$$\Rightarrow 221mg/m^3 = 1396mg/m^3 \cdot e^{-4,8h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow 0,16 = e^{-4,8h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow -1,83 = -4,8h^{-1} \cdot t$$

$$\Rightarrow t = \frac{-1,83}{-4,8h^{-1}} = 0,38h = 23min$$

Dermed har vi følgende fordeling i løpet av dagen:

- 0700-1030:
  - $\dot{V} = 3600m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1030-1133:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 185 personer = 1308l/s = 4709m^3/h$
  - $t_{DCV-1} = 63minutt/dag = 3780s/dag$
- 1133-1700:
  - $\dot{V} = 3600m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “ $Antall\ personer_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}$ ” for intervallet hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :
  - $185 personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 3780s/dag = 4944051l/dag$

Dermed får vi:

$$\sum_{i=1}^1 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 4944051l/dag$$

I tillegg har vi  $t_{DCV-TOT}$ :

$$t_{DCV-TOT} = 4560s/dag$$

#### J.1.4 Estimert på luftmengder i musikk-/dramarommet

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft en minimumsmengden på  $300\ m^3/h$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer personer inn i musikk-/dramarommet klokken 0830 pluss tiden det tar for  $CO_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0830 kommer det 24 personer inn i elevarealet. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $300\ m^3/h$ ) til 24 personer og luftmengden  $612\ m^3/h$  ( $7,07\ l/s \cdot person \cdot 24\ personer = 170\ l/s = 612\ m^3/h$ ).

For å finne tiden det tar for  $CO_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm, kan vi bruke ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350ppm = 630mg/m^3$
- $C_{ute} = 350ppm = 630mg/m^3$
- $C = 1000ppm = 1798mg/m^3$
- $q = g_{CO_2} \cdot Antall\ personer = 9mg/s \cdot pers. \cdot 24pers. = 216mg/s = 777600mg/h$
- $\dot{V} = 300m^3/h$



- $V = 180m^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{300m^3/h}{180m^3} = 1,7h^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1798mg/m^3 &= \frac{777600mg/h}{1,7h^{-1} \cdot 180m^3} \cdot (1 - e^{-1,7h^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (630mg/m^3 - 630mg/m^3) \cdot e^{-1,7h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3 \\
 \Rightarrow 1798mg/m^3 &= 2541mg/m^3 \cdot (1 - e^{-1,7h^{-1} \cdot t}) + 630mg/m^3 \\
 \Rightarrow 1168mg/m^3 &= 2541mg/m^3 \cdot (1 - e^{-1,7h^{-1} \cdot t}) \\
 \Rightarrow 0,46 &= 1 - e^{-1,7h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,54 &= -e^{-1,7h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,54 &= e^{-1,7h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,62 &= -1,7h^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,62}{-1,7h^{-1}} = 0,36h = 22min
 \end{aligned}$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 22 minuttene etter at det har kommet personer inn i musikk-/dramarommet. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $90 + 22 = 112$  minuttene:

- 0700-0852
  - $\dot{V} = 700m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at CO<sub>2</sub>- konsentrasjonen holdes på 1000 ppm hele tiden. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i elevarealet. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0830 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på 300 m<sup>3</sup>/h blir denne brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0852-0910:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 23personer = 163l/s = 587m^3/h$
  - $t_{DCV-1} = 18minutt/dag = 1080s/dag$
- 0910-0930:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 19personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $t_{DCV-2} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 0930-0950:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 11personer = 78l/s = 280m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 0950-1010:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 5personer = 35l/s = 126m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1010-1030:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 9personer = 64l/s = 230m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1030-1050:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 16personer = 113l/s = 407m^3/h$
  - $t_{DCV-3} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1050-1110:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 18personer = 127l/s = 457m^3/h$
  - $t_{DCV-4} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1110-1130:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 16personer = 113l/s = 407m^3/h$
  - $t_{DCV-5} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 9personer = 64l/s = 230m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 4personer = 28l/s = 101m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 9personer = 64l/s = 230m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1230-1250:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 13personer = 92l/s = 331m^3/h$
  - $t_{DCV-6} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1250-1310:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 13personer = 92l/s = 331m^3/h$
  - $t_{DCV-7} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1310-1330:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 13personer = 92l/s = 331m^3/h$
  - $t_{DCV-8} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

Etter dette vil ventilasjonsanlegget fortsette å tilføre  $331 m^3/h$  til  $CO_2$ -konsentrasjonen kommer under 600 ppm. Tiden dette tar finnes fra ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 1000ppm = 1798mg/m^3$
- $C_{ute} = 350ppm = 630mg/m^3$
- $C = 600ppm = 1079mg/m^3$
- $q = g_{CO_2} \cdot Antallpersoner = 9mg/s \cdot pers. \cdot 0pers. = 0mg/s = 0mg/h$
- $\dot{V} = 331m^3/h$

- $V = 180m^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{331m^3/h}{180m^3} = 1,8h^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1079mg/m^3 &= \frac{0mg/h}{1,8h^{-1} \cdot 180m^3} \cdot (1 - e^{-1,8h^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (1798mg/m^3 - 630mg/m^3) \cdot e^{-1,8h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3 \\
 \Rightarrow 1079mg/m^3 &= 1168mg/m^3 \cdot e^{-1,8h^{-1} \cdot t} + 630mg/m^3 \\
 \Rightarrow 449mg/m^3 &= 1168mg/m^3 \cdot e^{-1,8h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,38 &= e^{-1,8h^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,97 &= -1,8h^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,97}{-1,8h^{-1}} = 0,54h = 32min
 \end{aligned}$$

Det vil si at luftmengden på 331 m<sup>3</sup>/h tilføres helt til 1402:

- 1330-1402:
  - $\dot{V} = 331m^3/h$
  - $t_{DCV-9} = 32minutt/dag = 1920s/dag$

Etter dette tilføres minimum luftmengde resten av driftstiden til ventilasjon-anlegget:

- 1402-1700:
  - $\dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “Antall personer<sub>i</sub> · q<sub>DCV</sub> · t<sub>DCV-i</sub>” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :
  - $23personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1080s/dag = 175619l/dag$
- $i = 2$ :
  - $19personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 161196l/dag$

- $i = 3$ :  
 $16\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 135744\text{l/dag}$
- $i = 4$ :  
 $18\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 152712\text{l/dag}$
- $i = 5$ :  
 $16\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 135744\text{l/dag}$
- $i = 6$ :  
 $13\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 110292\text{l/dag}$
- $i = 7$ :  
 $13\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 110292\text{l/dag}$
- $i = 8$ :  
 $13\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 110292\text{l/dag}$
- $i = 9$ :  
 $331\text{m}^3/\text{h} \cdot 1920\text{s/dag} = 92\text{l/s} \cdot 1920\text{s/dag} = 176640\text{l/dag}$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^9 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 1268531\text{l/dag}$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 11400\text{s/dag}$$

### J.1.5 Estimat på luftmengder i personal-/møterommet

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft en minimumsmengden på  $710 \text{ m}^3/\text{h}$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer personer inn på personal-/møterommet klokken 0800 pluss tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0800 kommer det 50 personer inn i personal-/møterommet. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $710 \text{ m}^3/\text{h}$ ) til 50 personer og luftmengden  $1273 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 50 \text{ personer} = 354 \text{ l/s} = 1274 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Dermed kan vi bruke ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350\text{ppm} = 630\text{mg/m}^3$
- $C_{ute} = 350\text{ppm} = 630\text{mg/m}^3$

- $C = 1000\text{ppm} = 1798\text{mg}/\text{m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9\text{mg}/\text{s} \cdot \text{pers.} \cdot 50\text{pers.} = 450\text{mg}/\text{s} = 1620000\text{mg}/\text{h}$
- $\dot{V} = 710\text{m}^3/\text{h}$
- $V = 213\text{m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{710\text{m}^3/\text{h}}{213\text{m}^3} = 3,3\text{h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1798\text{mg}/\text{m}^3 &= \frac{1620000\text{mg}/\text{h}}{3,3\text{h}^{-1} \cdot 213\text{m}^3} \cdot (1 - e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (630\text{mg}/\text{m}^3 - 630\text{mg}/\text{m}^3) \cdot e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t} + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1798\text{mg}/\text{m}^3 &= 2305\text{mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t}) + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1168\text{mg}/\text{m}^3 &= 2305\text{mg}/\text{m}^3 \cdot (1 - e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 \Rightarrow 0,51 &= 1 - e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,49 &= -e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,49 &= e^{-3,3\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,71 &= -3,3\text{h}^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,71}{-3,3\text{h}^{-1}} = 0,22\text{h} = 13\text{min}
 \end{aligned}$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 13 minuttene etter at det har kommet personer inn i personal-/møterommet. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $60 + 13 = 103$  minuttene:

- 0700-0813
  - $\dot{V} = 710\text{m}^3/\text{h}$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{\text{DCV}-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at CO<sub>2</sub>- konsentrasjonen holdes på 1000 ppm hele tiden. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i personal-/møterommet. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0813 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på 710 m<sup>3</sup>/h blir denne brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til CO<sub>2</sub>- konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0813-0830:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 50personer = 354l/s = 1274m^3/h$
  - $t_{DCV-1} = 17minutt/dag = 1020s/dag$

- 0830-0850:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 50personer = 354l/s = 1274m^3/h$
  - $t_{DCV-2} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0850-0910:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 49personer = 346l/s = 1246m^3/h$
  - $t_{DCV-3} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0910-0930:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 40personer = 283l/s = 1019m^3/h$
  - $t_{DCV-4} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0930-0950:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 24personer = 170l/s = 612m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 0950-1010:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 11personer = 78l/s = 218m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1010-1030:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 20personer = 141l/s = 508m^3/h$

- $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1030-1050:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 33personer = 233l/s = 839m^3/h$
  - $t_{DCV-5} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1050-1110:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 38personer = 269l/s = 968m^3/h$
  - $t_{DCV-6} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1110-1130:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 33personer = 233l/s = 839m^3/h$
  - $t_{DCV-7} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 20personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 20personer = 57l/s = 205m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 19personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1230-1250:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1250-1310:



- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1310-1330:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 710m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

På slutten av dagen vil ventilasjonsanlegget fortsette å tilføre 710 m<sup>3</sup>/h til klokken 1700.

- 1330-1700:

- $\dot{V} = 710m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “ $Antallpersoner_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}$ ” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :

$$50personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1020s/dag = 360570l/dag$$

- $i = 2$ :

$$50personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 424200l/dag$$

- $i = 3$ :

$$49personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 415716l/dag$$

- $i = 4$ :

$$40personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 339360l/dag$$

- $i = 5$ :

$$33personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 279972l/dag$$

- $i = 6$ :

$$38personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 322392l/dag$$

- $i = 7$ :

$$33personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 279972l/dag$$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^7 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 2422182l/dag$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 8220s/dag$$

### J.1.6 Estimat på luftmengder i kunst og håndverksrommet

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft en minimumsmengden på  $270 \text{ m}^3/h$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer personer inn i kunst og håndverksrommet klokken 0830 pluss tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0830 kommer det 18 personer inn i kunst og håndverksrommet. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $270 \text{ m}^3/h$ ) til 18 personer og luftmengden  $612 \text{ m}^3/h$  ( $7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 18 \text{ personer} = 127 \text{ l/s} = 457 \text{ m}^3/h$ ).

For å finne tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm, kan vi bruke ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C_{ute} = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C = 1000 \text{ ppm} = 1798 \text{ mg/m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9 \text{ mg/s} \cdot \text{pers.} \cdot 18 \text{ pers.} = 162 \text{ mg/s} = 583200 \text{ mg/h}$
- $\dot{V} = 270 \text{ m}^3/h$
- $V = 218 \text{ m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{270 \text{ m}^3/h}{218 \text{ m}^3} = 1,2 \text{ h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned} 1798 \text{ mg/m}^3 &= \frac{583200 \text{ mg/h}}{1,2 \text{ h}^{-1} \cdot 218 \text{ m}^3} \cdot (1 - e^{-1,2 \text{ h}^{-1} \cdot t}) \\ &+ (630 \text{ mg/m}^3 - 630 \text{ mg/m}^3) \cdot e^{-1,2 \text{ h}^{-1} \cdot t} + 630 \text{ mg/m}^3 \\ \Rightarrow 1798 \text{ mg/m}^3 &= 2229 \text{ mg/m}^3 \cdot (1 - e^{-1,2 \text{ h}^{-1} \cdot t}) + 630 \text{ mg/m}^3 \\ \Rightarrow 1168 \text{ mg/m}^3 &= 2229 \text{ mg/m}^3 \cdot (1 - e^{-1,2 \text{ h}^{-1} \cdot t}) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 0,52 = 1 - e^{-1,2h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow -0,48 = -e^{-1,2h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow 0,48 = e^{-1,2h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow -0,73 = -1,2h^{-1} \cdot t$$

$$\Rightarrow t = \frac{-0,73}{-1,2h^{-1}} = 0,61h = 37min$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 37 minuttene etter at det har kommet personer inn i kunst og håndverksrommet. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $90 + 37 = 127$  minuttene:

- 0700-0907

- $\dot{V} = 270m^3/h$

- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen holdes på 1000 ppm hele tiden. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i elevarealet. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0830 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på 270 m<sup>3</sup>/h blir denne brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0907-0910:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 17personer = 120l/s = 432m^3/h$

- $t_{DCV-1} = 3minutt/dag = 180s/dag$

- 0910-0930:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 14personer = 99l/s = 356m^3/h$

- $t_{DCV-2} = 20minutt/dag = 1200s/dag$

- 0930-0950:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 8personer = 57l/s = 205m^3/h$

- $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$

- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 0950-1010:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 4personer = 28l/s = 101m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1010-1030:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1030-1050:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 12personer = 85l/s = 306m^3/h$
  - $t_{DCV-3} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1050-1110:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 14personer = 99l/s = 356m^3/h$
  - $t_{DCV-4} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1110-1130:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 12personer = 85l/s = 306m^3/h$
  - $t_{DCV-5} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 3personer = 21l/s = 76m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1230-1250:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1250-1310:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

- 1310-1330:

- $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
- $\Rightarrow \dot{V} = 270m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen vil nå være under 600 ppm, så fortsetter å tilføre minimum luftmengde resten av driftstiden til ventilasjonanlegget:

- 1310-1700:

- $\dot{V} = 270m^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “ $Antallpersoner_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}$ ” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :

$$17personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 180s/dag = 21634l/dag$$

- $i = 2$ :

$$14personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 118776l/dag$$

- $i = 3$ :

$$12personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 101808l/dag$$

- $i = 4$ :

$$14 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 118776 \text{ l/dag}$$

- $i = 5$ :

$$12 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 101808 \text{ l/dag}$$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^5 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 462802 \text{ l/dag}$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 4980 \text{ s/dag}$$

### J.1.7 Estimert på luftmengder i teknologirommet

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft en minimumsmengden på  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer personer til teknologirommet klokken 0830 pluss tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0830 kommer det 18 personer til teknologirommet. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ) til 18 personer og luftmengden  $612 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 18 \text{ personer} = 127 \text{ l/s} = 457 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

For å finne tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm, kan vi bruke ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C_{ute} = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C = 1000 \text{ ppm} = 1798 \text{ mg/m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9 \text{ mg/s} \cdot \text{pers.} \cdot 18 \text{ pers.} = 162 \text{ mg/s} = 583200 \text{ mg/h}$
- $\dot{V} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$
- $V = 200 \text{ m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{300 \text{ m}^3/\text{h}}{200 \text{ m}^3} = 1,5 \text{ h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$1798 \text{ mg/m}^3 = \frac{583200 \text{ mg/h}}{1,5 \text{ h}^{-1} \cdot 200 \text{ m}^3} \cdot (1 - e^{-1,5 \text{ h}^{-1} \cdot t})$$

$$+ (630 \text{ mg/m}^3 - 630 \text{ mg/m}^3) \cdot e^{-1,5 \text{ h}^{-1} \cdot t} + 630 \text{ mg/m}^3$$

$$\Rightarrow 1798 \text{ mg/m}^3 = 1944 \text{ mg/m}^3 \cdot (1 - e^{-1,5h^{-1} \cdot t}) + 630 \text{ mg/m}^3$$

$$\Rightarrow 1168 \text{ mg/m}^3 = 1944 \text{ mg/m}^3 \cdot (1 - e^{-1,5h^{-1} \cdot t})$$

$$\Rightarrow 0,60 = 1 - e^{-1,5h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow -0,40 = -e^{-1,5h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow 0,40 = e^{-1,5h^{-1} \cdot t}$$

$$\Rightarrow -0,92 = -1,5h^{-1} \cdot t$$

$$\Rightarrow t = \frac{-0,92}{-1,5h^{-1}} = 0,61h = 37 \text{ min}$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 37 minuttene etter at det har kommet personer inn i teknologirommet. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $90 + 37 = 127$  minuttene:

- 0700-0907
- $\dot{V} = 300 \text{ m}^3/h$
- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen holdes på 1000 ppm hele tiden. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i elevarealet. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0830 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på  $300 \text{ m}^3/h$  blir denne brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0907-0910:
  - $\dot{V} = 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 17 \text{ personer} = 120 \text{ l/s} = 432 \text{ m}^3/h$
  - $t_{DCV-1} = 3 \text{ minutt/dag} = 180 \text{ s/dag}$
- 0910-0930:
  - $\dot{V} = 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 14 \text{ personer} = 99 \text{ l/s} = 356 \text{ m}^3/h$
  - $t_{DCV-2} = 20 \text{ minutt/dag} = 1200 \text{ s/dag}$

- 0930-0950:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 8personer = 57l/s = 205m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 0950-1010:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 4personer = 28l/s = 101m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1010-1030:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1030-1050:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 12personer = 85l/s = 306m^3/h$
  - $t_{DCV-3} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1050-1110:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 14personer = 99l/s = 356m^3/h$
  - $t_{DCV-4} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1110-1130:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 12personer = 85l/s = 306m^3/h$
  - $t_{DCV-5} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 3personer = 21l/s = 76m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$



- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 7personer = 49l/s = 176m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1230-1250:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1250-1310:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1310-1330:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 10personer = 71l/s = 256m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen vil nå være under 600 ppm, så fortsetter å tilføre minimum luftmengde resten av driftstiden til ventilasjonanlegget:

- 1330-1700:
  - $\dot{V} = 300m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Regner så ut “ $Antallpersoner_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}$ ” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :
  - $17personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 180s/dag = 21634l/dag$
- $i = 2$ :
  - $14personer \cdot 7,07l/s \cdot person \cdot 1200s/dag = 118776l/dag$

- $i = 3$ :

$$12 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 101808 \text{ l/dag}$$

- $i = 4$ :

$$14 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 118776 \text{ l/dag}$$

- $i = 5$ :

$$12 \text{ personer} \cdot 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200 \text{ s/dag} = 101808 \text{ l/dag}$$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^5 (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 462802 \text{ l/dag}$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 4980 \text{ s/dag}$$

### J.1.8 Estimat på luftmengder i fritidsklubben

De intervallene hvor ventilasjonsanlegget tilfører mer luft en minimumsmengden på  $600 \text{ m}^3/\text{h}$  vil være med i  $t_{DCV-i}$  i ligning 1.

Ventilasjonsanlegget vil starte klokken 0700 på morgenen, og tilføre minimum luftmengde helt til det kommer personer inn i fritidsklubben klokken 0830 pluss tiden det tar for  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen å komme opp til 1000 ppm.

Klokken 0830 kommer det 50 personer inn i fritidsklubben. Det vil si at det går fra 0 personer og den minimale luftmengden ( $600 \text{ m}^3/\text{h}$ ) til 50 personer og luftmengden  $1273 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 50 \text{ personer} = 354 \text{ l/s} = 1274 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Dermed kan vi bruke ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C_{ute} = 350 \text{ ppm} = 630 \text{ mg/m}^3$
- $C = 1000 \text{ ppm} = 1798 \text{ mg/m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9 \text{ mg/s} \cdot \text{pers.} \cdot 50 \text{ pers.} = 450 \text{ mg/s} = 1620000 \text{ mg/h}$
- $\dot{V} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$
- $V = 225 \text{ m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{600 \text{ m}^3/\text{h}}{225 \text{ m}^3} = 2,7 \text{ h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1798 \text{ mg/m}^3 &= \frac{1620000 \text{ mg/h}}{2,7 \text{ h}^{-1} \cdot 225 \text{ m}^3} \cdot (1 - e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (630 \text{ mg/m}^3 - 630 \text{ mg/m}^3) \cdot e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t} + 630 \text{ mg/m}^3 \\
 \Rightarrow 1798 \text{ mg/m}^3 &= 2667 \text{ mg/m}^3 \cdot (1 - e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}) + 630 \text{ mg/m}^3 \\
 \Rightarrow 1168 \text{ mg/m}^3 &= 2667 \text{ mg/m}^3 \cdot (1 - e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t}) \\
 \Rightarrow 0,44 &= 1 - e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,56 &= -e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,56 &= e^{-2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,58 &= -2,7 \text{ h}^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,58}{-2,7 \text{ h}^{-1}} = 0,21 \text{ h} = 13 \text{ min}
 \end{aligned}$$

Det betyr at vi har minimal lufttilførsel de første 13 minuttene etter at det har kommet personer inn i fritidsklubben. Dermed vil ventilasjonsanlegget tilføre minimal luftmengde de første  $90 + 13 = 103$  minuttene:

- 0700-0843
  - $\dot{V} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

Etter dette vil reguleringen i ventilasjonsanlegget sørge for at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen holdes på 1000 ppm hele tiden. Dette reguleres ved å tilføre mer eller mindre luft avhengig av antallet personer som er i fritidsklubben. Denne luftmengden regnes ut for hvert tidsintervall mellom 0830 og 1310. Finner man en luftmengde som er under minimumsmengden på 600 m<sup>3</sup>/h blir denne brukt. Da vil man i så fall ventilere mer enn man egentlig trenger i forhold til CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen, og denne vil da synke. Dette ses bort fra i denne oppgaven, da det vil være snakk om små forskjeller.

- 0843-0850:
  - $\dot{V} = 7,07 \text{ l/s} \cdot \text{person} \cdot 50 \text{ personer} = 354 \text{ l/s} = 1274 \text{ m}^3/\text{h}$

$$- t_{DCV-1} = 7 \text{minutt} / \text{dag} = 420 \text{s} / \text{dag}$$

• 0850-0910:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 49 \text{personer} = 346 \text{l/s} = 1246 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- t_{DCV-2} = 20 \text{minutt} / \text{dag} = 1200 \text{s} / \text{dag}$$

• 0910-0930:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 40 \text{personer} = 283 \text{l/s} = 1019 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- t_{DCV-3} = 20 \text{minutt} / \text{dag} = 1200 \text{s} / \text{dag}$$

• 0930-0950:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 24 \text{personer} = 170 \text{l/s} = 612 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- t_{DCV-4} = 20 \text{minutt} / \text{dag} = 1200 \text{s} / \text{dag}$$

• 0950-1010:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 11 \text{personer} = 78 \text{l/s} = 218 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- \Rightarrow \dot{V} = 600 \text{m}^3 / \text{h}$$

- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

• 1010-1030:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 20 \text{personer} = 141 \text{l/s} = 508 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- \Rightarrow \dot{V} = 600 \text{m}^3 / \text{h}$$

- Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$

• 1030-1050:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 33 \text{personer} = 233 \text{l/s} = 839 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- t_{DCV-5} = 20 \text{minutt} / \text{dag} = 1200 \text{s} / \text{dag}$$

• 1050-1110:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 38 \text{personer} = 269 \text{l/s} = 968 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- t_{DCV-6} = 20 \text{minutt} / \text{dag} = 1200 \text{s} / \text{dag}$$

• 1110-1130:

$$- \dot{V} = 7,07 \text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 33 \text{personer} = 233 \text{l/s} = 839 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$- t_{DCV-7} = 20 \text{minutt} / \text{dag} = 1200 \text{s} / \text{dag}$$

- 1130-1150:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 19personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 600m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1150-1210:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 8personer = 57l/s = 205m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 600m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1210-1230:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 19personer = 134l/s = 482m^3/h$
  - $\Rightarrow \dot{V} = 600m^3/h$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{DCV-i}$
- 1230-1250:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
  - $t_{DCV-8} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1250-1310:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
  - $t_{DCV-9} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1310-1330:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 27personer = 191l/s = 688m^3/h$
  - $t_{DCV-10} = 20minutt/dag = 1200s/dag$
- 1330-1500:
  - $\dot{V} = 7,07l/s \cdot person \cdot 50personer = 354l/s = 1274m^3/h$
  - $t_{DCV-11} = 90minutt/dag = 5400s/dag$

Etter dette vil ventilasjonsanlegget fortsette å tilføre  $1274 m^3/h$  til  $CO_2$ -konsentrasjonen kommer under 600 ppm. Tiden dette tar finnes fra ligning 9 med følgende verdier:

- $C_0 = 1000ppm = 1798mg/m^3$
- $C_{ute} = 350ppm = 630mg/m^3$

- $C = 600\text{ppm} = 1079\text{mg}/\text{m}^3$
- $q = g_{\text{CO}_2} \cdot \text{Antall personer} = 9\text{mg}/\text{s} \cdot \text{pers.} \cdot 0\text{pers.} = 0\text{mg}/\text{s} = 0\text{mg}/\text{h}$
- $\dot{V} = 1274\text{m}^3/\text{h}$
- $V = 225\text{m}^3$
- $n = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{1274\text{m}^3/\text{h}}{225\text{m}^3} = 5,7\text{h}^{-1}$

Dermed får vi:

$$\begin{aligned}
 1079\text{mg}/\text{m}^3 &= \frac{0\text{mg}/\text{h}}{5,7\text{h}^{-1} \cdot 225\text{m}^3} \cdot (1 - e^{-5,7\text{h}^{-1} \cdot t}) \\
 &+ (1798\text{mg}/\text{m}^3 - 630\text{mg}/\text{m}^3) \cdot e^{-5,7\text{h}^{-1} \cdot t} + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 1079\text{mg}/\text{m}^3 &= 1168\text{mg}/\text{m}^3 \cdot e^{-5,7\text{h}^{-1} \cdot t} + 630\text{mg}/\text{m}^3 \\
 \Rightarrow 449\text{mg}/\text{m}^3 &= 1168\text{mg}/\text{m}^3 \cdot e^{-5,7\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow 0,38 &= e^{-5,7\text{h}^{-1} \cdot t} \\
 \Rightarrow -0,97 &= -5,7\text{h}^{-1} \cdot t \\
 \Rightarrow t &= \frac{-0,97}{-5,7\text{h}^{-1}} = 0,17\text{h} = 10\text{min}
 \end{aligned}$$

Det vil si at luftmengden på  $1274 \text{ m}^3/\text{h}$  tilføres helt til 1510:

- 1500-1510:
  - $\dot{V} = 1274\text{m}^3/\text{h}$
  - $t_{\text{DCV}-12} = 10\text{minutt}/\text{dag} = 600\text{s}/\text{dag}$

Etter dette tilføres minimum luftmengde resten av driftstiden til ventilasjon-anlegget:

- 1510-1700:
  - $\dot{V} = 600\text{m}^3/\text{h}$
  - Minimum luftmengde, ikke med i  $t_{\text{DCV}-i}$

Regner så ut “ $\text{Antall personer}_i \cdot q_{\text{DCV}} \cdot t_{\text{DCV}-i}$ ” for alle intervallene hvor det tilføres mer enn minimal luftmengde:

- $i = 1$ :  
 $50\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 420\text{s/dag} = 148470\text{l/dag}$
- $i = 2$ :  
 $49\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 415716\text{l/dag}$
- $i = 3$ :  
 $40\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 339360\text{l/dag}$
- $i = 4$ :  
 $24\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 203616\text{l/dag}$
- $i = 5$ :  
 $33\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 279972\text{l/dag}$
- $i = 6$ :  
 $38\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 322392\text{l/dag}$
- $i = 7$ :  
 $33\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 279972\text{l/dag}$
- $i = 8$ :  
 $27\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 229068\text{l/dag}$
- $i = 9$ :  
 $27\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 229068\text{l/dag}$
- $i = 10$ :  
 $27\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 1200\text{s/dag} = 229068\text{l/dag}$
- $i = 11$ :  
 $50\text{personer} \cdot 7,07\text{l/s} \cdot \text{person} \cdot 5400\text{s/dag} = 1908900\text{l/dag}$
- $i = 12$ :  
 $1274\text{m}^3/\text{h} \cdot 600\text{s/dag} = 354\text{l/s} \cdot 600\text{s/dag} = 212400\text{l/dag}$

Summerer vi alle disse verdiene får vi:

$$\sum_{i=1}^{11} (\text{Antall personer}_i \cdot q_{DCV} \cdot t_{DCV-i}) = 4798002\text{l/dag}$$

I tillegg har får vi  $t_{DCV-TOT}$  ved å summere de korresponderende tidene:

$$t_{DCV-TOT} = 17220\text{s/dag}$$