

SFP - målinger og vurderinger for mekanisk ventilerte kontorbygg

Trond Fossen

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2008
Hovedveileder: Per Olaf Tjelflaat, EPT

Oppgavetekst

1. Det skal påpekes hvilke målinger, og hvilke nøyaktigheter, som er nødvendige for å bestemme SFP-faktoren for en typisk nyere mekanisk ventilert kontorbygning. Det skal angis hvordan disse målingene bør utføres og hvilket måleutstyr som bør benyttes. Det skal gis en kort innføring i måleteknikk og det aktuelle måleutstyret.
2. Det skal gjennomføres målinger for minst to kontorbygninger som har ulike ventilasjonsanlegg eller ulik styring av disse. Det kan også være aktuelt å måle både i fyringssesongen og i situasjoner med kjølebehov. Ventilasjonsanleggene i bygningene og styringsrutiner for disse skal beskrives. Resultatene fra målingene skal diskuteres.
3. Med basis i måleresultatene, de innførte krav til SFP og analyse av alle aktuelle innvirkende forhold skal det foreslås forbedringer i rutiner og/eller programvare for ventilasjonsdesign av fremtidige kontorbygg for å redusere SFP-faktoren.

Oppgaven gitt: 25. januar 2008

Hovedveileder: Per Olaf Tjelflaat, EPT



Norges Teknisk-
Naturvitenskapelige Universitet
NTNU

Studieprogram
Energi og miljø
Institutt for energi og prosesseteknikk

SFP – målinger og vurderinger for mekanisk ventilerte kontorbygg

*SFP – measurements and evaluations for mechanically ventilated office
buildings*

Masteroppgave

for

Trond Fossen

Våren 2008



POSTADRESSE NTNU INSTITUTT FOR ENERGI OG PROSESSTEKNIKK Kolbjørn Heies vei 1A	TELEFONER Sentralbord NTNU: Instituttkontor: Vannkraftlaboratoriet:	73 59 40 00 73 59 27 00 73 59 38 57	TELEFAX Instituttkontor: Vannkraftlaboratoriet:	73 59 83 90 73 59 38 54
---	--	---	---	----------------------------

Rapportens tittel SFP-målinger og vurderinger for mekanisk ventilerte kontorbygg	Dato 21.05.2008
	Antall sider og bilag 113
Saksbehandler / forfatter Trond Fossen	Ansv. sign.
Avdeling Institutt for energi- og prosesssteknikk	Prosjektnummer EPT-M-2008-16
ISBN nr.	Prisgruppe

Oppdragsgiver NTNU/Norconsult	Oppdragsgivers ref. Per O.Tjelflaat / Niels E. Ytterbø / Ole Urdal/ Bjørnulf Hannevold
----------------------------------	--

Ekstrakt:

Denne oppgaven tar for seg hvilke målinger som er nødvendig for å bestemme SFP-faktoren for et typisk nyere kontorbygg med mekanisk ventilasjon. Den tar for seg hvordan disse målingene kan utføres, hva slags måleutstyr som kan benyttes, og hvordan nøyaktigheten til målingene kan bestemmes.

Oppgaven tar så for seg gjennomføring av målinger for å bestemme SFP-faktoren for to bygninger. Disse to bygningene er Høyskolen i Oslo (HiO) og PricewaterhouseCoopers-, eller PWC-bygget i Bjørvika i Oslo. Det gis en innføring i de to bygningenes ventilasjonsanlegg og oppbyggingen av disse samt en gjennomgang av styresystemene for ventilasjonsanleggene. Det måles på ett aggregat i hver bygning. For HiO velges aggregat 36.13 som betjener et auditorium med VAV-styring. For PWC-bygget velges aggregat 36.09 som betjener hovedsakelig cellekontorer og styres som CAV. Alle målinger blir utført ved hjelp av differansetrykkmåling over viftene. Aggregatet ved HiO klarer akkurat å komme seg ned på kravet i teknisk forskrift om $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ved bruk av gjennomsnittlig SFP over driftstiden, men ved personbelastning i lokalet er SFP-verdien $2,66 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Aggregatet ved PWC-bygget ligger på $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ved full innregulert drift og klarer dermed fint forskriftskravet. Målingene viser likevel at det ville være mye energi å spare på VAV-styring av anlegget fremfor CAV.

Forbedring av ventilasjonsdesign er også en del av oppgaven, og det beregnes hvordan strengere krav til maksimal lufthastighet og alternativ utforming av fordelingskammer kan redusere strømningsmotstanden i et anlegg. Dette viste seg å kunne redusere SFP-faktoren for aggregat 36.09 ved PWC-bygget til $1,52 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ved å ikke tillate hastigheter over 3 m/s samt å benytte en alternativ utforming av fordelingskammeret.

Det presenteres forslag til forbedringer i rutiner og programvare for ventilasjonsdesign som kan redusere SFP-faktoren i fremtidige kontorbygninger, og det diskuteres hvorvidt de løsninger som fremkommer i denne oppgaven vil være økonomisk lønnsomme.

Til slutt kommer anbefalinger for videre arbeid med problemstillingen.

	Stikkord på norsk	Indexing Terms English
Gruppe 1	SFP	SFP
Gruppe 2	Kontorbygg	Office buildings
Egenvalgte stikkord	Spesifikk vifteeffekt	Specific fan power

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet i siste semester av sivilingeniørstudiet ved Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet, NTNU i Trondheim. Oppgaven er gitt i samarbeid med Norconsults kontor i Sandvika. Veiledere for oppgaven har vært Per Olaf Tjelflaat (NTNU), Niels Erik Ytterbø, Ole G. Urdal og Bjørnulf Hannevold (Norconsult).

Takk til veiledere for råd, tips og hjelp under utarbeidelse av oppgaven, samt til Norconsult for lån av måleutstyr.

Ønsker også å takke følgende personer:

Erland Gulbrandsen (Norconsult AS) for hjelp med måleutstyr.

Mads Redigh Karlsen (Byggklima AS) for spesifikasjoner og informasjon om ventilasjonsanlegget i PWC-bygget, samt hjelp til gjennomføring av målinger.

Geir Arne Bakken (Erichsen & Horgen AS) for tegninger av, og informasjon om PWC-bygget.

Nils Malmø og Morten Lystad (Vedal Prosjekt AS) for hjelp med gjennomføring av målinger ved PWC-bygget.

Finn Gustavsén (HiO) for hjelp med gjennomføring av målinger ved høyskolen i Oslo.

Marit Rossvoll Hanssen, min samboer for hjelp med utformingen av og formatet på oppgaven.

Sandvika 11.06.08



Trond Fossen

Norges teknisk-
naturvitenskapelige universitet
NTNU

Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2008-16



MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Student Trond Fossen

Våren 2008

SFP – målinger og vurderinger for mekanisk ventilerte kontorbygg

SFP – measurements and evaluations for mechanically ventilated office buildings

Bakgrunn og formål

I forbindelse med revidert TEK og REN er det innført krav til SFP (Specific Fan Power/ spesifikk effekt til viftedrift) i ventilasjonsanlegg.

Det har i flere år vært fokus på SFP, og en har i mange prosjekter hatt krav til SFP i størrelsesorden fra 1,5 til 2,5 kW per m³/s.

For å oppnå lav SFP må det tilstrebes lave trykkfall i ventilasjonsanlegget. Dette påvirker forhold knyttet til ventilasjonsanlegget slik som størrelsen på tekniske rom, utforming av sjakter, føringsveier, aggregatstørrelser og kanaldimensjoner. Videre kan dette medføre krav til høyere etasjehøyder, påvirke realiserbart areal i prosjekter osv.

Studenten har i en prosjektoppgave gjennomgått TEK og REN og vurdert ulike aspekter ved bruken av SFP ved prosjektering av nybygg. I masteroppgaven skal det gjennomføres målinger for nyere mekanisk ventilerte kontorbygg.

Oppgaven løses i samarbeid med Norconsult sitt kontor i Sandvika utenfor Oslo.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Det skal påpekes hvilke målinger, og hvilke nøyaktigheter, som er nødvendige for å bestemme SFP-faktoren for en typisk nyere mekanisk ventilert kontorbygning. Det skal angis hvordan disse målingene bør utføres og hvilket måleutstyr som bør benyttes. Det skal gis en kort innføring i måleteknikk og det aktuelle måleutstyret.
2. Det skal gjennomføres målinger for minst to kontorbygninger som har ulike ventilasjonsanlegg eller ulik styring av disse. Det kan også være aktuelt å måle både i fyringssesongen og i situasjoner med kjølebehov. Ventilasjonsanleggene i bygningene og styringsrutiner for disse skal beskrives. Resultatene fra målingene skal diskuteres.
3. Med basis i måleresultatene, de innførte krav til SFP og analyse av alle aktuelle innvirkende forhold skal det foreslås forbedringer i rutiner og/eller programvare for ventilasjonsdesign av fremtidige kontorbygg for å redusere SFP-faktoren.

- ” -

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 bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. (For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og 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 (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

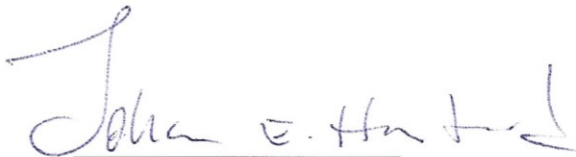
I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater i undervisnings- og forskningsformål, samt til publikasjoner.

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 prosesssteknikk, 25. januar 2008



Johan Hustad
Instituttleder


Per
Per Olaf Tjelflaat
Faglig ansvarlig/veileder

Medveiledere:

Niels Erik Ytterbø, Norconsult, Sandvika. Email: niels.erik.ytterbo@norconsult.no

Ole Urdal, Norconsult, Sandvika. Email: ole.urdal@norconsult.no

Bjørnulf Hannevold, Norconsult, Sandvika. Email: bha@norconsult.no

Innholdsfortegnelse

1.0	Innledning.....	1
2.0	Måling av SFP	2
2.1	Beregning av SFP.....	2
2.2	Målemetoder	4
2.2.1	Luftmengdemåling	5
2.2.2	Effektmåling	8
2.2.3	Faste måleinstallasjoner.....	8
2.3	Måleusikkerhet	9
3.0	Valgte bygninger.....	11
3.1	Pilestredet 35: Høyskolen i Oslo.....	11
3.1.1	Ventilasjonsprinsipp	11
3.1.2	Styresystemer.....	11
3.1.3	Kanalnett	12
3.1.4	Luftfordeling	12
3.1.5	Luftbehandlingsutstyr	13
3.1.6	Automatiserings- og SD-anlegg	15
3.2	Bjørvika B10A: PWC-bygget.....	15
3.2.1	Ventilasjonsprinsipp	15
3.2.2	Styresystemer.....	15
3.2.3	Kanalnett	16
3.2.4	Luftfordeling	16
3.2.5	Luftbehandlingsutstyr	20
3.2.6	Automatiserings- og SD-anlegg	22
4.0	Gjennomføring av målinger	23
4.1	PWC-bygget	23
4.1.1	Aggregatinfo	23
4.1.2	Måleutstyr	23
4.1.3	Måling.....	23

4.2	Høyskolen i Oslo	24
4.2.1	Aggregatinfo	24
4.2.2	Måleutstyr	24
4.2.3	Måling.....	26
5.0	Resultater	27
5.1	PWC-bygget	27
5.2	Høyskolen i Oslo	27
6.0	Diskusjon av måleresultater.....	29
6.1	PWC-bygget	29
6.2	Høyskolen i Oslo	31
7.0	Forbedring av ventilasjonsdesign.....	34
7.1	Kanaldimensjonering ved hjelp av MagiCAD.....	34
7.1.1	Eksisterende anlegg.....	35
7.1.2	Endringer ved redusert maksimal lufthastighet.....	35
7.2	Fordelingskammer	36
7.2.1	Eksisterende fordelingskammer.....	40
7.2.2	Alternativ utforming av fordelingskammer	40
7.3	Diskusjon av resultater	42
7.4	Forslag til forbedring i rutiner og/eller programvare for ventilasjonsdesign av fremtidige kontorbygg for å redusere SFP	44
8.0	Diskusjon/konklusjon	46
9.0	Anbefalinger	49
	Bibliografi	51
	Vedlegg A: Måleresultater og beregning av måleusikkerhet.....	A-1
	Vedlegg B: Aggregatspesifikasjoner, PWC-bygget (7).....	B-1
	Vedlegg C: Aggregatspesifikasjoner, høyskolen i Oslo (9)	C-1
	Vedlegg D: Forskriftstekst § 8-21 i teknisk forskrift (TEK) (13):.....	D-1

Vedlegg E:	Beregnete data fra MagiCAD.....	E-1
Vedlegg F:	Skjematiske tegninger av ventilasjonsanlegget ved PWC-bygget før og etter optimalisering for maksimal lufthastighet på 3 m/s	F-1
Vedlegg G:	Trykktapsberegninger for fordelingskammer	G-1
Vedlegg H:	Kontrollberegning, eksisterende anlegg	H-1
Vedlegg I:	Beregning, max 3 m/s og alternativt fordelingskammer	I-1
Vedlegg J:	Årlig besparelse i kWh for hele PWC-bygget	J-1

Figurliste

Figur 2-1 Pitot-rør (1)	5
Figur 2-2 Retningskarakteristikker for typiske anemometerfølere(1): A: Termistor B: Hotwire C: Ellipsiode	6
Figur 2-3 Termisk anemometer med én oppvarmet og én uoppvarmet ellipsiodeformet føler. Kulen i enden kompenserer for målefeil på pga. luftstrøm mot stavens spiss (1).	6
Figur 2-4 Måleblende (1).....	7
Figur 3-1 EC kompaktaggregat fra Fläkt Woods (14)	15
Figur 3-2 Kompenseringskurve for utetemperatur, temperaturforskyvning angir økning i tilluftstemperaturen.....	16
Figur 3-3 Prinsippskisse av luftfordeling i PWC-bygget (5).	19
Figur 3-4 Systembilde GOLD RX aggregat (5).	20
Figur 3-5 Swegon GOLD RX aggregat (15)	22
Figur 4-1 Håndterminal for styring av aggregat og avlesning av data (15).....	23
Figur 4-2 Danfoss VLT 2800 frekvensomformer (16).	25
Figur 4-3 Swema Air 300 multimeter, her med tilkoblet SWA 31 teleskopisk termisk anemometer (8)	25
Figur 7-1 Ventilasjonssystemet plan 4 nordre del av PWC-bygget (17).	34
Figur 7-2 Nummerering av tillufts- og avtrekksventiler ut fra fordelingskammer, nummereringen benyttes ved presentasjon av trykkberegning og lufthastigheter fra MagiCAD.....	35
Figur 7-3 Diagram for bestemmelse av trykktapet R pr. meter rør i rektangulære kanaler. Dimensjoner angis som a·b eller ekvivalent diameter. Hastighetskurvene er tilnærminger med maksimal feil < 5 %. Trykktap i [Pa/m] (13).	37
Figur 7-4 Diagram for bestemmelse av trykktap i Pa pr. bend på 45° og 90° i rektangulære kanaler (13).	37
Figur 7-5 Diagram for bestemmelse av trykktapet R pr. meter rør i sirkulære kanaler[Pa/m] (13).	38
Figur 7-6 Diagram for bestemmelse av trykktap i Pa pr. bend på 30°, 45° og 90° i sirkulære kanaler (13).	38

Figur 7-7 Diagram for bestemmelse av trykktap i Pa pr. avgrening på 90° i sirkulære og rektangulære kanaler (13).....	39
Figur 7-8 Fordelingskammer (tegnet grønn) for tilluft slik det er bygget for aggregat 360.09 i PWC-bygget (17).....	40
Figur 7-9 Alternativt design på fordelingskammer	40
Figur 7-10 Standard påstikk slik de er i MagiCAD i dag over, alternativ utforming av påstikk under	45
Figur 8-1 Eksempel på luftmengde som funksjon av tid	46

Tabelliste

Tabell 2-1 Måleområder og målenøyaktighet for ulike målemetoder (3).....	7
Tabell 3-1 Ventilasjonsfordeling med varmegjenvinningsprinsipp for de ulike deler av UiO (6).	13
Tabell 3-2 Ventilasjonsfordeling PWC-bygget (7).	17
Tabell 3-3 Ekstravifter PWC-bygget (7).	18
Tabell 3-4 Komponentbeskrivelse for Figur 3-4 (7).....	20
Tabell 4-1 Informasjon om måleutstyr.....	25
Tabell 5-1 Måleresultater PWC-bygget.....	27
Tabell 5-2 Måleresultater HiO, gjennomsnittsverdier	28
Tabell 6-1 Besparelse ved reduksjon av luftmengder for 36.13. Reduksjon og besparelse i forhold til 95 % luftmengde.	30
Tabell 7-1 Trykktap før og etter dimensjonering for maks 3 m/s lufthastighet samt trykktapsreduksjon.....	36
Tabell 7-2 Dimensjoner og mengdedata for eksisterende og alternativt fordelingskammer .	41
Tabell 7-3 Trykktap i fordelingskammer for ulike kombinasjoner av optimalisering av kanalnett og/eller fordelingskammer samt trykktapsreduksjoner for disse	41
Tabell 7-4 Trykktap i tilluftssystem for ulike kombinasjoner av optimalisering av kanalnett og/eller fordelingskammer samt trykktapsreduksjoner for disse	42

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg hvilke målinger som er nødvendig for å bestemme SFP-faktoren for et typisk nyere kontorbygg med mekanisk ventilasjon. Den tar for seg hvordan disse målingene kan utføres, hva slags måleutstyr som kan benyttes, og hvordan nøyaktigheten til målingene kan bestemmes.

Oppgaven tar så for seg gjennomføring av målinger for å bestemme SFP-faktoren for to bygninger. Disse to bygningene er Høyskolen i Oslo (HiO) og PricewaterhouseCoopers-, eller PWC-bygget i Bjørvika i Oslo. Det gis en innføring i de to bygningenes ventilasjonsanlegg og oppbyggingen av disse samt en gjennomgang av styresystemene for ventilasjonsanleggene. Det måles på ett aggregat i hver bygning. For HiO velges aggregat 36.13 som betjener et auditorium med VAV-styring. For PWC-bygget velges aggregat 36.09 som betjener hovedsakelig cellekontorer og styres som CAV. Alle målinger blir utført ved hjelp av differansetrykkmåling over viftene. Aggregatet ved HiO klarer akkurat å komme seg ned på kravet i teknisk forskrift om $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ved bruk av gjennomsnittlig SFP over driftstiden, men ved personbelastning i lokalet er SFP-verdien $2,66 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Aggregatet ved PWC-bygget ligger på $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ved full innregulert drift og klarer dermed fint forskriftskravet. Målingene viser likevel at det ville være mye energi å spare på VAV-styring av anlegget fremfor CAV.

Forbedring av ventilasjonsdesign er også en del av oppgaven, og det beregnes hvordan strengere krav til maksimal lufthastighet og alternativ utforming av fordelingskammer kan redusere strømningsmotstanden i et anlegg. Dette viste seg å kunne redusere SFP-faktoren for aggregat 36.09 ved PWC-bygget til $1,52 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ved å ikke tillate hastigheter over 3 m/s samt å benytte en alternativ utforming av fordelingskammeret.

Det presenteres forslag til forbedringer i rutiner og programvare for ventilasjonsdesign som kan redusere SFP-faktoren i fremtidige kontorbygninger, og det diskuteres hvorvidt de løsninger som fremkommer i denne oppgaven vil være økonomisk lønnsomme.

Til slutt kommer anbefalinger for videre arbeid med problemstillingen.

Summary

This paper is about the measuring of SFP for a typical modern office building with mechanical ventilation (HVAC). It looks at how these measurements can be conducted and calculation of their accuracy.

The measurements of SFP in two buildings are carried out. These buildings are “Høgskolen I Oslo” (Oslo University College) or HiO, and headquarter of PricewaterhouseCoopers, or PWC in Bjørvika in Oslo. An introduction to the two buildings’ ventilation systems and their central control and monitoring systems are given. One ventilation unit is examined in each building. For HiO, unit 36.13 is chosen, this unit is supplying an auditorium and has VAV control. For the PWC building, unit 36.09 witch mainly supplies office cubicles is chosen. This unit is controlled with CAV. All measurements are carried out by measuring the differential pressure over the fan. The unit at HiO just barely meets the demands in the technical regulation of $2.0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ by using an average SFP for the operation period. However while there are people staying in the auditorium, the SFP is $2.66 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. The unit in the PWC building accomplishes $2.0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ while performing at full capacity and thus meets the demands. The results however, indicate that a substantial amount of energy could be saved by using VAV instead of CAV for this ventilation system.

Improvement of ventilation design is also a part of this paper, and it is calculated how higher demands for the maximal air velocity in ducts and an alternate design of the distribution chamber can reduce the pressure loss in the ventilation system. As it turns out the SFP of unit 36.09 in the PWC building is reduced to $1.52 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ by not allowing air velocities above 3 m/s and using an alternate design for the distribution chamber.

Suggestions for improvements of routines and software for ventilation design meant to lower the SFP in future office buildings are considered, and whether they are profitable is discussed.

In the end, recommendations for future work with the problem are given.

1.0 Innledning

Denne oppgaven er basert på prosjektoppgaven "Analyse av SFP i nybygg" skrevet i 9. og nest siste semester av min sivilingeniørutdannelse. Prosjektoppgaven tok for seg design av kontorbygninger med mekanisk ventilasjon med tanke på å redusere SFP, mens denne masteroppgaven omhandler praktisk måling av SFP i kontorbygg med mekanisk ventilasjon.

Oppgaven tar for seg hvilke målinger som er nødvendige for å bestemme SFP-faktor og ulike måleteknikker for disse. Den tar også for seg gjennomføring av målinger og diskusjoner rundt måleresultatene, og kommer med forslag til forbedringer i rutiner og programvare for ventilasjonsdesign av fremtidige kontorbygg for å redusere SFP-faktoren.

Oppgaven er gitt i samarbeid med Norconsults kontor i Sandvika.

2.0 Måling av SFP

2.1 Beregning av SFP

Norsk standard, NS 3031:2007 definerer SFP-verdi, eller spesifikk vifteeffekt som summen av alle vifteeffekter delt på total sirkulert luftmengde (1):

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}} \left[\frac{kW}{m^3/s} \right] \quad \text{Formel 2-1}$$

Hvor:

$\sum P$: er summen av vifteeffekten for alle avtrekks- og tilluftsvifter i det gitte ventilasjonsanlegget ved normal drift.

\dot{V} : er den gjennomsnittlige ventilasjonsmengden i driftstiden, i m^3/h .

Utenfor normal driftstid eller ved redusert luftmengde (i ventilasjonsanlegg med variable luftmengde VAV) kan spesifikk vifteeffekt beregnes som:

$$SFP_{red} = SFP_{on} \cdot (1,6 \cdot r^2 - r + 0,6) \left[\frac{kW}{m^3/s} \right] \quad \text{Formel 2-2}$$

Hvor:

$$r = \frac{\dot{V}_{red}}{\dot{V}_{on}} \quad \text{Formel 2-3}$$

Hvor:

\dot{V}_{red} : er ventilasjonsluftmengde utenfor driftstiden, i m^3/h .

MERKNAD 1 Vifteeffekten skal angis ved gjennomsnittlig trykkfall i anlegget, der også skal tas hensyn til filterbyttefrekvens og fuktforhold i reelt anlegg.

MERKNAD 2 Formel 2-2 gjelder for $0,2 \leq r \leq 0,8$ (1).

For å bestemme SFP-faktoren, eller SFP-verdien er det altså nødvendig å vite hvor mye effekt som blir tilført viftene og luftmengdene som forflyttes gjennom ventilasjonssystemet. Det er

viktig å merke seg at det er den største av tillufts- og avtrekksluftmengdene som skal benyttes for beregning av SFP.

Siden vifteeffekten er avhengig av strømningsmotstanden i anlegget, er SFP-verdien avhengig av trykkfall i anlegget og luftmengde, og dermed proporsjonal med disse:

$$P_{vifte}(t) \sim q(t) \cdot \Delta p(t)$$

siden

$$\Delta p(t) \sim \rho \cdot v^2 \sim \rho \cdot q^2(t)$$

får vi at

$$P_{vifte}(t) \sim \rho \cdot q^3(t)$$

Dette fører til at

$$SFP \sim \frac{P_{vifte}}{q} \sim \frac{\rho \cdot q^3(t)}{q} \sim \rho \cdot q^2(t)$$

Dersom luftmengden halveres:

$$q_2 = \frac{q_1}{2}$$

Blir ny SFP:

$$SFP_2 \sim \left(\frac{q_1}{2}\right)^2 = \frac{q_1}{4}$$

Da blir

$$SFP_2 \sim \frac{SFP_1}{4} \quad (2)$$

Da viftens virkningsgrad vil endre seg med varierende luftmengder vil ikke det å halvere luftmengdene ha like stor innvirkning i virkeligheten.

Tilsvarende til eksempelet over vil dobling av luftmengde føre til 4 ganger så høyt utslag i SFP. Dette er svært ugunstig med tanke på forsering av luftmengder for kjøling av bygninger om sommeren.

2.2 Målemetoder

For ventilasjonsanlegg med konstante luftmengder (CAV) kan målinger enkelt utføres ved å måle momentanverdier. Eventuelt kan det ved å måle verdier for en gitt tidsperiode, og deretter beregne snittverdi oppnås en høyere grad av målenøyaktighet.

Ventilasjonsanlegg med variable luftmengder (VAV) setter større krav til målinger. Det mest nøyaktige ville være å logge sanntidsmålinger med små tidsintervaller for så å beregne gjennomsnittlige verdier for driftsperioden. Dersom utstyr med denne funksjonen ikke er tilgjengelig og mer manuelle målinger må utføres, det vil si manuelle avlesninger uten digital loggføring, vil tidsperioden mellom hver måling måtte økes. Unøyaktighet vil også oppstå dersom man er nødt til å forflytte seg mellom det punktet hvor luftmengden måles og det punktet hvor effekten måles og dette vil gi en viss forsinkelse mellom avlesningene. Denne unøyaktigheten vil øke med økende antall målepunkter. En løsning på denne forsinkelsen i avlesning vil kunne være å måle luftmengden umiddelbart etter aggregatet da dette vil medføre at måleutstyr for både luftmengdemåling og effektmåling vil kunne leses av samtidig. Det å måle på denne måten vil riktignok føre til en annen unøyaktighet, nemlig det at lekkasjer i kanalsystemet ikke tas hensyn til. Det benyttes altså brutto luftmengde i stedet for netto, dette vil føre til en gunstigere SFP enn den reelle, som skal beregnes ut i fra netto luftmengde levert til rommene.

Det er viktig at det spesifiseres hvor i anlegget det utføres målinger, slik at man kan foreta målinger på samme sted dersom kontrollmålinger skal utføres ved et senere tidspunkt. Det bør i tillegg noteres temperatur på luften da denne påvirker tettheten til luften og dermed kan utgjøre en viss differanse i målt SFP. Dersom målinger foretatt under vinterdrift skal sammenliknes med målinger foretatt under sommerdrift kan lufttemperatur være aktuelt å ta hensyn til.

Anlegg med variable luftmengder bør i utgangspunktet utstyres med fastmontert måleutstyr koblet til SD-anlegg for at overvåkning og oppfølging skal være så lite tid- og ressurskrevende som mulig.

2.2.1 Luftmengdemåling

For å bestemme luftmengden benytter man enten utstyr som måler hastigheten på luften eller utstyr som angir volumstrømmen ved å måle trykkdifferanse før og etter en endring i tverrsnittsarealet.

Ved angivelse av luftmengder benyttes + og – for å angi henholdsvis tillufts- og avtrekksmengder.

2.2.1.1 Måling av lufthastighet

De vanligste målemetodene for å bestemme lufthastigheten er å benytte vingehjulsanemometre, Pitot-rør eller termiske anemometre.

Vingehjulsanemometre er et instrument bestående av et lett roterende vingehjul som enten mekanisk eller magnetisk er koblet til et telleverk som registrerer antall omdreininger. I nyere måleinstrumenter av denne typen regnes omdreiningstallet automatisk om til lufthastighet. Vingehjulsanemometre egner seg for måling av lufthastigheter fra ca 0,3 m/s til 15 m/s (3).

Pitot-rør sammen med et mikromanometer egner seg godt til å måle hastigheten i et gitt punkt i en luftstrøm. Utforming og måleprinsipp fremgår av Figur 2-1. Instrumentet måler differansen mellom det totale trykk p_t og det statiske trykk p_s , som er like stort som det dynamiske trykk p_d . Deretter bestemmes hastigheten ved å benytte følgende uttrykk:

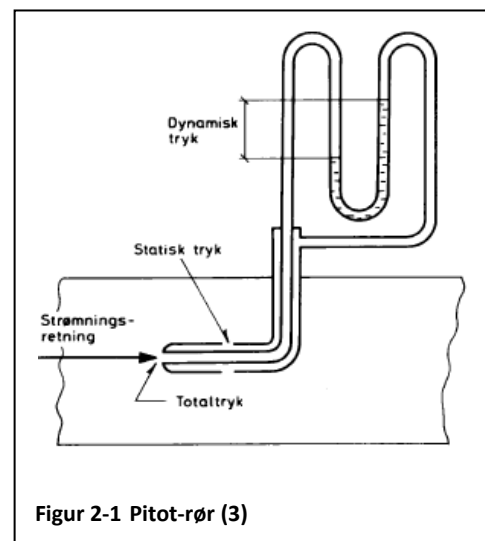
$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_t - p_s)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}}$$

hvor:

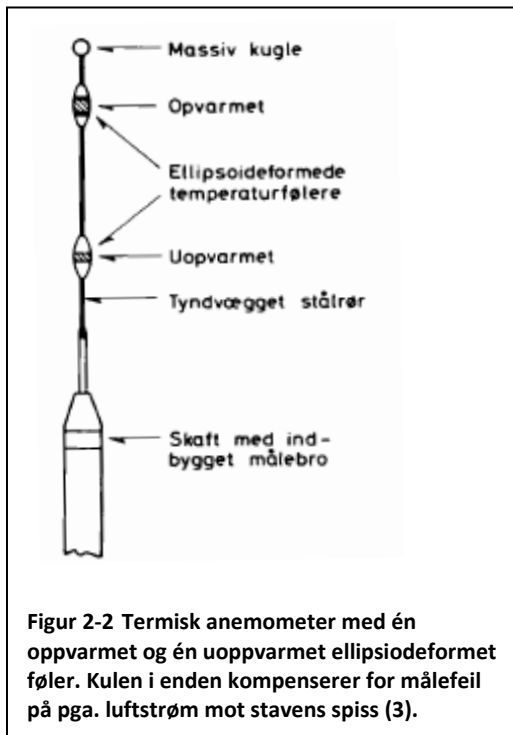
v : hastigheten

p_d : dynamisk trykk

ρ : luftens densitet



Formel 2-4

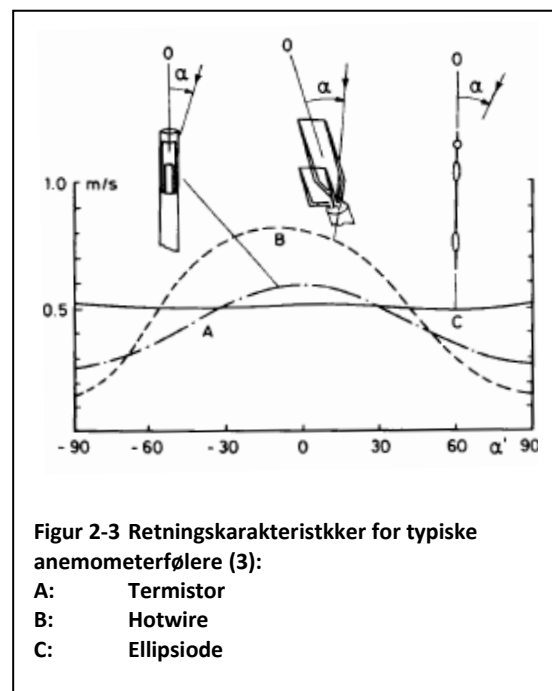


Selv med gode mikromanometre egner Pitot-rør seg kun til måling av lufthastigheter over 2 m/s (3).

Termiske anemometre måler økningen i konvektiv varmeavgivelse som oppstår når et oppvarmet legeme utsettes for en luftbevegelse. Det finnes tre hovedtyper termiske anemometre. Den ene er konstanttemperaturanemometre hvor det oppvarmede legeme holder en konstant temperatur, og den nødvendige effekt for opprettholdelse av denne temperaturen er et mål på den konvektive varmeavgivelse, og dermed et mål på luftbevegelsen rundt føleren. Den andre typen er konstanteffektanemometre hvor effekten

som tilføres legemet er konstant, og overtemperaturen på føleren er et mål på luftbevegelsen rundt føleren. Begge disse typene krever null-kalibrering før bruk ved den aktuelle lufttemperatur. Den tredje typen har to følere – en oppvarmet og en uoppvarmet. Effektmengden som tilføres blir styrt slik at temperaturdifferansen mellom de to følerne hele tiden er konstant. Målingen blir dermed uavhengig av eventuelle endringer i lufttemperaturen, og man slipper å kalibrere utstyret hver gang temperaturen endres.

Det oppvarmede legemet er som regel en tråd eller en kule, og det er viktig at størrelsen er liten slik at varmestrålingen påvirker målingen i minst mulig grad. En annen fordel ved at føleren er liten er at tidskonstanten reduseres grunnet gunstig forhold mellom masse og overflate. Best egnet for måling av lave lufthastigheter er de termiske anemometre som har en liten overtemperatur (5-15K) i forhold til lufttemperaturen. På grunn av følerens utforming er de fleste termiske anemometre følsomme for hvilken retning luftstrømmen har i



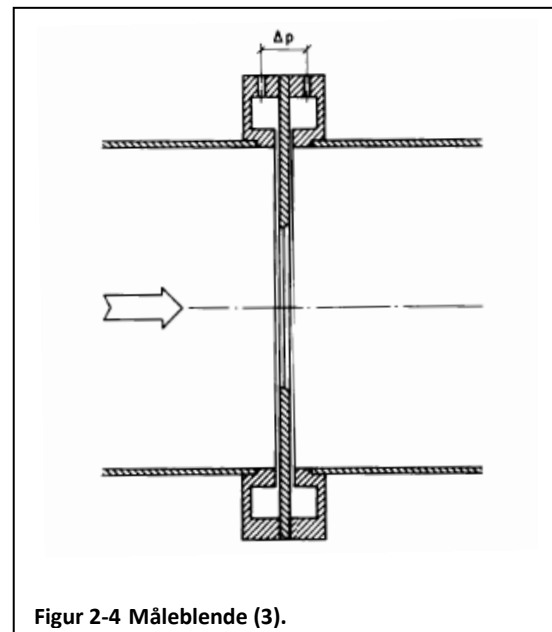
forhold til føleren, dette gjelder spesielt varmetrådsanemometre (se Figur 2-3). Måleutstyret bør derfor orienteres slik at luftbevegelsen er vinkelrett på tråden, eller dersom retning er ukjent, slik at maksimalt utslag på instrumentet oppnås. For å oppnå minst mulig avhengighet av luftstrømmens retning er det best å benytte en kuleformet føler eller en annen form som er utviklet for dette formålet eksempelvis instrumentet vist på Figur 2-2 (3). NS-EN 12599:2000 angir fremgangsmåte ved måling med termisk anemometer og Pitot-rør.

2.2.1.2 Måling av trykkdifferanse over tverrsnittsendring

Man kan ved hjelp av å måle trykkdifferanse over en geometrisk veldefinert og presist utformet endring i tverrsnittsarealet bestemme volumstrømmen gjennom tverrsnittet med god nøyaktighet. Til dette benyttes en måleblende, måledyse eller venturirør. *Måleblender* er mest vanlig da disse er lette å produsere og skifte ut med andre størrelser. De blir i tillegg minst påvirket av endringer i Reynoldstall.

Måledyser har den fordel at de påvirkes i mindre grad av innløpsforholdene, og er enklere å kalibrere. *Venturirør* er en dyse etterfulgt av en ekspansjonsstrekning, noe som reduserer trykktapet ved målingen (3).

Det er på denne måten mulig å måle luftmengden over alle typer komponenter dersom man kjenner komponentens k -verdi. Dette er en konstant som gjør luftmengden proporsjonal med Δp over komponenten.



Figur 2-4 Måleblende (3).

Tabell 2-1 Måleområder og målenøyaktighet for ulike målemetoder (3)

Målemetode	Måleområde	Målenøyaktighet
Vingehjulsanemometre	0,3 – 15 m/s	$\pm 5 - 20 \%$
Pitot-rør	> 2 m/s	$\pm 1 - 5 \%$
Termisk anemometer	0,05 – 10 m/s	$\pm 1 - 20 \%$
Blendemåling	Reynoldstall > 5000	$\pm 1 \%$

Tabell 2-1 viser en sammenstilling av de ulike måleteknikkene som er omtalt i kapittel 2.2.1. Man ser her at det å tilpasse måleutstyret til anlegget vil kunne påvirke nøyaktigheten.

2.2.2 Effektmåling

Dette delkapittelet er hentet fra prosjektoppgaven min, "Analyse av SFP i nybygg" fra høsten 2007.

Det er mest vanlig med viftemotorer av typen asynkrone trefasevekselstrømmotorer, og for denne typen motorer skiller det mellom tre typer effekt (4):

P: aktiv effekt

Q: reaktiv effekt

S: tilsynelatende effekt

Sammenhengen mellom aktiv og tilsynelatende effekt er:

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

Formel 2-5

hvor:

φ : er vinkelen mellom P og S

Dersom det ikke er noen forskyvning ($\cos\varphi=1$) er de to effektene like, og man kan benytte en vanlig strømtang for å måle energiforbruket. For vekselstrømmotorer ligger $\cos \varphi$ normalt mellom 0,3 og 0,9, avhengig av størrelse, fabrikat og belastning. Siden det er den aktive effekten som er proporsjonal med energibruken til motoren og strømreregningen er det denne effekten som må måles og benyttes ved beregning av SFP. Det må da benyttes et måleinstrument som bestemmer aktiv effekt, for eksempel en Nanovip Powermeter, Fluke 41B, Hioki 3165, Net F27 eller liknende (4).

2.2.3 Faste måleinstallasjoner

Det bør monteres digitalt måleutstyr i anlegget som kan leses av gjennom SD-anlegget, slik at dokumentasjon på anleggets prestasjoner kan leses av og/eller logges der. Måleutstyret må egne seg for de forekommende trykk i anlegget, og ha akseptabel måleusikkerhet både ved full drift og ved nattsenkingsluftmengder. I tillegg må produsentens retningslinjer for montering følges slik at feilprosenten minimeres.

2.3 Måleusikkerhet

I tillegg til å angi målemetoder for ulike typer måleutstyr, angir NS-EN 12599:2000 metoder for beregning av total usikkerhet. Dette kapittelet går gjennom de formler som ligger til grunn for vurderingen av usikkerheten til målingene utført i forbindelse med gjennomføringen av denne masteroppgaven.

Standardavviket er gjennomsnittlig avvik fra middelveidien (3):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Formel 2-6}$$

Hvor:

x : måleverdi

\bar{x} : gjennomsnittsverdi av alle målinger

n : antall målinger

Usikkerhet/ feilmargin på middelveidien, eller standardfeilen finnes fra standardavviket (3):

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{Formel 2-7}$$

Resulterende usikkerhet består av systematiske og tilfeldige feil (3):

$$U = \pm \sqrt{U_T^2 + U_S^2} \quad \text{Formel 2-8}$$

Hvor:

U_S : Systematiske feil: måleunøyaktighet i instrument eller metodefeil

U_T : Tilfeldige feil: avlesningsfeil eller for lav oppløsning på måleskala

En måling er "sammensatt" dersom flere måleresultater settes inn i en formel som beregner en måleverdi.

Dersom måleresultatet dannes fra summen eller differansen av flere enkelte målinger, for eksempel $x = x_1 + x_2 - x_3 + \dots + x_i$, beregnes den totale usikkerheten etter formelen (5):

$$U_{tot} = \pm \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_i^2} \quad \text{Formel 2-9}$$

Hvor:

U_i : individuell usikkerhet

Den relative usikkerheten er gitt som (5):

$$\tau = \frac{U}{x} \quad \text{Formel 2-10}$$

Total usikkerhet på sammensatt måling (3):

$$U_{tot} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x} \cdot \tau_x\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \cdot \tau_y\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \cdot \tau_z\right)^2} \quad \text{Formel 2-11}$$

Hvor:

F : Formelen som måledata settes inn i

τ_i : relativ usikkerhet for den innsatte måleverdi

Eksempel hentet fra NS-EN 12599:2000:

Dersom måleresultatet dannes av en eksponentialfunksjon av flere enkeltverdier:

$$x = \frac{x_1^2 \cdot \sqrt{x_2}}{x_3}$$

beregnes total usikkerhet etter formelen:

$$U_{tot} = \pm \sqrt{(2 \cdot \tau_1)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_2\right)^2 + \tau_3^2}$$

3.0 Valgte bygninger

Det har blitt valgt ut 2 bygninger for gjennomføring av målinger, Høyskolen i Oslo, og PricewaterhouseCoopers-, eller PWC-bygget i Bjørvika i Oslo. Bygningene presenteres i dette kapittelet.

3.1 Pilestredet 35: Høyskolen i Oslo

Informasjonen i dette kapittelet er hentet fra kravspesifikasjonen som ble utarbeidet av Multiconsult AS i forbindelse med deres prosjektering av anlegget som jeg fikk tilsendt på e-post fra Jørgen Ståhl (Multiconsult) via Niels Erik Ytterbø (Norconsult). Noen komponenter og spesifikasjoner vil derfor kunne være endret på under bygging.

3.1.1 Ventilasjonsprinsipp

Med unntak av auditorier hvor fortreningsventilasjon benyttes, har samtlige rom omrøringsventilasjon.

Toaletter, lagre, bøttekott og liknende ventileres med overstrømning fra fellesarealer for å oppnå undertrykk i rom hvor forurenset luft kan forekomme. Resterende rom ventileres med balansert ventilasjon.

3.1.2 Styresystemer

Kontorer ventileres med konstant luftmengde og er utstyrt med temperaturføler og bevegelsesdetektor.

Grupperom, klasserom og møterom ventileres med variabel luftmengde og utstyres med temperaturføler, CO₂-sensor og bevegelsesdetektor.

Disse styresystemene sørger for at luftmengden som tilføres bygget til enhver tid ikke overstiger det nødvendige volum og sørger dermed for å redusere energibruken.

I glassgården er det installert det motorstyrte luker i tak, slik at naturlig ventilasjon kan benyttes om sommeren.

3.1.3 Kanalnett

Det er fortrinnsvis benyttet spirokanaler med tetthetsklasse B i kanalnettet.

3.1.4 Luftfordeling

Inntaksrister utformes slik at lufthastigheten over dem ikke overstiger 1,5 m/s. Avkasthetter er kjegleformede.

I auditoriene tilføres friskluft gjennom tilluftsriser plassert i trappeopptrinn. For å unngå trekk skal lufthastigheten over netto ristareal ikke overstige 0,2 m/s.

Anlegget er utstyrt med innreguleringsspjeld av typen iris og lydfeller for å tilfredsstille byggets krav. I tillegg er anlegget utført med mengdereguleringsspjeld, trykkreguleringsspjeld og systemmanagere. Utstyret er godkjent av LonMark og har "LON TALK"-kommunikasjon

Mengdereguleringsspjeldene styres av CO₂-nivå, temperatur og bevegelsesdetektorer. Disse har elektronisk styring samt statisk igjensettingsfri luftmengderegulering, og kommuniserer med systemmanager for energioptimalisering.

Trykkreguleringsspjeldene sørger for konstant trykk i hovedkanalene i hver etasje. Disse har elektronisk styring samt statisk trykk giver utformet slik at gjentetting av dyse over tid unngås. Trykkområdet ligger mellom 10-300 Pa og har en nøyaktighet på ± 2 % ved 5m/s lufthastighet i kanal.

Systemmanager overvåker anlegget og frekvensregulerer tillufts- og avtrekksviftene etter behov.

Parkeringsarealer ventileres med avkastluft fra aggregatene 36.10, 36.14, 36.15 og 36.17. Luften føres gjennom arealene og ut gjennom rist i fasade.

3.1.5 Luftbehandlingsutstyr

Luftbehandlingsaggregatene er levert av Fläkt Woods og er av typen EC kompaktaggregat.

Størrelsen varierer fra EC07-EC09 som er produsentens måte å angi størrelsen på.

Aggregatene tilfredsstillter tetthetsklasse 3, isolasjonsklasse 3 samt varmetapsklasse 3/4.

Bygget var tenkt ventilert som følger:

Tabell 3-1 Ventilasjonsfordeling med varmegjennvinningsprinsipp for de ulike deler av UiO (6).

Anlegg	Betjener:	Varmegjennvinningsprinsipp
36.01	Klasserom i P-blokk	Roterende
36.02	Klasserom i P-blokk	Roterende
36.03	Klasserom & korridor i P-blokk	Roterende
36.04	Klasserom i P-blokk	Roterende
36.05	Klasserom i P-blokk	Roterende
36.06	Kantine og trimrom i P-blokk	Roterende
36.07	Kontor, kantine & trim i P-blokk	Roterende
36.08	Kjøkken i ES-blokk	Batteri
36.09	Kontorer i S-blokk	Roterende
36.10	Kontorer i S-blokk	Roterende
36.11	Klasserom / Lab i H-blokk	Roterende
36.12	Klasserom / Lab i H-blokk	Roterende
36.13	Klasserom / Lab i H-blokk	Batteri
36.14	Cafe / Pub i H-blokk	Roterende
36.15	Auditorium i H-blokk	Roterende
36.16	Auditorium i H-blokk	Roterende
36.17	Betonglab i ES-blokk	Plate
36.18	Deli Deluca	Batteri
Totalt		Ca. 300.000m ³ /h

Her har imidlertid noen endringer blitt gjort underveis, og noen aggregater har skiftet nummerering. Eksempelvis betjener aggregat 36.13 i virkeligheten auditorium 1 i H-blokk og har roterende gjenvinner. Oversikten gir likevel et inntrykk av hvordan bygningen ventileres.

Luftbehandlingsaggregatene er bygget opp av følgende komponenter:

Inntaksspjeld og avkastspjeld:

Stengningsspjeld av sjalusitype med motgående spjeldblad i aluminium. Elektrisk styrt av motor med fjær/tilbaketrekk.

Filter for tilluft og fraluft:

Filterklasse EU7. Ramme av forsinket eller lakkert stål. Differansetrykkmåler av typen Mane Helic eller likeverdig.

Varmegjenvinner:

Roterende gjenvinner med minimum temperaturvirkningsgrad på 80 %, utstyrt med turtallsregulator, rotasjonsvakt og renblåsningssektor.

Aggregatene med batterivarveksler har væskekoblet batteri med minimum virkningsgrad på 50 %. Disse har helautomatisk rengjøringsystem og en væskeblanding med volumforhold 70/30 % vann/etylenglykol.

Plategjenvinner i system 36.17 har temperaturvirkningsgrad på minimum 65 %.

Rense- og inspeksjonsdel

Varmebatteri:

Vannbatteri av kobberør og aluminiumslameller dimensjonert for 80/40 °C. Varmebatteri har kapasitet til å heve tilluftstemperatur til +22 °C ved dimensjonerende utetemperatur på - 21 °C. Maksimalt trykkfall på vannside er 8kPa.

Rense- og inspeksjonsdel

Kjølebatteri:

Kjølebatteri av kobberør og aluminiumslameller med bunnpanne og avløp.

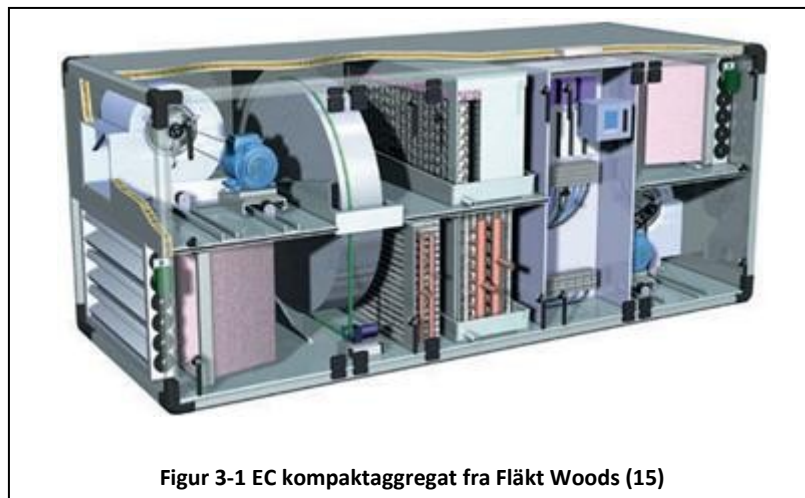
Dimensjonerende vanntemperatur 8/15 °C. Kjølebatteriet har kapasitet til å senke tilluftstemperatur fra + 25 °C til +14 °C.

Aggregatvifter for tilluft og avtrekk:

Viften er av typen ECLK, som vil si at det er en direkte-drevet kammervifte av typen radialvifte med bakoverbøyde skovler. Hus og hjul av forsinket stål. Viften er innebygget i standard aggregatdel, med mansjetter og vibrasjonsisolasjon. Aggregatdelen har lys og vindu. Viftemotor har frekvensomformer for turtallsregulering og viftens virkningsgrad skal være minimum 80 %.

Samtlige luftbehandlingsaggregater er utstyrt med fire aggregatlydfeller.

Instrumentering omfatter termometre for uteluft, avkastluft, tilluft og fraluft for hvert system.



Figur 3-1 EC kompaktaggregat fra Fläkt Woods (15)

3.1.6 Automatiserings- og SD-anlegg

SD-anlegget benyttes til å sette settpunktstemperaturer og driftstid men styrer ikke aggregatene direkte. Disse går enten med konstante luftmengder eller har mengderegulering etter CO₂-nivå og styres av bevegelsessensorer.

3.2 Bjørvika B10A: PWC-bygget

Data i dette kapitlet er hentet fra informasjon og spesifikasjoner mottatt på e-post fra Mads Redigh Karlsen i Byggklima AS, som er ventilasjonsentreprenør for bygningen.

3.2.1 Ventilasjonsprinsipp

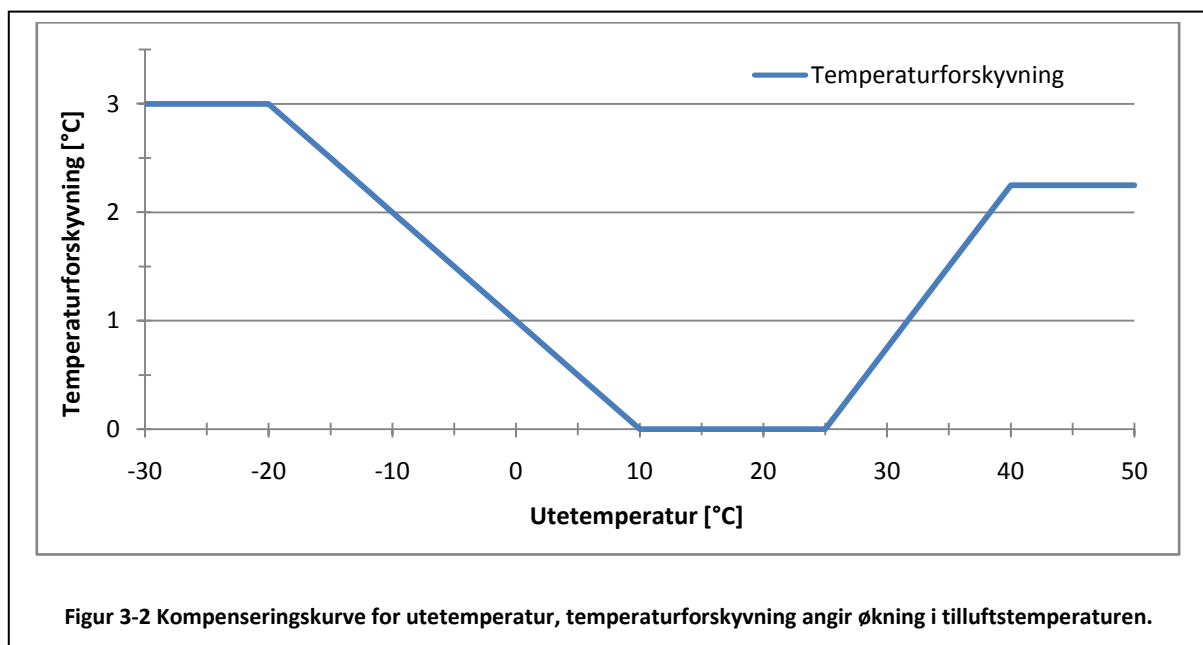
Det er benyttet omrøringsventilasjon med overstrømning til fellesarealer. Avtrekk skjer fra sentrale avtrekkspunkter.

3.2.2 Styresystemer

For kontorer er det benyttet CAV, det vil si konstante luftmengder med bevegelsessensorer for igangsettelse hele døgnet. Hvert plan er delt opp i to deler, som igjen er delt opp i fire soner hver. Disse sonene er alle utstyrt med bevegelsessensorer som aktiverer ventilasjonsaggregat og belysning. Aggregatet har riktignok bare ett driftspunkt og

luftmengden per aggregat er konstant. Aggregatet går dermed for fullt så lenge noen er til stede i den delen av bygget det betjener. Når ingen bevegelse er registrert på 30 min skruer aggregatet seg av sammen med belysningen. Anlegget har ingen fastsatt driftstid, men reguleres av disse bevegelsesdetektorene hele døgnet hele året.

Tilluftstemperaturen styres ved hjelp av en utetemperaturkompenseringskurve som hever temperaturen i forhold til settpunkttemperaturen dersom utetemperaturen er mellom $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller er over $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fra $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ kompenseres det med $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Denne kompensasjonen reduseres med $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ per $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ økning i utetemperatur fra $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det kompenseres ikke for utetemperatureer mellom $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, men kompensasjonen øker igjen med $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ per $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ økning i utetemperatur fra $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.



3.2.3 Kanalnett

Kanalnettet består av sirkulære spiralfalsede kanaler (spirokanaler).

3.2.4 Luftfordeling

Anlegget er desentralisert, med to aggregater per etasje. Ventilasjonssystemet er forberedt for at lettvegger enkelt kan monteres for å gjøre om åpne landskap til kontorer.

Luftinntak er plassert på tak og i fasade, avkast på tak, i fasade samt fra parkeringskjeller.

Bygningen ventileres som vist i Tabell 3-2.

Tabell 3-2 Ventilasjonsfordeling PWC-bygget (7).

Anlegg	Type/plassering	Luftm.	Betjener område
360.01	Ventilasjonsaggregat / plan K1	+/-12000	K1 og K2
360.02	Ventilasjonsaggregat / plan K1	+/-16000	Auditorium, plan 1 og møtearealer
360.03	Ventilasjonsaggregat / plan K1	+/-8000	Plan K1 og K2
360.04	Ventilasjonsaggregat / plan 1	+/-3100	Plan 1 SØR
360.05	Ventilasjonsaggregat / plan 2	+/-3100	Plan 2 SØR
360.06	Ventilasjonsaggregat / plan 3	+/-3100	Plan 3 SØR
360.07	Ventilasjonsaggregat / plan 3	+/-6500	Plan 3 NORD
360.08	Ventilasjonsaggregat / plan 4	+/-3100	Plan 4 SØR
360.09	Ventilasjonsaggregat / plan 4	+/-6500	Plan 4 NORD
360.10	Ventilasjonsaggregat / plan 5	+/-3100	Plan 5 SØR
360.11	Ventilasjonsaggregat / plan 5	+/-6500	Plan 5 NORD
360.12	Ventilasjonsaggregat / plan 6	+/-4600	Plan 6 SØR
360.13	Ventilasjonsaggregat / plan 6	+/-8300	Plan 6 NORD
360.14	Ventilasjonsaggregat / plan 7	+/-4600	Plan 7 SØR
360.15	Ventilasjonsaggregat / plan 7	+/-8300	Plan 7 NORD
360.16	Ventilasjonsaggregat / plan 8	+/-4600	Plan 8 SØR
360.17	Ventilasjonsaggregat / plan 8	+/-8300	Plan 8 NORD
360.18	Ventilasjonsaggregat / plan 9	+/-4600	Plan 9 SØR
360.19	Ventilasjonsaggregat / plan 9	+/-8300	Plan 9 NORD
360.20	Ventilasjonsaggregat / plan 10	+/-4600	Plan 10 SØR
360.21	Ventilasjonsaggregat / plan 10	+/-8300	Plan 10 NORD
360.22	Ventilasjonsaggregat / plan 11	+/-4600	Plan 11 SØR
360.23	Ventilasjonsaggregat / plan 11	+/-8300	Plan 11 NORD
360.24	Ventilasjonsaggregat / plan 12	+21000	Plan 12

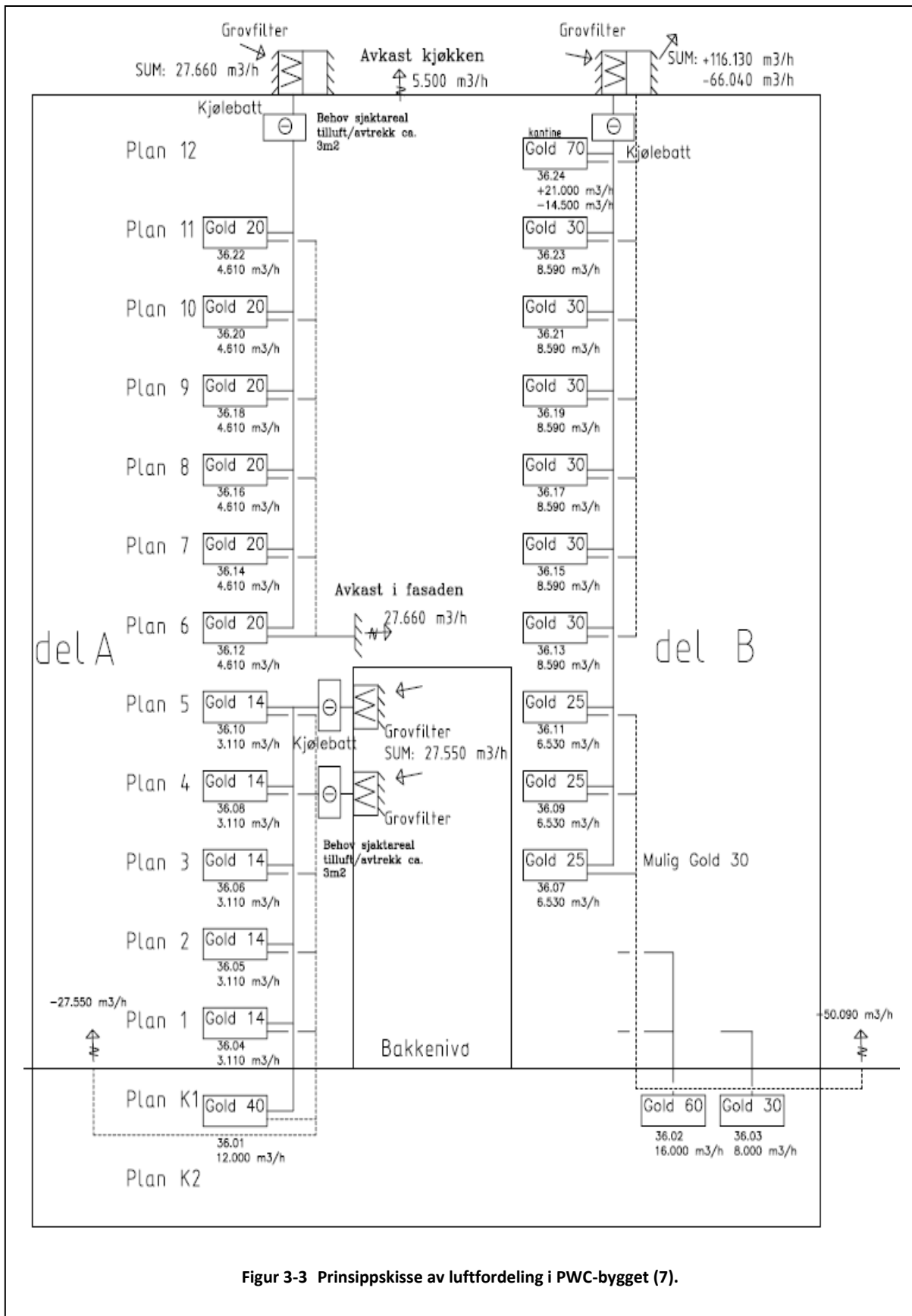
Tabell 3-2 angir tilluftsmengder som + og avtrekksmengder som -. Disse er like store for de fleste aggregatene, men for aggregat 360.24 er største tilluftsmengde 21 000 m³ og største avtrekksmengde 14 500 m³. Grunnen til dette er overstrømning blant annet til kjøkken.

I tillegg er det montert diverse andre vifter. Disse er angitt i Tabell 3-3.

Tabell 3-3 Ekstravifter PWC-bygget (7).

Anlegg	Type/plassering	Luftm. (m ³ /h)	Betjener område
360.24 JV51	Avtrekk kjøkken/l takoppbygg på tak	-6500	Kjøkken plan 12
360.25 JV50	Avtrekksvifte heis	-500 (normal drift) -3500 (ved brann)	Heis
360.26 JV50	Avtrekksvifte heis	-500 (normal drift) -3500 (ved brann)	Heis
360.27 JV50	Avtrekksvifte heis	-500 (normal drift) -3500 (ved brann)	Heis
360.28 JV50	Avtrekksvifte papirmakulering		
360.29 JV50	Avtrekksvifte heis	-500 (normal drift) -3500 (ved brann)	Heis
360.30 JV50	Avtrekksvifte papirmakulering		
360.31 JV40	Tilluftsvifte diselaggregatrom	15000 m ³ /h	Diselaggregatrom K1

Figur 3-3 viser fordelingsprinsippet for bygningen. Plan 1 – 5 er delt i to bein, mens del A og del B henger sammen i plan 6 – 12.

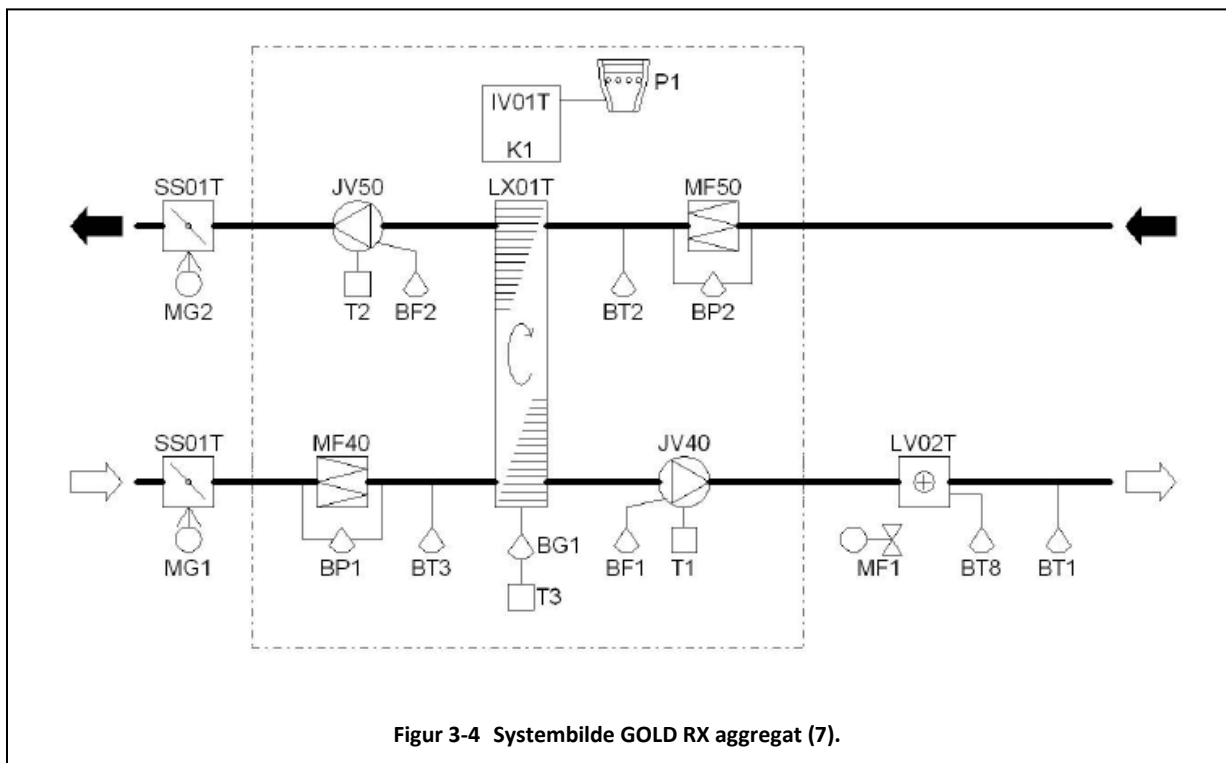


Figur 3-3 Prinsippskisse av luftfordeling i PWC-bygget (7).

3.2.5 Luftbehandlingsutstyr

Luftbehandlingsaggregatene er av typen GOLD RX og er levert av Swegon. De teller til sammen 24 stk. og er hovedsakelig plassert to og to i hver av de 12 etasjene. Plan 6 – 11 inneholder ett stort og ett lite med kapasitet på hhv 8.590 og 4.610 m³/s.

Kjøling av tilluft foregår sentralt ved hjelp av isvannsbatterier, og kjølebatteriene er som vist på Figur 3-3 plassert etter inntakene. Oppvarming skjer "lokalt" i hvert aggregat, mens det i hvert rom sitter en kombibaffel for komfortstyring av temperatur.



Figur 3-4 Systembilde GOLD RX aggregat (7).

Tabell 3-4 Komponentbeskrivelse for Figur 3-4 (7).

IV01T Luftbehandlingssystem	BT3 Temperaturgiver kanal
JV40 Tilluftsvifte Wing	BF1 Luftmengdestrykkgiver
JV50 Fraluftsvifte Wing	BF2 Luftmengdestrykkgiver
MF40 Tilluftsfilter	BP1 Filtertrykkgiver
MF50 Fraluftsfilter	BP2 Filtertrykkgiver
LX01T Roterende varmegjenvinner RECOmic	BG1 Rotasjonsvaktgiver
P1 Håndterminal	SS01T Utluftsspjeld
K1 Styreenhet IQnomic	SS01T Avkastspjeld
T1 Frekvensomformer	MG1 Spjeldmotor, fjærtilbaketrekk
T2 Frekvensomformer	MG2 Spjeldmotor, fjærtilbaketrekk
T3 Varmegjenvinnerstyring	LV02T Varmebatteri, vann
BT1 Temperaturgiver kanal	BT8 Innsettingstemperaturgiver
BT2 Temperaturgiver kanal	MF1 Ventilmotor

Luftbehandlingsaggregatene er bygget opp av følgende komponenter:

Inntaksspield og avkastspield:

Motorstyrt med fjær-tilbakegang, tetthetsklasse 3 i henhold til EN-1751

Filter for tilluft og fraluft:

Filterklasse F7 med filtertrykk giver.

Varmegjenvinner:

Roterende gjenvinner av typen RECOeconomic, utstyrt med turtallsregulator, rotasjonsvakt og renblåsningssektor.

Varmebatteri:

Vannbatteri dimensjonert for 70/35 °C. Varmebatteri har kapasitet til å heve tilluftstemperatur til +20 °C ved dimensjonerende utetemperatur på – 20 °C.

Kjølebatteri:

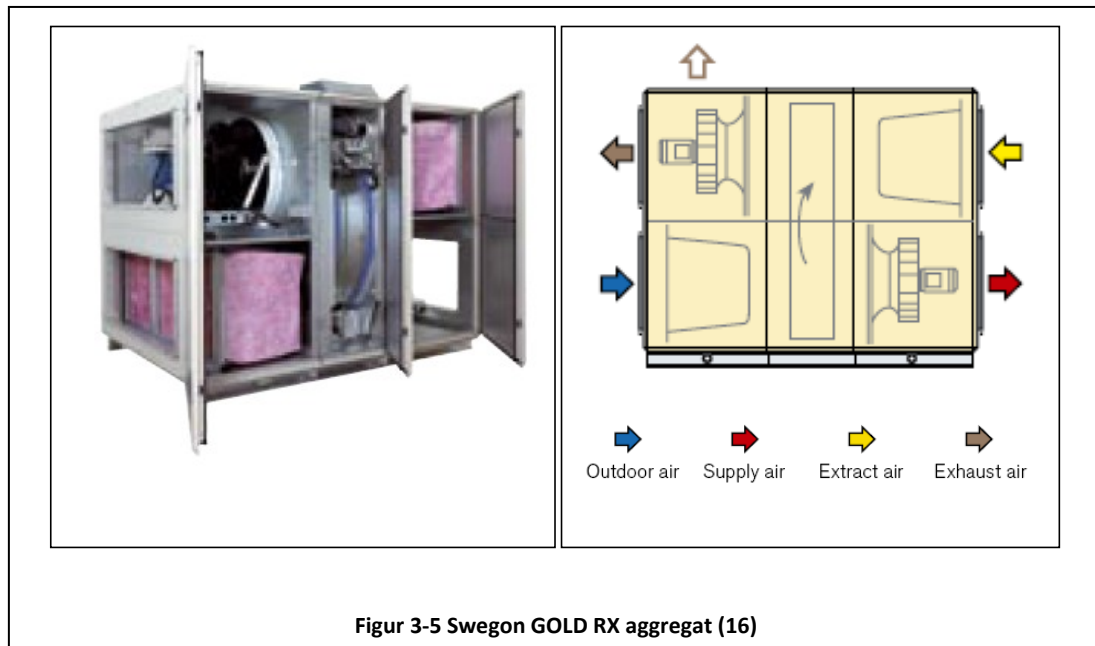
Kjølebatterier er montert sentralt på hovedinntak og er dermed ikke en del av selve aggregatene.

Aggregatvifter for tilluft og avtrekk:

Vifter av typen GOLD Wing. Viften er innebygget i standard aggregatdel, med mansjetter og vibrasjonsisolasjon. Høyvirkningsgrads viftemotor i klasse eff1 med frekvensomformer for turtallsregulering.

Aggregatet har passiv og aktiv frostsikring. Aktiv frostsikring innebærer at shuntventilen åpner og slipper til en større mengde varmt vann til varmebatteriet dersom vanntemperaturen i batteriet synker under en gitt temperatur på 13 °C ved drift og 25 °C utenfor drift. Passiv frostsikring innebærer at viftene stopper og spjeld stenges dersom vanntemperaturen i varmebatteriet synker under 7 °C.

Instrumenteringen i aggregatet er vist på Figur 3-4.



3.2.6 Automatiserings- og SD-anlegg

Systemet kan betjenes ved hjelp av håndterminal tilknyttet hvert enkelt aggregat, men styres normalt via SD-anlegget. Aggregatene har følgende driftsnivåer:

- Av: Aggregatet er avskrudd.
- Auto: Aggregatet går etter tidsstyring fra innstilt driftstid på tablået og i SD-anlegget.
- Manuell høyfart: Aggregatet går kontinuerlig på innstilt luftmengde for høyfart.
- Manuell lavfart: Aggregatet går kontinuerlig på innstilt luftmengde for lavfart.
- På: Aggregatet går kontinuerlig.

Håndterminal og SD-anlegg har avlesningsmuligheter for driftssituasjon, temperaturer, luftmengder og effektforbruk til vifter. SFP-verdi kan dermed leses av direkte.

Oppstartssekvens for anlegget, se Figur 3-4 og Tabell 3-4 for komponentplasseringer:

1. Inntaksspjeld SS40 og avtrekksspjeld SS50 åpner, tidsforsinkelse 30 sekunder.
2. Avtrekksvifte JV50 starter
Roterende varmegjenvinner LX40 starter 100 %
Ettvarmebatteri LV40 aktiveres med 40 % av installert effekt, tidsforsinkelse 90 sek
3. Tilluftsvifte JV40 starter, tidsforsinkelse 180 sekunder
4. Temperaturregulering starter i henhold til innstilte verdier

4.0 Gjennomføring av målinger

Målingene ble gjennomført 15. og 16. april 2008 i henholdsvis PWC-bygget og Høyskolen i Oslo. Temperaturen ute var ca 7 °C begge disse dagene.

Begge målinger ble utført ved hjelp av aggregatenes innebygde trykksensorer for viftetrykk. Denne typen målinger har en relativt lav måleusikkerhet ved bruk av gode måleinstrumenter.

4.1 PWC-bygget

4.1.1 Aggregatinfo

Aggregat 360.09 ble valgt for måling. Dette betjener cellekontorer, og har konstante luftmengder innenfor driftstiden.

Aggregatet er levert av Swegon og er av typen GOLD RX 25. Maksimal luftmengde aggregatet er dimensjonert for er 6 530 m³/h både på tilluft- og avtrekkssiden. Det er utstyrt med roterende varmegjenvinner med renblåsningssektor, varmebatteri samt spjeld og posefilter klasse F7 på både inntakssiden og avkastsiden.

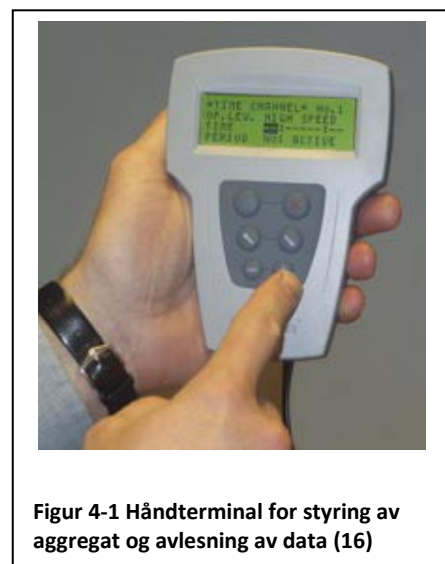
Fullstendig aggregatspesifikasjon finnes i vedlegg B.

4.1.2 Måleutstyr

Aggregatet er utstyrt med håndterminal for manuell overstyring av SD-anlegg. På håndterminalen kan avlesning av driftsdata fra aggregatets innebygde følere også gjøres. Dette utstyret ble benyttet til måling. Luftmengdene og SFP-verdi blir av håndterminalen beregnet ut i fra differansetrykket over viftene.

4.1.3 Måling

Første avlesning ble foretatt ved ca 95 % av maksimal luftmengde. Dette er innregulert driftstilstand innenfor driftstiden. Luftmengdene var her + 6 300 m³/h og - 6 200 m³/h. Som nevnt i kapittel 2.2.1 angir her + tilluftsmengde og - avtrekksmengde. I og med at dette



Figur 4-1 Håndterminal for styring av aggregat og avlesning av data (16)

aggregatet bare styres med to trinn, enten på eller av, og med CAV, ble det valgt å overstyre anlegget manuelt for å kunne gjøre målinger ved driftssituasjoner som ville kunne oppstått ved bruk av VAV-styring. Dermed ville man kunne sammenlikne de to styringsprinsippene.

Luftmengdene ble redusert til ca 60 %, eller + 4 000 m³/h og - 3 900 m³/h før ny avlesning ble utført etter at aggregatet hadde fått ca 10 minutter på å stabilisere seg.

Avlesning ble tilslutt foretatt ved ca 20 % luftmengde, + 1 300 m³/h og - 1 200 m³/h. Også her fikk aggregatet ca 10 minutter på å stabilisere seg før avlesning.

4.2 Høyskolen i Oslo

4.2.1 Aggregatinfo

Aggregat 36.13 ble valgt for måling. Dette aggregatet betjener alene auditorium 1, og styres ved hjelp av CO₂-sensorer, temperatursensorer, og bevegelsessensorer plassert i rommet.

Aggregatet er levert av Fläkt Woods og er av typen EC kompaktaggregat størrelse 08.

Aggregatet er utstyrt med målenipler for påkobling av differansetrykkmålingsutstyr. Det er utganger for filter- og viftetrykk både på tilluftssiden og på avtrekkssiden. Viften er av typen ECLK, noe som innebærer at det er en kammervifte (direktedrevet radialvifte uten viftehus) med bakoverbøyde skovler. Størrelsen på viften er angitt å være 8 som betyr medium viftestørrelse. Aggregatet har en kapasitetsmengde på 14 000 m³/h. Det er utstyrt med roterende varmegjenvinner, varme- og kjølebatteri samt spjeld og posefilter klasse F7 på både inntakssiden og avkastsiden.

Fullstendig aggregatspesifikasjon finnes i vedlegg C.

4.2.2 Måleutstyr

I utgangspunktet var det planlagt å benytte et multimeter av typen Swema Air 300, med termisk anemometer SWA 31 tilkoblet for å måle lufthastigheten i tillufts- og avtrekkskanal ved å måle flere intervaller langs senteraksen som beskrevet i NS-EN 12599:2000. Dette viste seg å ikke være mulig da dimensjonene på disse kanalene var så store at medbrakt anemometer ikke ville rekke inn til senteraksen i kanalene. Da det er her lufthastigheten er



Figur 4-2 Danfoss VLT 2800 frekvensomformer (17).



Figur 4-3 Swema Air 300 multimeter, her med tilkoblet SWA 31 teleskopisk termisk anemometer (10)

størst, ville målinger som ikke omfattet dette målepunktet ikke ha tilstrekkelig nøyaktighet til å kunne brukes. Det ble besluttet å måle differansetrykk over en aggregatkomponent for deretter å beregne luftmengden ved hjelp av komponentens k-verdi. Trykkgivere for vifterykk ble valgt da *slike målinger erfaringsmessig er mer stabile og nøyaktige enn målinger gjennomført ved hjelp av filtertrykkgivere* (8). Ved denne typen målinger er man helt avhengig av en k-verdi for viften. Dette er en konstant som sier noe om størrelsen, det vil si tverrsnittsarealet og lengden til aggregatkomponenten samt friksjonen i komponenten. For aggregat av denne type og størrelse oppgir produsenten Fläkt Woods k-verdien til å være 9,49 (9).

Måleutstyret som ble benyttet var et multimeter a typen Swema Air 300, med differansetrykkmåler SWA 10 tilkoblet. Utstyret ble tilkoblet trykkgivere over viften og K-verdien for viften angitt på instrumentet. Utstyret viser luftmengde i m^3/h samt differansetrykk i Pa. Utstyret ble utlånt av Norconsult.

SWA 10 har et måleområde på -300 Pa til $+1500 \text{ Pa}$ og en nøyaktighet på $\pm 1 \%$. En innebygget ventil sørger for automatisk nullkalibrering av trykket (10).

Den effektmengden viftene til enhver tid krevde ble avlest i displayet direkte på frekvensomformeren av typen Danfoss VLT 2800 i kW. Denne antas å ha en nøyaktighet på $\pm 3 \%$ da annet ikke er oppgitt.

Tabell 4-1 Informasjon om måleutstyr

Type	Navn	Produsent	Serienummer	Internnummer
Multimeter	Swema Air 300	Swema	381539	157
Differansetrykksensor	SWA 10	Swema	362939	157

I tabellen over henviser "internnummer" til Norconsults utstyrtsversikt.

4.2.3 Måling

Da dette aggregatet har VAV-styring ble det besluttet å gjøre måling hvert 10. minutt for å kunne se om luftmengdene endret seg over tid. Det ble avlest differansetrykk for viften og luftmengden på måleutstyret, samt effekt og frekvens på frekvensomformereren. Grunnet litt praktiske problemer i oppstarten ble det ikke mulig å måle over en full driftsperiode på 14 timer, men som resultatene i neste kapittel viser, så gjorde nok ikke dette så store utslag for målingene.

Første måling ble foretatt kl. 13:00, neste kl. 13:10 og så videre. Siste måling ble foretatt kl. 17:50.

5.0 Resultater

Her presenteres resultatene som er relevante for beregning av SFP. Utfyllende måleresultater finnes i vedlegg A.

5.1 PWC-bygget

I Tabell 5-1 er verdiene under "Vifte" og "Frekvensomformer" er avlesninger. TL er tilluft og AL er avtrekksluft.

Tabell 5-1 Måleresultater PWC-bygget

Måling av bygg:			PWC					
Måling på aggregat:			36.09					
% av maksimal luftmengde:			95 %		60 %		20 %	
			TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	6 300	6 200	4 000	3 900	1 300	1 200
	Viftetrykk	[Pa]	380	389	160	150	22	18
	SFP	[kW/m ³ /s]	2,00		1,40		1,30	
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	44,4	40,5	35,1	29,2	27,4	19,8
	Effekt	[W]	2 025	1 600	996	650	310	156
Beregnet	SFP	[kW/m ³ /s]	2,07		1,48		1,29	

Beregnet SFP er beregnet ut i fra summen av avleste effekter og avleste tilluftsuftmengder.

Da dette er data fra integrert måleutstyr må det kunne antas at disse data har tilstrekkelig nøyaktighet.

5.2 Høyskolen i Oslo

Resultatene som presenteres her er gjennomsnittsverdiene for anlegget i full og redusert drift. Verdiene for de ulike avlesningstidspunktene finnes i vedlegg A.

I Tabell 5-2 er verdiene under "Vifte" og "Frekvensomformer" gjennomsnittsverdier av avlesninger. TL er tilluft og AL er avtrekksluft.

Tabell 5-2 Måleresultater HiO, gjennomsnittsverdier

Måling av bygg:		HiO				
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)				
K-verdi:		9,49	Full drift		Redusert drift	
			TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	484	1 296	282	501
	Viftetrykk	[Pa]	201	1 440	-69	215
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	54,9	52,0	27,4	25,9
	Effekt	[kW]	5,76	4,88	0,64	0,62
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	5 375	14 396	-3 147	5 565
	SFP	[kW/m ³ /s]		2,66		0,82

Beregnet luftmengde er beregnet ut i fra gjennomsnittlig viftetrykk og aggregatets k-verdi ved å benytte Formel 6-2.

Beregnet SFP er beregnet på grunnlag av avleste effekter og beregnede avtrekksluftmengder, disse er gjennomsnittsverdier.

Måleusikkerheten er i vedlegg A beregnet til å være:

- Måleusikkerhet for SFP ved full drift: ± 0,80 %
- Måleusikkerhet for SFP ved redusert drift: ± 3,41 %

6.0 Diskusjon av måleresultater

I dette kapittelet diskuteres måleresultatene. Grunnet måling ved aggregat er det ikke tatt hensyn til lekkasje i kanaler, og SFP er beregnet fra brutto luftmengder.

6.1 PWC-bygget

Viftetrykket ved 20 % luftmengder er veldig lavt, og skyldes nok at installert måleutstyr ikke er beregnet for å måle så lave differansetrykk som de som forekommer i dette tilfellet.

Avlest SFP-verdi avviker noe fra beregnet SFP-verdi. Den beregnede er riktignok beregnet på bakgrunn av avleste verdier for luftmengde og effekt og avviket kan derfor skyldes avrunding av presenterte verdier. Det antas her at SFP-verdien beregnet i håndterminalen er den mest nøyaktige.

Kravene til SFP i teknisk forskrift av 2007, som finnes i vedlegg D er 2,0 for dagdrift og 1,0 for nattdrift. Kravet for dagdrift er oppfylt, men selv ved bare 20 % av maksimal luftmengde er ikke aggregatet innenfor kravet for nattdrift, slik at luftmengdene må reduseres enda mer dersom nattdrift skal benyttes. Styringssystemene ved PWC-bygget stenger aggregatet helt av om natten og derfor oppfylles kravene i teknisk forskrift både for natt- og dagdrift.

Resultatene viser at dersom man reduserer luftmengdene reduseres samtidig SFP-verdien. Grunnen til dette er at når luftvolumet som flyttes gjennom kanalsystemet reduseres vil hastigheten på luften samtidig reduseres da tverrsnittet på kanalene er konstant. Når lufthastigheten reduseres vil trykktapet over komponenter og i kanalene bli mindre, og når viftene får mindre trykkmotstand å jobbe mot vil den nødvendige effekten til viftedrift per forflyttet luftmengde reduseres.

Målingene viser at ved å redusere luftmengdene med 35 % kan få redusert SFP med 30 %. Tar man i tillegg med i betraktningen at man har redusert effektforbruket med 30 % pr m^3/s , og samtidig redusert antall m^3/s med 35 % ser man at effektbesparelsen er på hele 55 %. I tillegg kommer selvsagt besparelsen ved å varme opp et mindre luftvolum om vinteren og kjøle ned et mindre luftvolum om sommeren.

Det vil med andre ord være mye å spare på individuell styring av ventilasjonen i kontorlokalene ved hjelp av bevegelsessensorer.

Tabell 6-1 viser hvor mye effekt som kan spares ved å styre aggregat 36.09 slik at luftmengden som tilføres og trekkes av ligger på henholdsvis 60 % og 20 % av maksimal luftmengde i stedet for 95 % som er innregulert mengde. Det er uvisst om det ved dimensjoneringen av aggregatet ble tatt hensyn til tilstedeværelsessamtidighet. Det er vanlig å benytte en samtidighetsfaktor på 0,8 ved dimensjonering av VAV anlegg (11). Det ville uansett utgjøre en vesentlig besparelse dersom aktivering av en av bevegelsesdetektorene førte til at aggregatet startet på et lavere nivå enn om to detektorer aktiveres. Slik anlegget er utført holder det at en person er til stede i ett av plan 4 nord 27 kontorer eller fellesarealer for at aggregatet skal kjøre på 6500 m³/h.

Tabell 6-1 Besparelse ved reduksjon av luftmengder for 36.13.
Reduksjon og besparelse i forhold til 95 % luftmengde.

% av maksimal luftmengde:		95 %	60 %	20 %
Luftmengde	[m ³ /s]	1,75	1,11	0,36
Reduksjon luftmengde	[%]	0,00	0,37	0,79
Reduksjon luftmengde	[m ³ /s]	0,00	0,64	1,39
SFP	[kW/m ³ /s]	2,00	1,40	1,30
Reduksjon SFP	[%]	0,00	0,30	0,35
Reduksjon SFP	[kW/m ³ /s]	0,00	0,60	0,70
Effekt	[kW]	3,63	1,65	0,47
Effektbesparelse	[%]	0,00	0,55	0,87
Effektbesparelse	[kW]	0,00	1,98	3,16

Ved å benytte Formel 2-2 som NS 3031:2007 angir at skal benyttes for å beregne SFP ved reduserte luftmengder fremkommer følgende resultater:

For 60 %: $SFP_{red} = 1,22 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Differanse i forhold til måling: $0,18 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, 13 % avvik.

For 20 %: $SFP_{red} = 0,92 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Differanse i forhold til måling: $0,38 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, 29 % avvik.

Dette er ganske store avvik fra målte verdier, og fører til at anlegget ikke er like godt i virkeligheten som det ville vært prosjektert for å være dersom det var et VAV-anlegg.

6.2 Høyskolen i Oslo

Grunnen til at resultatene inneholder både avlest og beregnet luftmengde er at k-verdien for beregning av luftmengder som produsenten oppgir er angitt på en annen måte enn den som apparatet er beregnet for å regne med, og derfor blir avlesningen i m^3/h feil. Multimometeret benytter følgende formel:

$$q = k \cdot \sqrt{\Delta p} \left[\frac{l}{s} \right] = k \cdot \sqrt{\Delta p} \cdot \frac{3600}{1000} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad \text{Formel 6-1}$$

Mens K-verdien oppgitt fra produsenten er angitt for bruk i følgende formel:

$$q = \frac{\sqrt{\Delta p}}{k} \left[\frac{\text{m}^3}{s} \right] = \frac{\sqrt{\Delta p}}{k} \cdot 3600 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad \text{Formel 6-2}$$

Formlene gir vidt forskjellige svar. Eksempelvis ble det ved et måletidspunkt (kl.13:00) avlest $q = 1\,300 \text{ m}^3/\text{h}$ og $\Delta p = 1\,447 \text{ Pa}$ på multimometeret, mens beregnet luftmengde ved å følge aggregatprodusentens retningslinjer viser $q = 14\,430 \text{ m}^3/\text{h}$. Dette er veldig forskjellige tall som vil gi store utslag for SFP-verdien, og viser derfor viktigheten i å forsikre seg om hvordan data fra utstørsprodusenter er ment å brukes. Resultatet ved å benytte avlest verdi beregnet fra Formel 6-1 gir en SFP-verdi på $29,63 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{s}$, mens bruk av Formel 6-2 gir en SFP-verdi på $2,67 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{s}$, noe som kan sies å være en ekstrem differanse.

Ved oppstartstidspunktet for målinger kl. 13:00 var auditoriet ca 30 % fullt. Denne forelesningen varte frem til kl. 14:15, og det var så pause frem til kl. 14:30 før ny forelesning startet. Under denne forelesningen var ca 15 % belegg i auditoriet, og den varte frem til kl. 16:15 med pause fra 15:15 til 15:30.

Måleresultatene må sies å ha god nok nøyaktighet. Det fremkom ingen nevneverdig endring i luftmengdene fra den ene forelesningen til den andre. Heller ikke i pausene ble aggregatets drift redusert. Først 30 minutter etter at de siste personene forlot lokalet kl. 16:20 reduserte frekvensomformerens driftsnivået på viftene. Driftsnivået må således kunne sies å ha vært konstant, og derfor presenteres resultatene i kapittel 5.2 som gjennomsnittelige verdier ved full og redusert drift. Alle målepunktene utgjør dermed til sammen en gjennomsnittsmåling for det aktuelle driftsnivået.

Med tanke på at luftmengden ikke varierte verken i pauser eller fra den ene forelesningen med ca 30 % belegg til den andre med ca 15 % må det kunne antas at måleresultatene ikke ville sett nevneverdig annerledes ut dersom målinger ble foretatt over en full driftsperiode på 14 timer da auditoriet er i jevn bruk hele dagen fra kl. 8:30 til kl. 16:15. Det at oppstart av målinger fant sted først kl. 13:00 kan derfor ikke sies å ha påvirket resultatet vesentlig.

Ved målingen foretatt kl. 17:50 var aggregatet tilbake i full drift, dette skyldes at undertegnede gikk inn i auditoriet for å undersøke plassering av følere. Aggregatet trinn opp straks bevegelse ble registrert i rommet, og det er altså bevegelsessensoren i rommet som får luftmengdene til å justeres. Det er da rimelig å anta at et høyt innhold av CO₂ i rommet og/eller høy romtemperatur vil føre til forsering av tilluftsmengde. Men for at dette skal forekomme må nok auditoriet nærme seg fullt over en viss tidsperiode.

Anlegget har med andre ord fire driftstrinn:

Av:	Utenfor driftstid, 20:00 - 06:00
Redusert drift:	Innenfor driftstiden 06:00 - 20:00, ingen bevegelse i rommet
Full (normal) drift:	Innenfor driftstiden 06:00 - 20:00, bevegelse i rommet
Forsert tilluft:	CO ₂ -nivå eller romtemperatur over settpunktnivå

Slik driftssituasjonen var på dette aggregatet oppstår et betydelig undertrykk i rommet. Dette auditoriet ligger rett innenfor hovedinngangen til høyskolen med mange personer som går ut og inn av denne. Det ligger også store fellesarealer utenfor auditoriet, og overstrømning fra disse til auditoriet vil dermed forekomme.

Ved redusert drift viste målingene et negativt differansetrykk over tilluftsviften, noe som indikerer at retningen på lufthastigheten har snudd seg. Ved nærmere undersøkelse viste det seg at to andre aggregater var koblet til samme tilførselskanal for uteluft, og at avgreningene til disse er plassert like før inntaket til aggregatet som målinger ble utført på. En teori er at dersom tilluftsmengden på aggregat 36.13 er lav nok kan store tilluftsmengder og stort trykk over tilluftsviftene i de to andre aggregatene føre til undertrykk i uteluftstilførselen og dermed føre til at luft suges tilbake over tilluftsviften når denne egentlig står nesten stille med tilluftsspjeldet i åpen stilling ved redusert drift. Det er også

mulig at mikrometeret ikke klarte å måle nøyaktig for det forekommende trykket, men siden måleområdet for måleinstrumentet er -300 Pa til +1500 Pa er nok ikke dette grunnen.

For bedre å kunne vise en liten endring i driftsnivået burde en gjennomsnittsmåling over for eksempel 30 sek noteres ved hvert avlesningstidspunkt, men slik som driftssituasjonen er for dette aggregatet er, vil en momentanmåling hvor snittet finnes ut i fra alle målepunkter være nok. SFP-faktoren viste seg kun å variere innenfor ca $\pm 1\%$.

For å se om kravet til SFP i teknisk forskrift av 2007 tilfredsstilles for dagdrift må man beregne en gjennomsnittlig SFP-verdi for driftstiden i og med at denne varierer avhengig av om auditoriet er i bruk eller ikke. Antar her 8 timer per dag med undervisning. Ved bruk av 14 timers driftstid fra 06:00 til 20:00:

$$SFP_{snitt} = \frac{8}{14} \cdot SFP_{full} + \frac{6}{14} \cdot SFP_{red} = \frac{8}{14} \cdot 2,66 + \frac{6}{14} \cdot 0,82 = 1,873 \approx 1,9 \quad \text{Formel 6-3}$$

Forskriftskravet til SFP er dermed oppfylt for driftstiden.

NS 3031:2007 tabell A.3 angir riktignok driftstiden for universitets- og høyskolebygg til å være 12 timer per dag. I dette tilfelle blir gjennomsnittlig SFP over driftstiden med 8 timer undervisning:

$$SFP_{snitt} = \frac{8}{12} \cdot SFP_{full} + \frac{4}{12} \cdot SFP_{red} = \frac{8}{12} \cdot 2,66 + \frac{4}{12} \cdot 0,82 = 2,048 \approx 2,0 \quad \text{Formel 6-4}$$

Noe som akkurat holder til å tilfredsstille kravet for SFP i driftstiden. Skulle derimot høy temperatur og/eller CO₂-nivå føre til forsering av tilluftsmengden vil dette mest sannsynlig føre til at kravet ikke lengre tilfredsstilles da SFP-verdien vil øke i dette scenarioet.

Kravet til SFP utenfor driftstiden tilfredsstilles i begge tilfeller da anlegget stenges av mellom 20:00 og 06:00.

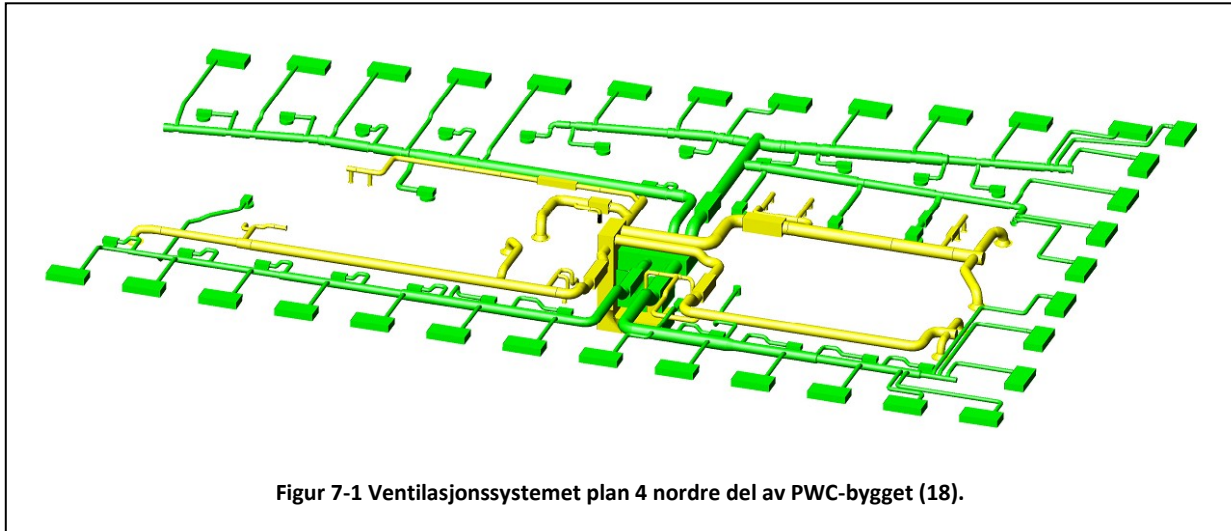
Ved å benytte Formel 2-2 som NS 3031:2007 angir at skal benyttes for å beregne SFP ved reduserte luftmengder fremkommer følgende resultater:

$SFP_{red} = 1,20 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Differanse i forhold til måling: $0,38 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, 46 % avvik.

Dette er også et stort avvik fra målt verdi, men i dette tilfellet beregnes en vesentlig dårligere løsning enn virkeligheten.

7.0 Forbedring av ventilasjonsdesign

I dette kapitlet har jeg valgt å se på PWC-bygget da jeg for dette bygget hadde tilgang til digitale tegninger i AutoCAD-format som viser bygningen "som bygget".



Figur 7-1 viser hvordan ventilasjonssystemet for nordre del av plan 4 i PWC-bygget ser ut i dag. Grønne kanaler er tilluft og gule kanaler er avtrekk.

7.1 Kanaldimensjonering ved hjelp av MagiCAD

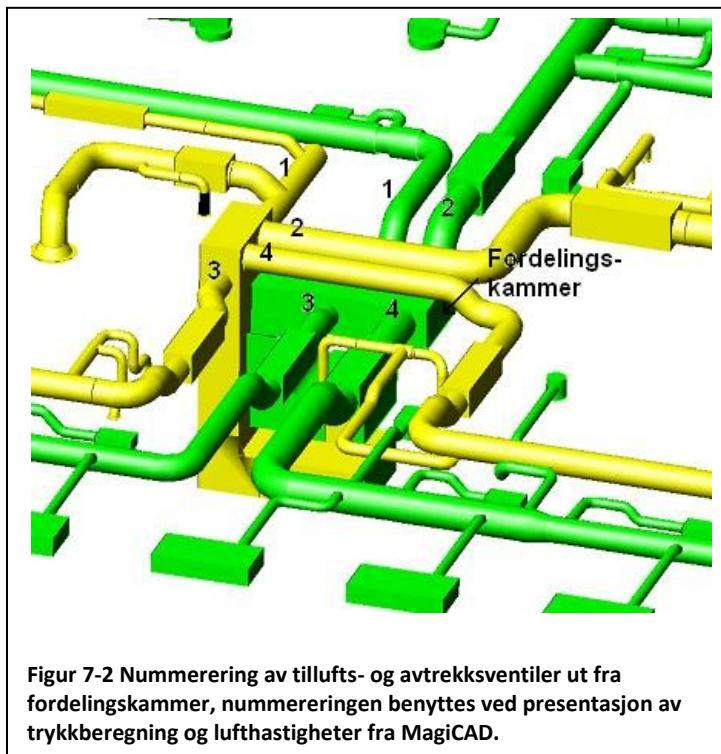
MagiCAD er et tillegg til AutoCAD som inneholder VVS-produkter og mulighet for å trykkfallsberegne ventilasjonskanaler og sanitærssystemer. Dette programmet har i dette kapitlet blitt benyttet til å utføre beregninger på ventilasjonssystemet i PWC-bygget slik som det er bygget og med alternative dimensjoneringskriterier.

Slik systemet var tegnet fant jeg det ikke mulig å beregne trykktap i fordelingskammer for tilluft og samle kammer for avtrekk i MagiCAD da det ikke så ut til at programmet viste at all luft gikk gjennom disse kammerene på vei til/fra kanalnettet. Da en vesentlig del av strømningsmotstanden i anlegget oppstår her vil derfor de forekommende motstandstrykkene i dette kapitlet være lavere enn i virkeligheten. Trykkberegningene i dette kapitlet gjelder således kun for selve kanalnettet. Fordelingskammeret behandles i neste kapittel.

Utfyllende avleste data finnes i vedlegg E

7.1.1 Eksisterende anlegg

Først ble kanalsystemene balansert ved hjelp av funksjonen "Flow summation and Balancing" for hver hovedgren, det ble valgt "root node" i starten av hver tilluftskanal og helt inntil fordelingskammeret. Deretter ble det samme utført for avtrekkskanalene.



Totalt kanaltrykk ble funnet å være 248,5 Pa for tilluftssystemet og -236,9 Pa for avtrekksystemet. Lufthastighetene varierte fra 3,1 m/s til 5,4 m/s for tilluft, og fra 4,5 m/s til 5,4 m/s for avtrekk, for begge systemer ble dette avlest helt inntil fordelingskammer og samle-kammer.

Figur 7-2 viser hovedgrener ut fra fordelingskammer for tilluft og samle-kammer for avtrekksluft.

Hovedgrenene er nummerert for å kunne skille hvor de ulike trykk og hastigheter er målt. Denne nummereringen er benyttet i vedlegg E, hvor utfyllende data fra MagiCAD finnes.

7.1.2 Endringer ved redusert maksimal lufthastighet

For å se hvordan situasjonen ville vært dersom man hadde dimensjonert anlegget for lavere lufthastighet ble det besluttet å sette en øvre grense på 3 m/s for lufthastigheter i hele kanalnettet.

Det ble da laget en ny "Sizing method", eller dimensjoneringskriterie ved å gå inn i menyen "Project->Ducts->Systems" for deretter å høyreklikke og velge "Insert". Følgende data ble så lagt inn i det nye dimensjoneringskriteriet:

Description: "Max 3m/s"

Maximum diameter [mm]: "999"

Maximum velocity [m/s]: "3.0"

Maximum friction [Pa/m]: "99.0"

Det nye dimensjoneringskriteriet ble så aktivert ved å gå til "Project->Ducts->Systems" og dobbeltklikke på tilluft eller avtrekk. Begge fikk følgende kriterier:

Sizing method: "Max 3m/s"

Warning of high dP [Pa]: "70"

Balancing: "Balancing to minimum pressure"

Deretter ble kanalanleggets dimensjoner justert ved å bruke funksjonen "Flow summation and Sizing" på hver hovedgren, også her ble "root node" plassert helt inntil fordelingskammeret. Alle hovedgrenkanaler fikk økt diameter ved å benytte denne metoden. Kanalnettet ble deretter balansert på samme måte som i kapittel 7.1.1 ved bruk av "Flow summation and Balancing". Det resulterende totaltrykket for tilluft ble på 124,8 Pa og for avtrekk -116,9 Pa. Dette tilsvarer en reduksjon på 50 % i forhold til strømningsmotstanden slik kanalnettet var utformet i utgangspunktet. Den største endringen ble registrert i hovedgren 3, her ble diameteren økt fra 315 mm til 500 mm og hastigheten redusert fra 5,2 m/s til 2,1 m/s. Begge disse endringene var på ca 60 % i forhold til utgangspunktet. Figurer av kanalanlegget før og etter endringer med hovedgrendimensjoner påskrevet finnes i vedlegg F.

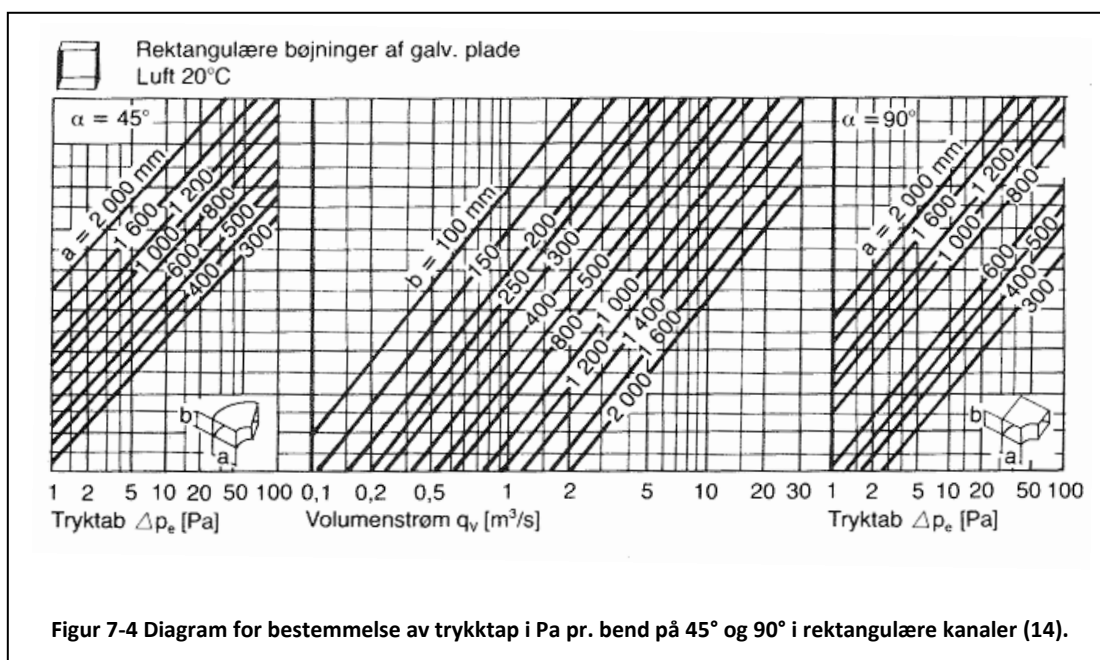
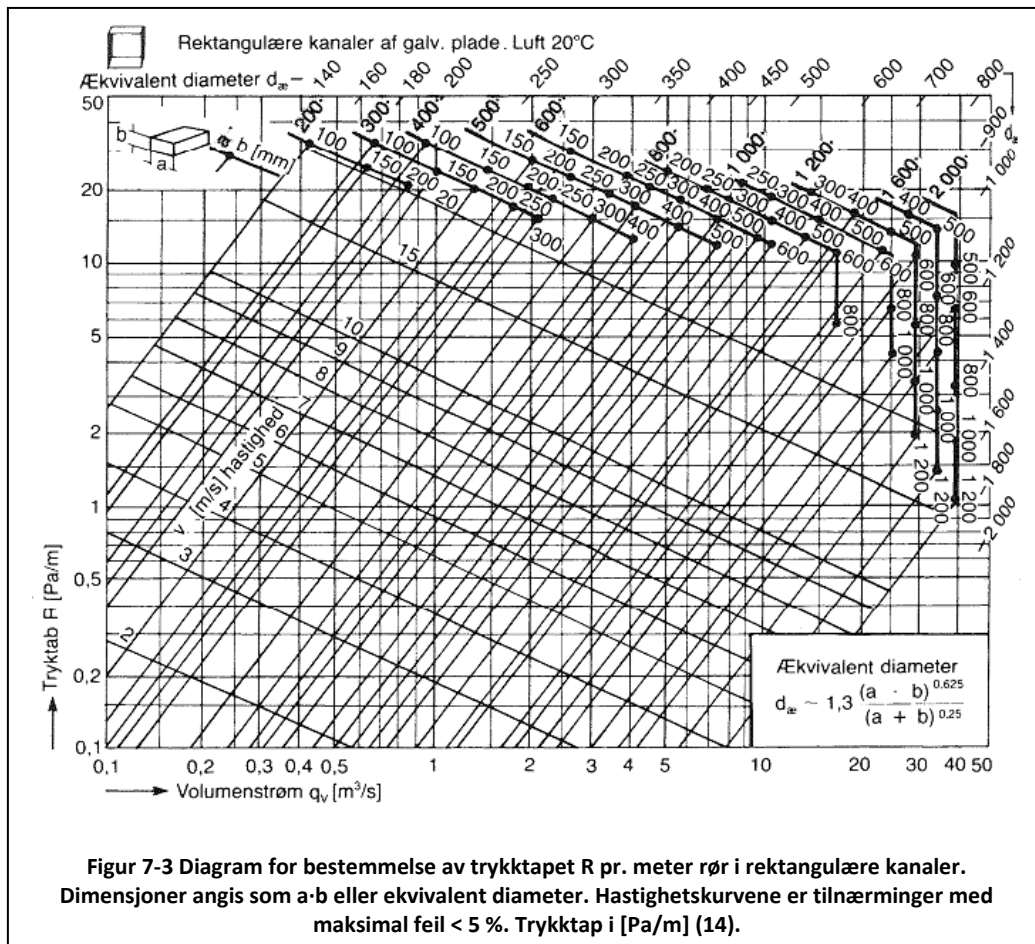
Tabell 7-1 Trykktap før og etter dimensjonering for maks 3 m/s lufthastighet samt trykktapsreduksjon.

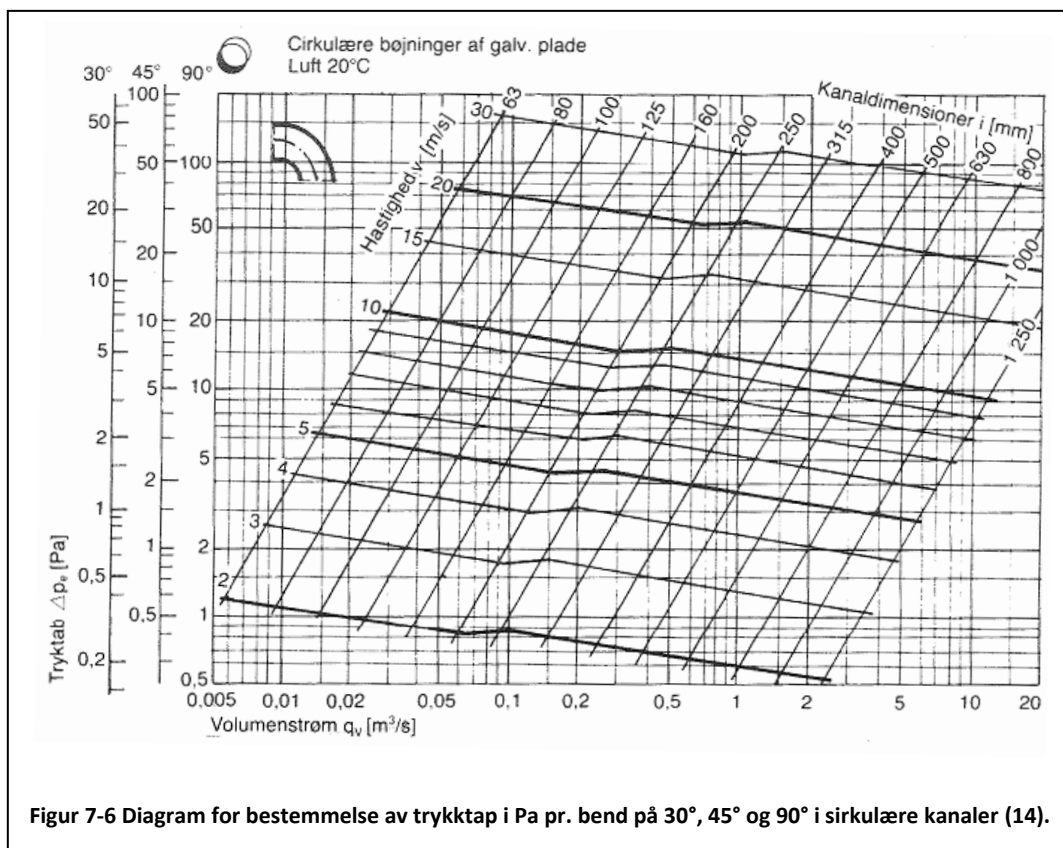
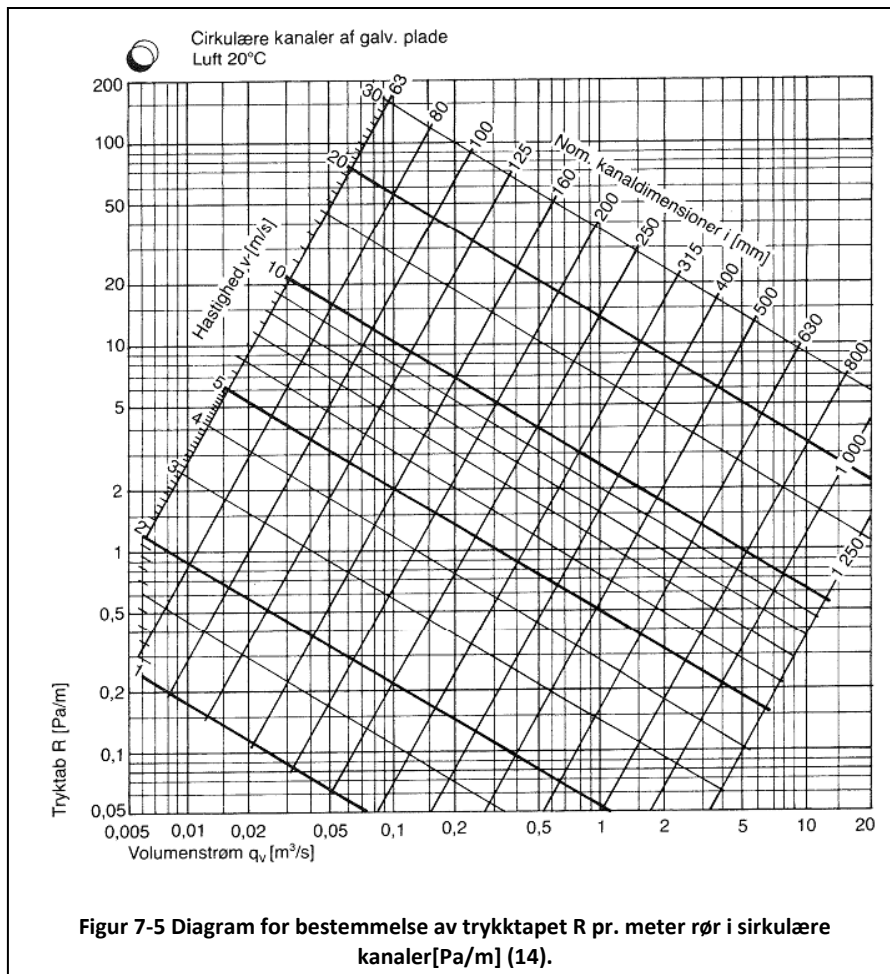
	Før	Etter	Reduksjon
Tilluft	248,5 Pa	124,8 Pa	123,7 Pa
Avtrekk	-236,9 Pa	-116,9 Pa	-120,0 Pa

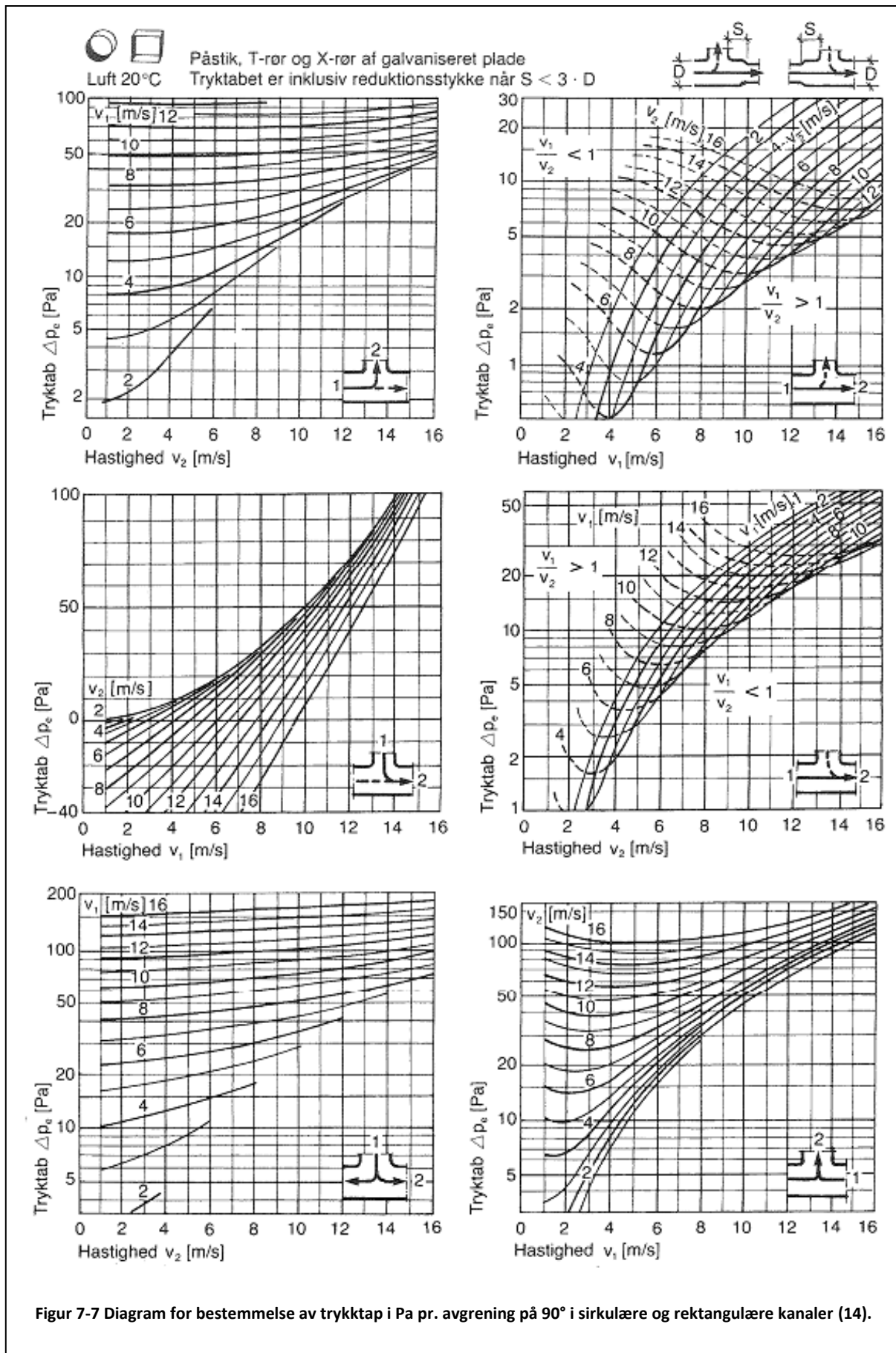
7.2 Fordelingskammer

For å se på hvilke endringer som ville være gunstige å foreta seg uten å simulere dette i MagiCAD eller liknende program kan man benytte trykktapstabeller og diagrammer som angir trykktapet for enkeltkomponenter, enkeltmotstander og kanaler. Figur 7-3 til Figur 7-7

viser diagrammer for å bestemme trykktap i kanaler, enkeltmotstander og bend for sirkulære og rektangulære kanaler.



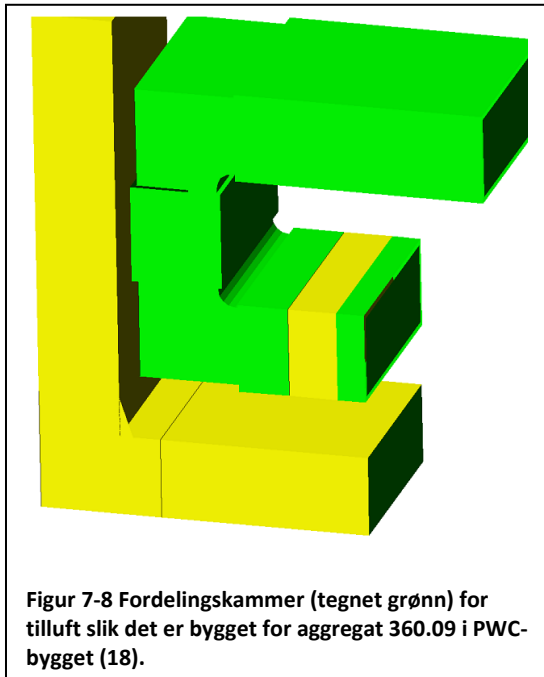




Figur 7-7 Diagram for bestemmelse av trykktap i Pa pr. avgrening på 90° i sirkulære og rektangulære kanaler (14).

Dette kapittelet vil ta for seg trykktap i fordelingskammer for tilluft, samle kammer for avtrekksluft behandles ikke i denne oppgaven.

7.2.1 Eksisterende fordelingskammer

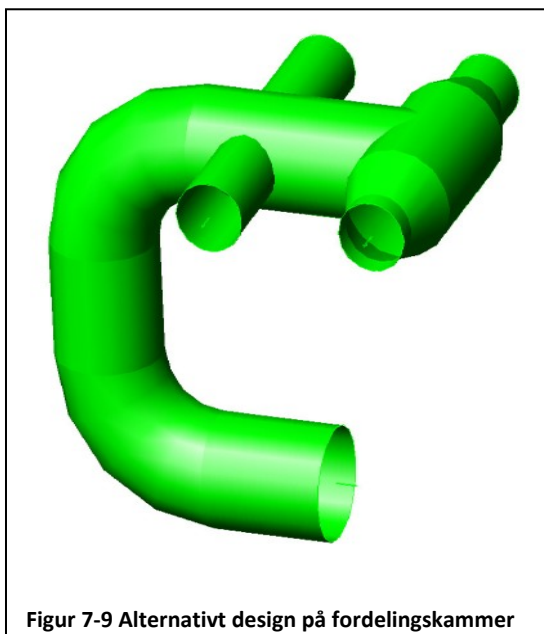


Figur 7-8 viser hvordan fordelingskammeret til aggregat 360.09 er bygget. Den gule delen av fordelingskammeret er varmebatteri. Dette har et trykktap på 14 Pa når lufthastigheten er 3 m/s. Denne verdien er hentet fra komponentdata i MagiCAD.

Avlesningspunktene for diagrammene i Figur 7-5 til Figur 7-7 finnes i vedlegg G sammen med beregninger av trykktap for eksisterende og alternativt fordelingskammer.

Eksisterende fordelingskammer ble funnet å ha en strømningsmotstand på 49,31 Pa. Dette gir en total strømningsmotstand for anlegget på 297,81 Pa, hvorav fordelingskammeret bidrar med hele 16,6 %.

7.2.2 Alternativ utforming av fordelingskammer



Det ble valgt å undersøke hvorvidt det å benytte sirkulære kanaler i stedet for firkantede ville kunne redusere trykktapet. Siden varmebatteriet er firkantet ville dette i så fall måtte flyttes inntil aggregatet og en jevn overgang fra firkantet til sirkulær kanal bli montert. Det er ikke tatt hensyn til evt. trykktap i denne overgangen her. Det ble valgt å benytte sirkulære kanaler med diameter på 900 mm da dette ville gi et tverrsnittsareal som er tilnærmet likt det i

eksisterende fordelingskammer, det ble da nødvendig å justere lufthastigheten for kammeret. Figur 7-9 viser hvordan det alternative fordelingskammeret ser ut.

Tabell 7-2 Dimensjoner og mengdedata for eksisterende og alternativt fordelingskammer

	Eksisterende fordelingskammer	Alternativt fordelingskammer
Dimensjon	1200x500 mm	900 mm
Areal	0,60 m ²	0,64 m ²
Luftmengde	1,82 m ³ /s	1,82 m ³ /s
Lufthastighet	3,0 m/s	2,9 m/s

Ved å bytte ut eksisterende med det alternative fordelingskammeret vil strømningsmotstanden reduseres. Strømningsmotstanden i fordelingskammeret vil også bli redusert av at kanalanlegget dimensjoneres for lavere lufthastigheter slik som beskrevet i forrige kapittel da reduserte hastigheter fører til reduserte trykktap i enkeltmotstander som bend og liknende.

Tabell 7-3 Trykktap i fordelingskammer for ulike kombinasjoner av optimalisering av kanalnett og/eller fordelingskammer samt trykktapsreduksjoner for disse

	Eksisterende fordelingskammer	Alternativt fordelingskammer	Reduksjon
Eksisterende kanalsystem	49,31 Pa	40,71 Pa	8,6 Pa
Optimalisert kanalsystem	41,71 Pa	36,71 Pa	5,0 Pa
Reduksjon	7,6 Pa	4,0 Pa	

Tabell 7-3 viser at det er å bytte ut eksisterende fordelingskammer med det alternative som har størst påvirkning av trykktapet i denne komponenten, og fører til en reduksjon på 8,6 Pa. Optimalisering av kanalnettet for maksimal lufthastighet på 3m/s fører til en ytterligere reduksjon på 4,0 Pa. Reduksjon i trykktap blir da på 12,6 Pa, eller 25,56 %.

Dersom kanalsystemet allerede er optimalisert for maksimal lufthastighet på 3m/s har dette ført til en trykktapsreduksjon på 7,6 Pa i fordelingskammeret, og et skifte til det alternative fordelingskammeret vil ikke utgjøre mer enn 5,0 Pa trykktapsreduksjon.

For beregningsdetaljer, se vedlegg G.

7.3 Diskusjon av resultater

Tabell 7-4 viser at dersom kanalsystemet dimensjoneres for maksimal lufthastighet på 3m/s og alternativ utforming av fordelingskammer velges blir den totale strømningsmotstanden i tilluftssystemet på 161,51 Pa, eller 54,23 % av strømningsmotstanden slik anlegget er bygget i dag. Dette tilsvarer en reduksjon på 136,3 Pa eller 45,77 %.

Tabell 7-4 Trykktap i tilluftssystem for ulike kombinasjoner av optimalisering av kanalnett og/eller fordelingskammer samt trykktapsreduksjoner for disse

	Eksisterende fordelingskammer	Alternativt fordelingskammer	Reduksjon
Eksisterende kanalsystem	297,81 Pa	289,21 Pa	8,6 Pa
Optimalisert kanalsystem	166,51 Pa	161,51 Pa	5,0 Pa
Reduksjon	131,3 Pa	127,7 Pa	

For å vurdere effektbesparelsen ble dataprogrammet ProUnit for Windows (versjon 8 / 2007.12.19) lastet ned fra Swegon sine hjemmesider www.swegon.com. Dette programmet ble benyttet ved dimensjonering av det eksisterende aggregatet, og ved hjelp av dette programmet ble en kontrollberegning av eksisterende anlegg utført, samt en beregning for et anlegg dimensjonert for maksimal lufthastighet på 3 m/s og med den alternative utformingen på fordelingskammeret. De resulterende aggregatspesifikasjoner finnes i vedleggene H og I. Ved å gjøre en beregning med de samme forutsetninger, men med ulik strømningsmotstand i anlegget vil man kunne få en indikasjon på hvor mye effekt man kan spare på slike tiltak som har blitt utført i dette kapitlet.

Data ble hentet fra aggregatspesifikasjoner i vedlegg B og matet inn i ProUnit og resulterende SFP-verdi ble 2,01 kW/m³/s. De opprinnelige aggregatspesifikasjonene angir SFP-verdi på 2,16 kW/m³/s. Avviket her kan skyldes at noen verdier ikke ble helt like som de var på de opprinnelige aggregatspesifikasjonene. Blant annet fikk jeg ikke til å få programmet til å benytte den angitte tilluftstemperaturen for sommerdrift på 26 °C. Trykket ble satt til å være 298 Pa i stedet for de opprinnelige 300 Pa da dette trykket var det som ble beregnet i MagiCAD. Luftmengdene 6568 m³/h for tilluft og 6428 m³/h ble også benyttet i stedet for 6530 m³/h for begge. Som en kontroll ble 300 Pa og 6530 m³/h satt inn, og dette ga en SFP på 2,04 kW/m³/s og var altså ikke alene grunnen til avviket fra 2,16 kW/m³/s. Dette viser allikevel at beregningen gjort for eksisterende anlegg er veldig like, og MagiCADverdiene benyttes i videre sammenlikning. Strømningsmotstanden i avtrekkssystemet ble i MagiCAD funnet å være noe lavere enn strømningsmotstanden i tilluftssystemet, henholdsvis 11,6 Pa og 7,9 Pa lavere for eksisterende og optimalisert anlegg. Dette har ikke blitt tatt med i beregningene i ProUnit da det ikke er tatt hensyn til dette i de opprinnelige beregningene og det heller ikke er blitt sett på noen forbedring av utformingen av samlekammeret for avtrekksluft.

Ved å kjøre samme beregning, med de samme inndata som for kontrollberegningen, men med den reduserte anleggsmotstanden på 162 Pa viste resultatene en SFP-faktor på 1,52 kW/m³/s. Dette er en reduksjon på 0,49 kW/m³/s eller 24,38 %. Siden dette anlegget driftes med CAV innebærer dette at en slik type optimalisering vil spare 24,38 % av de årlige energikostnadene for dette anlegget. Med driftstider hentet fra NS-3031:2007 på 12 timer per dag, 5 dager i uken 52 uker i året ville dette utgjøre:

$$0,49 \left[\frac{kW}{m^3/s} \right] \cdot 1,82 \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 12 \left[\frac{h}{dag} \right] \cdot 5 \left[\frac{dag}{uke} \right] \cdot 52 \left[\frac{uke}{\text{år}} \right] = 2789,21 \left[\frac{kWh}{\text{år}} \right] \quad \text{Formel 7-1}$$

I praksis vil nok driftstiden være vesentlig lengre så lenge aggregatet går for fullt så snart en av bevegelsessensorene i en del av en etasje registrerer bevegelse, dermed vil besparelsen i kWh/år større.

Dersom man antar samme prosentvise besparelse for alle aggregater i bygningen ville dette innebære en total besparelse på 84 345,23 kWh/år for bygget med 12 timers drift 5 dager i uken (1).

Dersom man antar en gjennomsnittlig strømpris på 80 øre/kWh utgjør besparelsen:

$$84345,23 \frac{kWh}{\text{år}} \cdot 0,80 \frac{kr}{kWh} = 67476,15 \frac{kr}{\text{år}} \quad \text{Formel 7-2}$$

Økonomisk levetid for kanalanlegget er 20 år, nåverdien av besparelsen dersom man benytter en kalkulasjonsrente på 7 %, som har vært vanlig, blir nåverdien:

$$NV = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} = 67476,15 kr \cdot \frac{1 - 1,07^{-20}}{0,07} = 714843,66 kr \quad \text{Formel 7-3}$$

Teknisk veiledning, REN (12) angir en kalkulasjonsrente på 4 %, dette gir en nåverdi på:

$$NV = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} = 67476,15 kr \cdot \frac{1 - 1,04^{-20}}{0,04} = 917023,37 kr \quad \text{Formel 7-4}$$

Det er bare nåverdien av besparelsen, økte kostnader ved bygging er ikke tatt hensyn til. Dette betyr at investeringen ikke nødvendigvis vil være lønnsom selv om den innebærer store besparelser.

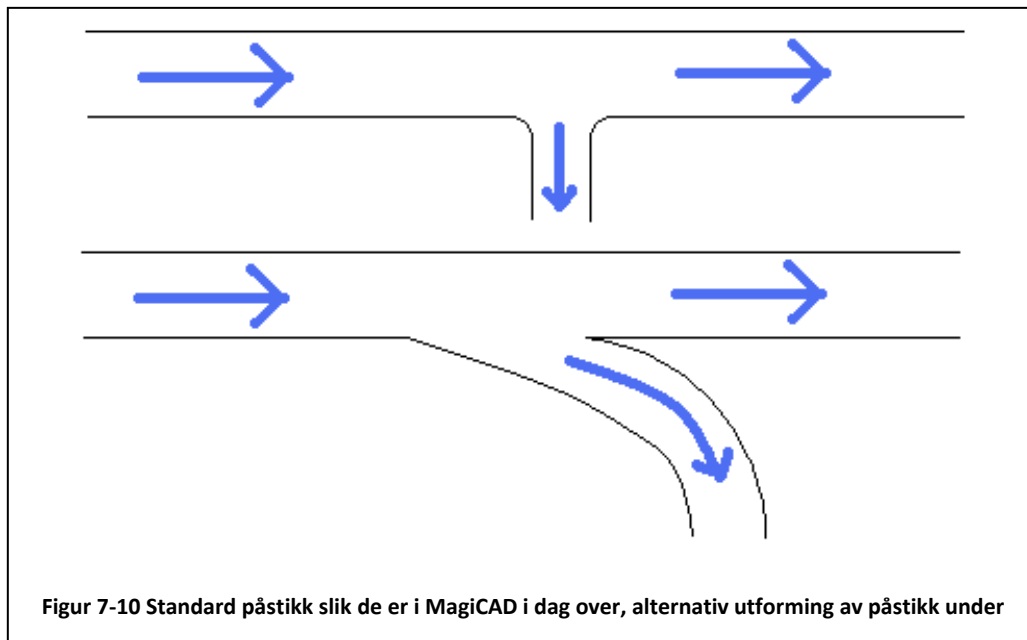
Det er viktig å merke seg at den alternative utformingen av fordelingskammeret krever mer plass i teknisk rom, og økt takhøyde siden sirkulære rør med 900 mm diameter tar mer plass enn rektangulære rør med 1200 x 500 mm. Det alternative fordelingskammeret vil føre til ca 40 cm større byggehøyde for aggregatet slik det er utformet. Andre alternative utforminger vil ikke nødvendigvis kreve like stor økning. Økning fra 500 mm til 630 mm for hovedgren vil også føre til behov for å øke himlingshøyden med 13 cm.

7.4 Forslag til forbedring i rutiner og/eller programvare for ventilasjonsdesign av fremtidige kontorbygg for å redusere SFP

Når det gjelder programvare for ventilasjonsdesign tror jeg det ville hatt en positiv innvirkning på trykktapet i fremtidige anlegg dersom vinkling av påstikk ikke automatisk ble satt til vinkler på 90°. Det ville være fordelaktig om dataprogrammene kunne endre

påstikkets vinkel automatisk dersom dette ikke krasjet med arkitektunderlaget i form av vegger, eventuelt at dette kunne velges manuelt på en enkel måte. Et svakt avrundet bend gir mindre trykktap og vil være å foretrekke dersom det finnes plass til dette.

Figur 7-10 viser hvordan påstikk kunne vært utformet for å redusere trykktapet ytterligere.



Advarsler dersom lufthastigheten i kanalnettets overstiger en viss grense, for eksempel 3,4 eller 5 m/s ville kunne bidra til å gjøre prosjekterende ingeniør oppmerksom på, og minne om at dette er lite gunstig for energieffektiviteten til anlegget.

Standardverdier for lufthastighet i dimensjoneringskriteriene som benyttes i dataprogrammer som MagiCAD kan med fordel endres slik at maksimal hastighet reduseres.

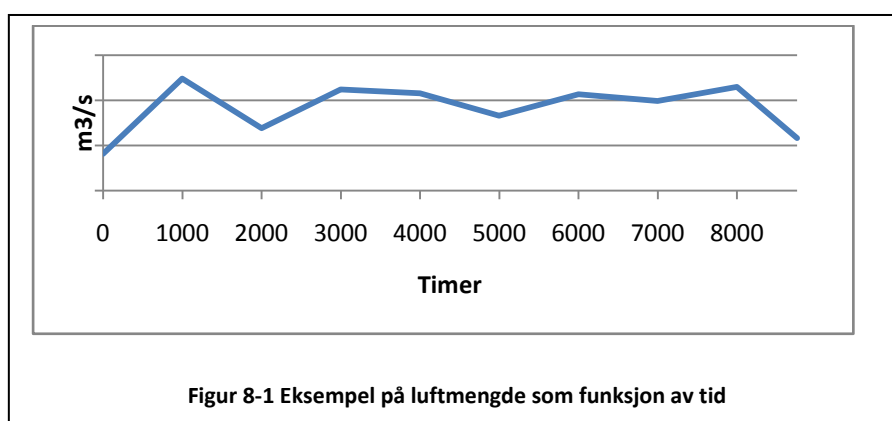
Tidlig avklaring av nødvendige dimensjoner ovenfor arkitekten og god kommunikasjon med denne vil føre til at man slipper å få for liten dimensjon på kanalsystemet på grunn av at det ble satt av for lite plass til dette.

En økning i standard etasjehøyder vil gi bedre plass i himling og dermed gi plass til større kanaldimensjoner. Det vil imidlertid være økte kostnader forbundet med dette, noe som må tas med i vurderingen.

8.0 Diskusjon/konklusjon

Denne oppgaven viser at det er fullt mulig å få et VAV-anlegg som ved full drift ikke tilfredsstillende kravene til SFP-verdi i teknisk forskrift til å tilfredsstillende disse dersom man utvider driftstiden med et par timer i en periode der det ikke befinner seg personer i bygget, eller antallet personer er vesentlig redusert. Det er derfor viktig dersom skillet mellom driftstid og utenfor driftstid skal beholdes i fremtiden, at det må være en forutsetning for å få godkjent bygningen at denne skal ha et ventilasjonsanlegg og et styresystem som klarer å overholde forskriftskravene også med jevnt høy personbelastning hele driftstiden. For eksempel 80 % personbelastning for kontorbygninger da dette er en vanlig samtidighetsfaktor ved beregning av VAV-anlegg (11). Det bør i tillegg vurderes hvorvidt en "maksimalverdi" for SFP-faktoren i løpet av en driftsperiode skal innføres for å unngå at den reelle driftstiden nedjusteres ved prosjektering for å komme innenfor kravet som midles over driftstiden.

Det kan også vurderes en overgang til å benytte en årsmidlere SFP-faktor hvor det måles elektrisk energi medgått til alle tillufts, og avtrekksvifter i løpet av et år i kWh, og luftmengde for tilluft og avtrekk måles som funksjon av tid og integreres over året. Figur 8-1 viser eksempel på luftmengde som funksjon av tid:



Arealet under grafen i Figur 8-1 utgjør total luftmengde i løpet av året, og får benevnningen $m^3/s \cdot h$. Den virkelige SFP-verdien kan da beregnes slik:

$$SFP_{\text{virkelig}} = \frac{\text{energimengde}}{\text{luftmengde}} = \left[\frac{\text{kWh}}{\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{h}} = \frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \right] \quad \text{Formel 8-1}$$

Dette ville kunne redusere litt av problemene med prosjektering av anlegg hvor forsering av luftmengdene er en del av kjøleløsningen, noe som fører til økte luftmengder i perioder med kjølebehov. Disse periodene blir lengre og lengre etter hvert som isolasjonen i bygningene blir bedre og bedre. Forsering av luftmengdene fører til høyere SFP-faktor, og blir de for høye i forhold til forskriftskravene blir alternativet å benytte mekanisk kjøling. Definisjon av "normal drift" vil heller ikke kunne vurderes skjønnsmessig dersom en SFP beregnet på årsbasis var kravet.

I kapittel 6.0 diskuteres måleresultatene, og der sammenliknes målte verdier for SFP ved reduserte luftmengder med beregning utført i henhold til NS 3031:2007. Avvikene mellom målte og beregnede verdier er store, opptil 46 % eller 0,38 kW/m³/s skiller mellom dem. Beregning av SFP ved reduserte luftmengder ville ikke være et problem dersom en SFP for året slik som beskrevet over hadde vært lagt til grunn for krav til SFP. Alle målte verdier faller for øvrig innenfor det området som dette beregningsgrunnlaget gjelder for, det vil si at forholdet mellom redusert og normal luftmengde ligger mellom 0,2 og 0,8 som angitt i kapittel 2.1.

Det fremkommer også at det kan være store besparelser ved å velge VAV i stedet for CAV. Måleresultatene fra PWC-bygget viser at SFP-faktoren reduseres fra 2,0 til 1,4, noe som innebærer at effektforbruket til viftene per luftmengde reduseres med 30 % dersom luftmengdene reduseres fra 95 % av maksimale luftmengder til 60 % av maksimale luftmengder. Kombinerer man overgang til VAV med kanalanlegg med lave trykktap blir resultatet veldig energieffektive anlegg.

For at et virkelig energieffektivt anlegg skal oppnås bør man i utgangspunktet ikke bruke CAV for større enheter enn cellekontorer eller andre rom som er ment for én person. Disse rommene bør også være en del av et større VAV-anlegg som styres slik at tilstedeværelsessensorer i hvert cellekontor registrerer om det er personer der og dersom dette er tilfelle åpner for tilluft med CAV for dette rommet og at aggregatet oppjusterer driftsnivået tilsvarende.

Det er ikke tvil om at de forslag til forbedring av ventilasjonsdesign som presenteres i denne oppgaven vil føre til redusert strømningsmotstand i ventilasjonsanlegg og kan spare store beløp årlig i driftskostnader, men dette betyr ikke nødvendigvis at de vil være økonomisk lønnsomme å gjennomføre. For å bestemme hvorvidt de er det må man beregne kostnadene ved eventuelt å måtte øke etasjehøyden dersom dette er nødvendig for å få plass til økte kanaldimensjoner i himling, samt kostnadene ved å sette av ekstra areal for tekniske rom for å få plass til lavtrykks fordelingskammer. Gjennomsnittlig strømpris vil øke i årene fremover, og dette er løsninger som vil få økt lønnsomhet i fremtiden.

9.0 Anbefalinger

Det bør utføres simuleringer på flere alternative utforminger av fordelingskammer, for eksempel kan det være aktuelt å se på ovale kanaler da disse krever mindre byggehøyde enn sirkulære, men kan ha mindre tap enn rektangulære.

Det bør gjennomføres kostnadsanalyser for det å øke etasjehøyden og avsette større plass til tekniske rom som følge av å øke kanaldimensjonen på føringer i himling samt å utforme fordelingskammer for tilluft og samle kammer for avtrekk for redusert trykktap. Det kan da vurderes om tiltakene i kapittel 7.0 vil lønne seg økonomisk ved at kostnadsbesparelsen som følge av redusert energi til viftedrift dekker økte kostnader ved større kanaldimensjon, økte etasjehøyder og økt areal i tekniske rom.

For PWC-bygget bør det utføres målinger som registrerer tilstedeværelse i de ulike sonene for å se om det vil lønne seg kostnadsmessig å installere VAV-spjeld og endre styringen av anlegget slik at aggregatet for eksempel øker driftsnivået til 25 % dersom tilstedeværelse registreres i en sektor og til 50 % dersom tilstedeværelse registreres i to sektorer osv.

Den delen av NS 3031 som omhandler beregning av SFP, tillegg H bør revideres med tanke på SFP for VAV-anlegg slik at en mer reell SFP-verdi blir resultatet.

Bibliografi

- (1). **Standard Norge. NS-3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data.** s.l. : Pronorm AS, 2007. NS-3031:2007.
 - (2). **Tjelflaat, Per O. Samtale.** 23 mai 2008.
 - (3). **Hansen, H.E., Kjerulf-Jensen, P. og Stampe, Ole B. varme og klimateknikk, grundbok (danvak) 1.utg. 2.opplag.** København : danvak ApS, 1992.
 - (4). **Mysen, M., Polak, K. og Valasjø, F. Energieffektiv viftedrift, Prosjekteringsveiledning.** s.l. : Statsbygg, Luftfartsverket og NVE, 2000.
 - (5). **Standard Norge. NS-12599:2007 Ventilasjon i bygninger - Prøvningsprosedyrer og målemetoder for overtagelse av installerte ventilasjons- og luftkondisjoneringsanlegg.** s.l. : Pronorm AS, 2007. NS-12599:2007.
 - (6). **Ståhl, Jørgen (Multiconsult).** e-post via Ytterbø, Niels E. 23 01 2008.
 - (7). **Karlsen, Mads R. (Byggklima).** e-post. 05 2008.
 - (8). **Lystad, Morten (Vedal Prosjekt).** Samtale. 15 april 2008.
 - (9). **Gjerde, Jan E. (Fläkt Woods).** e-post. 24 04 2008.
 - (10). **Swema AB.** www.swema.se:Instrument. Swema AB. [Internett] [Sisert: 26 April 2008.] <http://www.swema.se/>.
 - (11). **Ytterbø, Niels E. (Norconsult).** Samtale. 16 nov. 2007.
 - (12). **Statens bygningstekniske etat.** Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997. s.l. : Statens bygningstekniske etat, 2007.
 - (13). **lovdata.no.** Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK). [Internett] 2007. [Sisert: 06. des. 2007.] <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-19970122-0033.html>.
 - (14). **Sørensen, H. H., Stampe, O. B. og Ludvigsen, F. H. Ventilation Ståbi.** København : Nyt Teknisk Forlag, 2004.
-

(15). **Fläkt Woods AS**. Fläkt Woods Sverige, Produktdokumentation. *www.flaktwoods.no*.

[Internett] 3 okt 2006. [Sitert: 18 nov 2007.]

<http://www.flaktwoods.se/174/6167/2/d698d51a-ab6f-415d-82bb-8eca444c2c3c>.

(16). **Swegon**. *www.swegon.com*: Products: Air handling units: GOLD One-piece unit:

Documentation. *www.swegon.com*. [Internett] 27 03 2008. [Sitert: 10 04 2008.]

<http://www.swegon.com/upload/airhandling/brochures/en/GBGOLD2007overview.pdf>.

(17). **CSE Industrial Electrical Distribtors**. *www.csedistributors.co.uk*: Danfoss VLT2800

Inverter HVAC Drives. *www.csedistributors.co.uk*. [Internett] CSE Industrial Electrical

Distribtors. [Sitert: 20 05 2008.] [http://www.csedistributors.co.uk/danfoss-drives/danfoss-](http://www.csedistributors.co.uk/danfoss-drives/danfoss-vlt-2800.htm)

[vlt-2800.htm](http://www.csedistributors.co.uk/danfoss-drives/danfoss-vlt-2800.htm).

(18). **Bakken, Geir A. (Ericksen & Horgen)**. *e-post*. 07 05 2008.

Vedlegg A: Måleresultater og beregning av måleusikkerhet

A.1 PWC-bygget

Verdier under "Vifte" og "Frekvensomformer" er avlesninger. TL er tilluft, AL er avtrekksluft.

Tabell A-1 Måleresultater fra PWC-bygget

Måling av bygg:		PWC					
Måling på aggregat:		36.09					
Maksimal luftmengde:		6530 (+ og -)					
% av maksimal luftmengde:		96 %	95 %	61 %	60 %	20 %	18 %
		TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde [m ³ /h]	6 300	6 200	4 000	3 900	1 300	1 200
	Viftetrykk [Pa]	380	389	160	150	22	18
	Driftsnivå [%]	85	76	63	48	43	24
	SFP [kW/m ³ /s]	2,00		1,40		1,30	
Frekvens- omformer	Frekvens [Hz]	44,4	40,5	35,1	29,2	27,4	19,8
	Effekt [W]	2 025	1 600	996	650	310	156
	Spenning [V]	554	551	560	560	569	564
	Strøm [A]	4,99	4,54	3,82	3,19	2,60	1,95
	Temp [°C]	31,8	26,5	30,8	24,5	30,1	23,5
Beregnet SFP	[kW/m ³ /s]	2,07		1,48		1,29	

A.2 Høyskolen i Oslo

Verdier under "Vifte" og "Frekvensomformer" er avlesninger. TL er tilluft, AL er avtrekksluft.

Tabell A-2 Måleresultater fra HiO 13:00 – 13:30

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	13:00	13:00	13:10	13:10	13:20	13:20	13:30	13:30
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde [m ³ /h]	480	1300	490	1298	476	1299	480	1301	
	Viftetrykk [Pa]	199	1447	200	1445	197	1448	198	1453	
Frekvens- omformer	Frekvens [Hz]	55,0	52,0	54,9	52,0	54,9	52,0	54,9	52,0	
	Effekt [kW]	5,80	4,90	5,76	4,92	5,84	4,88	5,74	4,87	
Beregnet	Luftmengde [m ³ /h]	5 351	14 430	5 365	14 420	5 324	14 435	5 338	14 460	
	SFP [kW/m ³ /s]		2,67		2,67		2,67		2,64	

Tabell A-3 Måleresultater fra HiO 13:40 – 14:10

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	13:40	13:40	13:50	13:50	14:00	14:00	14:10	14:10
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	473	1300	484	1299	492	1297	480	197
	Viftetrykk	[Pa]	195	1449	205	1450	205	1443	198	1440
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	55,0	52,0	54,9	52,0	55,0	52,0	55,0	52,0
	Effekt	[kW]	5,64	4,90	5,77	4,89	5,76	4,88	5,78	4,91
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	5 297	14 440	5 431	14 445	5 431	14 410	5 338	14 395
	SFP	[kW/m ³ /s]		2,63		2,66		2,66		2,67

Tabell A-4 Måleresultater fra HiO 14:20 – 14:50

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	14:20	14:20	14:30	14:30	14:40	14:40	14:50	14:50
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	470	1275	470	1290	486	1300	476	1298
	Viftetrykk	[Pa]	190	1400	191	1436	203	1452	194	1445
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	54,9	52,0	55,0	52,0	54,9	52,0	55,0	52,0
	Effekt	[kW]	5,67	4,85	5,63	4,88	5,75	4,89	5,72	4,87
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	5 229	14 194	5 243	14 375	5 405	14 455	5 284	14 420
	SFP	[kW/m ³ /s]		2,67		2,63		2,65		2,64

Tabell A-5 Måleresultater fra HiO 15:00 – 15:30

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	15:00	15:00	15:10	15:10	15:20	15:20	15:30	15:30
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	496	1300	500	1300	480	1275	480	1295
	Viftetrykk	[Pa]	210	1448	214	1452	194	1400	200	1436
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	55,0	52,0	55,0	52,0	55,0	52,0	54,9	52,0
	Effekt	[kW]	5,77	4,90	5,88	4,88	5,71	4,81	5,79	4,89
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	5 497	14 435	5 549	14 455	5 284	14 194	5 365	14 375
	SFP	[kW/m ³ /s]		2,66		2,68		2,67		2,67

Tabell A-6 Måleresultater fra HiO 15:40 – 16:10

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	15:40	15:40	15:50	15:50	16:00	16:00	16:10	16:10
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	490	1298	490	1299	500	1297	490	1292
	Viftetrykk	[Pa]	207	1442	205	1443	214	1442	207	1431
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	55,0	52,0	54,9	52,0	54,9	52,0	55,0	52,0
	Effekt	[kW]	5,80	4,88	5,77	4,90	5,83	4,90	5,77	4,87
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	5 458	14 405	5 431	14 410	5 549	14 405	5 458	14 350
	SFP	[kW/m ³ /s]		2,67		2,67		2,68		2,67

Tabell A-7 Måleresultater fra HiO 16:20 – 16:50

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	16:20	16:20	16:30	16:30	16:40	16:40	16:50	16:50
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	480	1296	480	1302	480	1294	490	1295
	Viftetrykk	[Pa]	196	1439	197	1452	194	1438	206	1440
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	55,0	52,0	54,9	52,0	54,9	52,0	54,9	52,0
	Effekt	[kW]	5,75	4,88	5,75	4,88	5,75	4,88	5,72	4,89
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	5 311	14 390	5 324	14 455	5 284	14 385	5 445	14 395
	SFP	[kW/m ³ /s]		2,66		2,65		2,66		2,65

Tabell A-8 Måleresultater fra HiO 17:00 – 17:30

Måling av bygg:		HiO								
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)								
K-verdi:		9,49	17:00	17:00	17:10	17:10	17:20	17:20	17:30	17:30
			TL	AL	TL	AL	TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde	[m ³ /h]	280	500	280	502	280	500	280	505
	Viftetrykk	[Pa]	-68	215	-67	214	-68	215	-68	219
Frekvens- omformer	Frekvens	[Hz]	27,4	25,9	27,4	25,9	27,4	25,9	27,4	25,9
	Effekt	[kW]	0,64	0,60	0,64	0,63	0,64	0,63	0,66	0,63
Beregnet	Luftmengde	[m ³ /h]	-3 128	5 562	-3 105	5 549	-3 128	5 562	-3 128	5 614
	SFP	[kW/m ³ /s]		0,80		0,82		0,82		0,83

Tabell A-9 Måleresultater fra HiO 17:40 – 17:50

Måling av bygg:		HiO				
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)				
K-verdi:		9,49	17:40	17:40	17:50	17:50
			TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde [m ³ /h]		290	498	482	1292
	Viftetrykk [Pa]		-73	213	200	1432
Frekvens- omformer	Frekvens [Hz]		27,4	25,9	54,9	52,0
	Effekt [kW]		0,64	0,63	5,83	4,92
Beregnet	Luftmengde [m ³ /h]		-3 241	5 536	5 365	14 355
	SFP [kW/m ³ /s]			0,83		2,70

Tabell A-10 Måleresultater fra HiO gjennomsnittsverdier, beregnede verdier er ikke gjennomsnittlige, men beregnet fra de gjennomsnittlige verdiene for vifte og frekvensomformer

Måling av bygg:		HiO				
Måling på aggregat:		36.13 (Auditorium 1)				
K-verdi:		9,49	Full drift		Redusert drift	
			TL	AL	TL	AL
Vifte	Luftmengde [m ³ /h]		484	1 296	282	501
	Viftetrykk [Pa]		201	1 440	-69	215
Frekvens- omformer	Frekvens [Hz]		54,9	52,0	27,4	25,9
	Effekt [kW]		5,76	4,88	0,64	0,62
Beregnet	Luftmengde [m ³ /h]		5 375	14 396	-3 147	5 565
	SFP [kW/m ³ /s]			2,66		0,82

A.3 Måleusikkerhet

Her beregnes usikkerheten for målingene utført ved høyskolen i Oslo. Beregningene er utført i excel og presenteres her i tabellform og som enkeltverdier. Alle beregninger er gjort med bakgrunn i kapittel 2.3.

Tabell A-11 Standardavvik for gjennomsnittsmålinger

		Full drift		Redusert drift	
		TL	AL	TL	AL
Vifte	Viftetrykk [Pa]	6,1312	12,5593	0,9024	0,8619
Frekvensomformer	Effekt [kW]	0,0539	0,0207	0,0034	0,0051

Standardavviket i tabell A-11 er beregnet fra Formel 2-6 med $n = 29$ og \bar{x} = verdiene i tabell A-10. Standardavviket utgjør U_T .

U_S er gitt av måleinstrumentenes nøyaktighet og er for trykkmålingene 0,01 (1 %) og for effektmålingene 0,03 (3 %)

Tabell A-12 Resulterende usikkerhet beregnet etter Formel 2-8

		Full drift		Redusert drift	
		TL	AL	TL	AL
Vifte	Viftetrykk [Pa]	6,1312	12,5593	0,9024	0,8619
Frekvensomformer	Effekt [kW]	0,0617	0,0365	0,0302	0,0304

Resulterende usikkerhet er beregnet etter Formel 2-8.

SFP er angitt som:

$$SFP = \frac{\sum P}{V} = \frac{\sum P}{\sqrt{\Delta p} / k}$$

Hvor:

$\sum P$: Samlet vifteeffekt

Δp : trykkøkning over viften

Siden effekten summeres opp i formelen for SFP blir usikkerheten for denne beregnet ved å benytte Formel 2-9 og verdier fra tabell A-12:

Total usikkerhet for effekt ved full drift:

$$U_{P,full} = \pm \sqrt{0,0617^2 + 0,0365^2} = \pm 0,0717$$

Total usikkerhet for effekt ved redusert drift:

$$U_{P,red} = \pm\sqrt{0,0302^2 + 0,0304^2} = \pm 0,0429$$

Relativ usikkerhet for effekten finnes ved å benytte Formel 2-10 og verdier fra tabell A-10:

$$\tau_{P,full} = \frac{0,0717}{5,76 + 4,88} = 0,0067$$

$$\tau_{P,red} = \frac{0,0429}{0,64 + 0,62} = 0,0340$$

Siden avtrekksluftmengdene er størst er det disse som benyttes til å beregne SFP-faktoren.

Relativ usikkerhet for trykkmåling finnes ved å benytte Formel 2-10 og verdier fra tabell A-10:

$$\tau_{\Delta p,full} = \frac{12,5593}{1440} = 0,0087$$

$$\tau_{\Delta p,red} = \frac{0,8619}{215} = 0,0040$$

Total usikkerhet på beregnet SFP-verdi ved full drift:

$$\tau_{SFP,full} = \pm\sqrt{\tau_{P,full}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_{\Delta p,full}\right)^2} = \pm\sqrt{0,0067^2 + (0,5 \cdot 0,0087)^2} = \pm 0,0080$$

Total usikkerhet på beregnet SFP-verdi ved redusert drift:

$$\tau_{SFP,red} = \pm\sqrt{\tau_{P,red}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_{\Delta p,red}\right)^2} = \pm\sqrt{0,0340^2 + (0,5 \cdot 0,0040)^2} = \pm 0,0341$$

Måleusikkerhet for SFP ved full drift: $\pm 0,80 \%$

Måleusikkerhet for SFP ved redusert drift: $\pm 3,41 \%$

Vedlegg B: Aggregatspesifikasjoner, PWC-bygget (7)

Side 41

ProUnit
2007-01-17Versjon: 3 / 2007.1
2000804.pru**Teknisk spesifikasjon**

Objekt	PRICE WATERHOUSE COOPERS	
Atmosfærestrykk	101325	Pa
Lufttetthet	1.200	kg/m ³
Lydeffekt til kanal målt iht. ISO 5136		
Innsetningsdempninger medregnet til kanal.		
Lydeffekt til omgivelsene målt iht. ISO 3741		
Komponenter ordnet etter luftretningen		

360.09 GOLD-25 +/- 6.530 m ³ /h		
GOLD RX		
Aggregatstørrelse	25	
Tilluftsmengde	6530	m ³ /h
Totaltrykkfall		
Uteluftskanal		Pa
Tilluftskanal	300	Pa
Avtrekksmengde	6530	m ³ /h
Totaltrykkfall		
Avtrekkskanal	300	Pa
Avkastkanal		Pa
Laveste dimensjonerande uteluftstemperatur	-20.0	°C
Tilluftstemperatur, sommer	26.0	°C
Tilluftstemperatur, vinter	20.0	°C
Spesifikk vifteeffekten, SFP (rene filter)	2.16	kW/(m ³ /s)

Med datorisert styresystem IQnomic
Lakkerte paneler har 50 mm brannherdig isolering.
Elanslutning 3-phase, 5-wired, 400 V-10/+15%, 50Hz, 16A

Tilluft

1	Spjeld med motor, TBSA-1-120-050-1-1		
	Motor med fjær-tilbakegang		
	Tetthetsklasse 3 i henhold til EN 1751		
	Totaltrykkfall	14	Pa
1	Luftbehandlingssystem GOLD, GOLD-25-C-1-1-1-1		
1	Filter		
	Filterklasse F7		
	2x(592x592x635-10), 1x(287x592x635-4)		
	Rek. dim.trykkfall	108	Pa
	Begynnelsestrykkfall	58	Pa
	Sluttrykkfall	158	Pa
1	Roterende varmegjenvinner		
	Roterende varmegjenvinner av typen RECOeconomic		
	Standard aluminium		
	Turtallsregulert		
	Totaltrykkfall, tilluft	151	Pa
	Totaltrykkfall, avtrekk	151	Pa

Swegon AS
Stanseveien 28
0978 Oslo
Norge

Telefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00

vergel.bagayan@swegon.no
www.swegon.se

ProUnit
2007-01-17Versjon: 3 / 2007.1
2000804.pru

Beregnet uten kompensasjon som sikrer riktig lekkasjeretning			
Renblåsningsmengde inkl. Lekkasje	0.161	m ³ /s	
Tilluftens temperaturvirkningsgrad	80.5	%	
Tilluftens fuktvirkningsgrad, vinter	0.0	%	
Tilluftsside, vinter			
Lufttemperatur	Inn -20.0	Ut 12.3	°C
Relativ fuktighet	80.0	5.8	%
Effekt		70.5	kW
Avtrekkssida, vinter			
Lufttemperatur	Inn 20.0	Ut -12.3	°C
Relativ fuktighet	25.0	100.0	%

1 Viftedel

Vifte av typen GOLD Wing			
Direktedrift med høyvirkningsgrad motor i klasse eff1 og frekvensomformer			
Standardstuss inv.			
Vibrasjonsisolatorer av gummi			
Tilluftsmengde	6530	m ³ /h	
Totaltrykkfall, kanal	300.0	Pa	
Totaltrykkøkning	(Rent filter: 580 Pa) 610	Pa	
Temperaturheving p.g.a. vifte	1.0	°C	
Turtall	(Min 300 Max. 1458 Rent filter 1298 r/m) 1338	omdr/min	
Eleffekt til motor	(Rent filter: 1.94 kW) 2.11	kW	
Merkeeffekt	4.00	kW	
Totalvirkningsgrad	52.5	%	
Lydeffektnivå			

Frekvensband	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Alle	
Til tilluftskanal		77	70	77	77	78	76	76	61	dB	83 dB(A)
Til inntakskanal		76	72	72	67	58	58	53	53	dB	68 dB(A)
Til omgivelser		67	57	56	58	47	46	45	33	dB	57 dB(A)
Til omgivelser inkl. avtrekk.		70	60	59	61	50	49	48	36	dB	60 dB(A)

1 Varmebatteri, vann, TBLA-4-120-050-2-1

1 Ventilsetts varme, TBVL-2-010			
Inkl.motor, ventil, frostvakt og hurtigkobling (kvs = 1.00)			
Effektvariant	1		
Antall rørrader	2		
Antall kretser	5		
Anslutningsnummer	15		utv.
Lamellavstand	3.0		med mer
Trykkfall	37		Pa
Lufthastighet	3.0		m/s
Lufttemperatur	13.3	20.0	°C
Relativ fuktighet	5.0	4.0	%
Ønsket batterieffekt		14.70	kW
Batteriets overkapasitet		60	%
Væsketemperatur	70.0	35.0	°C
Væskemengde		0.102	l/s
Væsketrykkfall		3.2	kPa
Batteriets væskevolum		4	l
Anslutningsdimensjon ventil		15	utv.
Rek. Dim. Trykkdiff. På vannsden inkl. vetil		17	kPa

Swegon AS
Stanseveien 28
0978 Oslo
NorgeTelefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00vergel.bagayan@swegon.no
www.swegon.se



ProUnit
2007-01-17

Versjon: 3 / 2007.1
2000804.pru

Side 43

Avtrekk

(Luftbehandlingssystem GOLD)

1	Filter												
		Filterklasse F7											
		2x(592x592x635-10), 1x(287x592x635-4)											
		Rek. dim. trykkfall							105	Pa			
		Begynnelsestrykkfall							58	Pa			
		Sluttrykkfall							152	Pa			
1	Roterende varmegjenvinner												
		Tilbehør og tekniske data, se tilluft											
1	Viftedel												
		Vifte av typen GOLD Wing											
		Direktdrift med høyvirkningsgrad motor i klasse eff1 og frekvensomformer											
		Standardstuss inv.											
		Vibrasjonsisolatorer av gummi											
		Avtrekksmengde							6530	m ³ /h			
		Totaltrykkfall, kanal							300.0	Pa			
		Totaltrykkøkning						(Rent filter: 523 Pa)	570	Pa			
		Temperaturheving p.g.a. vifte							0.9	°C			
		Turtall	(Min 300		Max. 1457			Rent filter 1305 r/m)	1340	omdr/min			
		Eleffekt til motor						(Rent filter: 1.97 kW)	2.13	kW			
		Merkeeffekt							4.00	kW			
		Totalvirkningsgrad							52.5	%			
		Lydeffektnivå											
		Frekvensband	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Alle	
		Til avtrekkskanal		76	72	72	67	58	58	53	53	dB	68
		Til avkastkanal		78	71	79	79	80	79	79	64	dB	86
		Til omgivelser		67	57	56	58	47	46	45	33	dB	57
1	Spjeld med motor, TBSA-1-120-050-1-1												
		Motor med fjær-tilbakegang											
		Tetthetsklasse 3 i henhold til EN 1751											
		Totaltrykkfall										14 Pa	

Swegon AS
Stanseveien 28
0978 Oslo
Norge

Telefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00

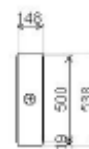
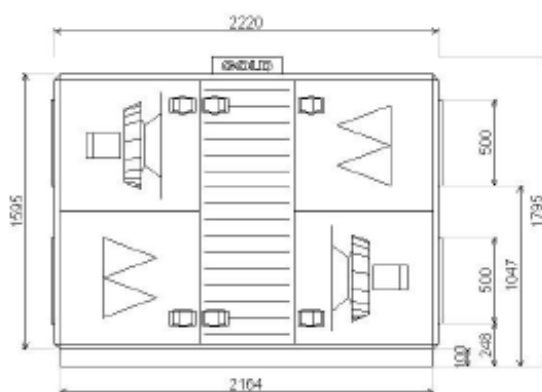
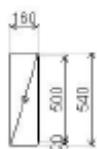
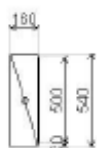
vergel.bagayan@swegon.no
www.swegon.se



ProUnit
2007-01-17

Versjon: 3 / 2007.1
2000804.pru

Objekt:	PRICE WATERHOUSE COOPERS	Inspeksjonsside				
Aggregat:	360.09 GOLD-25 +/- 6.530 m³/h					
Størrelse:	25					
Total vekt:	899 kg					
Bredde, nominell:	1595 med mer					
Max.:	1595 med mer					
Anslutningsmål:	Bredde * Høyde	Røranslutning:	Ansl.nr	Dren.anst		
Inntak	1200 500	TBLA-4-120-050-2-1	15			
Tilluft	1200 500					
Avtrekk	1200 500					
Avkast	1200 500					
Varmebatteri, vann	1200 500					



Swegon AS
Stanseveien 28
0978 Oslo
Norge

Telefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00

vergel.bagayan@swegon.no
www.swegon.se

ProUnit
2007-01-17Side 45
Versjon: 3 / 2007.1
2000804.pru

Blokkspesifikasjon

Objekt PRICE WATERHOUSE COOPERS
Aggregat betegnning 360.09 GOLD-25 +/- 6.530 m³/h

Komponenter ordnet etter luftretningen
Mål skrives som L * B * H

Tilluft

Spjeld med motor: Inkl kabinett TBSA-1-120-050-1-1
Mål: 160* 1240* 540 med mer Volum: 0.1 m³ Vekt: 23 kg

Luftbehandlingssystem GOLD: Inkl kabinett
Mål: 2220* 1595* 1595 med mer Volum: 5.6 m³ Vekt: 836 kg

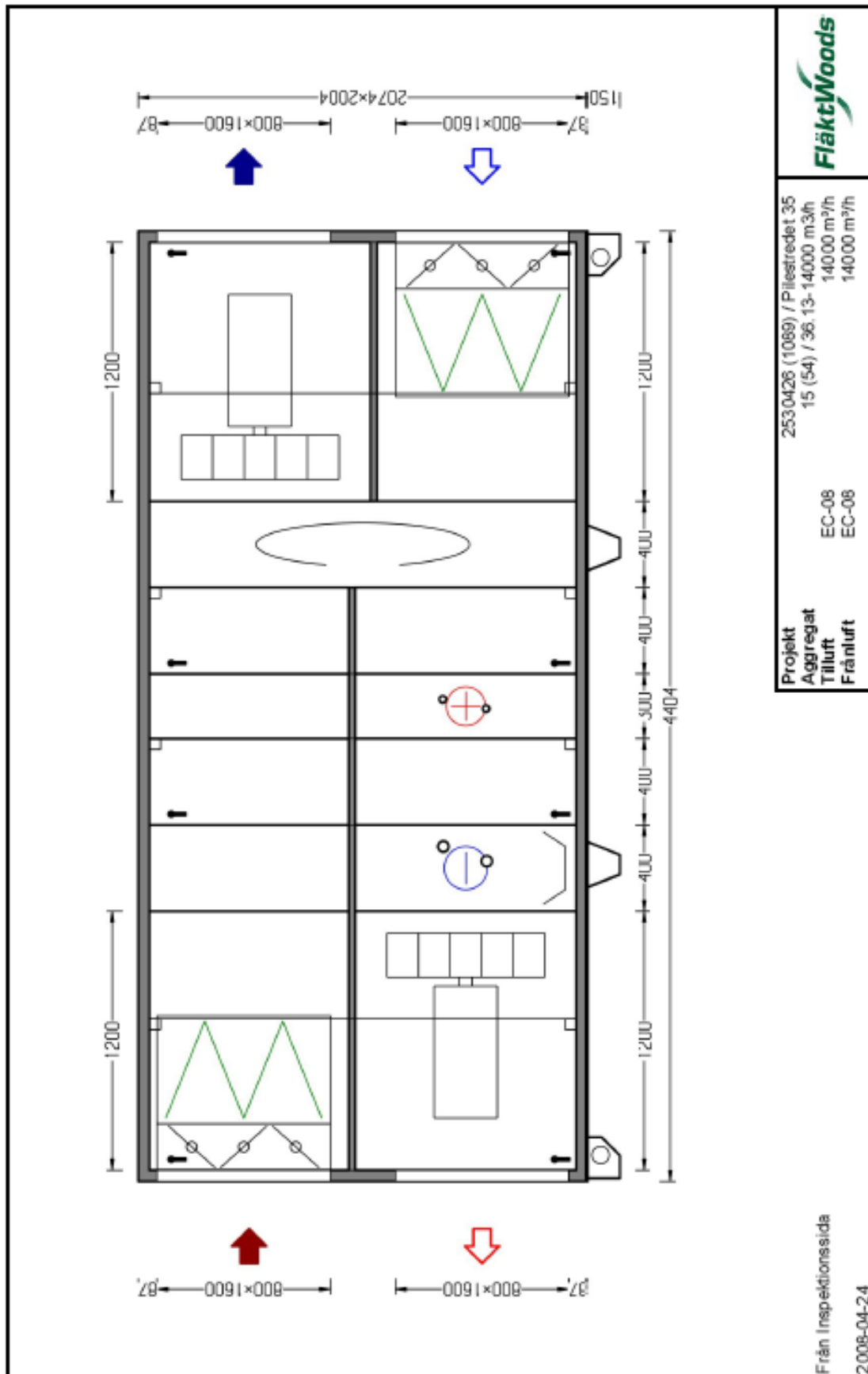
Varmebatteri, vann: Inkl kabinett TBLA-4-120-050-2-1
Mål: 148* 1319* 538 med mer Volum: 0.1 m³ Vekt: 17 kg

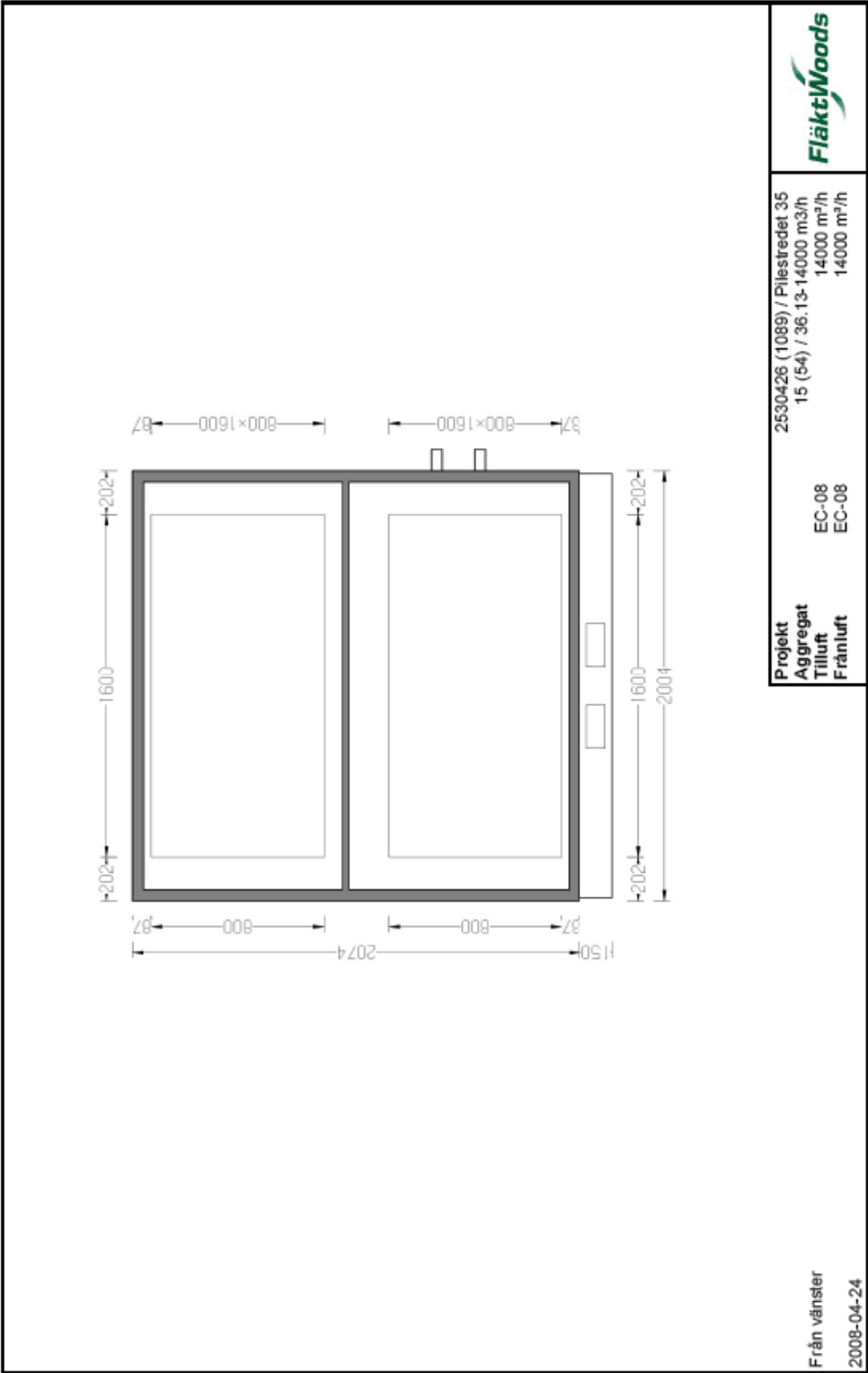
Avtrekk

Luftbehandlingssystem GOLD: Se tilluftssiden

Spjeld med motor: Inkl kabinett TBSA-1-120-050-1-1
Mål: 160* 1240* 540 med mer Volum: 0.1 m³ Vekt: 23 kg

Vedlegg C: Aggregatspesifikasjoner, høyskolen i Oslo (9)







LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Prosjekt	2530426 (1089) / Pilestredet 35				2008-04-24
Aggregat	15 (54) / 36.13-14000 m ³ /h				Sida 3
Storlek	08				
Kund					
Kundens ref.					
Vår ref.	Jan Erik Gjerde				
Tilluftsflöde	14000	m ³ /h	Frånluftsflöde	14000	m ³ /h
Externt tryckfall	300	Pa	Externt tryckfall	300	Pa
Spänning	3 x 400 V, 50	Hz	Vikt	1797	kg
SFP _v	2.3	kW/m ³ /s			

RESULTAT ÖVERSIKT

Funktionsdelar i luftriktningen	v0 (m/s)	Et (%)	tw (°C)	ts (°C)	dP (Pa)
Tilluft:					
Anslutningsdel	2.5				155
Värmeväxlare	3.1	80.6	-21.0 / 13.7		254
Inspektionsdel					0
Luftvärmare	2.4		13.7 / 21.0		24
Inspektionsdel					0
Luftkylare	2.4			25.0 / 15.6	76
Kammarfläkt		76.8	21.0 / 22.0	15.6 / 16.7	854
Frånluft:					
Anslutningsdel	2.4				151
Värmeväxlare	3.2		22.0 / -10.2		253
Kammarfläkt		75.8			753

LJUDEFFEKTSNIVÅER

(standard: prEN13053 ISO/CD 13347-2)

Oktavband (Hz)	Lw per oktavband (dB)								LwA dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Uteluftsanslutning	68	79	67	70	59	48	42	30	69
Tilluftsanslutning	67	82	82	85	81	73	69	67	85
Frånluftsanslutning	73	81	70	72	62	53	49	35	72
Avluftsanslutning	68	83	82	85	81	73	69	67	85
Till omgivning	72	83	64	57	50	46	39	34	68



LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Prosjekt 2530426 (1089) / Pilestredet 35
 Aggregat 15 (54) / 36.13-14000 m³/h
 Storlek 08

2008-04-24
 Sida 4

TEKNISK SPECIFIKATION

(komponenter ordnede efter luftstrømmens riktning)

Monteringsinstruksjon

ECAZ-36-02

Språkvariant: Svensk

TILLUFT

Intagsdel (spjäll/filter)

ECVA-08-13-1-1-1-27-0-1

Spjälltyp: invändigt spjäll T4 (CEN 3)
 Påsfilter: lång, filterklass F7, glasfiber
 Material: förzinkad stålplåt
 Antal filterinsatser 3*592x592, 3*592x287
 Tryckfall, start 105 Pa
 Tryckfall, dimensionerande 155 Pa
 Tryckfall, slut 205 Pa
 Tryckfall spjäll 4 Pa
 Tryckfall filter 151 Pa
 Frontarea 1.6 m²
 Fronthastighet 2.5 m/s

Roterande värmväxlare (REGOTERM)

ECRA-08-13-6-5-1

Rotorutförande: ej hygroskopisk, TURBOTERM
 Drivutrustning, spänning, 50 Hz: reglerbart varvtal, 1x230 V
 Material: förzinkad stålplåt

Temperaturverkningsgrad	Vinter	80.6 %
Effekt reduktion		180.0 kW
Fuktverkningsgrad		44.6 %
Tilluft	Vinter	
Tryckfall		214 Pa
Lufttemperatur		-21.0 / 13.7 °C
Relativ fuktighet		90.1 / 21.9 %
Frånluft	Vinter	
Tryckfall		228 Pa
Lufttemperatur		22.0 / -10.2 °C
Relativ fuktighet		25.0 / 100.0 %

Inspektionsdel

ECTC-08-13-4-1

Längd / utförande: 400 mm
 Utförande: med inspektionsdörr



LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Prosjekt 2530426 (1089) / Pilestredet 35
 Aggregat 15 (54) / 36.13-14000 m³/h
 Storlek 08

2008-04-24
 Sida 5

Luftvärmare varmevatten**ECEE-08-13-3-1-2-1**

Effektvariant: 3	
Lamellkropp, material: Cu/Al	
Utförande: luftvärmare	
Material: förzinkad stålplåt	
Rörstorlek	32
Tryckfall, dimensionerande	24 Pa
Effekt	34.2 kW
Lufttemperatur	13.7 / 21.0 °C
Reglerprinsip vattenvärmare	flödeskontroll
Vattentemperatur	80.0 / 40.0 °C
Vattenflöde	0.21 l/s
Vattenhastighet	0.2 m/s
Tryckfall vatten	0.8 kPa

Inspektionsdel**ECTC-08-13-4-1**

Längd / utförande: 400 mm
 Utförande: med inspektionsdörr

Luftkylare, kylvatten**ECNN-08-13-3-1-1-0-1**

Effektvariant: 3	
Lamellkropp, material: Cu/Al	
Lamelledelning: 2 mm	
Material: förzinkad stålplåt	
Rörstorlek	50
Tryckfall, dimensionerande	76 Pa
Effekt	51.6 kW
Lufttemperatur	25.0 / 15.6 °C
Relativ fuktighet	50.0 / 83.7 %
Fronthastighet	2.4 m/s
Vattentemperatur	8.0 / 15.0 °C
Vattenflöde	1.76 l/s
Vattenhastighet	0.7 m/s
Tryckfall vatten	6.4 kPa
Vattenlås	ECAZ-08



LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Prosjekt 2530426 (1089) / Pilestredet 35
 Aggregat 15 (54) / 36.13-14000 m³/h
 Storlek 08

2008-04-24
 Sida 6

Kammarfläkt, B-hjul

ECLK-08-13-1-1-8-3-3-1

Placering: tilluft	
Fläktstorlek: mellanstor, Centriflow Plus	
Utförande: med flödesgivare	
Konstruktionsvariant: Centriflow Plus	
Varvtal	1496 rpm
Verkningsgrad, hjul	81.8 %
Fläkt verkningsgrad	76.8 %
Totalverkningsgrad	64.5 %
Tryckökning, dimensionerande	854 Pa
Fläktaxeeffekt vid dim.data	4.3 kW
Näteffekt	5.1 kW
Temperaturhöjning	1.1 °C
Avsedd för frekvensomr. verkningsgrad	95.0 %
SFP-beräkning	
Specifik fläkteffekt	1.23 kW/m ³ /s
Näteffekt enligt SFP	4.7 kW
Tryckökning	788 Pa
Varvtal	1469 rpm
Enhastighetsmotor	APAL-4-00550-2-0-2
Spänning: 380-420 VD/660-690 VY	
Fabrikat: WEG	
Verkningsgrad	88.5 %
Varvtal	1450 rpm
Motoreffekt	5.5 kW
Ström	10.6 A
Poltal	4
Driftfrekvens vid frekvensomriktardrift	52.0 Hz
Maxfrekvens vid frekvensomriktardrift	56.4 Hz
Maxvarvtal vid frekvensomriktardrift	1626 rpm
Effektmarginal, minst	10 %

FRÅNLUFT

Intagsdel (spjäll/filter)

ECVA-08-13-1-2-1-27-0-1

Spjälltyp: invändigt spjäll T4 (CEN 3)	
Påsfiler: lång, filterklass F7, glasfiber	
Material: förzinkad stålplåt	
Antal filterinsatser	3*592x592, 3*592x287
Tryckfall, start	101 Pa
Tryckfall, dimensionerande	151 Pa
Tryckfall, slut	201 Pa
Tryckfall spjäll	4 Pa
Tryckfall filter	147 Pa
Frontarea	1.6 m ²
Fronthastighet	2.4 m/s



LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Prosjekt 2530426 (1089) / Pilestredet 35
 Aggregat 15 (54) / 36.13-14000 m³/h
 Storlek 08

2008-04-24
 Sida 7

Kammarfläkt, B-hjul**ECLK-08-13-1-2-8-3-3-1**

Placering: frånluft	
Fläktstorlek: mellanstor, Centriflow Plus	
Utförande: med flödesgivare	
Konstruktionsvariant: Centriflow Plus	
Varvtal	1492 rpm
Verkningsgrad, hjul	82.0 %
Fläkt verkningsgrad	75.8 %
Totalverkningsgrad	63.8 %
Tryckökning, dimensionerande	753 Pa
Fläktaxe-effekt vid dim.data	4.0 kW
Näteffekt	4.8 kW
Temperaturhöjning	1.0 °C
Avsedd för frekvensomr. verkningsgrad	95.0 %
SFP-beräkning	
Specifik fläkteffekt	1.13 kW/m ³ /s
Näteffekt enligt SFP	4.3 kW
Tryckökning	692 Pa
Varvtal	1437 rpm
Enhastighetsmotor	APAL-4-00550-2-0-2
Spänning: 380-420 VD/660-690 VY	
Fabrikat: WEG	
Verkningsgrad	88.5 %
Varvtal	1450 rpm
Motoreffekt	5.5 kW
Ström	10.6 A
Poltal	4
Driftfrekvens vid frekvensomriktardrift	51.0 Hz
Maxfrekvens vid frekvensomriktardrift	56.4 Hz
Maxvarvtal vid frekvensomriktardrift	1626 rpm
Effektmarginal, minst	10 %



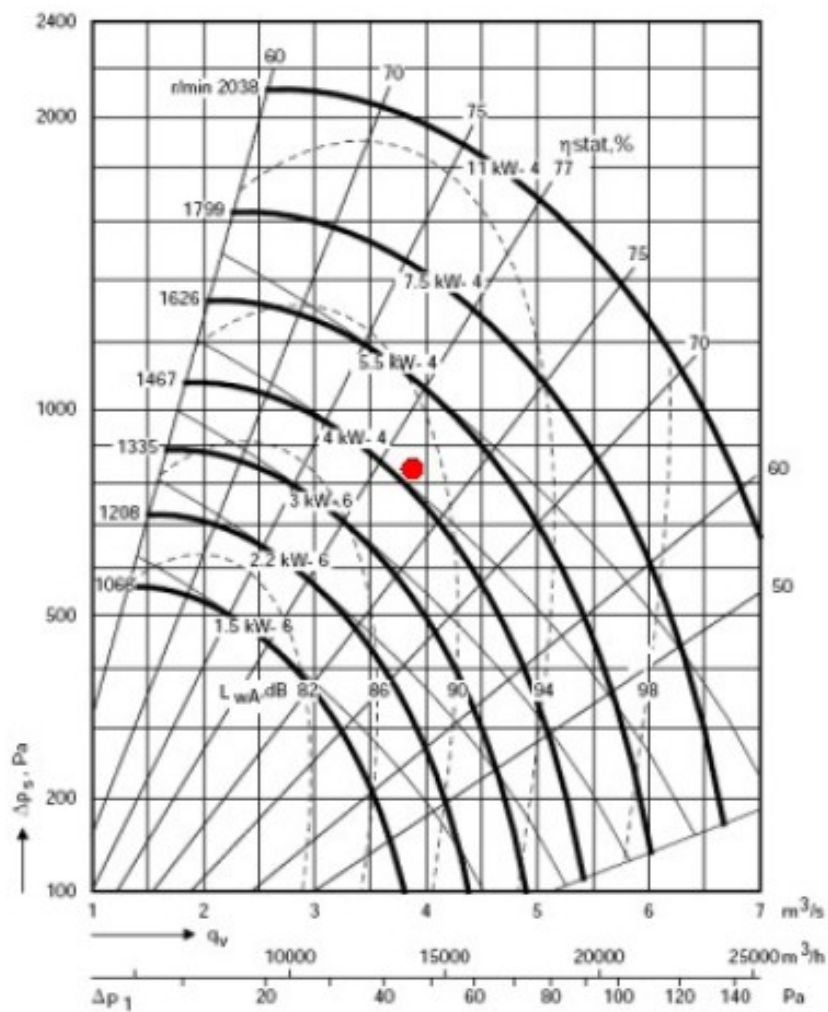
LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Projekt
Aggregat
Storlek

2530426 (1089) / Pilestredet 35
15 (54) / 36.13-14000 m³/h
08

2008-04-24
Sida 8

Fläktdiagram - Tilluft - ECLK-08-13-1-1-8-3-3-1



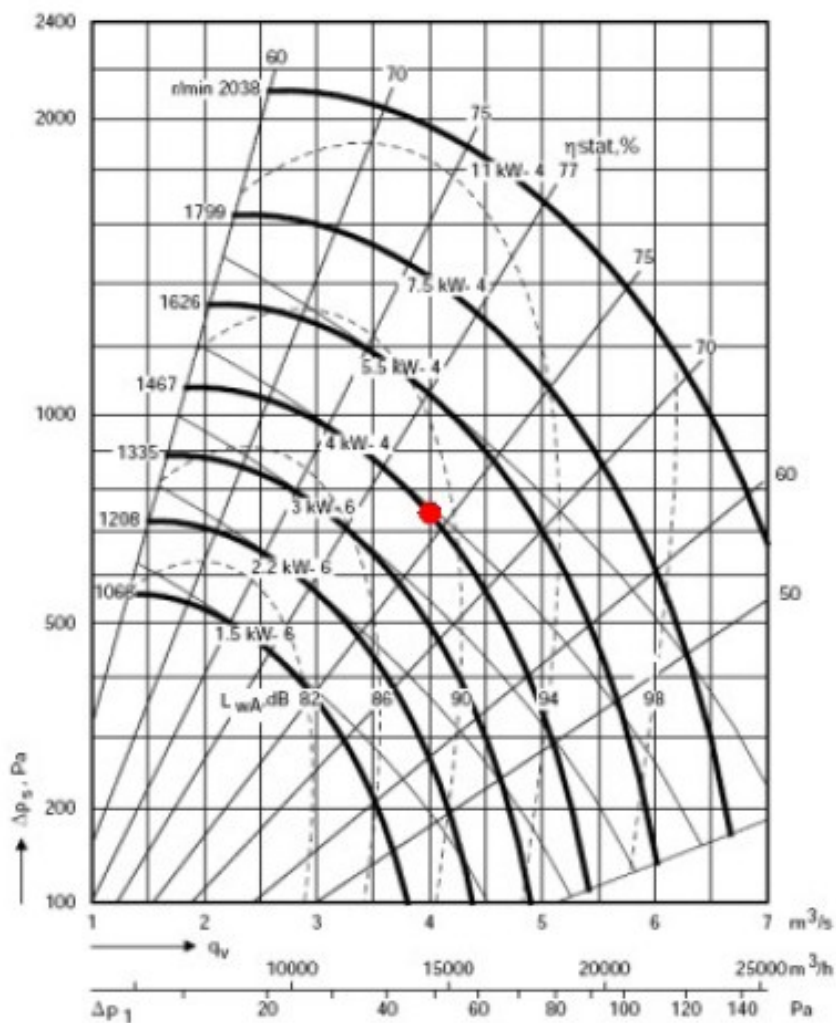


LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT EC

Projekt 2530426 (1089) / Pilestredet 35
 Aggregat 15 (54) / 36.13-14000 m³/h
 Storlek 08

2008-04-24
 Sida 9

Fläktdiagram - Frånluft - ECLK-08-13-1-2-8-3-3-1



Vedlegg D: Forskriftstekst § 8-21 i teknisk forskrift (TEK) (13):**§ 8-21. Krav til energieffektivitet**

Bygning skal være så energieffektiv at den enten tilfredsstiller de krav som er angitt til energitiltak under bokstav a eller kravene til samlet netto energibehov (rammekrav) som angitt under bokstav b. Minstekrav i bokstav c skal uansett ikke overskrides.

- For beregning av bruksareal (BRA) legges definisjonene i NS 3940 til grunn.
- For helårsbolig med laftet yttervegg gjelder kun bokstav c.
- For fritidsbolig under 150 m² BRA og fritidsbolig med laftede yttervegger gjelder kun bokstav c. For fritidsbolig under 50 m² BRA gjelder ikke § 8-21.

a) Energitiltak

Energitiltak i bygning skal tilfredsstille følgende nivå:

- Samlet glass-, vindus- og dørareal: maksimalt 20% av bygningens oppvarmede bruksareal (BRA).
- U-verdi yttervegg: 0,18 W/m² K.
- U-verdi tak: 0,13 W/m² K.
- U-verdi gulv på grunn og mot det fri: 0,15 W/m² K.
- U-verdi glass/vinduer/dører: 1,2 W/m² K som gjennomsnittsverdi inkludert karm/ramme.
- Normalisert kuldebroverdi skal ikke overstige 0,03 W/m² K for småhus og 0,06 W/m² K for øvrige bygg, der m² angis i oppvarmet BRA.
- Lufttetthet: 1,5 luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell. For småhus gjelder 2,5 luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell.
- Årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg: 70%.
- Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg, SFP-faktor (specific fan power):
 - næringsbygg 2/1 kW/m³ s (dag/natt)
 - bolig 2,5 kW/m³ s (hele døgnet).
- Automatisk utvendig solskjermingsutstyr eller andre tiltak for å oppfylle krav til termisk komfort uten bruk av lokalkjøling.
- Natt- og helgesenking av innetemperatur til 19 ° C for de bygningstyper der det kan skilles mellom natt, dag og helgedrift. Idrettsbygg skal ha natt- og helgesenking av

Det er tillatt å fravike et eller flere av energitiltakene, dersom kompenserende tiltak gjør at bygningens energibehov ikke økes.

b) *Samlet netto energibehov*

Samlet netto energibehov for bygningen skal ikke være større enn:

Bygningskategori	Rammekrav kWh/m² oppvarmet BRA år
Småhus	125 + 1600/oppvarmet BRA
Boligblokk	120
Barnehager	150
Kontorbygg	165
Skolebygg	135
Universitet/høyskole	180
Sykehus	325
Sykehjem	235
Hoteller	240
Idrettsbygg	185
Forretningsbygg	235
Kulturbygg	180
Lett industri, verksteder	185

Det skal benyttes faste og standardiserte verdier for bruksavhengige data, samt gjennomsnittlige klimadata for hele landet.

I kombinasjonsbygg gjelder rammekravene for bygningskategoriene tilsvarende for de respektive arealene.

c) *Minstekrav*

Følgende minstekrav skal ikke overskrides:

	<i>U-verdi yttervegg, W/m² K</i>	<i>U-verdi tak, W/m² K</i>	<i>U-verdi gulv på grunn og mot det fri, W/m² K</i>	<i>U-verdi vindu, W/m² K</i>	<i>Lufttetthet, luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell</i>
Bygning	0,22	0,18	0,18	1,6	3,0

For bygning med laftede yttervegger gjelder følgende minstekrav:

	<i>U-verdi yttervegg, W/m² K</i>	<i>U-verdi tak, W/m² K</i>	<i>U-verdi gulv på grunn og mot det fri, W/m² K</i>	<i>U-verdi vindu, W/m² K</i>	<i>Lufttetthet, luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell</i>
Bygning med laftede yttervegger	0,60	0,13	0,15	1,4	-
Fritidsboliger under 150 m ² BRA med laftede yttervegger	0,72	0,18	0,18	1,6	-

0 Endret ved forskrift 26 jan 2007 nr. 96 (i kraft 1 feb 2007).

Vedlegg E: Beregnede data fra MagiCAD

Dette vedlegget inneholder data avlest fra MagiCAD etter at trykfalls- og lufthastighetsberegninger er utført.

E.1 Data for hovedkanaler

Nummerering av hovedgrener, i tabellene under kalt "Grennr" henviser til Figur 7-2.

Tabell E-1 Data for hovedgrener i PWC-bygget slik som det er bygget

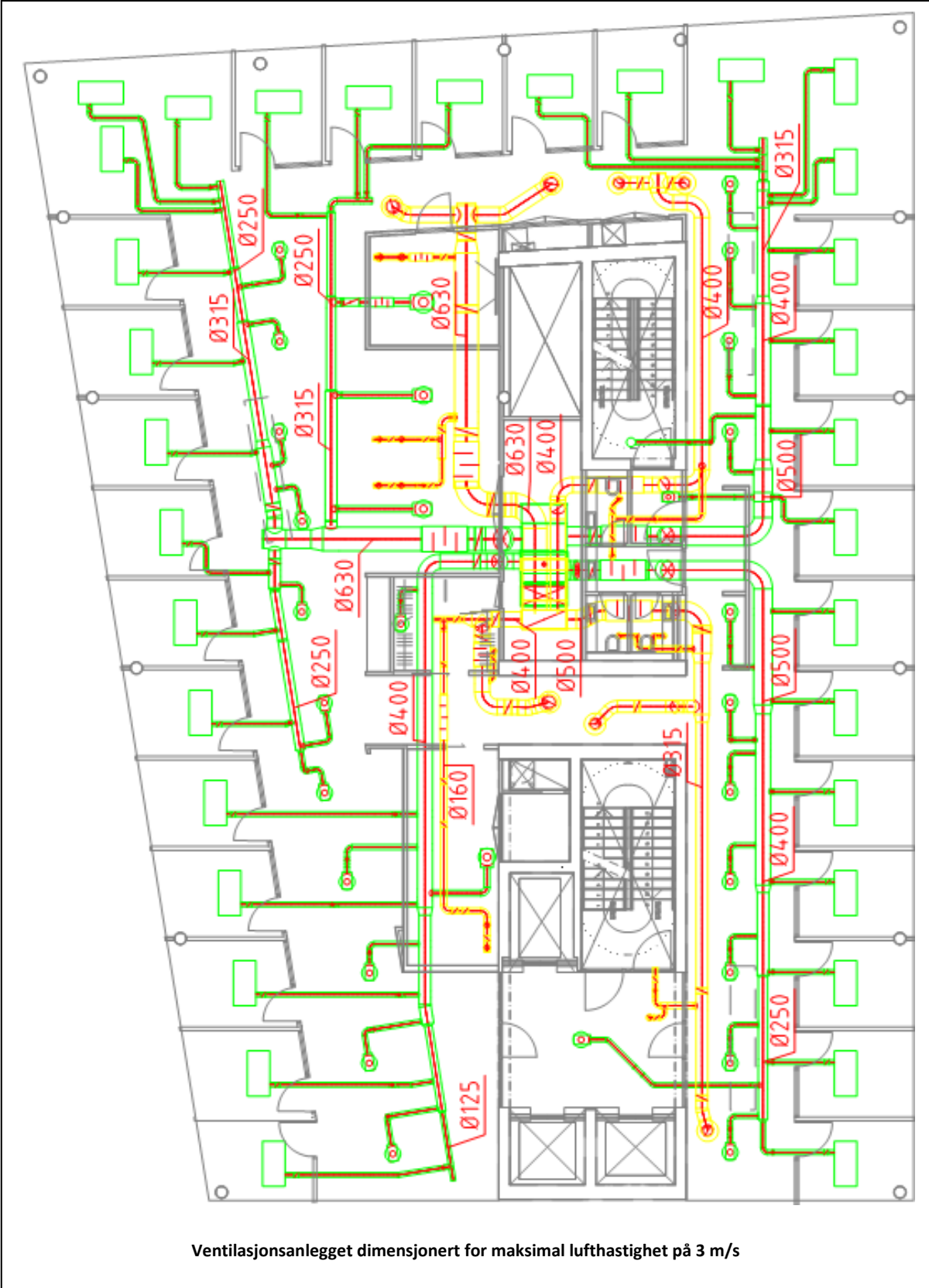
Som bygget					
Tilluft	Grennr	Trykk (ptot)	Grennr	Trykk (ptot)	Totaltrykk
	1	51,3 Pa	2	80,3 Pa	
	3	77,4 Pa	4	39,5 Pa	248,5 Pa
Avtrekk	Grennr	Trykk (ptot)	Grennr	Trykk (ptot)	Totaltrykk
	1	-36,2 Pa	2	-81,3 Pa	
	3	-61,5 Pa	4	-57,9 Pa	-236,9 Pa
Tilluft	Grennr	Hastighet	Grennr	Hastighet	
	1	4,4 m/s	2	5,4 m/s	
	3	5,3 m/s	4	3,1 m/s	
Avtrekk	Grennr		Grennr		
	1	4,5 m/s	2	5,4 m/s	
	3	5,2 m/s	4	4,6 m/s	
Tilluft	Grennr	Dimensjon	Grennr	Dimensjon	
	1	315 mm	2	400 mm	
	3	315 mm	4	400 mm	
Avtrekk	Grennr	Dimensjon	Grennr	Dimensjon	
	1	315 mm	2	400 mm	
	3	315 mm	4	315 mm	

Tabell E-2 Data for hovedgrener i PWC-bygget med maks 3 m/s som dimensjoneringskriterie

Maks lufthastighet 3 m/s					
Tilluft	Grennr	Trykk	Grennr	Trykk (ptot)	Totaltrykk
	1	34,1 Pa	2	37,2 Pa	124,8 Pa
	3	28,8 Pa	4	24,7 Pa	
Avtrekk	Grennr	Trykk	Grennr	Trykk (ptot)	Totaltrykk
	1	-31,4 Pa	2	-31,2 Pa	-116,9 Pa
	3	-24,6 Pa	4	-29,7 Pa	
Tilluft	Grennr	Hastighet	Grennr	Hastighet	
	1	2,7 m/s	2	2,2 m/s	
	3	2,1 m/s	4	2,0 m/s	
Avtrekk	Grennr		Grennr		
	1	2,8 m/s	2	2,2 m/s	
	3	2,1 m/s	4	2,8 m/s	
Tilluft	Grennr	Dimensjon	Grennr	Dimensjon	
	1	400 mm	2	630 mm	
	3	500 mm	4	500 mm	
Avtrekk	Grennr	Dimensjon	Grennr	Dimensjon	
	1	400 mm	2	630 mm	
	3	500 mm	4	400 mm	

Vedlegg F: Skjematiske tegninger av ventilasjonsanlegget ved PWC-bygget før og etter optimalisering for maksimal lufthastighet på 3 m/s

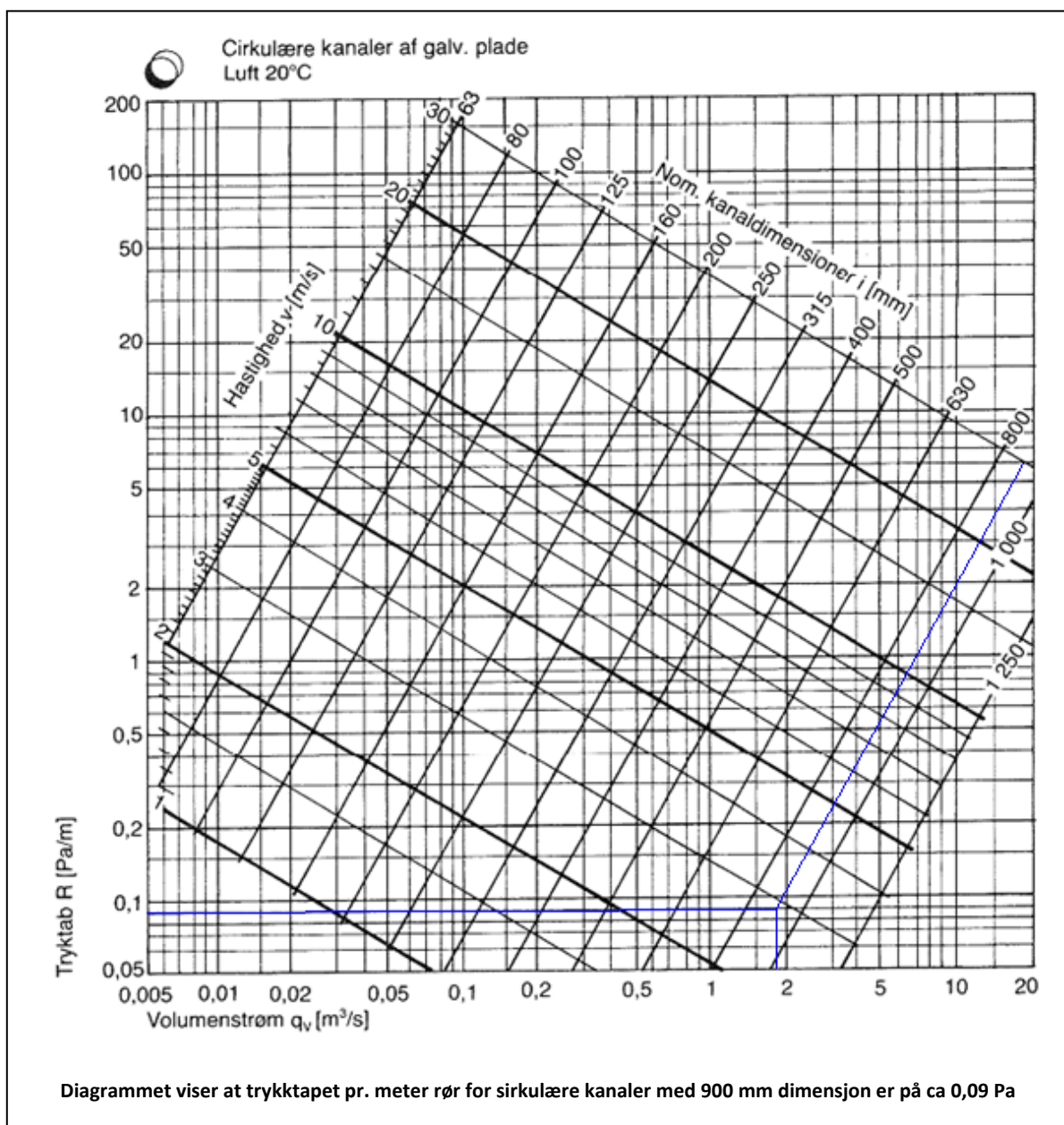


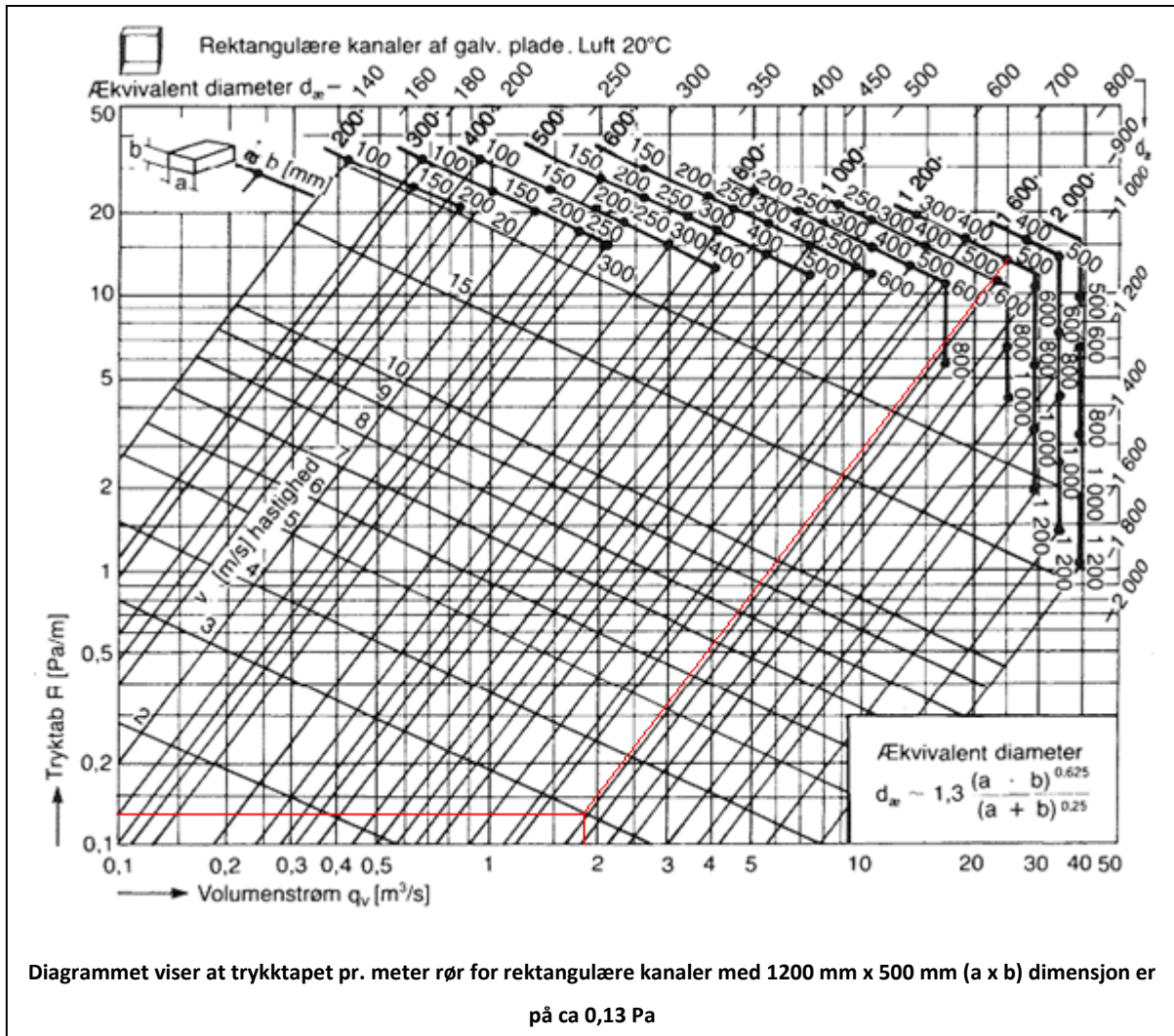


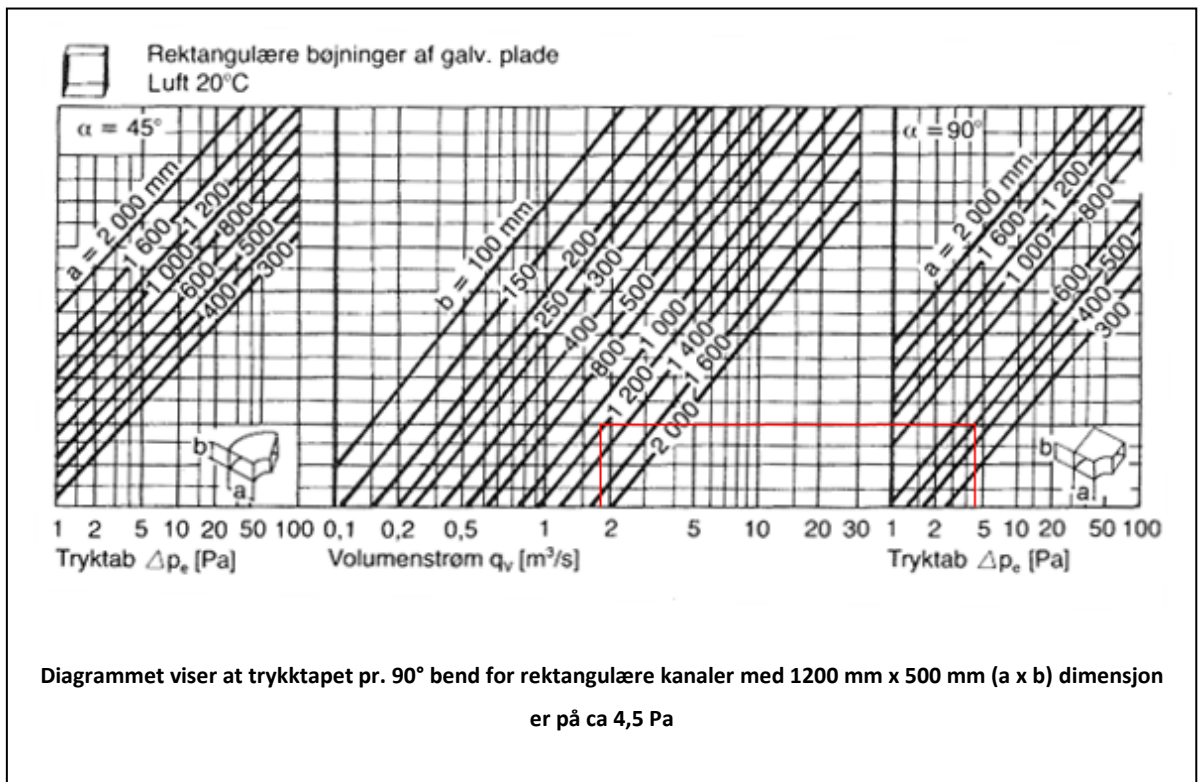
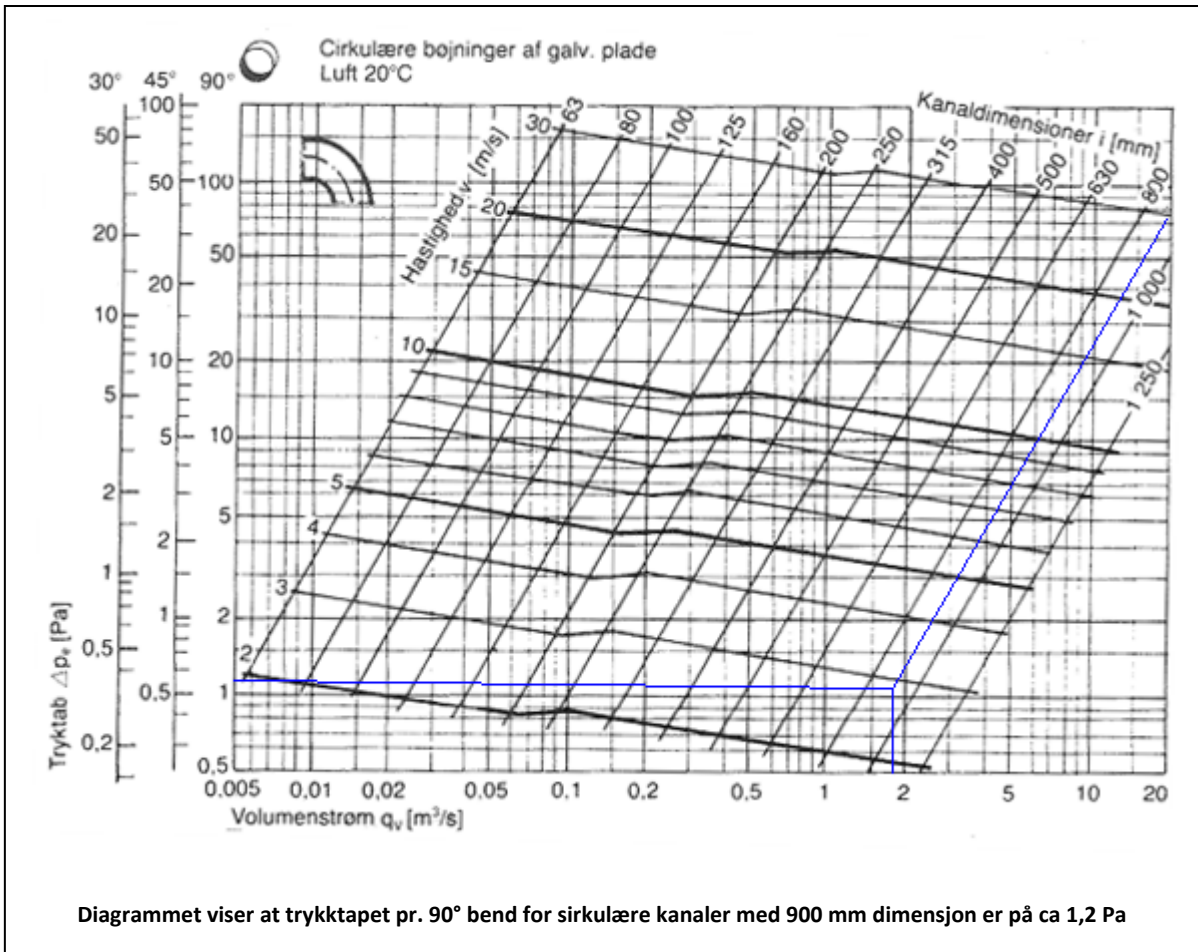
Vedlegg G: Trykktapsberegninger for fordelingskammer

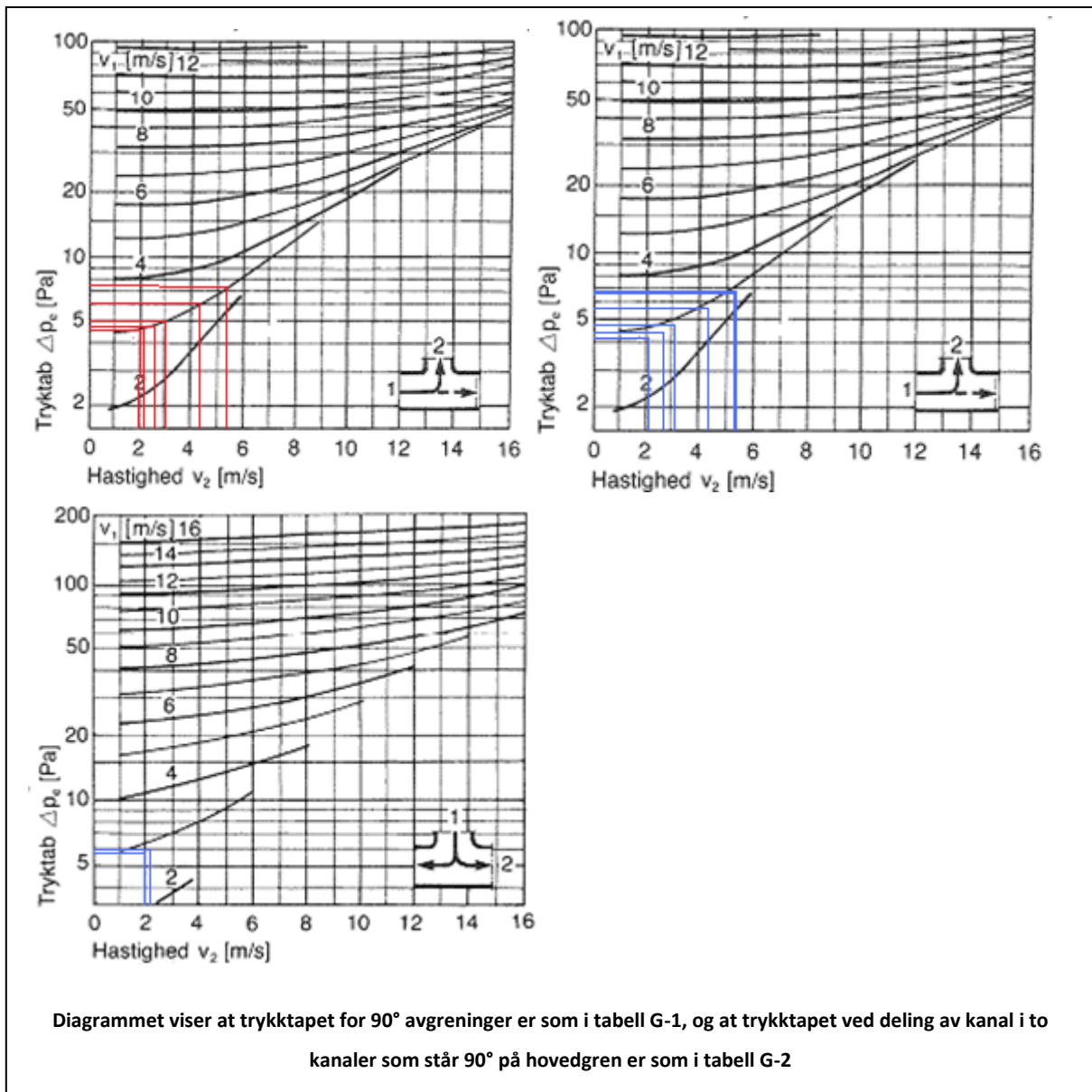
G.1 Avlesningspunkter for diagrambestemte trykktap

Her vises avlesningspunkter for data benyttet i beregninger. Røde markeringer viser avlesningspunkter for eksisterende fordelingskammer, mens blå markeringer viser avlesningspunkter for alternativt fordelingskammer. Noen diagrammer er blitt litt skjeve under skanning, og linjene for avlesning vil derfor ikke være helt rette og jevne i alle diagrammer da de er tegnet inn for å vise avlest verdi. Diagrammene er hentet fra *Ventilasjon Ståbi*, 2.utg 2004 som er kilde nr (14) i bibliografien.









Tabell G-1 Trykktap ved 90° avgreninger

Hastighet i hovedkanal [m/s]	Hastighet i avgrening [m/s]	Trykktap [Pa]
3,0	5,3	7,5
3,0	4,4	6,0
3,0	5,4	7,5
3,0	3,1	5,0
3,0	2,7	4,8
3,0	2,1	4,5
3,0	2,2	4,6
3,0	2,0	4,5

Hastighet i hovedkanal [m/s]	Hastighet i avgrening [m/s]	Trykktap [Pa]
2,9	2,7	4,2
2,9	2,1	4,1
2,9	5,3	6,7
2,9	4,4	5,7
2,9	5,4	6,9
2,9	3,1	4,8

Tabell G-2 Trykktap ved deling av kanal i to kanaler som står 90° på hovedgren

Hastighet i hovedkanal [m/s]	Hastighet i avgrening [m/s]	Trykktap [Pa]
2,9	2,2	6,0
2,9	2,0	5,8

Hastigheten i hovedkanal er beregnet fra en luftmengde på 1824,5 l/s eller 1,82 m³/s summert opp av MagiCAD, og arealet av tverrsnittet i fordelingskammeret på henholdsvis 1200 x 500 mm og diameter på 900 mm. Dette gir hastigheter på 3 m/s for eksisterende fordelingskammer og 2,9 m/s for alternativt fordelingskammer.

Trykktapet for varmebatteri er hentet fra komponentdata i MagiCAD. Totalt trykktap er i tabell G-3 til G-6 beregnet ved å multiplisere antall av hver enhet med trykktapet per enhet, og så summere de resulterende trykktapene. Denne funksjonen heter i den engelske utgaven av excel "SUMPRODUCT".

Beregninger for alternativt fordelingskammer er gjort under forutsetning at de ulike lengdene på kanalene holdes konstant og at ingen ekstra trykktap oppstår ved å flytte varmebatteriet inntil aggregatet og montere en jevn overgang fra det firkantede varmebatteriet til den sirkulære kanalen.

Det er fire muligheter for å kombinere eksisterende og forbedret fordelingskammer med eksisterende og forbedret kanalanlegg, disse fire er beregnet på de neste sidene.

G.2 Trykktap for eksisterende fordelingskammer i eksisterende anlegg

Tabell G-3 Trykktap i eksisterende fordelingskammer i eksisterende anlegg

Enhet	Antall/ lengde	Trykktap pr. enhet
Varmebatteri	1 Stk	14,00 Pa
Rette kanaler	2,363 m	0,13 Pa
90° bend	2 Stk	4,50 Pa
Avgreninger	1 Stk	7,50 Pa
	1 Stk	6,00 Pa
	1 Stk	7,50 Pa
	1 Stk	5,00 Pa
Totalt trykktap		49,31 Pa

Prosentandel av totalt trykktap i eksisterende anlegg som oppstår i fordelingskammer:

$$\frac{49,31}{49,31 + 248,5} \cdot 100 = 16,6\%$$

G.3 Trykktap for alternativt fordelingskammer i eksisterende anlegg

Tabell G-4 Trykktap i alternativt fordelingskammer i eksisterende anlegg

Enhet	Antall/ lengde	Trykktap pr. enhet
Varmebatteri	1 Stk	14,00 Pa
Rette kanaler	2,363 m	0,09 Pa
90° bend	2 Stk	1,20 Pa
Avgreninger	1 Stk	6,70 Pa
	1 Stk	5,70 Pa
	1 Stk	6,90 Pa
	1 Stk	4,80 Pa
Totalt trykktap		40,71 Pa

Beregninger her er gjort med eksisterende hovedgrenhastigheter, og viser dermed trykkreduksjon ved kun å se på fordelingskammeret.

Trykkreduksjon ved å endre fordelingskammer i eksisterende anlegg er

$$49,31 \text{ Pa} - 40,71 \text{ Pa} = 8,60 \text{ Pa}.$$

Prosentandel av totalt trykktap i eksisterende anlegg som oppstår i alternativt fordelingskammer:

$$\frac{40,71}{40,71 + 248,5} \cdot 100 = 14,1\%$$

G.4 Trykktap for eksisterende fordelingskammer i optimalisert anlegg

Tabell G-5 Trykktap i eksisterende fordelingskammer i optimalisert anlegg

Enhet	Antall/ lengde	Trykktap pr. enhet
Varmebatteri	1 Stk	14,00 Pa
Rette kanaler	2,363 m	0,13 Pa
90° bend	2 Stk	4,50 Pa
Avgreninger	1 Stk	4,80 Pa
	1 Stk	4,50 Pa
	1 Stk	4,60 Pa
	1 Stk	4,50 Pa
Totalt trykktap		41,71 Pa

Prosentandel av totalt trykktap i optimalisert anlegg som oppstår i eksisterende fordelingskammer:

$$\frac{41,71}{41,71 + 124,8} \cdot 100 = 25,0\%$$

G.5 Trykktap for alternativt fordelingskammer i optimalisert anlegg

Tabell G-6 Trykktap i alternativt fordelingskammer i optimalisert anlegg

Enhet	Antall/ lengde	Trykktap pr. enhet
Varmebatteri	1 Stk	14,00 Pa
Rette kanaler	2,363 m	0,09 Pa
90° bend	2 Stk	1,20 Pa
Avgreninger	1 Stk	4,20 Pa
	1 Stk	4,20 Pa
	1 Stk	6,00 Pa
	1 Stk	5,70 Pa
Totalt trykktap		36,71 Pa

Prosentandel av totalt trykktap i optimalisert anlegg som oppstår i alternativt fordelingskammer:

$$\frac{36,71}{36,71 + 124,8} \cdot 100 = 22,7\%$$

Trykkreduksjon ved å endre fordelingskammer i optimalisert anlegg er

$$41,71 \text{ Pa} - 36,71 \text{ Pa} = 5,00 \text{ Pa}.$$

Total reduksjon i trykktap for fordelingskammer ved optimalisering av både kanalanlegg og fordelingskammer er

$$49,31 \text{ Pa} - 36,71 \text{ Pa} = 12,60 \text{ Pa}$$

Vedlegg H: Kontrollberegning, eksisterende anlegg

Side 1

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

Teknisk spesifikasjon

Objekt	Aggregat 36.09 PWC-bygget	
Atmosfærestrykk	101325	Pa
Lufttetthet	1.200	kg/m ³
Lydeffekt til kanal målt iht. ISO 5136		
Innsetningsdempninger medregnet til kanal.		
Lydeffekt til omgivelsene målt iht. ISO 3741		
Komponenter ordnet etter luftretningen		

Kontrollberegning, eksisterende anlegg

GOLD RX		
Aggregatstørrelse	25	
Tilluftsmengde	6568	m ³ /h
Totaltrykkfall		
Uteluftskanal		Pa
Tilluftskanal	298	Pa
Avtrekksmengde	6428	m ³ /h
Totaltrykkfall		
Avtrekkskanal	298	Pa
Avkastkanal		Pa
Dimensioning outdoor temperature, sommer	22.7	°C
Laveste dimensjonerande uteluftstemperatur	-20.0	°C
Tilluftstemperatur, sommer	17.0	°C
Tilluftstemperatur, vinter	20.0	°C
Spesifikk vifteeffekt, SFPv (rene filter)	2.01	kW/(m ³ /s)



Med datorisert styresystem IQnomic

Lakkerte paneler har 50 mm brannherdig isolering.

Elanslutning 3-fas, 5-leder, 400 V-10/+15%, 50Hz, 16A

Tilluft

1	Spjeld med motor, TBSA-1-120-050-1-1 Motor med fjær-tilbakegang Tetthetsklasse 3 i henhold til EN 1751 Totaltrykkfall	14	Pa
1	Luftbehandlingssystem GOLD, GOLD-25-C-1-1-1-1		
1	Filter Filterklasse F7 2x(592x592x635-10), 1x(287x592x635-4) Rek. dim.trykkfall	111	Pa

Swegon AB
Box 300
535 23 KvänumTelefon
0612-322 00
Telefax
0612-323 00

www.swegon.se

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

	Begynnestrykkfall	58	Pa
	Sluttrykkfall	164	Pa
1	Roterende varmegjenvinner		
	Roterende varmegjenvinner av typen RECOeconomic		
	Standard aluminium		
	Turtallsregulert		
	Totaltrykkfall, tilluft	152	Pa
	Totaltrykkfall, avtrekk	148	Pa
	Ekstra trykkfall på avtrekkssiden (spjeld) for å sikkerstille riktig lekkasjeretning	0	Pa
	Renblåsningsmengde inkl. lekkasje	0.156	m ³ /s
	Tilluftens temperaturvirkningsgrad	80.0	%
	Tilluftens fuktvirkningsgrad, vinter	0.0	%
	Tilluftsside, vinter	Inn	Ut
	Lufttemperatur	-20.0	13.6 °C
	Relativ fuktighet	100.0	6.6 %
	Effekt		73.8 kW
	Avtrekkssida, vinter	Inn	Ut
	Lufttemperatur	22.0	-12.2 °C
	Relativ fuktighet	25.0	100.0 %
1	Viftedel		
	Vifte av typen GOLD Wing		
	Direktedrift med høyvirkningsgrad motor i klasse eff1 og frekvensomformer		
	Standardstuss inv.		
	Vibrasjonsisolatorer av gummi		
	Tilluftsmengde	6568	m ³ /h
	Totaltrykkfall, kanal	298.0	Pa
	Pressure drop, Accessories	0	Pa
	System pressure drop	0	Pa
	Totaltrykkøkning (torra förhållande)	(Rent filter: 586 Pa)	639 Pa
	Temperaturheving p.g.a. vifte		1.0 °C
	Turtall (Min 300 Max. 1458 Rent filter 1288 r/m)		1331 omdr/min
	Eleffekt til motor (Rent filter: 1.91 kW)		2.09 kW
	Merkeeffekt		4.00 kW
	Antall motorer/vifter i hver luftretning		1
	Totalvirkningsgrad		56.0 %
	Lydeffektnivå		
	Frekvensband	Hz	63 125 250 500 1k 2k 4k 8k Alle
	Til tilluftskanal		76 69 75 74 75 73 73 58 dB 80 dB(A)
	Til inntakskanal		76 72 72 67 58 58 53 53 dB 68 dB(A)
	Til omgivelser		67 57 56 58 47 46 45 33 dB 57 dB(A)
	Til omgivelser inkl. avtrekk.		70 60 59 61 50 49 48 36 dB 60 dB(A)
1	Varmebatteri, vann, TBLA-4-120-050-2-1		
1	Ventilsats varme, TBVL-2-010		
	Inkl.motor, ventil, frostvakt og hurtigkobling (kvs = 1.00)		
	Effektvariant		1
	Antall rørrader		2
	Antall kretser		5
	Anslutningsnummer		15 utv.

Swegon AB
Box 300
535 23 KvänumTelefon
0612-322 00
Telefax
0612-323 00

www.swegon.se

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

	Lamellavstand		3.0	med mer
	Trykkfall		37	Pa
	Lufthastighet		3.0	m/s
	Lufttemperatur	14.6	20.0	°C
	Relativ fuktighet	6.0	4.0	%
	Ønsket batterieffekt		11.90	kW
	Batteriets overkapasitet		44	%
	Væsketemperatur	60.0	30.0	°C
	Væskemengde		0.096	l/s
	Væsketrykkfall		3.0	kPa
	Batteriets væskevolum		4	l
	Anslutningsdimmensjon ventil		15	utv.
	Rek. Dim. Trykkdiff. På vannsden inkl. vetil		15	kPa
1	Kjølebatteri, vann, TBKA-3-120-050-1			
	Effektvariant		1	
	Antall rørrader		3	
	Antall kretser		14	
	Anslutningsnummer		32	utv.
	Lamellavstand		2.5	med mer
	Trykkfall, tørr		27	Pa
	Trykkfall, våt		30	Pa
	Lufthastighet		1.7	m/s
	Lufttemperatur	23.7	17.0	°C
	Relativ fuktighet	52.0	76.0	%
	Sensible coil effect		14.70	kW
	Ønsket total batterieffekt		16.60	kW
	Batteriets overkapasitet		13	%
	Avrent mengde vann		0.0	l/min
	Væsketemperatur	7.0	12.0	°C
	Væskemengde		0.789	l/s
	Væsketrykkfall		4.5	kPa
	Batteriets væskevolum		15	l
	Avtrekk			
	(Luftbehandlingssystem GOLD)			
1	Filter			
	Filterklasse F7			
	2x(592x592x635-10), 1x(287x592x635-4)			
	Rek. dim.trykkfall		102	Pa
	Begynnelsestrykkfall		57	Pa
	Sluttrykkfall		147	Pa
	(Roterende varmegjenvinner)			
	Tilbehør og tekniske data, se tilluft			
1	Viftedel			
	Vifte av typen GOLD Wing			
	Direktedrift med høyvirkningsgrad motor i klasse eff1 og frekvensomformer			
	Standardstuss inv.			
	Vibrasjonsisolatorer av gummi			
	Avtrekksmengde		6428	m³/h

Swegon AB
Box 300
535 23 KvänumTelefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00

www.swegon.se

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

Totaltrykkfall, kanal										298.0	Pa	
Pressure drop, Accessories										0	Pa	
System pressure drop										0	Pa	
Totaltrykkökning (torra förhållande)									(Rent filter: 503 Pa)	548	Pa	
Temperaturheving p.g.a. vifte										0.8	°C	
Turtall	(Min	300							Max. 1457	Rent filter 1253 r/m)	1287	omdr/min
Eleffekt til motor									(Rent filter: 1.75 kW)	1.90	kW	
Merkeeffekt										4.00	kW	
Antall motorer/vifter i hver luftretning										1		
Totalvirkningsgrad										56.0	%	
Lydeffektnivå												
Frekvensband	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Alle		
Til avtrekkskanal		75	71	71	66	57	57	52	52	dB	67	dB(A)
Til avkastkanal		77	70	78	78	79	78	78	63	dB	85	dB(A)
Til omgivelser		66	56	55	57	46	45	44	32	dB	56	dB(A)

Vedlegg I: Beregning, max 3 m/s og alternativt fordelingskammer

Side 1

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

Teknisk spesifikasjon

Objekt	Aggregat 36.09 PWC-bygget	
Atmosfærestrykk	101325	Pa
Lufttetthet	1.200	kg/m ³
Lydeffekt til kanal målt iht. ISO 5136		
Innsetningsdempninger medregnet til kanal.		
Lydeffekt til omgivelsene målt iht. ISO 3741		
Komponenter ordnet etter luftretningen		

Maksimal lufthastighet på 3m/s og alternativ utforming av fordelingskammer

GOLD RX		
Aggregatstørrelse	25	
Tilluftsmengde	6568	m ³ /h
Totaltrykkfall		
Uteluftskanal		Pa
Tilluftskanal	162	Pa
Avtrekksmengde	6428	m ³ /h
Totaltrykkfall		
Avtrekkskanal	162	Pa
Avkastkanal		Pa
Dimensioning outdoor temperature, summer	22.7	°C
Laveste dimensjonerande uteluftstemperatur	-20.0	°C
Tilluftstemperatur, sommer	17.0	°C
Tilluftstemperatur, vinter	20.0	°C
Spesifikk vifteeffekt, SFPv (rene filter)	1.52	kW/(m ³ /s)



Med datorisert styresystem IQnomic

Lakkerte paneler har 50 mm brannherdig isolering.

Elanslutning 3-fas, 5-leder, 400 V-10/+15%, 50Hz, 16A

Tilluft

1	Spjeld med motor, TBSA-1-120-050-1-1 Motor med fjær-tilbakegang Tetthetsklasse 3 i henhold til EN 1751 Totaltrykkfall	14	Pa
1	Luftbehandlingssystem GOLD, GOLD-25-C-1-1-1-1		
1	Filter Filterklasse F7 2x(592x592x635-10), 1x(287x592x635-4) Rek. dim.trykkfall	97	Pa

Swegon AB
Box 300
535 23 KvänumTelefon
0612-322 00
Telefax
0612-323 00

www.swegon.se

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

	Begynnestrykkfall		58	Pa									
	Sluttrykkfall		136	Pa									
1	Roterende varmegjenvinner												
	Roterende varmegjenvinner av typen RECOeconomic												
	Standard aluminium												
	Turtallsregulert												
	Totaltrykkfall, tilluft		152	Pa									
	Totaltrykkfall, avtrekk		148	Pa									
	Ekstra trykkfall på avtrekkssiden (spjeld) for å sikre riktig lekkasjeretning		5	Pa									
	Renblåsningsmengde inkl. lekkasje		0.097	m ³ /s									
	Tilluftens temperaturvirkningsgrad		80.0	%									
	Tilluftens fuktvirkningsgrad, vinter		0.0	%									
	Tilluftsside, vinter	Inn	Ut										
	Lufttemperatur	-20.0	13.6	°C									
	Relativ fuktighet	100.0	6.6	%									
	Effekt		73.8	kW									
	Avtrekkssida, vinter	Inn	Ut										
	Lufttemperatur	22.0	-12.2	°C									
	Relativ fuktighet	25.0	100.0	%									
1	Viftedel												
	Vifte av typen GOLD Wing												
	Direktedrift med høyvirkningsgrad motor i klasse eff1 og frekvensomformer												
	Standardstuss inv.												
	Vibrasjonsisolatorer av gummi												
	Tilluftsmengde		6568	m ³ /h									
	Totaltrykkfall, kanal		162.0	Pa									
	Pressure drop, Accessories		0	Pa									
	System pressure drop		0	Pa									
	Totaltrykkøkning (torra förhållande)	(Rent filter: 450 Pa)	489	Pa									
	Temperaturheving p.g.a. vifte		0.7	°C									
	Turtall (Min 300 Max. 1457 Rent filter 1178 r/m)		1210	omdr/min									
	Eleffekt til motor (Rent filter: 1.47 kW)		1.59	kW									
	Merkeeffekt		4.00	kW									
	Antall motorer/vifter i hver luftretning		1										
	Totalvirkningsgrad		56.0	%									
	Lydeffektnivå												
	Frekvensband	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Alle		
	Til tilluftskanal		74	67	73	72	73	71	71	56	dB	78	dB(A)
	Til inntakskanal		74	70	70	65	56	56	51	51	dB	66	dB(A)
	Til omgivelser		65	55	54	56	45	44	43	31	dB	55	dB(A)
	Til omgivelser inkl. avtrekk.		68	58	57	59	48	47	46	34	dB	58	dB(A)
1	Varmebatteri, vann, TBLA-4-120-050-2-1												
1	Ventilsats varme, TBVL-2-010												
	Inkl. motor, ventil, frostvakt og hurtigkobling (kvs = 1.00)												
	Effektvariant										1		
	Antall rørrader										2		
	Antall kretser										5		
	Anslutningsnummer										15	utv.	

Swegon AB
Box 300
535 23 KvänumTelefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00

www.swegon.se

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

	Lamellavstand		3.0	med mer
	Trykkfall		37	Pa
	Lufthastighet		3.0	m/s
	Lufttemperatur	14.3	20.0	°C
	Relativ fuktighet	6.0	4.0	%
	Ønsket batterieffekt		12.50	kW
	Batteriets overkapasitet		40	%
	Væsketemperatur	60.0	30.0	°C
	Væskemengde		0.101	l/s
	Væsketrykkfall		3.2	kPa
	Batteriets væskevolum		4	l
	Anslutningsdimmensjon ventil		15	utv.
	Rek. Dim. Trykkdiff. På vannsden inkl. vetil		16	kPa
1	Kjølebatteri, vann, TBKA-3-120-050-1			
	Effektvariant		1	
	Antall rørrader		3	
	Antall kretser		14	
	Anslutningsnummer		32	utv.
	Lamellavstand		2.5	med mer
	Trykkfall, tørr		27	Pa
	Trykkfall, våt		30	Pa
	Lufthastighet		1.7	m/s
	Lufttemperatur	23.4	17.0	°C
	Relativ fuktighet	53.0	76.0	%
	Sensible coil effect		14.00	kW
	Ønsket total batterieffekt		15.80	kW
	Batteriets overkapasitet		16	%
	Avrent mengde vann		0.0	l/min
	Væsketemperatur	7.0	12.0	°C
	Væskemengde		0.753	l/s
	Væsketrykkfall		4.2	kPa
	Batteriets væskevolum		15	l
	Avtrekk			
	(Luftbehandlingssystem GOLD)			
1	Filter			
	Filterklasse F7			
	2x(592x592x635-10), 1x(287x592x635-4)			
	Rek. dim.trykkfall		88	Pa
	Begynnelsetrykkfall		57	Pa
	Sluttrykkfall		119	Pa
	(Roterende varmegjenvinner)			
	Tilbehør og tekniske data, se tilluft			
1	Viftedel			
	Vifte av typen GOLD Wing			
	Direktedrift med høyvirkningsgrad motor i klasse eff1 og frekvensomformer			
	Standardstuss inv.			
	Vibrasjonsisolatorer av gummi			
	Avtrekksmengde		6428	m ³ /h

Swegon AB
Box 300
535 23 KvänumTelefon
0512-322 00
Telefax
0512-323 00

www.swegon.se

ProUnit
2008-05-19

Versjon: 8 / 2007.12.19

Totaltrykkfall, kanal										162.0	Pa	
Pressure drop, Accessories										0	Pa	
System pressure drop										0	Pa	
Totaltrykkökning (torra förhållande)									(Rent filter: 372 Pa)	403	Pa	
Temperaturheving p.g.a. vifte										0.6	°C	
Turtall	(Min 300					Max. 1457			Rent filter 1132 r/m)	1158	omdr/min	
Eleffekt til motor									(Rent filter: 1.29 kW)	1.39	kW	
Merkeeffekt										4.00	kW	
Antall motorer/vifter i hver luftretning										1		
Totalvirkningsgrad										55.0	%	
Lydeffektnivå												
Frekvensband	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		Alle	
Til avtrekkskanal		73	69	69	64	55	55	50	50	dB	65	dB(A)
Til avkastkanal		75	68	76	76	77	76	76	61	dB	83	dB(A)
Til omgivelser		64	54	53	55	44	43	42	30	dB	54	dB(A)

Vedlegg J: Årlig besparelse i kWh for hele PWC-bygget

Aggregat	Størrelse	Luftmengde [m ³ /h]	SFP [kW/m ³ /s]	Energi [kWh/år]	Besparelse [kWh/år]
360.01	40	12 000	2,65	27 560,00	6 719,13
360.02	60	16 000	2,27	31 477,33	7 674,17
360.03	30	8 000	2,46	17 056,00	4 158,25
360.04	14	3 110	1,92	5 175,04	1 261,67
360.05	14	3 110	1,92	5 175,04	1 261,67
360.06	14	3 110	1,92	5 175,04	1 261,67
360.07	25	6 530	2,16	12 224,16	2 980,25
360.08	14	3 110	1,92	5 175,04	1 261,67
360.09	25	6 568	2,16	12 295,30	2 997,59
360.10	14	3 110	1,92	5 175,04	1 261,67
360.11	25	6 530	2,16	12 224,16	2 980,25
360.12	20	4 610	2,39	9 548,85	2 328,01
360.13	30	8 590	2,64	19 653,92	4 791,63
360.14	20	4 610	2,39	9 548,85	2 328,01
360.15	30	8 590	2,64	19 653,92	4 791,63
360.16	20	4 610	2,39	9 548,85	2 328,01
360.17	30	8 590	2,64	19 653,92	4 791,63
360.18	20	4 610	2,39	9 548,85	2 328,01
360.19	30	8 590	2,64	19 653,92	4 791,63
360.20	20	4 610	2,39	9 548,85	2 328,01
360.21	30	8 590	2,64	19 653,92	4 791,63
360.22	20	4 610	2,39	9 548,85	2 328,01
360.23	30	8 590	2,64	19 653,92	4 791,63
360.24	70	21 000	1,76	32 032,00	7 809,40
Sum		171 378		345 960,75	84 345,23

Driftstid er satt til 12 timer per dag, 5 dager per uke, 52 uker per år (1). Besparelsen er antatt å være som beregnet for aggregat 360.09, 24,38 % for alle aggregater.