

Fagskolen
Innlandet

Martin Lamptey, Christoffer Hermansen, Stian Brekke og Karl Brage Fredriksen

19KEMNETT – Gruppe 2

Hovedprosjekt

Konsekvenser av tilsmussing i moderne ventilasjonsanlegg

Hvilke konsekvenser har tilsmussing av kanalnett for energiforbruket til et moderne ventilasjonsanlegg?



Klima-, energi- og miljøfag i bygg

2023


<u>Rapportens tittel</u> Konsekvenser av tilsmussing i moderne ventilasjonsanlegg	<u>Rapportens problemstilling</u> Hvilke konsekvenser har tilsmussing av et kanalnett for energiforbruket til et moderne ventilasjonsanlegg?
<u>Dato</u> 15.05.2023	<u>Prosjektperiode</u> 07.09.2022 – 15.05.2023
<u>Antall sider</u> 123	<u>Antall vedlegg</u> 27
<u>Forfattere</u> Stian Brekke Christoffer Hermansen Martin Lamptey Karl Brage Fredriksen	<u>Faglig bakgrunn</u> Bravida Norge AS – Prosjektleder ventilasjon GK Norge, avd. Grenland – Prosjektleder rør Rørpartner Varme & Sanitær AS – Rørlegger Haaland Klima AS – Avd.leder innregulering
<u>Veiledere</u> Arild Kvikstadhagen Kjell Kaasa	<u>Funksjon</u> Hovedveileder og faglig veileder Kommunikasjonsveileder
<u>Prosjektgruppe</u> Gruppe 2 – 19KEMNETT	<u>Stuedsted</u> Fagskolen Innlandet

Forord

Denne rapporten er et avsluttende arbeidskrav for vår fagskoleutdanning med et omfang på 10 studiepoeng. Med dette prosjektet ønsker vi å vise vår tilegnede kompetanse gjennom det nettbaserte studiet i klima-, energi- og miljøfag i bygg ved Fagskolen Innlandet. Rapportens målgruppe er byggherrer, driftsteknikere, rådgivere, entreprenører og ventilasjonsbransjen generelt.

Gruppen vil gjerne takke vår hovedveileder, Arild Kvikstadhagen, for gode faglige innspill og et stort engasjement i vårt arbeid, og ikke minst for å sette gruppen i kontakt med Optice AS, slik at oppgaven gikk fra en løs idé til et konkret prosjekt. En stor takk rettes også til vår kommunikasjonsveileder, Kjell Kaasa, for gode innspill og tilbakemeldinger underveis i arbeidet. Videre fortjener Eric Malling og Håkon Hermansen ved Optice AS en stor takk for å ville inkludere oss i dette prosjektet. Takk til Joubin Nejad ved Olav Thon Gruppen for svært god tilrettelegging av prosjektet på hotellet og ikke minst for å la oss gjennomføre forsøket på Thon Hotel Spectrum. En stor takk går også til våre venner som har bistått oss med korrekturlesing og verdifulle tilbakemeldinger i slutfasen, John Olav Stensaker og Ida Cheyenne Martinez Lunde. Avslutningsvis ønsker vi å takke alle leverandører som har bidratt med produktinformasjon og deres synspunkter på problemstillingen i oppgaven, og øvrige faglærere ved Fagskolen Innlandet for velvillig bistand i arbeidet med rapporten og ikke minst utdanningen i sin helhet.

Oslo 15. mai 2023



Martin Lamptey

Christoffer Hermansen

Stian Brekke

Karl Brage Fredriksen

Sammendrag

Denne rapporten er et hovedprosjekt med hensikt å tallfeste konsekvensene av tilsmussede kanalnett og å besvare oppgavens problemstilling: Hvilke konsekvenser har tilsmussing av et kanalnett for energiforbruket til et moderne ventilasjonsanlegg?

For å kunne besvare problemstillingen har det blitt utført en inngående undersøkelse av et utvalgt ventilasjonsanlegg på Thon Hotel Spectrum. Undersøkelsene har blitt utført som et ledd i et rengjøringsoppdrag som Optice AS hadde for Olav Thon Gruppen. Målet var å dokumentere anleggets tilstand før og etter kanalrengjøringen gjennom måling av vifteeffekter og luftmengder. Anlegget som ble undersøkt betjener 23 hotellrom fordelt på tre etasjer, og har en prosjektert luftmengde på 3435 m³/h. Hovedkanalene ut av sjakta har VAV-spjeld og ventilasjonsaggregatet er spjeldvinkeloptimalisert.

Forsøket ble delt i fire scenarier:

- Scenario 1 – Før kanalrengjøring, ventiler i opprinnelige regulerte posisjoner
- Scenario 2 – Før kanalrengjøring, ventiler stilt i åpen posisjon
- Scenario 3 – Etter kanalrengjøring, ventiler stilt i åpen posisjon
- Scenario 4 – Etter kanalrengjøring, ventiler i innregulerte posisjoner

Det ble gjennomført kontrollmålinger på ventilene i anlegget som viste at de innregulerte luftmengdene før rengjøringsprosjektet ikke stemte overens med prosjekteringsunderlaget. Det er derfor viet størst oppmerksomhet til resultatene fra scenario 2 og 3, der ventilposisjonenes innvirkning på trykkfallet i anlegget er fjernet som en variabel.

Fra scenario 2 til 3 var det årlige energiforbruket til viftedrift redusert med hele 35,3 prosent. Avtrekksvifta stod for den største endringen, med et endret energiforbruk på 47,7 prosent. For tilluftsvifta var endringen betydelig mindre, med en reduksjon på 2,2 prosent.

Årsaken til den store differansen på tillufts- og avtrekksviftas energiforbruk hadde sammenheng med VAV-spjeldenes tilstand. På tilluftsspjeldenes målekors var det lite synlig tilsmussing, men avtrekkspjeldenes målekors var svært tilsmusset. Avtrekkspjeldet i andre etasje hadde en spjeldvinkel på 100 prosent i forkant av rengjøringen, som igjen førte til et viftepådrag på 100 prosent til avtrekksvifta. Luftmengdemålingene viste at den totale avtrekksmengden i anlegget var 16 prosent høyere enn den prosjekterte luftmengden, til tross for at luftmengdene avlest på VAV-spjeldene var lavere enn settpunktene.

I tillegg til det økte energiforbruket til viftedrift, var det også et undertrykk i bygget som bidro til et økt infiltrasjonstap og oppvarmingsbehov. Før rengjøringen var avtrekksmengden 970 m³/h høyere enn tilluftsmengden, men etter rengjøringen var differansen redusert til 347 m³/h. Oppvarmingsbehovet grunnet infiltrasjonstap ble redusert med hele 71,2 prosent.

Forsøket viser klart behovet for at det tilrettelegges for vedlikehold og at man har gode rutiner for inspeksjoner av VAV-spjeldenes målekors. I nye anlegg kan problematikken hensyntas på et tidligere tidspunkt gjennom system- og komponentvalg. Det er ingen klare forskriftskrav til hvordan tilsmussingsproblematikken skal hensyntas i dag, så det er ofte opp til en prosjektbeskrivelse å kreve for eksempel inspeksjonsluker ved VAV-spjeldenes målepunkter. I

rapporten gis det en rekke forslag til komponenter, systemer og reguleringsformer som potensielt kan redusere problemet.

Ved oppstart av prosjektet var utgangspunktet for forsøket at konsekvensene av tilsmussingen skulle dokumenteres gjennom anleggets SFP-verdi. De store luftmengdeavvikene viste raskt at SFP-verdien ikke gjenspeilet hele sannheten om anlegget. Økte luftmengder på avtrekkssiden førte til at endringene i SFP-verdier var begrenset, sammenlignet med endringene i energiforbruket. Det stilles derfor spørsmål ved praksisen om bruk av SFP-verdi som mål på ventilasjonsanleggs energieffektivitet.

Avslutningsvis i rapporten gis det noen anbefalinger til relaterte problemstillinger som denne rapporten ikke undersøker. Støvkilder, andre typer måleteknologi og fuktig avtrekkslufts betydning for tilsmussingen i kanalene er temaer som krever videre forskning. Det anbefales også at tilsmussingens betydning for energiforbruket i et tradisjonelt konstantmengdeanlegg uten sårbare komponenter som VAV-spjeld undersøkes.



Bilde: Gruppe 2 i teknisk rom på Thon Hotel Spectrum. Fra venstre: Christoffer Hermansen, Karl Brage Fredriksen, Stian Brekke og Martin Lamptey – Foto: Christoffer Hermansen

1 Innhold

Forord	.....	2
Sammendrag	.....	3
2 Innledning	.....	8
2.1	Problemstillingens utarbeidelse og utvikling i prosjektet.....	8
2.2	Problemstillingens relevans for arbeidslivet.....	8
2.3	Metode	9
2.4	Prosjektets hensikt	9
2.5	Prosjektets oppbygning.....	10
2.6	Rapportens rammer.....	10
3 Teori	.....	12
3.1	Effekt og energi.....	12
3.1.1	SFP-verdi	12
3.1.2	Elektrisk effekt.....	12
3.1.3	Vifteeffekt og energiforbruk til viftedrift	14
3.2	Luftmengdemåling	15
3.2.1	Metodegruppe A – Måling av luftmengde i kanal	16
3.2.2	Metodegruppe B – Måling av luftmengde på avtrekksventiler og rister	19
3.2.3	Metodegruppe C – Måling av luftmengder i tilluftsventiler.....	21
3.3	Reguleringsformer i ventilasjonsanlegg	22
3.3.1	Trykkregulering	23
3.3.2	Spjeldvinkeloptimalisert regulering.....	24
3.4	Måleusikkerhet.....	25
3.4.1	Systematiske og grove feil	25
3.4.2	Tilfeldige feil	26
3.4.3	Sammensatte feil.....	27
3.5	Støv og tilsmussing i ventilasjonsanlegg.....	28
3.6	Infiltrasjonstap og ventilasjonstap	29
3.7	Graddagstall	29
4 Beskrivelse av Thon Hotel Spectrum	.....	32
4.1	Hotellrommenes utforming.....	33
4.2	Korridorenes og øvrige områders utforming	34
4.3	VAV-spjeldenes reguleringsprinsipp.....	34
4.4	Aggregatets komponenter og reguleringsprinsipp.....	35
5 Forsøk og målemetoder	.....	36

5.1	Andres oppgaver i prosjektet	36
5.2	Beskrivelse av forsøkets fire scenarier	36
5.3	Målemetoder og utstyr benyttet i forsøket	38
5.3.1	Utstyrsspesifikasjon	38
5.3.2	Målemetoder for luftmengder	39
5.3.3	Metode for måling av vifteeffekter	40
6	Resultater og forebyggende tiltak.....	41
6.1	Måleresultater	41
6.1.1	Målte luftmengder og avvik.....	41
6.1.2	Spjeldenes tilstand under målingene.....	43
6.1.3	Målte vifteeffekter og beregnede SFP-verdier.....	45
6.2	Drøfting av sammenhenger og konsekvenser	47
6.2.1	Måleavvik i tilsmussede VAV-spjeld	47
6.2.2	Aggregatdrift.....	48
6.2.3	Årlig energiforbruk til viftedrift.....	50
6.2.4	Energiforbruk til viftedrift i større skala	52
6.2.5	Oppvarmingsbehov grunnet økt infiltrasjonstap.....	53
6.2.6	SFP-verdi som mål på energieffektivitet	54
6.2.7	Innspill fra Trox om mulige sammenhenger.....	54
6.3	Forebyggende tiltak i eksisterende og nye bygninger.....	55
6.3.1	Inspeksjoner og renholdsrutiner	55
6.3.2	VAV-spjeld med nye målemetoder	56
6.3.3	Andre reguleringsformer.....	58
6.3.4	Tekstilkvaliteter	59
6.3.5	Kanalfilter	59
7	Konklusjon.....	61
7.1	Resultater	61
7.1.1	Økt energiforbruk til viftedrift	61
7.1.2	VAV-spjeld med store måleavvik.....	61
7.1.3	Store avvik i luftmengder.....	61
7.2	Anbefalinger til videre forskning.....	62
Kilder	.....	63
Vedlegg	.....	64
	Vedlegg 1: Plantegninger	64
	Vedlegg 2: SFP-skjemaer.....	67

Vedlegg 3: Systemdata.....	69
Vedlegg 4: Måleprotokoll tilluft	72
Vedlegg 5: Måleprotokoll avtrekk	73
Vedlegg 6: Detaljert beskrivelse av måleresultater	74
Vedlegg 7: Beregninger	85
Vedlegg 8: Kalibreringsbevis SWA 31	91
Vedlegg 9: Kalibreringsbevis Swema 3000md	93
Vedlegg 10: Kalibreringsbevis SwemaFlow 233	95
Vedlegg 11: Produktdatablad Swema 3000	96
Vedlegg 12: Produktdatablad Swema SWA 31	98
Vedlegg 13: Produktdatablad Kimo Pitot tube Type L.....	99
Vedlegg 14: Produktdatablad SwemaFlow 236	103
Vedlegg 15: Produktdatablad PEL103	105
Vedlegg 16: Målepunkt for hovedmengder	109
Vedlegg 17: Oppkobling PEL 103	110
Vedlegg 18: Bilde av Swema 3000md, digitalt manometer.....	112
Vedlegg 19: Bilde av Swema SWA 31, hetetrådsanemometer	112
Vedlegg 20: Bilde av SwemaFlow233, måletrakt.....	113
Vedlegg 21: Bilde av prandlrør	113
Vedlegg 22: Bilde av PEL 103, effekt- og energilogger.....	114
Vedlegg 23: Bilde av Belimo ZTH, serviceverktøy	114
Vedlegg 24: Målepunkter i kanal	115
Vedlegg 25: Teknisk data system 360.05.....	116
Vedlegg 26: Koblingsskjema hovedstrøm 360.05	122
Vedlegg 27: Lindab FTCU - Utdrag fra teknisk informasjonsblad.....	123

2 Innledning

Dette hovedprosjektet tar for seg problemstillingen: Hvilke konsekvenser har tilsmussing av et kanalnett for energiforbruket til et moderne ventilasjonsanlegg? Gjennom dette prosjektet skal vi undersøke energiforbruket til viftedrift før og etter kanalrengjøring på Thon Hotel Spectrum i Oslo. Undersøkelsene gjøres på et utvalgt ventilasjonsanlegg på hotellet, og energiforbruket dokumenteres gjennom måling av vifteeffekter og luftmengder.

2.1 Problemstillingens utarbeidelse og utvikling i prosjektet

Oppgavens tema ble valgt etter diskusjoner i gruppa ved prosjektets oppstart. I veilednings-samtale med faglærer ble vi informert om at Optice AS, en bedrift som utfører rengjøring av ventilasjonskanaler, hadde kontaktet Fagskolen Innlandet for å søke informasjon om mulige energibesparelser ved kanalrengjøring. Tilgjengelig informasjon fra tidligere undersøkelser viste seg å være mangelfull og utdatert.

Vi tok kontakt med Optice AS som hadde et pågående rengjøringsoppdrag for Olav Thon Gruppen. Vi ble enige om å gjennomføre en undersøkelse parallelt med deres rengjøringsprosjekt og utarbeide en prosjektrapport. Vår oppgave ble derfor å dokumentere energibesparelsen for et utvalgt anlegg på Thon Hotel Spectrum. Energibesparelsen skal beregnes gjennom dokumentasjon av anleggets SFP-verdier før og etter kanalrengjøringen.

Hovedprosjektets problemstilling har blitt revidert under arbeidet med prosjektet. Rapportens opprinnelige problemstilling var: Hvilken effekt har rengjøring av kanalnett på SFP-verdien til et ventilasjonsanlegg? Gjennom prosjektarbeidet ble det klart at SFP-verdien ikke nødvendigvis var den beste måten å vurdere effekten av kanalrengjøringen. Tilsmussede målekors i VAV-spjeldene førte til for høye avtrekksmengder, og SFP-verdien som beregnes ut ifra største luftmengde i anlegget kunne derfor gi et inntrykk av at anlegget er mer energieffektivt enn det egentlig var.

Videre valgte vi å endre vinklingen på problemstillingen. Den opprinnelige problemstillingen handlet om hvilken effekt rengjøring hadde på et anleggs SFP-verdi. Ordlyden kan tolkes som at et tilsmusset kanalnett er en normaltilstand og at en rengjøring kan bedre anlegget. En normaltilstand bør heller være et rent og velfungerende kanalnett uten tilsmussing. Det ble derfor naturlig å endre vinklingen slik at problemstillingen heller stiller spørsmål ved hvilke konsekvenser tilsmussingen har for anleggets energiforbruk.

2.2 Problemstillingens relevans for arbeidslivet

Interessen for temaet stammer fra vår egen arbeidserfaring i bransjen. De siste 20 årene har behovsstyrte ventilasjonsanlegg i stor grad tatt over for tradisjonelle konstantmengdeanlegg. Et viktig salgspunkt for behovsstyrte systemer er å redusere bygningers energiforbruk. Dersom det ikke er benyttet egnede produkter, eller er tilrettelagt for nødvendig vedlikehold, er vår erfaring derimot at behovsstyrte systemer kan virke mot sin hensikt.

Gjennom vårt daglige arbeid har vi erfart et gjentagende problem med anlegg som ikke fungerer som tiltenkt grunnet tilsmussing i kanalnettet. Ofte har dette sammenheng med VAV-spjeld med tilsmussede målekors. Særlig hotellbygninger har vist seg å være utsatt for tilsmussing. Optice AS, som har utført kanalrengjøringen i dette prosjektet, bekrefter også at deres erfaring

er at hotellbygninger ofte har raskere og mer omfattende tilsmussing i kanalnett. I tillegg trekker de frem sykehjem som hyppige problembbygg.

Under arbeidet med rapporten har vi også vært i kontakt med Trox Auranor som forteller at de har fått meldinger om et økende problem med støv i avtrekkskanaler på hoteller. Blant annet forteller Trox at problemet med måleavvik på VAV-spjeld ser ut til å ha økt, og stiller spørsmål ved om årsaken er anlegg som startes før byggeplassen er tilstrekkelig rengjort eller om det genereres mer støv i rommene (S. Ingebrigtsen, personlig kommunikasjon, 11. mai 2023).

2.3 Metode

For å besvare prosjektets problemstilling er det gjennomført målinger av vifteeffekter og luftmengder på et utvalgt anlegg på hotellet. Hotellet består av totalt seks ventilasjonsanlegg, hvor tre av dem primært betjener hotellrom. Det er valgt å avgrense forsøket til ett av de tre anleggene.

Anlegget som undersøkes i forsøket har en prosjektert luftmengde på 3435 m³/h og betjener 23 hotellrom fordelt på tre etasjer, i tillegg til tilknyttede korridorer og trappesjakt. I hver etasje er det montert VAV-spjeld på hovedkanalene ut av sjakta. Aggregatet er posisjonsregulert etter spjeldvinkelen til VAV-spjeldene. VAV-spjeldenes settpunkt styres parallelt mellom maksimum og minimum luftmengde, etter en forhåndsinnstilt tidskatalog.

Gjennomføringen av forsøket er delt opp i fire scenarier:

- Scenario 1 – Før kanalrengjøring, ventiler i opprinnelige regulerte posisjoner
- Scenario 2 – Før kanalrengjøring, ventiler stilt i åpen posisjon
- Scenario 3 – Etter kanalrengjøring, ventiler stilt i åpen posisjon
- Scenario 4 – Etter kanalrengjøring, ventiler i innregulerte posisjoner

Ved hvert scenario måles vifteeffekter og luftmengder, både ved drift i maksimum og minimum luftmengder. Kanalrengjøringen utføres av Optice AS. Etter at kanalnett er rengjort, innreguleres anlegget av AF Energi AS.

2.4 Prosjektets hensikt

Målet med prosjektet er å tallfeste konsekvensene av tilsmussede kanalnett. Gjennom vår egen arbeidserfaring har vi sett et gjentagende problem med tilsmussing i ventilasjonsanlegg. Tilsmussing er spesielt problematisk i anlegg med VAV-spjeld der spjeldenes målekors tettes av støvet og spjeldets målinger forringes. I anlegg med spjeldvinkeloptimalisert regulering er konsekvensene ofte store. Økt energiforbruk til viftedrift, undertrykk og lydproblemer er blant konsekvensene som kan oppstå.

Problemet oppstår etter vår erfaring oftest og raskest i hotellbygninger. Årsaken til dette er uklar, men en mulig forklaring kan være hyppig skift av sengetøy og håndklær i kombinasjon med avtrekk på bad. En tanke har vært at fukt fra badet fungerer som lim for støvet i kanalnett, og fører til raskere tilsmussing enn i andre bygningstyper. Tekstilkvaliteter og rengjøringsmetoder er også faktorer som kan spille inn på støvmengden i luften. I denne rapporten er ikke årsakene til tilsmussing undersøkt, men vi håper rapporten kan inspirere til videre forskning på temaet.

Samtidig som tilsmussing er et gjentakende problem i ventilasjonsanlegg med VAV-spjeld og moderne reguleringsformer, er det lite som tyder på at problematikken forebygges. I rapporten er flere tiltak foreslått, men felles for dem er at problematikken må hensyntas helt fra start. Prosjektbeskrivelser, prosjektering, utførelse og vedlikeholdsrutiner må søke å minimere konsekvensene av støv i lufta. Med denne rapporten håper vi å kunne belyse konsekvensene av systemvalg, anleggsutforming og vedlikeholdsrutiner som ikke hensyntar hverandre.

2.5 Prosjektets oppbygning

I rapporten presenteres først teorien som danner grunnlaget for undersøkelsen av anleggets energiforbruk. Teorikapittelet er inndelt i flere underkapitler som inkluderer blant annet effekt og energi til viftedrift, luftmengdemålinger og ulike reguleringsformer i ventilasjonsanlegg.

Videre følger et kapittel om hotellets utforming for å gi leseren et overblikk over forsøksbygget. I dette kapittelet er det lagt hovedvekt på en beskrivelse av ventilasjonens oppbygging. Romutformingen og materialvalg i betjeningsområdene er også beskrevet.

I kapittel fire beskrives metoden som er benyttet for å besvare problemstillingen. Kapittelet går detaljert inn på hvordan forsøket er satt opp og beskriver hvilke målinger som er utført og hvordan. Måleutstyr benyttet i forsøket er også presentert i kapittelet.

Kapittel fem er delt inn i tre relativt omfattende underkapitler som handler om måleresultater, drøfting av sammenhenger og forebyggende tiltak. I underkapittelet om måleresultater er måleresultatene for luftmengder og vifteeffekter, samt avleste verdier fra anleggets VAV-spjeld presentert. I dette underkapittelet er kun resultatene presentert, mens drøftingen av resultatene følger i kapittel 5.2. I kapittelet om forebyggende tiltak vurderes aktuelle tiltak i eksisterende bygninger med lignende utfordringer og forebyggende tiltak for nye bygninger.

Avslutningsvis konkluderes rapporten med de viktigste funnene i forsøket. Det gis også noen anbefalinger til videre forskning på temaet. Dette er problemstillinger relatert til rapportens tema som det ikke har vært mulig å undersøke i dette forsøket.

I rapporten skilles det mellom uttrykkene prosjekt og forsøk. Med prosjekt menes hele jobben som ble utført på anlegget av Optice AS og AF Energi AS. Dette inkluderer alle fysiske arbeidsoppgaver på anlegget som kanalrengjøring og innregulering. Med forsøk menes målingene og undersøkelsene som vi har gjort underveis i prosessen, og som benyttes som vurderingsgrunnlag for resultatene.

2.6 Rapportens rammer

Denne rapporten tar hovedsakelig for seg energiforbruk til viftedrift. Energiforbruket er dokumentert gjennom måling av vifteeffekter og luftmengder. Rapporten ser også på konsekvenser av differanser mellom tillufts- og avtrekksmengder i anlegget, konsekvenser av tilsmussede VAV-spjeld i et spjeldvinkeloptimalisert anlegg og SFP-verdi som et mål på energieffektivitet i ventilasjonsanlegg. Avslutningsvis i rapporten foreslås det en rekke tiltak som kan forebygge lignende problemer i andre bygninger. Enkelte av tiltakene er best egnet til fremtidige bygg, mens andre er aktuelle i eksisterende bygninger.

Rapporten undersøker ikke hvilke støvkilder som har størst betydning for tilsmussingen i kanalnettet. Fuktig lufts innvirkning på tilsmussingshastigheter er heller ikke undersøkt i rapporten. I konklusjonen er disse temaene og vurdering av energiforbruk før og etter rengjøring i CAV-anlegg, samt undersøkelser av tilsmussing i anlegg med VAV-sjeld med annen måleteknikk, foreslått som temaer for videre forskning.

3 Teori

I dette prosjektet vurderes effekten av kanalrengjøringen ut ifra endring i energiforbruk til viftedrift. Teorien som har blitt anvendt i beregningene er beskrevet i dette kapittelet.

3.1 Effekt og energi

I dette kapittelet presenteres teori om effektbehov og energiforbruk til viftedrift. Det presenteres også teori om måling av elektrisk effekt, proporsjonallovene og beregning av SFP-verdi.

3.1.1 SFP-verdi

SFP-verdi, kort for specific fan power eller spesifikk vifteeffekt på norsk, er et forholdstall mellom vifteeffekter og luftmengde i anlegget. Hensikten med SFP-verdien er å kunne sammenligne hvor effektivt luften distribueres i anlegg med forskjellige luftmengder. SFP-verdien tallfester nødvendig vifteeffekt for å distribuere en luftmengde på 1 m³/s i anlegget. Ved beregning av SFP-verdi, benyttes summen av vifteeffektene til tillufts- og avtrekksvifta, samt største luftmengde av tillufts- og avtrekksmengdene. SFP-verdien har benevnningen kW/(m³/s) og kan beregnes ved formel 1 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 127):

$$SFP = \frac{\sum \Phi_{vifter}}{\dot{V}} \quad [kW / (m^3 / s)] \quad \text{Formel 1}$$

der

- Φ_{vifter} Summert vifteeffekt [kW]
- \dot{V} Største luftmengde [m³ / s]

3.1.2 Elektrisk effekt

For å kunne beregne SFP-verdien til anlegget må vifteeffektene dokumenteres. Viftemotorer har ofte trefase vekselstrømsmotorer. For trefasemotorer skilles det mellom tre former for effekt: aktiv, reaktiv og tilsynelatende effekt (Ingebrigtsen, 2020b, s. 373). Den aktive effekten er den effekten som går til drift av motor, og den tilsynelatende effekten er den effekten man måler med enkle måleinstrumenter. Den reaktive effekten er den effekten som ikke går til aktivt arbeid i motoren, men blant annet til magnetisering av spoler i motoren.

Sammenhengen mellom de ulike effektene kan uttrykkes ved formel 2:

$$S = \sqrt{\Phi^2 + Q^2} \quad [W] \quad \text{Formel 2}$$

der

- Φ Aktiv effekt $[W]$
- Q Reaktiv effekt $[W]$
- S Tilsynelatende effekt $[W]$

Den aktive effekten måles ofte i frekvensomformerer til vifta, men kan også måles ved å benytte en nettanalysator (Vedlegg 22). Dersom man kun har tilgang til enkle måleinstrumenter kan den aktive effekten beregnes ved formel 3, forutsatt at man kjenner fasevinkelen mellom den aktive og tilsynelatende effekten. Denne målemetoden innebærer en stor grad av usikkerhet, og bør derfor kun benyttes som veiledende målinger (Ingebrigtsen, 2020b, s. 373–375).

$$\Phi = S \cdot PF = S \cdot \cos \varphi \quad [W] \quad \text{Formel 3}$$

der

- Φ Aktiv effekt $[W]$
- S Tilsynelatende effekt $[W]$
- PF Effektfaktor $[-]$
- φ Vinkel mellom Φ og S $[^\circ]$

Kjenner man spenningen, strømtrekket og effektfaktoren til motoren, kan den aktive effekten beregnes ved formel 4. Dersom motorkursen er énfase skal $\sqrt{3}$ fjernes fra formelen.

$$\Phi = U \cdot I_{fase,t} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \quad [W] \quad \text{Formel 4}$$

der

- U Spenning $[V]$
- $I_{fase,t}$ Gjennomsnittlig ampere for fasene $[A]$

3.1.3 Vifteeffekt og energiforbruk til viftedrift

Proporsjonallovene sier at en halvering av luftmengden reduserer trykket til en fjerdedel, og opptatt effekt reduseres til en åttendedel (Ingebrigtsen, 2020b, s. 123). Proporsjonallovene gjelder ikke i et behovsstyrt system, kun i et anlegg med statisk karakteristikkk.

For beregning av proporsjonallovene brukes formel 5, 6 og 7.

Endring i luftmengde er proporsjonalt med endring i turtall:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Formel 5}$$

Endring i trykk er proporsjonalt med endring i turtall og luftmengde i andre potens:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^2 \quad \text{Formel 6}$$

Endring i effekt er proporsjonalt med endring i turtall og luftmengde i tredje potens:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^3 \quad \text{Formel 7}$$

der

- n Vifteturtall [omdr/min]
- \dot{V} Volumstrøm [m^3 / h]
- p Statisk trykk [Pa]
- Φ Effekt [W]

Luftmengden påvirker trykktapet og den totale virkningsgraden til anlegget. SFP-verdien kan reduseres ved å senke det totale trykktapet i anlegget. SFP-verdien til ventilasjonsanlegg med konstant luftmengde kan beregnes med formel 8 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 128).

$$E_{vifter} = \frac{\dot{V} \cdot SFP}{3600s / h} \cdot a \cdot b \cdot c \quad [kWh / \text{år}] \quad \text{Formel 8}$$

der

- $\Sigma\Phi$ Summen av alle vifteeffekter [kW]
- SFP Ventilasjonsaggregatets SFP-verdi [$kW / (m^3 / s)$]
- a Antall uker drift per år [uker/år]
- b Antall døgn drift per uke [døgn/uke]
- c Antall timer drift per døgn [h/døgn]

3.2 Luftmengdemåling

Ved beregning av SFP-verdi må man kjenne anleggets luftmengder. Fortrinnsvis ønsker man å beregne SFP-verdien ut ifra nominelle luftmengder, det vil si luftmengdene levert til rommene anlegget betjener. Målingene må derfor utføres på sluttproduktene i rommet. Brutto luftmengde er luftmengden levert av aggregatet, og vil ikke hensynta lekkasjer i anlegget. En høy luftmengde gir en lavere SFP-verdi enn en lav luftmengde, dersom vifteeffekten er lik. Lekkasjer i kanalnettet skal derfor ikke bidra til en bedret SFP-verdi (Mysen & Polak, 2001, vedlegg s. 2).

Noen av de vanligste målemetodene, og målemetodene som er benyttet i prosjektet, er beskrevet videre i dette kapitlet. Målemetoder i ventilasjon deles inn i tre grupper: metodegruppe A, B og C.

- Metodegruppe A – Måling av luftmengde i kanal
- Metodegruppe B – Måling av luftmengde på avtrekksventiler og rister
- Metodegruppe C – Måling av luftmengder i tilluftsventiler

Flere av målemetodene beskrevet videre i dette kapitlet benytter et manometer for å måle trykkforskjeller. Manometre finnes i både analoge og digitale utgaver, men i dag er det fortrinnsvis de digitale som benyttes (Bilde 2-1). Analoge manometre brukes fremdeles til faste trykkmålingspunkter, som for eksempel til manuell overvåkning av trykkfall over filtre på ventilasjonsaggregat. Moderne digitale manometre har innstillinger for blant annet kanal-dimensjoner og korreksjonsfaktorer slik at luftmengder kan leses av direkte i instrumentets display. Mange av instrumentene har også mulighet for tilkobling av ekstrautstyr, som blant annet hetetråsanemometer, vingehjulsanemometer og temperaturfølere. For å sikre presise målinger bør måletrykket normalt være minimum 3 Pa (Ingebrigtsen, 2020b, s. 356).

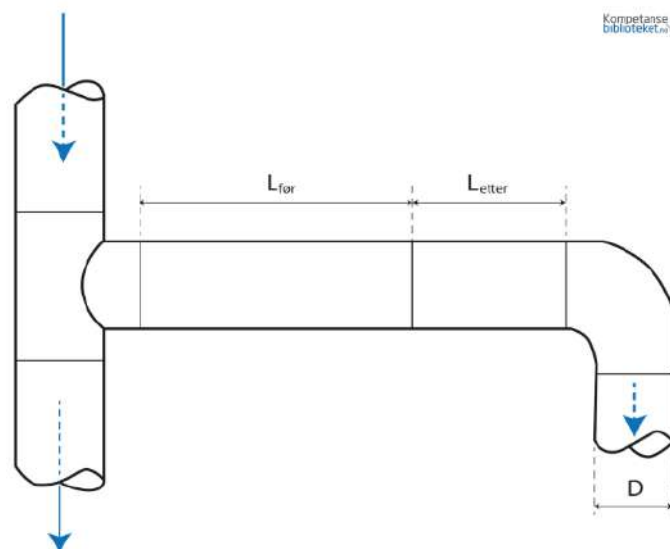


Bilde 2-1: Swema 3000md – Digitalt manometer – Foto: Karl Brage Fredriksen

3.2.1 Metodegruppe A – Måling av luftmengde i kanal

Målinger av lufthastigheter og luftmengder i kanaler kan gjøres med forskjellige instrumenter som prandtlrør, hetetrådsanemometer og vingehjulsanemometer. Måleinstrumentene har ulike måleområder og målenøyaktigheter, avhengig av lufthastigheten i målepunktet. Anbefalte måleområder for de ulike instrumentene er beskrevet i de påfølgende kapitlene.

Felles for målemetodene er at målingene bør foretas på et punkt der luftstrømmen ikke er forstyrret av bend, avgreninger, spjeld eller lignende. I luftstrømmens retning er minste anbefalte avstand fra en forstyrrelse av luftstrømmen til målepunktet minimum fem ganger kanalens diameter (Figur 2-1; Tabell 2-1). Anbefalt uforstyrret avstand etter målepunktet er to ganger kanalens diameter (Ingebrigtsen, 2020b, s. 360). For å sikre presise måleresultater er også plasseringen av målepunktene i kanalens tverrsnitt avgjørende (Vedlegg 24).



Figur 2-1: Anbefalte minimumsavstander for måling av kanalhastighet – Opphav: Kompetansebiblioteket

	For sirkulær kanal	For rektangulær kanal
Lengde før måling	$L_{\text{før}} \geq 5 \cdot D$	$L_{\text{før}} \geq 6 \cdot D_h$
Lengde etter måling	$L_{\text{etter}} \geq 2 \cdot D$	$L_{\text{etter}} \geq 2 \cdot D_h$

Tabell 2-1: Anbefalte minimumsavstander for måling av kanalhastighet – Opphav: Kompetansebiblioteket

Hetetrådsanemometer

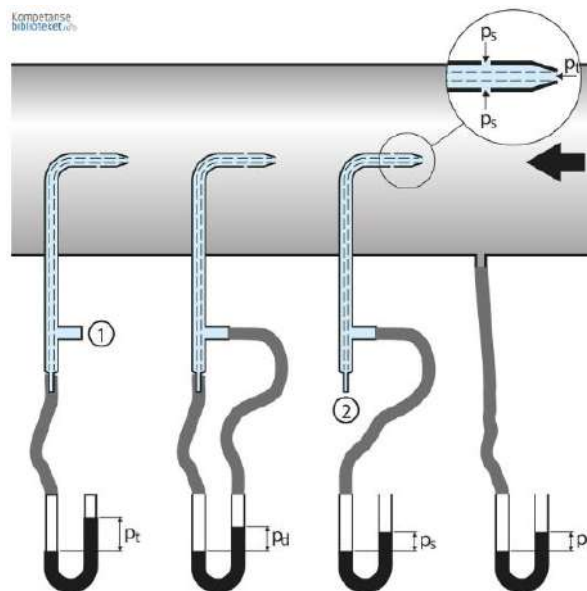
Et hetetrådsanemometer (Bilde 2-2) måler lufthastigheten i kanalen ved å måle lufttemperaturen samtidig som instrumentet sender en strøm gjennom en hetetråd. Hastigheten og temperaturen på luften i kanalen bidrar til å kjøle ned hetetråden. Instrumentet kan da beregne lufthastigheten ved å måle strømmengden som kreves for å opprettholde temperaturen i hetetråden. Målemetoden er ikke egnet for lufthastigheter under 0,5 m/s. Hetetråds-anemometeret er retningsfølsomt og krever periodisk kalibrering (Ingebrigtsen, 2020b, s. 357).



Bilde 2-2: Swema SWA 31 – Hetetrådsanemometer – Foto: Karl Brage Fredriksen

Prandtlrør

Prandtlrøret benyttes til å måle det dynamiske trykket i kanalen. Prandtlrøret er utformet med et hull i spissen som skal peke mot luftens retning og måler det totale trykket i kanalen via et indre rør. I tillegg har røret flere små hull på ytersiden som måler det statiske trykket i kanalen via et ytre rør (Figur 2-2). Prandtlrøret er retningsfølsomt og målinger må foretas vinkelrett i kanalen.



Figur 2-2: Prandtlrør – Opphav: Kompetansebiblioteket

Når man kjenner det totale trykket og det statiske trykket, kan det dynamiske trykket beregnes (Formel 9). Prandtlrøret bør ikke benyttes til målinger av lufthastigheter lavere enn 2,5 til 3 m/s (Ingebrigtsen, 2020b, s. 356).

$$p_d = p_t - p_s \quad [\text{Pa}]$$

Formel 9

der

- p_d Dynamisk trykk [Pa]
- p_{tot} Totaltrykk [Pa]
- p_s Statisk trykk [Pa]

Når man kjenner det dynamiske trykket i kanalen, kan lufthastigheten beregnes ved formel 10 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 362).

$$v = \sqrt{\frac{p_d \cdot 2}{\rho}} \quad [\text{m/s}]$$

Formel 10

der

- v Lufthastighet [m/s]
- ρ Luftens tetthet [kg/m³]

Ved måling av luftmengder med hastighetsfølere, må man korrigere for annen tetthet i luften dersom temperaturen avviker fra +20 °C (Formel 11) (Ingebrigtsen, 2020b, s. 359).

$$v_k = v_m \cdot \frac{\rho_{20}}{\rho_T} \quad [\text{m/s}]$$

Formel 11

der

- v_k Lufthastighet korrigert [m / s]
- v_m Lufthastighet målt [m / s]
- ρ_{20} Luftens tetthet ved 20 °C [kg/m³]
- ρ_T Luftens tetthet ved temperatur i målt luft [kg/m³]

Man kan finne tettheten til tørr luft ved en gitt temperatur og barometertrykk ved formel 12 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 359).

$$\rho_T = 1,293 \cdot \frac{P_{atm} + 0,01 \cdot P_s}{1013} \cdot \frac{273}{273 + T} \quad [\text{kg} / \text{m}^3]$$

Formel 12

der

- ρ_T Lufttetthet ved temperatur [kg / m³]
- P_{atm} Atmosfæretrykket [hPa]
- P_s Statisk overtrykk i kanalen [Pa]
- T Temperatur [°C]

Hvis atmosfæretrykket ikke måles bruker man standardverdien 1013 hPa, og man legger til en måleusikkerhet på fire prosent.

Vingehjulsanemometer

Et vingehjulsanemometer er et måleinstrument utstyrt med en propell (Bilde 2-3). Instrumentet kommer i ulike utforminger for måling i kanaler eller over rister og lignende. Lufthastigheten fører til at propellen roterer. Ved å måle rotasjonshastigheten til propellen, kan lufthastigheten beregnes. Ved lufthastigheter lavere enn 1 m/s, er målemetoden uegnet (Ingebrigtsen, 2020b, s. 358).



Bilde 2-3: Vingehjulsanemometer – Opphav: Kimo instruments

For samtlige målemetoder må det benyttes tilhørende instrumenter for avlesning av måleresultater. Moderne måleinstrumenter er som regel digitale og regner om den målte lufthastigheten eller det dynamiske trykket direkte til en luftmengde når kanalens areal er kjent (Formel 13) (Ingebrigtsen, 2020a, s. 249).

$$\dot{V} = A \cdot v \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Formel 13

der

- \dot{V} Volumstrøm [m³/s]
- A Tverrsnittsareal [m²]
- v Lufthastighet [m/s]

3.2.2 Metodegruppe B – Måling av luftmengde på avtrekksventiler og rister

Metodegruppe B omhandler målemetoder på avtrekksventiler og rister. For måling av avtrekksventiler benyttes det i praksis to metoder: trykkfallsmåling med sonde og lufthastighetsmåling med trakt.

Sonde

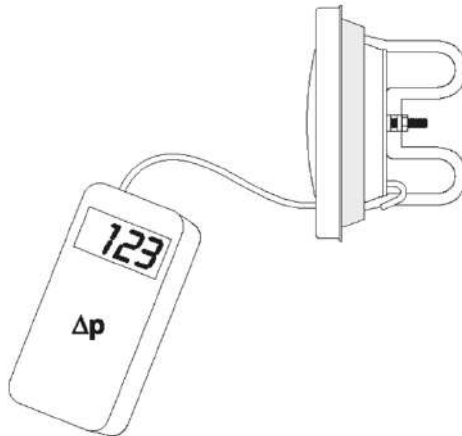
I ventilasjonsanlegg er kontrollventiler ofte brukt som avtrekksventiler. Produsentene leverer korreksjonsfaktortabeller med ventilens dokumentasjon for måling av luftmengder. Ventilene kan da måles med en sonde tilkoblet et digitalt manometer og ventilens korreksjonsfaktor (Figur 2-3). Luftmengden kan også beregnes manuelt ved formel 14 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 367). Ved beregning av luftmengde med korreksjonsfaktor, er det viktig å være oppmerksom på at korreksjonsfaktoren avgjør hvilken enhet resultatet oppgis i.

$$\dot{V} = k \cdot \sqrt{p_m} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Formel 14

der

- \dot{V} Volumstrøm $[\text{m}^3/\text{h}]$
- k Korreksjonsfaktor $[-]$
- p_m Måletrykk $[\text{Pa}]$



Figur 2-3: Måling av differansetrykk med sonde – Opphav: Kompetansebiblioteket

Måletrakt

Måletrakter produseres i forskjellige størrelser. Typiske traktstørrelser er 700x700 mm tiltenkt ventiler montert i vanlig 600x600 mm himling, eller 200x200 mm (Bilde 2-4) til bruk på kontrollventiler og lignende.



Bilde 2-4: SwemaFlow 236 – Måletrakt – Opphav: Swema

Luftmengden måles med et fastmontert vingehjulsanemometer eller hetetrådsanemometer (Johansson & Svensson, 2007, s. 49). Moderne måletrakter er ofte utstyrt med et display der luftmengden kan avleses direkte.

3.2.3 Metodegruppe C – Måling av luftmengder i tilluftsventiler

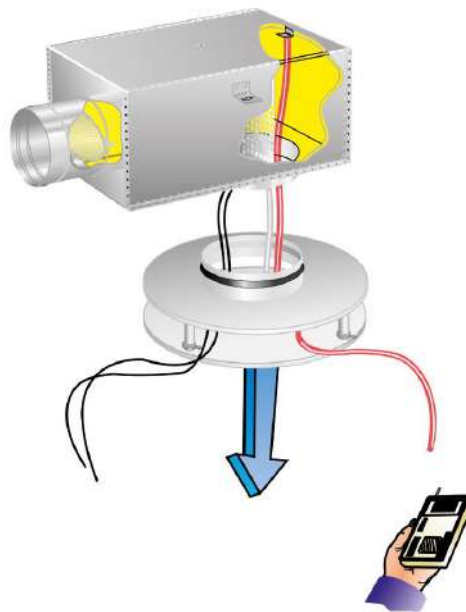
Metodegruppe C beskriver målemetoder for tilluftsventiler. Tilluftsventiler er normalt utstyrt med måleuttak i ventilene. Måleuttakene kan utføres med to målepunkter for måling av dynamisk trykk eller med ett uttak for måling av statisk trykk (Figur 2-4). Tilluftsventiler leveres med korreksjonsfaktor fra leverandør, som benyttes til omregning fra statisk eller dynamisk trykk til luftmengde (Formel 15) (Ingebrigtsen, 2020b, s. 370).

$$\dot{V}_{ventil} = k \cdot \sqrt{p_m} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Formel 15

der

- \dot{V}_{ventil} Ventilens volumstrøm $[\text{m}^3/\text{h}]$
- k Korreksjonsfaktor $[-]$
- p_m Måletrykk $[\text{Pa}]$



Figur 2-4: Måling av luftmengde i tilluftsventil – Opphav: Swegon

Tilluftsventiler kan også måles med trakt, slik som beskrevet under metodegruppe B. Erfaringsmessig er denne målemetoden svært ustabil og påvirkes i stor grad av ventilens utforming, dysemønster og lufthastighet, og bør derfor kun benyttes dersom det ikke finnes andre egnede målemetoder. Sintef Byggforsk konkluderer likevel med at metoden er anvendbar for mange ventiltyper i en rapport fra 2003 (Ruud & Solheim, 2003).

3.3 Reguleringsformer i ventilasjonsanlegg

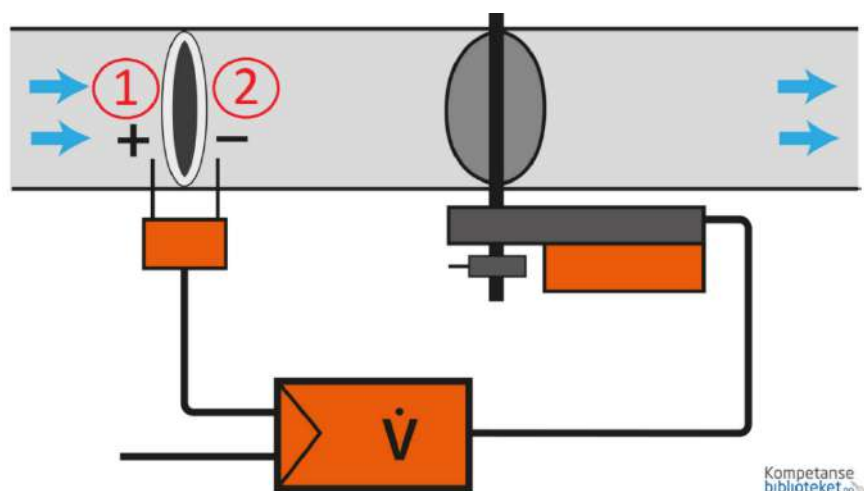
Moderne ventilasjonsanlegg utføres i dag med svært varierende grad av automatisert regulering. Reguleringsmetodene spenner i fra tradisjonelle mekaniske anlegg, kjent som CAV-anlegg eller konstantmengdeanlegg, til toppmoderne behovsstyrte systemer, kjent som DCV-anlegg (Ingebrigtsen, 2020b, s. 169). I dette kapittelet beskrives noen prinsipper for regulering av ventilasjonsanlegg som er utbredt i bransjen.

CAV-anlegg, kort for constant air volume, er anlegg med konstante luftmengder og reguleres ofte kun mellom høy og lav fart etter en forhåndsinnstilt tidsstyring. Et DCV-anlegg, kort for demand controlled ventilation, er anlegg som styres etter for eksempel luftforurensning, temperatur og tilstedeværelse. I DCV-anlegg benyttes det motoriserte spjeld. Spjeldene kalles både VAV- og DCV-spjeld, og begrepene brukes litt om hverandre. Man kan skille VAV og DCV ved at VAV-systemer ofte er brukerstyrt, mens DCV-anlegg er behovsstyrt (Ingebrigtsen, 2020b, s. 169). Heretter refereres anleggets spjeld til som VAV-spjeld, kort for variable air volume. Mange anlegg er utstyrt med VAV-spjeld uten å kunne regnes som fullverdige DCV-anlegg.

VAV-spjeld måler luftmengden ved hjelp av et integrert målekors i spjeldet (Bilde 2-5). Målekorset måler totaltrykket mot luftas retning, og statisk trykk med luftretningen (Figur 2-5). Differansen er det dynamiske trykket som brukes til å beregne luftmengden spjeldet leverer (Ingebrigtsen, 2020b, s. 187).



Bilde 2-5: Målekorset innvendig i et VAV-spjeld. Trykket måles via hullene i målekorset – Foto: Stian Brekke

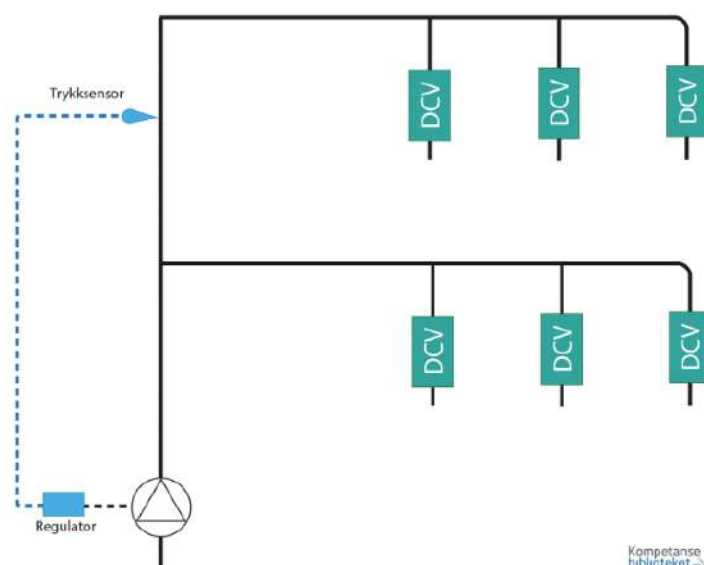


Figur 2-5: Innsiden av et VAV-spjeld. 1. Målepunkt for totaltrykk. 2. Målepunkt for statisk trykk.
Opphav: Kompetansebiblioteket – Redigert: Stian Brekke

3.3.1 Trykkregulering

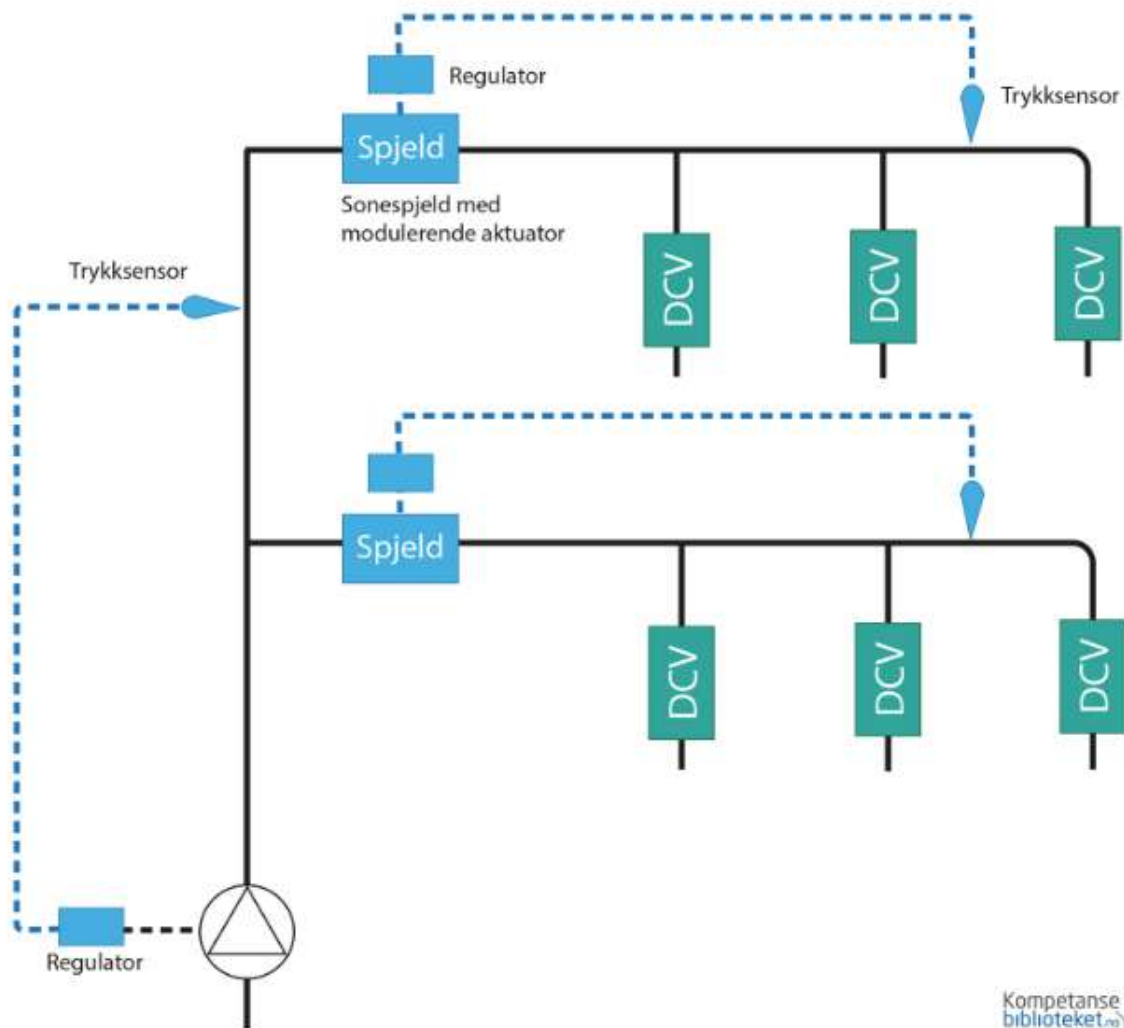
Trykkstyrte anlegg reguleres etter et innstilt trykksettpunkt, slik at det målte statiske trykket i kanalnettet er innenfor trykksettpunktet. Trykkstyring benyttes primært i anlegg med VAV-spjeld. Reguleringen kan deles opp i flere nivåer med romspjeld, sonespjeld og aggregat, eller direkte mellom aggregat og romspjeld.

I trykkstyrte anlegg uten sonespjeld plasseres trykkfølere i kanalnettet (Figur 2-6). Aggregatet vil da regulere for å opprettholde et innstilt trykksettpunkt. Dersom et VAV-spjeld i anlegget åpner for å øke luftmengden til et rom, vil det statiske trykket i kanalen reduseres, og aggregatet vil øke viftepådraget for å oppnå innstilt trykksettpunkt. På samme måte vil aggregatet regulere ned dersom et spjeld struper og det statiske trykket øker. Ulempen ved denne reguleringsformen er at trykksettpunktet må innstilles ved maksimal belastning i anlegget, og ofte vil trykket være unødvendig høyt ved lavere belastning (Ingebrigtsen, 2020b, s. 209-210). I store anlegg kan det også være utfordrende å fange opp trykkendringer i anlegget, noe som gjør reguleringsformen unøyaktig.



Figur 2-6: Trykkstyrt anlegg uten sonespjeld – Opphav: Kompetansebiblioteket

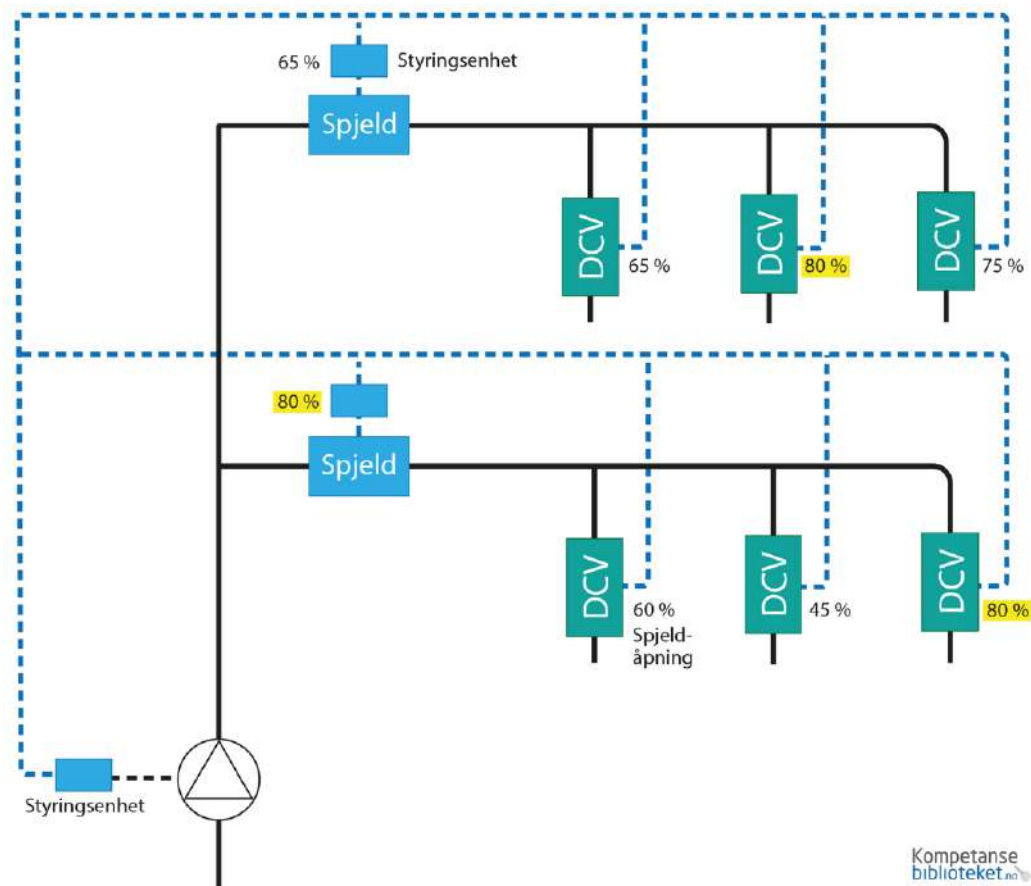
I trykkstyrte anlegg med sonespjeld deles reguleringen i to trinn (Figur 2-7). Sonespjeldet kobles opp mot en trykkløser som plasseres i kanalnettet sonespjeldet betjener. Sonespjeldet regulerer for å opprettholde innstilt statisk trykk ettersom VAV-spjeldene i kanalnettet åpner og stenger. Aggregatet har egen trykksensor, som plasseres på strekket mellom aggregatet og sonespjeldene. Dersom et sonespjeld åpner vil trykket bak sonespjeldet øke, mens trykket før sonespjeldet synker. Aggregatet må da øke vifteturtalet for å opprettholde innstilt trykk (Ingebrigtsen, 2020b, s. 214).



Figur 2-7: Trykkstyrt anlegg med sonespjeld – Opphav: Kompetansebiblioteket

3.3.2 Spjeldvinkeloptimalisert regulering

I spjeldvinkeloptimaliserte anlegg reguleres anlegget etter VAV-spjeldenes posisjon. I likhet med trykkregulerte anlegg kan løsningen benyttes både med og uten sonespjeld (Figur 2-8). Automatikkanlegget overvåker spjeldposisjoner i ventilasjonsanlegget, og aggregatet reguleres for å oppnå ønsket spjeldposisjon. Det anbefales at spjeldet med høyest spjeldposisjon skal ha en posisjon på 80 prosent for å sikre stabil regulering i anlegget uten å skape unødvendig høyt trykkfall (Nilsen, 2004, s. 1).



Figur 2-8: Spjeldvinkeloptimalisert anlegg med sonespjeld – Opphav: Kompetansebiblioteket

Fordelen med spjeldvinkeloptimalisert regulering er at det sikrer lavest mulig driftspunkt for aggregatet, som gir et lavere strømforbruk. Strupelyd fra spjeld og viftestøy reduseres også ved lavest mulig driftspunkt på aggregatet.

Optimalisering av aggregatdriften kan skje via justering av settpunktet til trykk, viftepådrag eller luftmengde. Dersom målepunktet til et VAV-spjeld er defekt eller tilsmusset kan det være fordelaktig å benytte trykkregulering, slik at man kan ha et øvre trykksettpunkt som en sikkerhet mot at trykket blir for høyt (Ingebrigtsen, 2020b, s. 215-218).

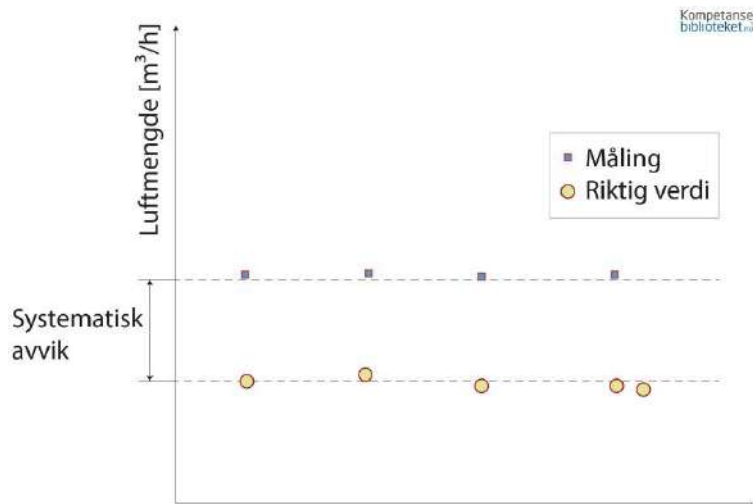
3.4 Måleusikkerhet

Alle målemetoder har feilkilder, og det er ikke mulig å måle helt eksakte verdier. Feilkildene deles inn i tre kategorier: grove feil, systematiske feil og tilfeldige feil (Ingebrigtsen, 2020b, s. 350). Selv om man klarer å unngå grove og systematiske feil, vil man som regel få noe variasjon i målingene. Dette skyldes gjerne små variasjoner i anlegget og tilfeldige feil.

3.4.1 Systematiske og grove feil

De mest vanlige årsakene til grove feil er at man jobber under dårlige forhold, at man mangler arbeidsrutiner eller har mangel på kunnskap. Grove feil kan oppdages ved å kontrollmåle tidligere målinger.

Systematiske avvik innebærer måleverdier som avviker samme vei fra de faktiske verdiene (Figur 2-9). Systematiske feil kan for eksempel oppstå ved bruk av måleinstrumenter som ikke er kalibrert (Ingebrigtsen, 2020b, s. 351).



Figur 2-9: Systematiske avvik – Opphav: Kompetansebiblioteket

3.4.2 Tilfeldige feil

Tilfeldige feil deles inn i tre hovedkategorier: instrumentfeil, metodefeil og avlesningsfeil. Den totale målefeilen kan beregnes ved formel 16 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 351).

$$m_{tot} = \sqrt{m_i^2 + m_m^2 + m_a^2} \quad [\%] \quad \text{Formel 16}$$

der

- m_i Instrumentfeil [%]
- m_m Metodefeil [%]
- m_a Avlesningsfeil [%]

For å beregne total målefeil må man anslå hver feilkilde. Det er vanskelig å oppnå mindre målefeil enn $\pm 6-7$ prosent. Ønsker man bedre målenøyaktighet må anlegget prosjekteres slik at dette er mulig. Anlegget må bygges med gode rettstrekk ved målepunkter, slik at det blir mulig å måle mer nøyaktig (Ingebrigtsen, 2020b, s. 352).

Kalibreringen av instrumentene vil aldri bli helt perfekt, dette påvirker instrumentfeilen. Instrumentfeil skal oppgis av produsenten og kan beregnes ved formel 17 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 352).

$$m_i = \sqrt{m_{i,d}^2 + m_{i,k}^2} \quad [\%] \quad \text{Formel 17}$$

der

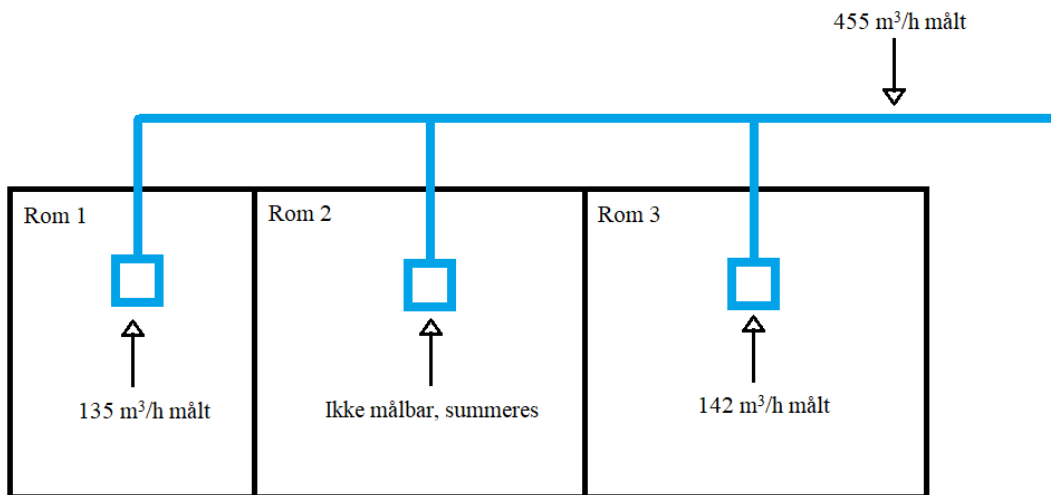
- $m_{i,d}$ Instrumentfeil oppgitt i dokumentasjon [%]
- $m_{i,k}$ Instrumentfeil som skyldes ikke-perfekt kalibrering [%]

Med metodefeil menes det målefeilen til målemetoden som brukes. Eksempelvis er målefeilen for kanalmålinger på 4-6 prosent. Metodefeil varierer for de ulike målemetodene (Ingebrigtsen, 2020b, s. 351).

Avlesningsfeil er avhengig av skalainndelingen til instrumentet. Skalaer som ikke er lineære kan gi en avlesningsfeil på 3 prosent eller mer. Digitale instrumenter vil ha en avlesningsfeil på en halv enhet av siste siffer (Ingebrigtsen, 2020b, s. 352).

3.4.3 Sammensatte feil

Man kan summere flere målinger for å komme frem til luftmengden ved et punkt som ikke er målbart. I eksempelet i figuren under kan man finne luftmengden i rom 2 ved å subtrahere luftmengden i rom 1 og rom 3 fra totalmengden (Figur 2-10; Formel 18).



Figur 2-10: Summering av luftmengder – Figur: Stian Brekke

$$\begin{aligned}\dot{V}_{Rom2} &= \dot{V}_{tot} - (\dot{V}_{Rom1} + \dot{V}_{Rom3}) \\ \dot{V}_{Rom2} &= 455m^3 / h - (135 + 142)m^3 / h \\ \dot{V}_{Rom2} &= 172m^3 / h\end{aligned}$$

Formel 18

Om man summerer luftmengder for å finne totalluftmengden, kan man finne sannsynlig sammensatte feilverdi ved formel 19 (Ingebrigtsen, 2020b, s. 353).

$$\dot{V}_{feil,tot} = \sqrt{(\dot{V}_1 \cdot m_1)^2 + (\dot{V}_2 \cdot m_2)^2 + \dots + (\dot{V}_n \cdot m_n)^2} \quad [m^3/h]$$

Formel 19

der

- \dot{V}_1 Delluftmengde 1 $[m^3 / h]$
- m_1 Total målefeil mengde 1 [%]
- \dot{V}_2 Delluftmengde 2 $[m^3 / h]$
- m_2 Total målefeil mengde 2 [%]
- \dot{V}_n Delluftmengde n $[m^3 / h]$
- m_n Total målefeil mengde n [%]

3.5 Støv og tilsmussing i ventilasjonsanlegg

I VAV- og DCV-anlegg er det viktig å bruke spjeld som er robuste mot støvpåvirkning. Spjeld på avtrekkssiden er spesielt utsatt (Mysen & G. Schild, 2013, s. 20). Tilsmussingsgraden man kan forvente i ulike deler av ventilasjonsanlegget er beskrevet i påfølgende tabell (Tabell 2-2) (Nilsen, 2004, s. 2).

Del av anlegget	Tilsmussingsgrad		
	Høy	Middels	Lav
Luftinntak	X		
Inntakskamre og store plenumskamre	X		
Filtre	X		
Vifter	X		
Komponenter i aggregat	X		
Spjeld, måleblendere osv. i kanalnett		X	
Lydfeller		X	
Følere		X	
Tilluftskanaler, vertikale			X
Tilluftskanaler, horisontale		X	
Ved kanalbend	X		
Tilluftsventiler		X	
Induksjonsapparater	X		
Avtrekksventiler	X		
Avtrekkskanaler	X		
Kanaler med innvendig isolasjon	X		

Tabell 2-2: Tilsmussingsgrader i ventilasjonsanlegg – Opphav: Sintef Byggforsk

Erfaringsmessig skjer tilsmussing hovedsakelig på avtrekkssiden i ventilasjonsanlegget, og risikoen for tilsmussing er størst i små kanaler. I avtrekkskanaler med små dimensjoner øker tilsmussingen med økende lufthastighet. Forurensning i avtrekkskanalene kommer gjerne fra forurensningen i romlufta i de ventilerte rommene, som for eksempel tekstiler, hår og hudflak. Ved relativ luftfuktighet over 80 prosent er det også fare for at anlegget kan bli forurenset av sopp og bakterier (Nilsen, 2004, s. 2–3). Sintef Byggforsk anbefaler følgende kontrollintervall av støv i ventilasjonsanlegg som er i drift (Tabell 2-3):

Type bygning	Anbefalt kontrollintervall (år)
Skoler, barnehager, sykehus o.l	2
Kontorer, salgslokaler o.l.	3
Boliger med mer enn to boenheter	6
En- og tomannsboliger	10

Tabell 2-3: Anbefalte kontrollintervaller for ventilasjonsanlegg – Opphav: Sintef Byggforsk

Det er viktig at det sikres god tilkomst til rengjøring av kanalnettet. Ofte kan rengjøring utføres via anleggets ventiler eller inspeksjonsluker i kanalnettet. Det er anbefalt at ingen områder i

kanalnettet er lenger unna en inspeksjonsluke enn 7,5 meter. Det bør heller ikke være mer enn én dimensjonsendring eller én retningsendring over 45° fra inspeksjonspunktet. I tillegg anbefales det at det installeres inspeksjonsluker ved alle punkter uten mulighet for gjennomgående rengjøring, som for eksempel spjeld og lydempere (*Standard Norge*, 2007, s. 8–9).

3.6 Infiltrasjonstap og ventilasjonstap

Infiltrasjonstap kan oppstå som en konsekvens av trykkdifferanser i bygget. Trykkdifferanser kan oppstå ved for eksempel ubalanse i ventilasjonssystemet, vind eller temperaturdifferanse mellom utetemperatur og byggets temperatur. Infiltrasjonstapet beskriver varmetapet forårsaket av uønsket luftstrømning gjennom klimaskallet (Ingebrigtsen, 2020a, s. 338). Infiltrasjonstapet kan beregnes ved formel 20.

$$\Phi_i = \frac{n_i \cdot V \cdot C_{pl} \cdot \rho \cdot (T_i - T_{DUT})}{3600} \quad [\text{W}] \quad \text{Formel 20}$$

der

- n_i Virkelig luftvekslingstall $[\text{l} / \text{h}]$
- V Romvolum $[\text{m}^3]$
- C_{pl} Luftens spesifikke varmekapasitet $[\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})]$
- ρ Luftens tetthet $[\text{kg} / \text{m}^3]$
- T_i Romtemperatur $[\text{°C}]$
- T_{DUT} Dimensjonerende utetemperatur $[\text{°C}]$

Varmetap forårsaket av ventilasjon, uten varmegjenvinning, kan beregnes ved formel 21 (Ingebrigtsen, 2020a, s. 341).

$$\Phi_v = \frac{\dot{V} \cdot C_{pl} \cdot \rho \cdot (T_i - T_{dut})}{3600} \quad [\text{W}] \quad \text{Formel 21}$$

der

- \dot{V} Ventilasjonsmengde $[\text{m}^3 / \text{h}]$

3.7 Graddagstall

Formålet med graddagstallet er å kunne estimere varmebehovet til en bygning. Graddagstallet baseres på en grensetemperatur på 17 °C. Dersom utemperaturen overstiger 17 °C, forutsetter man at man oppnår ønsket innetemperatur med interne laster og soltilskudd. Strengere krav til energieffektivitet gjennom revisjoner av Byggteknisk forskrift, har ført til lavere varmetapstall i bygninger. Med lavere varmetapstall i nyere bygninger starter oppvarmingsbehovet ved lavere temperaturer (Tabell 2-4) (Ingebrigtsen, 2020b, s. 132).

Varmeteknisk nivå på bygget	T _{base} [°C]
Passivhus-nivå	9
TEK10-nivå	13
TEK97-nivå	15
TEK87-nivå eller eldre	17

Tabell 2-4: Veiledende basistemperatur basert på teknisk standard – Ophav: Kompetansebiblioteket

Gradtallet finner man ved å se på differansen mellom grensetemperaturen på 17 °C og døgnetts middeltemperatur. Hvis døgnetts middeltemperatur er høyere enn 17 °C, settes gradtallet til 0. Graddagstallet er summen av alle gradtall igjennom hele året.

I dag brukes graddagstallet til å korrigere energiforbruk for et gitt år til et normalår, slik at de kan sammenlignes. Graddagstallet gjør det også mulig å sammenligne energiforbruk i bygg i forskjellige deler av landet (Ingebrigtsen, 2020b, s. 131-132).

Energiforbruket til oppvarming av luft i et ventilasjonsanlegg kan overslagsberegnes ved hjelp av graddager (Ingebrigtsen, 2020b, s. 133). Energiforbruket til oppvarming av luften, uten varmegjenvinning, kan beregnes ved formel 22.

$$E_{vent.oppv} = \frac{V \cdot C_{pl} \cdot \rho \cdot G_{\text{år}} \cdot 24}{3600} \cdot \frac{a}{52} \cdot \frac{b}{7} \cdot \frac{c}{24} \quad [\text{Wh/år}] \quad \text{Formel 22}$$

der

- V Luftmengde $[m^3 / h]$
- C_{pl} Luftens spesifikke varmekapasitet $[J / (kg \cdot K)]$
- ρ Luftens tetthet $[kg / m^3]$
- a Antall driftsdager per år $[\text{uker/år}]$
- b Antall driftsdøgn per uke $[\text{døgn/uke}]$
- c Antall driftstimer per døgn $[\text{h/døgn}]$

Varighetsdiagrammet viser oppvarmingsbehovet for et tilluftssystem uten varmegjenvinner, der byggets varmetekniske nivå er på TEK87-nivå (Ingebrigtsen, 2020b, s. 134) (Diagram 2-1). Arealet av det skraverte området tilsvarer graddagstallet for Oslo.

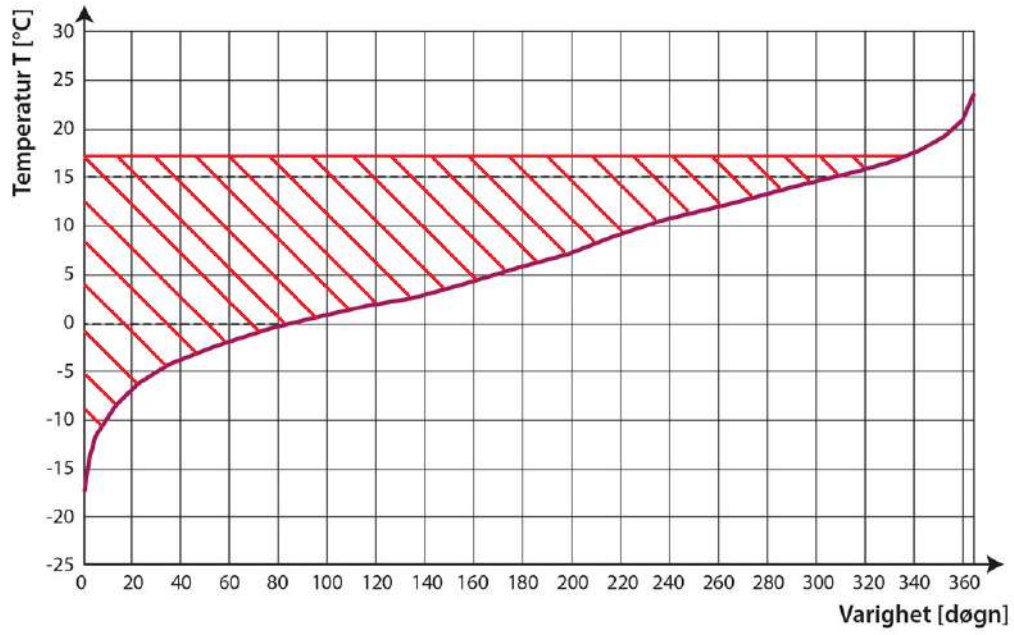


Diagram 2-1: Varighetsdiagram for temperaturer i Oslo, perioden 1981–2000
Opphav: Kompetansebiblioteket. Redigert av: Gruppe 2

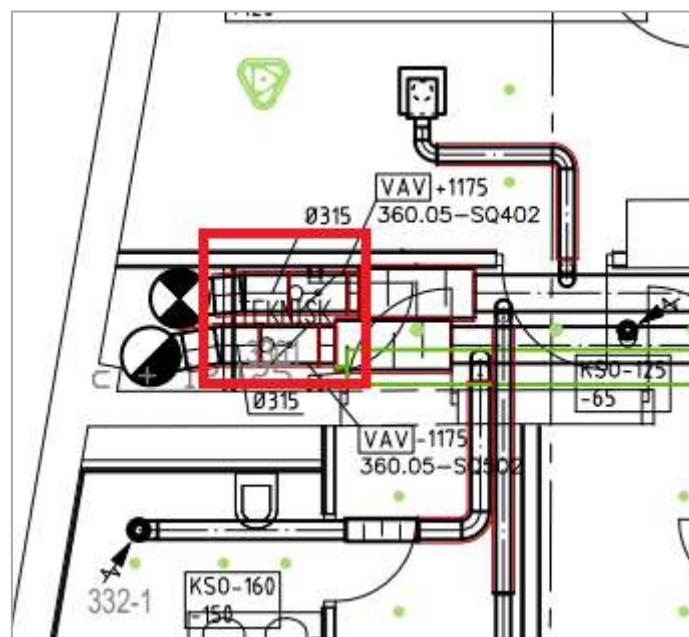
4 Beskrivelse av Thon Hotel Spectrum

Thon Hotel Spectrum ligger i Oslo sentrum og strekker seg over adressene Brugata 3, 5 og 7. Bygget ble oppført på slutten av 1800-tallet, men har gjennomgått flere oppgraderinger og bruksendringer gjennom årene. Hotellet består av 187 hotellrom og har vært i drift siden 1994. Hotellet ble rehabilitert fra 2015 til 2017 og alle tekniske installasjoner, inkludert røranlegg, det elektriske anlegget og ventilasjonsanlegget, ble revet og lagt opp på nytt. Ventilasjonsanlegget består av seks ventilasjonsaggregater som blant annet betjener hotellrom, kjøkken, restaurant og butikker (Tabell 3-1). Anleggene er utstyrt med VAV-spjeld på hovedkanaler ut av sjakt, som styres mellom minimum og maksimum luftmengde etter forhåndsinnstilte tider.

Systemnummer	Prosjekttert [m ³ /h]	Betjeningsområde
360.01	3 800	Butikker og div.
360.02	8 000	Kjøkken og anretning
360.03	7 500	Hotellrom (45 rom)
360.04	27 000	Hotellrom (119 rom)
360.05	3 500	Hotellrom (23 rom)
360.06	10 000	Restaurant og pub

Tabell 3-1: Systemoversikt for Thon Hotel Spectrum – Opphav: Gruppe 2

For å avgrense prosjektets omfang er ventilasjonssystem 360.05 valgt ut som testsystem for forsøket. Anlegget betjener tre etasjer med totalt 23 hotellrom. I tillegg til hotellrommene anlegget betjener, dekker det også én korridor i hver etasje, samt trappesjakt mellom andre og fjerde etasje. I andre og tredje etasje er det åtte hotellrom i hver etasje, og i fjerde etasje er det totalt syv hotellrom. Hver etasje forsynes av en tilluftskanal og en avtrekkskanal med dimensjon $\varnothing 315$ mm. På hver av hovedkanalene i etasjene er det montert et VAV-spjeld ut av sjakta (Figur 3-1, Vedlegg 1).



Figur 3-1: Utsnitt fra plantegning av Thon Hotel Spectrum, Plan 3 – Opphav: Olav Thon Gruppen

Videre følger en detaljert beskrivelse av betjeningsområdenes utforming. I tillegg til en beskrivelse av ventilasjonsanleggets utforming og produktvalg, blir rommenes øvrige materialer beskrevet. Hensikten er å danne et bilde av mulige sammenhenger mellom materialvalg og tilsmussing. Denne rapporten undersøker ikke årsakene til tilsmussingen, men informasjon om materialene kan være relevant for eventuell fremtidig forskning.

4.1 Hotellrommenes utforming

Alle hotellrommene er utstyrt med en tilluftsventil plassert på soverommet, en avtrekksventil på baderommet, og en spalte under døra for overstrømning fra soverom til bad. Avtrekkspunktene er, med noen unntak, plassert i nærhet av dusjsonen og er utstyrt med kontrollventiler av typen KSO i dimensjon $\varnothing 160$ mm (Bilde 3-1). Ventilene har mulighet for regulering og trykkmåling direkte på ventilen.



Bilde 3-1: KSO - Avtrekksventil på bad – Foto: Stian Brekke

Tilluftsventilene er en blanding av veggmonterte og takmonterte ventiler. De veggmonterte ventilene er av typen Swegon PELICAN W (Bilde 3-2) med plenums-kammer av typen Swegon ALV i dimensjon $\varnothing 160$ mm. De takmonterte ventilene er av typen Swegon PELICAN CS (Bilde 3-3) med plenums-kammer av typen Swegon ALS i dimensjon $\varnothing 126$ -160 mm. Begge plenums-kamrene er utstyrt med manuelt reguleringssjeld og trykkmåleuttak.



Bilde 3-2: Swegon PELICAN W - Veggmontert tilluftsventil – Foto: Stian Brekke



Bilde 3-3: Swegon PELICAN CS - Takmontert tilluftsventil – Foto: Stian Brekke

Soverommene er møblert med dobbeltsenger, arbeidsbord, garderobeskap og en lenestol. Gulvet er av parkett, veggene av gips og vinduene har tunge, lystette gardiner. Badene har enkelt- eller dobbeltservant, dusjhjørne med glassdører, toalett og et veggmontert håndklestativ. Enkelte bad har også badekar. Gulv og vegger på bad er flislagt og taket er av gips. Soverommene har vannbårne radiatorer montert under vindu langs ytterveggen.

4.2 Korridorenes og øvrige områders utforming

I hver korridor er det montert én tilluftsventil og én avtrekksventil. Tilluftsventilene er av modellen Swegon Lockzone Ceiling med plenumskammer av typen Swegon ALS i dimensjon $\varnothing 125$ -160 mm. Det er benyttet kontrollventiler av modellen KSO på avtrekkspunktene i dimensjon $\varnothing 125$ mm. I tilstøtende trappesjakt er det montert en tilluftsventil i andre etasje og en avtrekksventil i fjerde etasje. Tilluftsventilen er veggmontert og av typen Swegon Lockzone Wall med plenumskammer av modellen Swegon ALV i dimensjon $\varnothing 125$ mm. Avtrekksventilen er av typen KSO i dimensjon $\varnothing 160$ mm.

Gulvet i korridorene er teppelagt og veggene er av gips. Taket er utført med A-kant systemhimling, med himlingsplater i dimensjon 600x600 mm. Korridorene har åpen løsning mot andre ventilasjonssystemer.

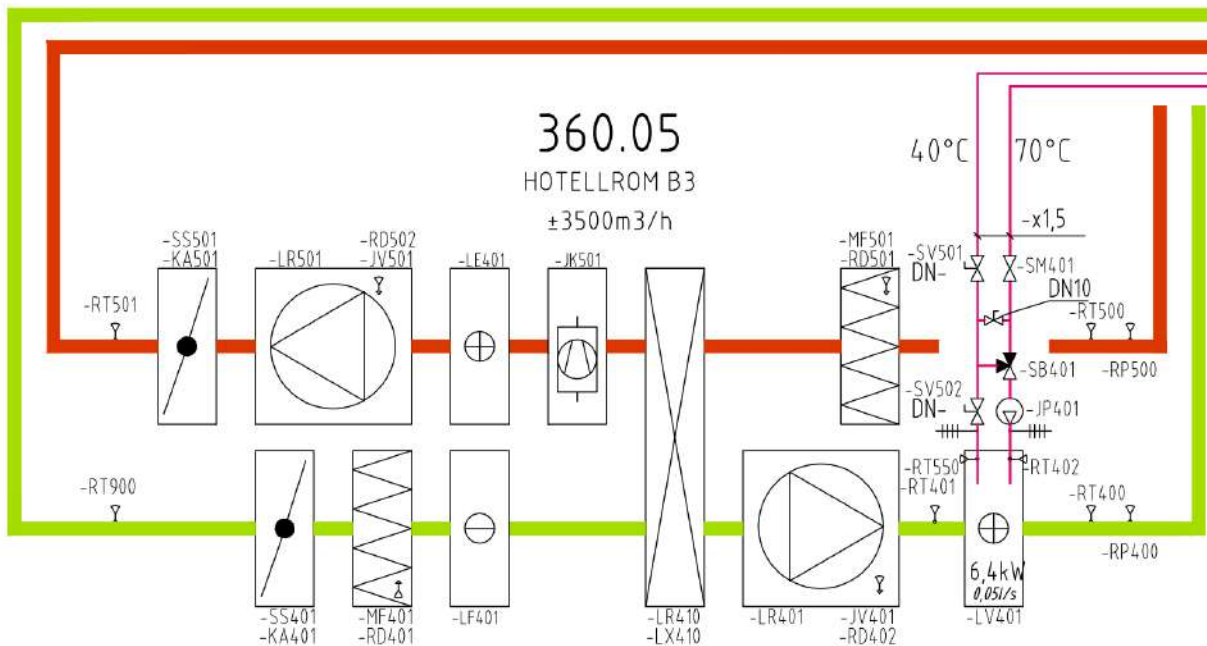
4.3 VAV-spjeldenes reguleringsprinsipp

Hver etasje forsynes av en tilluftskanal og en avtrekkskanal, med kanalmonterte VAV-spjeld. VAV-spjeldene er av typen Trox Leo med et integrert målekors og regulator. Spjeldene er innstilt med settpunkt for minimum og maksimum luftmengde. Anlegget har en enkel form for VAV-regulering der spjeldene styres til maksimum eller minimum luftmengdesettpunkt etter en forhåndsinnstilt tidskatalog i SD-anlegget. Tidskatalogen er felles for alle seks spjeld på tilluft- og avtrekksiden slik at funksjonen i praksis blir svært lik et tradisjonelt konstantmengdeanlegg der aggregatet reguleres mellom høy og lav fart.

4.4 Aggregatets komponenter og reguleringsprinsipp

Ventilasjonsaggregatet blir regulert av automatikkanlegget, etter spjeldvinkeloptimalisering, der VAV-spjeldenes spjeldvinkel leses av. Største ønskede spjeldåpning på VAV-spjeldene er innstilt til 85 prosent, og aggregatet vil regulere for å opprettholde den ønskede spjeldposisjonen.

Aggregatet er plassert i kjelleretasjen og er utstyrt med roterende varmegjenvinner og kammervifter med frekvensomformere. Det sitter posefilter før både tillufts- og avtrekksvifta (Figur 3-2). Temperaturen er avtrekksregulert på sommeren, og utekompensert på vinterstid. Anlegget har vannbårent varmebatteri og varmepumpe. Den dimensjonerende luftmengden for anlegget er 3500 m³/h ved et eksternt trykk på 230 Pa (Vedlegg 25).



Figur 3-2: Systemskjema for system 360.05 – Opphav: Olav Thon Gruppen

5 Forsøk og målemetoder

Rapporten besvarer prosjektets problemstilling ved å gjennomføre inngående undersøkelser på et utvalgt system på Thon Hotel Spectrum. Resultatene av undersøkelsen har gitt en svært detaljert beskrivelse av anleggets oppbygging, tilstand og endring gjennom prosjektet. Ulempen ved å kun undersøke ett utvalgt anlegg er at det ikke beskriver tilstanden på alle hoteller i Oslo og i landet. Det er store forskjeller i systemvalg, utforming og drift som gir store individuelle forskjeller mellom hotellene, som ikke gjenspeiles i en detaljundersøkelse som denne.

Effekten av kanalrengjøringen skal vurderes ut ifra anleggets endring i vifteeffekter og energiforbruk. Det har derfor vært nødvendig å gjennomføre en rekke målinger fysisk på plassen. Målingene har blitt gjennomført i ulike faser i prosjektet over en periode på åtte dager. Ettersom forsøket ble gjennomført parallelt med kanalrengjøringen og innreguleringen av anlegget, var det svært viktig å gjennomføre alle målinger som kan være relevante for evaluering av resultatene. Prosjektet var irreversibelt, og det var avgjørende å innhente nok informasjon underveis i gjennomføringen.

5.1 Andres oppgaver i prosjektet

Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Olav Thon Gruppen, Optice AS og AF Energi. Optice AS gjennomførte kanalrengjøringen og AF Energi rengjorde VAV-spjeldenes målekors, og innregulerte anlegget etter rengjøringen. Hotellet var i daglig drift, men berørte rom ble avstengt under forsøket. Det var derfor et stramt tidsskjema under forsøket for å minimere antallet dager med hotellrom ute av drift.

5.2 Beskrivelse av forsøkets fire scenarier

For å danne et sammenlignbart grunnlag for målingene har forsøkets stadier blitt delt i fire scenarier. Det er foretatt målinger av luftmengder og vifteeffekter ved alle fire scenarier og ved både minimum og maksimum luftmengder. Luftmengdene har blitt målt både på ventilnivå og ved kanalmålinger på hovedkanaler fra aggregatet. I alle scenarier er det målt vifteeffekter på både tilluftsvifta og avtrekksvifta. Det er også notert relevante data fra SD-anlegget under alle scenarier. Avlest data fra SD-anlegget er ført i eget skjema vedlagt rapporten (Vedlegg 3). I forkant av alle scenarier ble filtrene byttet med nye filtre (Bilde 3-4), slik at forskjeller i trykkfall over filtrene ikke skulle påvirke måledata og energiforbruk (Nilsen, 2004, s. 5).



Bilde 3-4: Filterbytte i forkant av målinger ved scenario 1 – Foto: Christoffer Hermansen

Intensjonen med scenariene er å danne et sammenlignbart grunnlag for målingene i forsøket. Scenario 1 og 4 gjenspeiler normal drift i anlegget før og etter rengjøringsprosjektet. Scenariene differensieres av urent og rent kanalnett og VAV-spjeld, og ventilenes innregulerte posisjoner. For å få et likt sammenligningsgrunnlag mellom scenario 2 og 3, er ventilene stilt i åpen posisjon. Hensikten er å unngå variabelen som trykkfallet over ventilene i ulike posisjoner gir. Formålet med scenario 2 og 3 er å kunne vurdere effekten av rengjøringen av kanalnettet og VAV-spjeldene, uavhengig av ventilenes posisjoner. Alle ventilposisjoner er kontrollert og notert i måleprotokollen (Vedlegg 4; Vedlegg 5).

En detaljert beskrivelse av scenariene følger videre:

Scenario 1. Scenario 1 gjenspeiler anleggets drift slik det var i forkant av tiltakene på anlegget. Under scenario 1 har luftmengdene i anlegget blitt kontrollert med ventiler i opprinnelige regulerte posisjoner. Luftmengdene har blitt målt på ventilnivå i tillegg til at det er foretatt kanalmålinger på hovedkanalene ut ifra aggregatet.

Scenario 2. Ved scenario 2 ble anlegget kontrollert med den opprinnelige innreguleringen nullstilt. Tidlige stikkprøver i prosjektet viste at luftmengdene i anlegget ikke stemmer med prosjekteringsunderlaget, og det er sannsynlig at ventilenes posisjon har blitt endret under anleggets driftstid. Formålet ved å kontrollere anlegget i en nullstilt posisjon er å eliminere ventilenes posisjon som en variabel, og dermed gjøre tilstanden før og etter rengjøringen mer sammenlignbar. Målingene er foretatt i forkant av kanalrengjøringen og ny innregulering.

Scenario 3. Ved scenario 3 har det blitt utført rengjøring av kanalnettet og VAV-spjeldene, og tilhørende målekors har blitt rengjort. Målingene er gjort i forkant av ny innregulering og det har blitt kontrollert at ventilenes posisjoner er uendret fra scenario 2. Resultatene fra scenario 3 skal benyttes til sammenligning med scenario 2, der eneste endring i anlegget er rengjøringen av kanalnettet og spjeldene.

Scenario 4. Ved scenario 4 er ny innregulering av anlegget utført og rengjøringsprosjektet ferdigstilt. Måleresultatene benyttes til sammenligning med scenario 1, der det sammenlignes normal drift før og etter rengjøringsprosjektet.

5.3 Målemetoder og utstyr benyttet i forsøket

I dette kapittelet følger en detaljert beskrivelse av målemetodene og utstyret som er benyttet i forsøket.

5.3.1 Utstyrsspesifikasjon

I forsøket er det benyttet en rekke måleutstyr (Tabell 4-1). Produktdatablader og bilder av utstyret er vedlagt rapporten. Videre følger en beskrivelse av utstyret som er benyttet i forsøket.

Nr.	Produkt	Fabrikat	Modell	Bruksområde	Kalibrert
1	Trykkmåler	Swema	3000md	Differansetrykkmålinger	02.12.2022
2	Hetetrådsanemometer	Swema	SWA 31	Hastighetsmålinger	02.12.2022
3	Prandtlrør	Kimo	Type L	Hastighetsmålinger	-
4	Måletrakt	Swema	236	Måling av avtrekksventiler	02.12.2022
5	Effekt- og energilogger	Chauvin Arnoux	PEL 103	Måling av vifteeffekter	-
6	Serviceverktøy	Belimo	ZTH EU	Kontroll av VAV-spjeld	-

Tabell 4-1: Oversiktsliste over utstyr benyttet i forsøket – Opphav: Gruppe 2

Swema 3000md

Swema 3000md (Vedlegg 18) er et digitalt manometer med display og automatisk omregning til luftmengder. Instrumentet har to måleuttak for måling av henholdsvis positivt og negativt trykk. Ved bruk av kun ett av måleuttakene måles trykkdifferansen mellom målepunktet og omgivelsene. Instrumentet benyttes blant annet til trykkmålinger i plenumskamre og kanalmålinger med prandtlrør. I tillegg har instrumentet mulighet for tilkobling av ekstrautstyr som hetetrådsanemometer og temperaturføler.

Swema 3000md krever årlig kalibrering og gyldig kalibreringsbevis skal foreligge ved innregulering (Vedlegg 9). Instrumentet har et trykkmåleområde på -300 til +1500 Pa og en måleusikkerhet på $\pm 0,3$ Pa. Den oppgitte måleusikkerheten gjelder for et måleområde på $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Vedlegg 11).

Swema SWA 31

SWA 31 (Vedlegg 19) er et hetetrådsanemometer som benyttes til hastighetsmålinger i kanaler og leveres som tilleggsutstyr til Swema 3000md. Hetetrådsanemometeret har en måleusikkerhet på $\pm 0,04$ m/s innenfor et måleområde på 0,10 til 1,33 m/s. Ved hastigheter mellom 1,33 og 30

m/s er målesikkerheten ± 3 prosent av avlest verdi (Vedlegg 12). Swema SWA 31 krever kalibrering hver tolvte måned og gyldig kalibreringsbevis skal foreligge ved innregulering (Vedlegg 8).

Kimo Prandtlrør

Prandtlrøret (Vedlegg 21) benyttes tilkoblet med måleslanger til Swema 3000md for hastighetsmålinger i kanaler. Instrumentet krever ingen kalibrering og har en målenøyaktighet bedre enn ± 1 prosent ved en vinkelforskyvning mot luftstrømmen opptil $\pm 10^\circ$ (Vedlegg 13).

Swema 236

Swema 236 (Vedlegg 20) er en måletrakt som er benyttet til måling av avtrekksventiler. Trakta er utstyrt med et integrert display for direkte avlesning av luftmengde, og instrumentet har et måleområde på 3,6 til 234 m³/h. Ved en lufttemperatur mellom 20 og 25 °C, har instrumentet en målesikkerhet på $\pm 3,5$ prosent (Vedlegg 14). Swema 236 krever kalibrering hver sjettemåned og kalibreringsbevis skal foreligge ved innregulering (Vedlegg 10).

Chauvin Arnoux PEL 103

PEL 103 (Vedlegg 22) er et digitalt instrument for logging av elektrisk energi og effekt. Instrumentet kan tilkobles både énfase og trefasesystemer for måling av strøm og spenning. Målenøyaktigheten er oppgitt til $\pm 0,2$ prosent (Vedlegg 15). I forsøket er PEL 103 benyttet til blant annet måling av aktiv, tilsynelatende og reaktiv effekt. Instrumentet har også mulighet for tilkobling til PC og det medfølger et PC-program for avlesning av måleresultater.

Belimo ZTH EU

Belimo ZTH (Vedlegg 23) er et serviceverktøy som benyttes til å avlese VAV-spjeldenes. Med verktøyet kan man blant annet lese av og justere innstilt minimum og maksimum luftmengde-settpunkt, målt luftmengde på spjeldet og spjeldvinkel. I forsøket er verktøyet benyttet til å kontrollere status på VAV-spjeldene og innstilte verdier.

5.3.2 Målemetoder for luftmengder

Ved alle fire scenarier er det foretatt luftmengdemålinger. Målingene er gjort både på ventilnivå og ved kanalmålinger på hovedkanalene fra aggregatet. Formålet med målingene på ventilnivå er å måle de nominelle luftmengdene, og kanalmålingene på hovedkanalene er for å måle brutto luftmengde. Alle prosjekterte og målte luftmengder, samt eventuelle avvik, er ført i en egen måleprotokoll (Vedlegg 4; Vedlegg 5). I tillegg til luftmengdemålingene, er det avlest og notert luftmengder på aggregatet og anleggets VAV-spjeld.

Tilluftsventilene har blitt målt med trykkmålinger på måleuttakene i tilluftsventilenes plenumskammer. Det er benyttet leverandørens korreksjonsfaktorer for omregning av det målte statiske trykket til leverte luftmengder. Trykkmålingene er utført med Swema 3000md. Avtrekksventilene er målt med SwemaFlow 236 der luftmengdene kan avleses direkte i instrumentets display.

Kanalmålingene er utført både med prandtlrør og hetetrådsanemometer. Målepunktet er plassert på egnet rettstrekk i kjelleren og målingene er utført med ni målepunkter i kanaltversnittet (Bilde 4-1; Vedlegg 24). Plantegning med markering av målepunktet er vedlagt rapporten (Vedlegg 16).

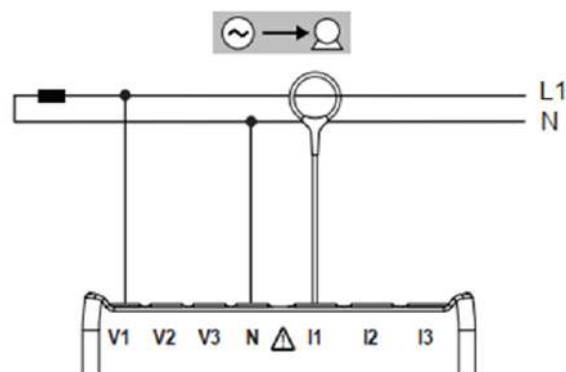


Bilde 4-1: Luftmengdemåling i hovedkanal i kjeller med hetetrådsanemometer – Foto: Christoffer Hermansen

5.3.3 Metode for måling av vifteeffekter

Ved alle de fire scenariene er vifteeffektene til både tillufts- og avtrekksvifta målt. Begge vifteeffektene er målt ved både maksimum og minimum luftmengde i anlegget. Effektmålingene er utført med PEL 103. Alle målinger er logget over intervaller på tre minutter for å ta høyde for eventuell pendling i anlegget, og det er gjennomsnittsverdiene i intervallene som benyttes i evalueringen av resultatene.

Kursene til viftene er énfasekurser som forsyner en frekvensomformer. I frekvensomformeren genereres en tredje fase slik at motorens strømforsyning er trefaset (Vedlegg 26). Målingene er gjort på énfasekursen i forkant av frekvensomformeren for å medta eventuelt effekttap i frekvensomformeren. Sammen med instrumentet medfølger magnettilkoblinger som enkelt festes magnetisk på skruklemmene til sikringene for måling av spenning. For måling av strømtrekket benyttes medfølgende fleksibel måleslynge som festes rundt faselederen. Instrumentets oppkobling er illustrert under, og bilder av oppkoblingen i forsøket er vedlagt rapporten (Figur 4-1; Vedlegg 17).



Figur 4-1: Oppkobling av PEL 103 for énfase 2-leder – Opphav: Chauvin Arnoux

6 Resultater og forebyggende tiltak

I dette kapitlet presenteres måleresultatene fra forsøket. Videre benyttes måleresultatene i beregninger for å se på blant annet energiforbruk til viftedrift og oppvarmingsbehov grunnet undertrykk i bygget. Avslutningsvis i kapitlet vurderes mulige sammenhenger og årsaker, og noen forebyggende tiltak foreslås.

De viktigste funnene som ble gjort i forsøket var blant annet et avtrekksspjeld i andre etasje hvor målekorset var så tilsmusset at spjeldet hadde store måleavvik og en spjeldposisjon på 100 prosent. Spjeldposisjonen førte til at avtrekksvifta hadde fullt pådrag. Med fullt pådrag på avtrekksvifta var det, i tillegg til en økning i energiforbruk til viftedrift, et undertrykk i bygget som påvirket byggets infiltrasjonstap negativt. Det stilles også spørsmål ved bruk av SFP-verdi som en målestokk for energieffektiviteten til ventilasjonsanlegg.

6.1 Måleresultater

I de påfølgende underkapitlene omtales måleresultatene fra forsøkets fire scenarier. De mest sentrale verdiene er presentert her, men en mer detaljert beskrivelse av måleresultatene er vedlagt rapporten (Vedlegg 4, Vedlegg 5). Målingene viste store forskjeller mellom tilluftssiden og avtrekkssiden av anlegget. På tilluftssiden var endringene i luftmengder, vifteeffekter og SFP-verdier små. På avtrekkssiden var derimot endringene større, med en redusert vifteeffekt på 47,5 prosent. I hovedsak skyldes endringene spjeldet i andre etasje som i forkant av rengjøringen hadde en spjeldvinkel på 100 prosent, som igjen førte til et viftepådrag på 100 prosent.

6.1.1 Målte luftmengder og avvik

Måleresultatene fra luftmengdemålingene viste sprikende verdier mellom de forskjellige målemetodene, men også store differanser mellom tillufts- og avtrekkssiden i anlegget (Diagram 5-1; Diagram 5-2). Differansene mellom de forskjellige målemetodene var svært systematiske, der luftmengdene avlest på aggregatets håndkontroll var høyere enn øvrige målinger ved alle fire scenarier. De målte luftmengdene på ventilene var derimot systematisk lavere enn målingene i hovedkanalene og på aggregatet (Ingebrigtsen, 2020b, s. 351). Kanalmålingene med hetetråsanemometer og prandtlrør var svært jevne, og lå nært gjennomsnittet av samtlige målinger.

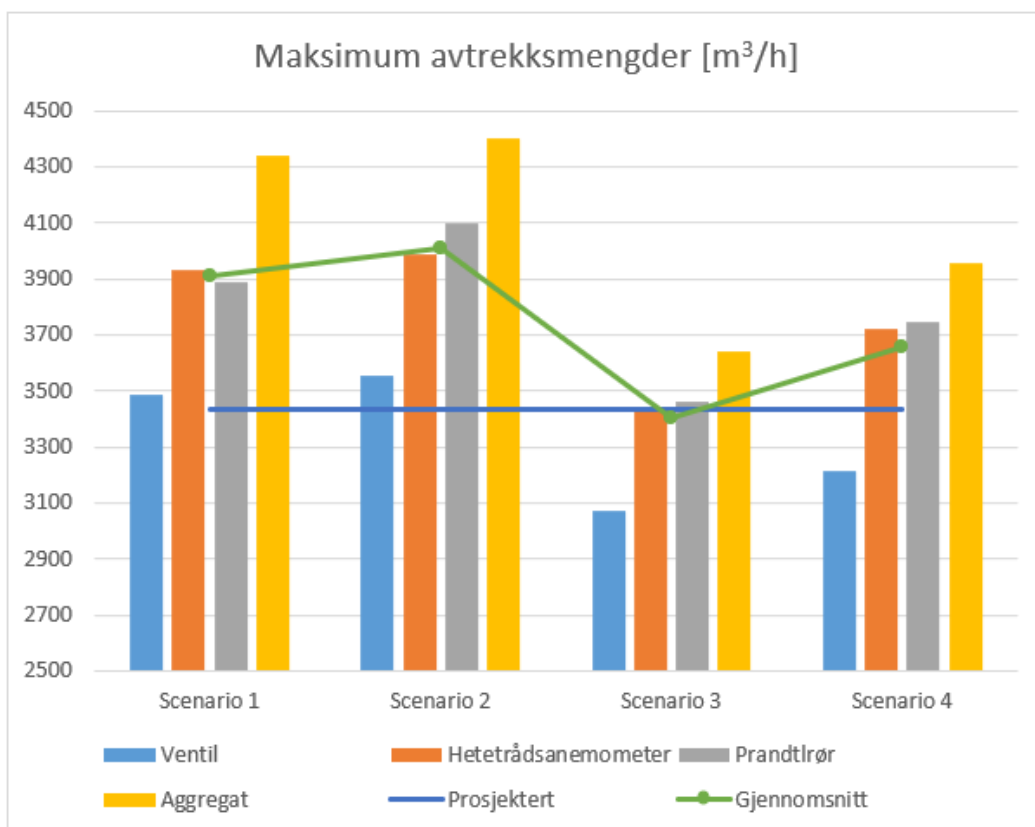


Diagram 5-1: Totale avtrekksmengder ved maksimum drift. Alle målemetoder sidestilt med prosjektert luftmengde.
Opphav: Gruppe 2

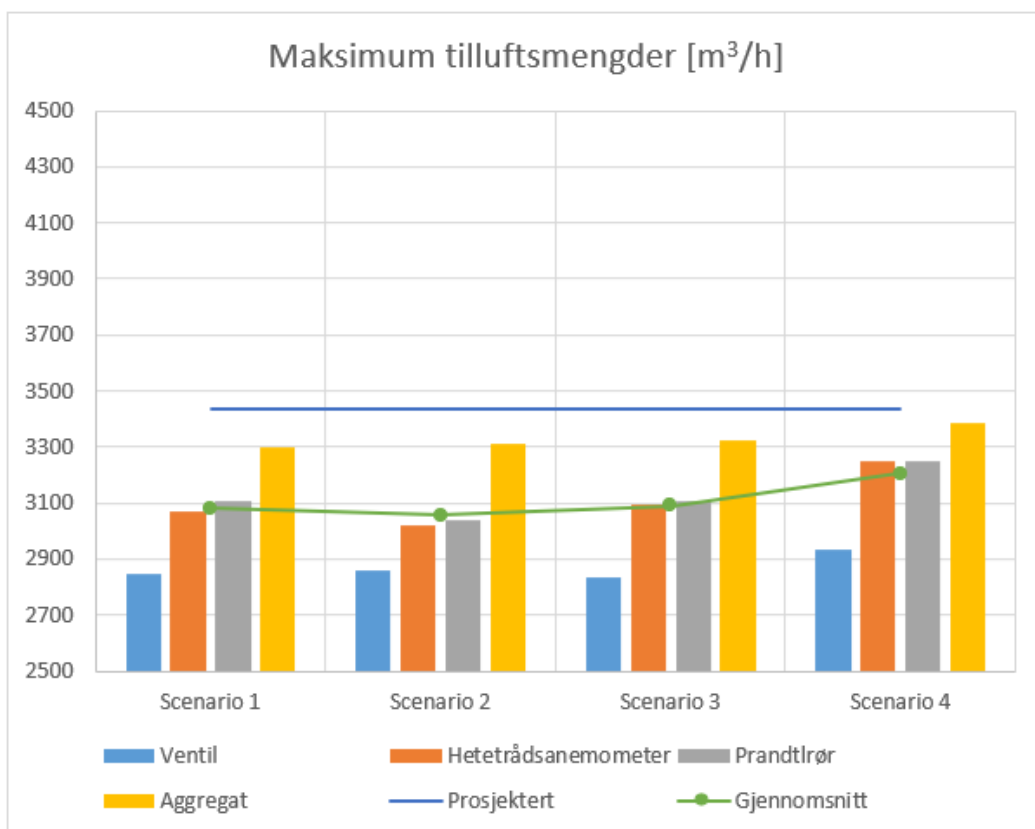


Diagram 5-2: Totale tilluftsmengder ved maksimum drift. Alle målemetoder sidestilt med prosjektert luftmengde.
Opphav: Gruppe 2

Årsaken til de varierende resultatene er usikker og sannsynligvis sammensatt. Ukjente lekkasjer i kanalnettet, eller endringer i kanalnettet som ikke fremkommer på tegning, kan ha medvirket til at den målte luftmengden på ventilene var lavere enn hovedmengdemålingene. Aggregatets måling beregnes med differansetrykket målt over vifta, og en korreksjonsfaktor oppgitt i produsentens dokumentasjon. Viftenes innstilte korreksjonsfaktor har blitt kontrollert, og stemte overens med anleggets produktokumentasjon (Vedlegg 25). Det ble ikke kontrollert om trykkfølerens måling var korrekt, ettersom det var praktisk vanskelig gjennomførbart med aggregatet i drift.

Grunnet usikkerheten rundt måleresultatene på ventilene og aggregatet, er beregningene av anleggets SFP-verdier videre i rapporten basert på måleresultatene med hetetråsanemometer i hovedkanalen. Lufthastigheten ved målepunktet var godt innenfor det anbefalte måleområdet for målemetoden, og tilstrekkelig rettstrekk var tilgjengelig (Ingebrigtsen, 2020b, s. 357 og 360). Det er ingen avgrensninger i forkant av målepunktet, så eneste faktor som kan påvirke målingen fra den faktiske totalmengden i anlegget er eventuelle ukjente lekkasjer. Avvikene mellom målemetodene var svært systematiske, slik at eventuelle måleavvik trolig var proporsjonale for alle målinger (Ingebrigtsen, 2020b, s. 350).

I tillegg til differansene mellom målemetodene, var det også store differanser mellom tillufts- og avtrekkssiden i anlegget. På tilluftssiden var det små endringer i måleresultatene ved de fire scenariene, med avvik fra prosjektert mengde for kanalmålingene mellom -5,4 og -12,1 prosent. På avtrekkssiden var det derimot stor forskjell mellom målt og prosjektert mengde før kanalrengjøringen. Ved scenario 2 viste kanalmålingen et avvik fra prosjektert mengde på 16,2 prosent. Ved scenario 3 etter kanalrengjøringen var avviket redusert til 0,2 prosent.

Den store differansen mellom tilluft og avtrekk har sammenheng med VAV-spjeldenes tilsmussing på avtrekkssiden og beskrives nærmere i neste kapittel. Ved scenario 2 var differansen mellom tillufts- og avtrekksmengden på 970 m³/h. Ved scenario 3 var differansen redusert til 347 m³/h. Luftmengdedifferansene resulterer i at betjeningsområdene har et undertrykk, og konsekvensene av dette drøftes i kapittel 5.2.5.

6.1.2 Spjeldenes tilstand under målingene

Med anleggets spjeldvinkeloptimaliserte regulering, er VAV-spjeldenes tilstand svært sentral for anleggets drift. Spjeldvinkler og luftmengder ble derfor avlest på spjeldenes regulatorer ved hvert scenario.

På tilluftssiden var det tilnærmet ingen endring i spjeldposisjonene før og etter rengjøringen (Diagram 5-3). I alle scenarier var spjeldet i tredje etasje førende for optimaliseringen med en spjeldvinkel på 85 prosent.

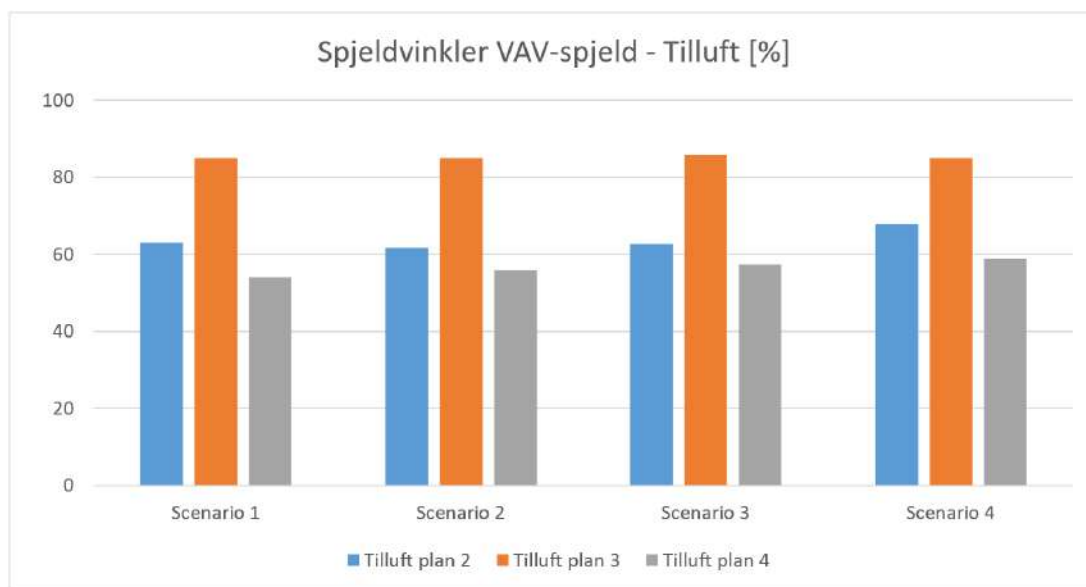


Diagram 5-3: Avleste spjeldvinkler på tilluftssiden per etasje. Gruppert per scenario – Opphav: Gruppe 2

På avtrekkssiden var det derimot store differanser mellom spjeldene ved hvert scenario (Diagram 5-4). I scenario 1 og 2 var spjeldet i andre etasje førende for anlegget, med en spjeldvinkel på 100 prosent. Aggregatet, som regulerer for å opprettholde en spjeldvinkel i kritisk vei på 85 prosent, hadde derfor et viftepådrag på 100 prosent. Ved scenario 3, etter rengjøringen, var kritisk vei flyttet til tredje etasje med en spjeldvinkel på 85 prosent, og viftepådraget var redusert til 71,3 prosent. I diagrammet ser man også at spjeldene som tidligere ikke var førende for anlegget, har høyere spjeldvinkler etter rengjøringen. Det har sammenheng med at anlegget har et betydelig lavere driftspunkt ved scenario 3 og 4.

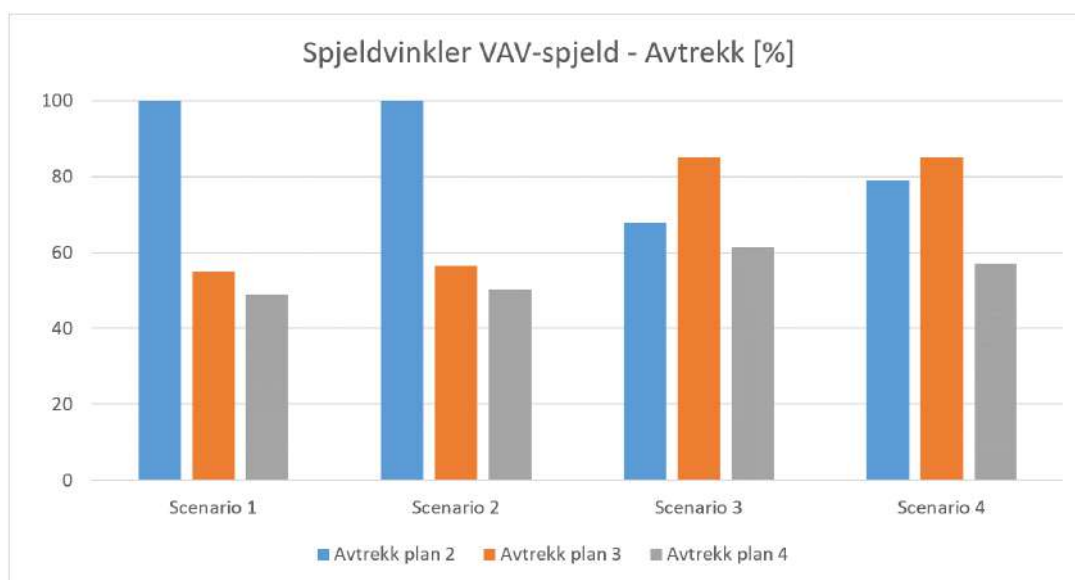


Diagram 5-4: Avleste spjeldvinkler på tilluftssiden per etasje. Gruppert per scenario – Opphav: Gruppe 2

Når målingene på spjeldenes underliggende ventiler summeres, viser resultatene en lavere luftmengde målt på ventilene sammenlignet med avleste mengder på spjeldene (Diagram 5-5). Unntaket fra dette er spjeldet i andre etasje ved scenario 1 og 2. Ved scenario 2 hadde spjeldet en avlest mengde på 1047 m³/h, mens den virkelige mengden målt på underliggende ventiler

var 1523 m³/h. Måleavviket skyldes i stor grad tilsmussingen på spjeldets målekors. Konsekvensene av spjeldets tilsmussing og måleavvik vurderes videre i kapittel 5.2. Ved scenario 3, etter rengjøringen, hadde spjeldet et tilsvarende systematisk negativt avvik mellom summert og avlest mengde som de øvrige VAV-spjeldene.

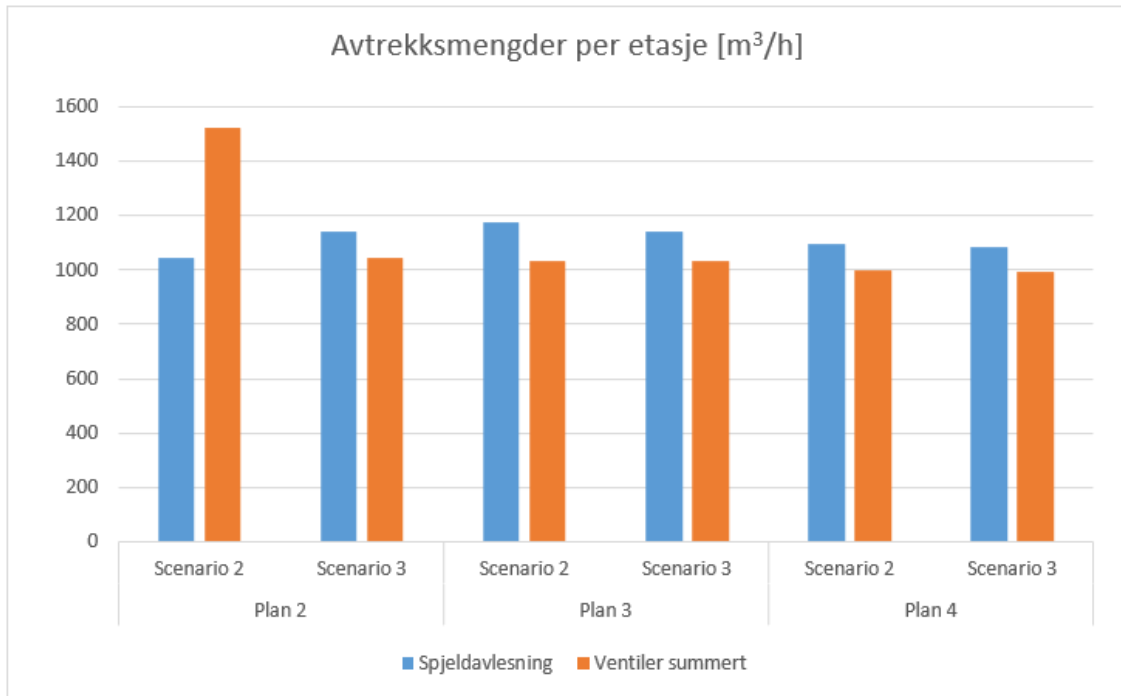


Diagram 5-5: Målte og avleste avtrekksmengder på ventiler og VAV-spjeld ved scenario 2 og 3. Gruppert per etasje – Opphav: Gruppe 2

6.1.3 Målte vifteeffekter og beregnede SFP-verdier

De målte vifteeffektene viser store forskjeller mellom tilluft og avtrekk. Det er i scenario 1 og 2, og særlig ved maksimum luftmengder, at avtrekksvifta skiller seg negativt ut med en betydelig høyere vifteeffekt enn tilluftsvifta (Diagram 5-6). Den høye vifteeffekten har direkte sammenheng med tilsmussingen på målekorsset til avtrekksspjeldet i plan 2, som førte til et viftepådrag på 100 prosent. Ved scenario 3 var vifteeffekten til avtrekksvifta redusert med hele 47,5 prosent. Effektmålingene på tilluftsvifta viste ikke like store utslag som på avtrekkssiden. Fra scenario 2 til 3 ble vifteeffekten redusert med 3,7 prosent.

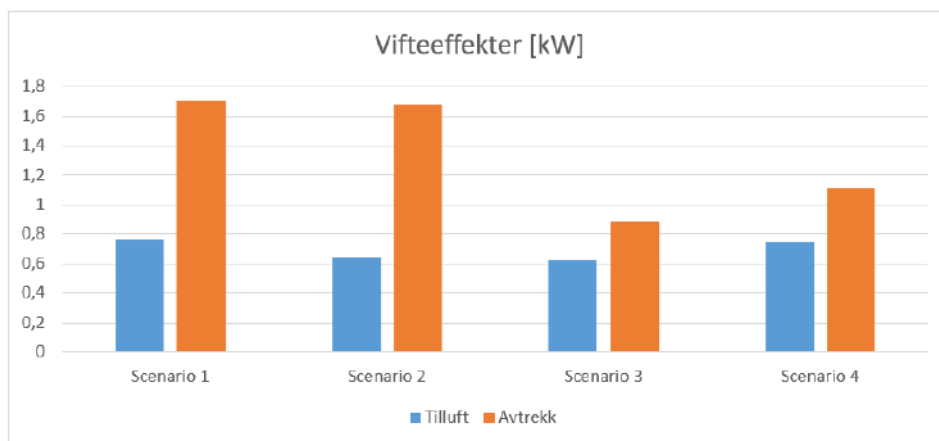


Diagram 5-6: Målte vifteeffekter for tilluft og avtrekk ved maksimum drift. Gruppert per scenario – Opphav: Gruppe 2

Ved scenario 1 og maksimum luftmengde, førte en feil på måleinstrumentets logging til at effektmålingen for tilluftsvifta ikke ble lagret. Som en sikkerhetsfaktor for uforutsette instrumentfeil ble det under forsøket notert aktuelle effekter og andre relevante verdier fra måleinstrumentets display. Det er derfor benyttet den manuelt avleste vifteeffekten for tilluftsvifta ved scenario 1.

Vifteeffektene og luftmengdemålingene er benyttet til å beregne anleggets SFP-verdi. Komplette beregninger er vist i den detaljerte beskrivelsen av måleresultatene vedlagt rapporten (Vedlegg 6). I de påfølgende tabellene er luftmengder og vifteeffekter ført opp, samt beregnede SFP-verdier (Tabell 5-1; Tabell 5-2; Tabell 5-3; Tabell 5-4). Resultatene er samlet i en felles oversikt for hvert enkelt scenario. SFP-verdiene for tilluftsvifta er beregnet ut ifra tilluftsmengden, mens de øvrige SFP-verdiene er beregnet ut ifra avtrekksmengden, som var den største luftmengden i anlegget.

Scenario 1	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3935	3069	2161	1566	m ³ /h
Vifteeffekt	1,701	0,760	0,381	0,133	kW
SFP-verdi	1,556	0,891	0,635	0,306	kW/(m ³ /s)
SFP-verdi samlet	2,251		0,856		kW/(m ³ /s)

Tabell 5-1: Målte vifteeffekter, luftmengder og beregnede SFP-verdier i scenario 1 – Ophav: Gruppe 2

Scenario 2	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3990	3020	2224	1602	m ³ /h
Vifteeffekt	1,683	0,647	0,351	0,123	kW
SFP-verdi	1,518	0,771	0,568	0,276	kW/(m ³ /s)
SFP-verdi samlet	2,102		0,767		kW/(m ³ /s)

Tabell 5-2: Målte vifteeffekter, luftmengder og beregnede SFP-verdier i scenario 2 – Ophav: Gruppe 2

Scenario 3	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3443	3096	1815	1704	m ³ /h
Vifteeffekt	0,884	0,623	0,182	0,125	kW
SFP-verdi	0,924	0,724	0,361	0,264	kW/m ³ /s
SFP-verdi samlet	1,576		0,609		kW/m ³ /s

Tabell 5-3: Målte vifteeffekter, luftmengder og beregnede SFP-verdier i scenario 3 – Ophav: Gruppe 2

Scenario 4	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3720	3249	1628	1316	m ³ /h
Vifteeffekt	1,109	0,752	0,165	0,095	kW
SFP-verdi	1,073	0,833	0,365	0,260	kW/(m ³ /s)
SFP-verdi samlet	1,801		0,575		kW/(m ³ /s)

Tabell 5-4: Målte vifteeffekter, luftmengder og beregnede SFP-verdier i scenario 4 – Ophav: Gruppe 2

I likhet med viftenes reduserte effektbehov, er også anleggets SFP-verdi redusert etter kanalrengjøringen. Fra scenario 2 til 3 (Tabell 5-2; Tabell 5-3) ble anleggets totale SFP-verdi redusert med 25,0 prosent. Ser man på SFP-verdien for hver enkelt vifte er det tydelig at rengjøringen har gitt størst utslag på avtrekksvifta, med en reduksjon på 39,1 prosent fra scenario 2 til 3. Sammenligner man status før og etter prosjektet i scenario 1 og 4 (Tabell 5-1; Tabell 5-4) er reduksjonen noe mindre, med en redusert SFP-verdi på 20,0 prosent.

6.2 Drøfting av sammenhenger og konsekvenser

Forsøket har blitt gjennomført ved fire forskjellige scenarier, der scenario 2 og 3 har til formål å synliggjøre effekten av selve rengjøringen av kanalnettet og spjeldenes målekors, uavhengig av forskjellene i ventilposisjonene før og etter innregulering. Scenario 1 og 4 viser den reelle driftsituasjonen til anlegget før og etter prosjektet. Under drøftingen vil særlig resultatene fra scenario 2 og 3 bli vektlagt, ettersom rapportens hovedformål er å undersøke konsekvensene av tilsmussingen. Det vil likevel bli gitt noen betraktninger rundt endringene i anlegget ved de øvrige scenariene.

Målingene i forsøket er også gjennomført for både maksimum og minimum luftmengder i anlegget. For å begrense omfanget av rapporten noe, er det valgt å vektlegge vurderingen av måleresultatene ved maksimum luftmengder. Noen vurderinger av endringer ved minimumsmengder i anlegget vil likevel bli tatt med, blant annet for å beregne årlig energiforbruk før og etter rengjøring. Måleresultatene viser også at de største endringene før og etter rengjøringen var på avtrekkssiden i anlegget, og avtrekkssiden vies derfor noe mer oppmerksomhet.

6.2.1 Måleavvik i tilsmussede VAV-spjeld

Ved prosjektets oppstart ble det raskt klart at det var store måleavvik på anleggets VAV-spjeld, og spesielt avtrekksspjeldene skilte seg negativt ut. Anlegg med spjeldvinkeloptimalisering er svært sårbare for målefeil på spjeldene, som kan resultere i uønsket høy drift på viftene (Ingebrigtsen, 2020b, s. 218). De første undersøkelsene i anlegget viste at avtrekksspjeldet i andre etasje stod med en spjeldvinkel på 100 prosent. Dette førte til at avtrekksvifta hadde et viftepådrag tett opp mot 100 prosent. Kontrollmålingene av de underliggende ventilene viste at det gikk en betydelig høyere luftmengde enn innstilt på spjeldet, tross en avlest mengde som var lavere enn innstilt verdi.

I forkant av prosjektets oppstart ble det installert inspeksjonsluker i nærheten av VAV-spjeldenes målekors. En visuell kontroll av avtrekksspjeldene i anlegget viste at målekorsene var svært tilsmusset (Bilde 5-1). Ved scenario 2 var den virkelige luftmengden levert av spjeldet i andre etasje 46 prosent høyere enn det spjeldets måling viste. Måleresultatene etter rengjøringen av spjeldenes målekors bekrefter at måleavviket skyldtes tilsmussingen. Etter rengjøringen ble det målt en virkelig luftmengde gjennom spjeldet 9 prosent lavere enn avlest mengde. Spjeldvinkelen hadde da også gått ned til 67,8 prosent, og viftepådraget i aggregatet var redusert til 71,3 prosent.



Bilde 5-1: Tilsmusset målekors i VAV-spjeld. Avtrekk plan 3 – Foto: Stian Brekke

Målinger på tilluftsspjeldene og de øvrige avtrekksspjeldene viste ikke samme tendens som avtrekksspjeldet i andre etasje. Generelt var den målte virkelige luftmengden gjennom spjeldene lavere enn den avleste mengden fra spjeldet, slik det ble vist i diagrammet (Diagram 5-5) i kapittel 5.1.2. Det kan være flere årsaker til spjeldenes måleavvik. Manglende rettstrek før og etter spjeldet kan skape ugunstige måleforhold (Ingebrigtsen, 2020b, s. 192–193). Det kan også være ukjente lekkasjer i kanalnettet som gjør at den virkelige luftmengden er høyere enn ventilmålingene tilsier. Det er også verdt å bemerke at avtrekksspjeldene i tredje og fjerde etasje ikke hadde det samme måleavviket som spjeldet i andre etasje, tross synlig tilsmussing av målekorsene også her.

6.2.2 Aggregatdrift

I de påfølgende underkapitlene presenteres målte vifteeffekter og beregnede SFP-verdier (Vedlegg 6). Det er valgt å dele opp resultatene i en sammenligning av scenario 2 og 3, og scenario 1 og 4. Det er lagt størst vekt på resultatene ved maksimum luftmengder, men avslutningsvis følger en kort presentasjon av resultatene ved minimumsmengder.

Scenario 2 og 3

Tilluftsvifta hadde under scenario 2 et viftepådrag på 69,2 prosent, og den aktive effekten ble målt til 0,647 kW, som tilsvarer en SFP-verdi for tilluftsvifta på 0,771 kW/(m³/s) (Tabell 5-2). Gjennom alle de fire scenariene var det spjeldet i tredje etasje som var førende for tilluftssiden og under scenario 2 var spjeldvinkelen 85,1 prosent. Ved scenario 3, etter rengjøringen av kanalnettet, var spjeldvinkelen tilnærmet uendret. Viftepådraget var redusert til 65,7 prosent og den aktive effekten på tilluftsvifta ble målt til 0,623 kW, som tilsvarer en SFP-verdi for

tilluftsvifta på 0,724 kW/(m³/s) (Tabell 5-3). Endringen førte til at SFP-verdien ble redusert med 6,1 prosent og vifteeffekten med 3,7 prosent.

Som nevnt i kapittel 5.1.2 hadde avtrekksspjeldet i andre etasje en spjeldvinkel på 100 prosent i forkant av rengjøringen, som etter rengjøring ble redusert til 67,8 prosent. Ved scenario 2 førte spjeldvinkelen til at avtrekksvifta hadde et pådrag på 99,7 prosent. Den aktive effekten ble målt til 1,683 kW, som tilsvarer en SFP-verdi for avtrekksvifta på 1,518 kW/(m³/s) (Tabell 5-2). I scenario 3 var viftepådraget redusert til 71,3 prosent og den aktive effekten ble målt til 0,884 kW, som tilsvarer en SFP-verdi for avtrekksvifta på 0,924 kW/(m³/s) (Tabell 5-3). Den aktive effekten ble redusert med 47,5 prosent og SFP-verdien ble redusert med 39,1 prosent.

Samlet for anlegget ved scenario 2 var den aktive effekten til viftedrift 2,330 kW og anleggets SFP-verdi 2,10 kW/(m³/s) (Tabell 5-2). Den aktive effekten var ved scenario 3 redusert til 1,507 kW og SFP-verdien til 1,58 kW/(m³/s) (Tabell 5-3). Den totale effektbesparelsen til viftedrift var på 35,3 prosent og den samlede SFP-verdien ble redusert med 25,0 prosent. Reduksjonen i SFP-verdi er noe mindre enn reduksjonen i vifteeffektene. Det har sammenheng med at avtrekksmengdene ved scenario 1 og 2 var feilaktig høye. Ettersom SFP-verdien beregnes med den største luftmengden av tilluft og avtrekk, gir derfor den feilaktig høye luftmengden en kunstig god SFP-verdi og et feilaktig inntrykk av anleggets energieffektivitet (Ingebrigtsen, 2020b, s. 127).

Scenario 1 og 4

Beregningene ovenfor tar kun utgangspunkt i scenario 2 og 3, hvor formålet var å vurdere effekten av kanalrengjøringen uavhengig av ventilenes regulerte posisjoner. Den virkelige besparelsen vil være avhengig av anleggets innregulering. Innledende målinger ved scenario 1 viste at anlegget ikke var innregulert til prosjekterte luftmengder (Vedlegg 4; Vedlegg 5). Årsaken til dette kan være at det aldri har blitt utført komplett innregulering av anlegget, eller at beboere kan ha justert på ventilposisjoner. En sammenligning av scenario 1 og 4 sier derfor lite om effektbesparelsen av selve kanalrengjøringen, ettersom endringene påvirkes av flere variabler.

Ved scenario 1 hadde tillufts- og avtrekksvifta i anlegget en samlet aktiv effekt på 2,461 kW og en SFP-verdi på 2,25 kW/(m³/s) (Tabell 5-1). Etter innreguleringen av anlegget i scenario 4 var den samlede vifteeffekten redusert til 1,861 kW og SFP-verdien til 1,80 kW/(m³/s) (Tabell 5-2). Vifteeffekten var da redusert med 24,4 prosent og SFP-verdien med 20 prosent.

Minimumsmengder

Også ved minimumsmengder i anlegget gjorde kanalrengjøringen utslag på vifteeffektene og anleggets SFP-verdi. Ved sammenligning av scenario 1 og 4 ble den totale effekten til viftedrift redusert med 0,254 kW, som tilsvarer en reduksjon på 49,4 prosent. SFP-verdien ble redusert med 32,8 prosent, fra 0,856 kW/(m³/s) til 0,575 kW/(m³/s) (Tabell 5-1; Tabell 5-4).

Ved sammenligning av scenario 2 og 3 ble vifteeffekten redusert fra 0,474 kW til 0,307 kW, som utgjør en endring på 35,2 prosent. SFP-verdien ble redusert fra 0,767 kW/(m³/s) til 0,609 kW/(m³/s), som tilsvarer en endring på 20,6 prosent (Tabell 5-2; Tabell 5-3).

6.2.3 Årlig energiforbruk til viftedrift

Anleggets VAV-spjeld styres mellom minimum og maksimum luftmengde etter en forhåndsinnstilt tidskatalog i SD-anlegget. Driftsteknikerne på bygget justerer tidskatalogen etter varierende belastning på hotellet, slik at anlegget driftes med lavere luftmengder i perioder med mindre belastning og høyere luftmengder når hotellet er fullbooket. For å vurdere det årlige energiforbruket til viftedrift, er det forutsatt en fast tidsstyring som representerer en normal driftssituasjon i anlegget.

I en normal driftssituasjon har anlegget en periode med maksimum luftmengder på morgenen og en periode på ettermiddagen. Dette er perioder hvor aktiviteten på hotellet er høy, og beboere ofte dusjer og gjør seg klare for dagen. I hverdagene er disse periodene stilt med en varighet på tre til fire timer, mens i helgene er de utvidet til fire til fem timer. Resten av døgnet driftes anlegget med minimumsmengder. Den aktuelle tidsstyringen under prosjektgjennomføringen, og tidsstyringen som benyttes i de videre beregningene er vist i tabellen under (Tabell 5-5).

Tidsstyring 1 - 360.005																								
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Mandag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				
Tirsdag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				
Onsdag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				
Torsdag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				
Fredag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				
Lørdag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				
Søndag	Lav					Høy					Lav					Høy				Lav				

Tabell 5-5: Tidsstyring for høye/lave luftmengder – Opphav: Gruppe 2

Anlegget driftes i 53 timer per uke med maksimum luftmengder. De resterende 115 timene driftes anlegget med minimumsmengder. For beregning av årlig energiforbruk til viftedrift har det blitt benyttet måleresultater og beregninger fra kapittel 5.1.

Beregningene (Vedlegg 7) viser at anleggets årlige energiforbruk er drastisk endret fra både scenario 1 til 4 og fra scenario 2 til 3. Ved scenario 1 hadde viftene et årlig energiforbruk på 9853,7 kWh (Diagram 5-7). Ved scenario 4 var energiforbruket redusert til 6684,0 kWh, som tilsvarer en reduksjon på 3169,7 kWh og en prosentvis endring på 32,2 prosent. Energiforbruket ved scenario 2 var på 9254,2 kWh, og etter kanalrengjøringen i scenario 3 var energiforbruket redusert til 5990,1 kWh. Det tilsvarer en reduksjon i energiforbruket på 3264,1 kWh og en prosentvis reduksjon på 35,3 prosent.

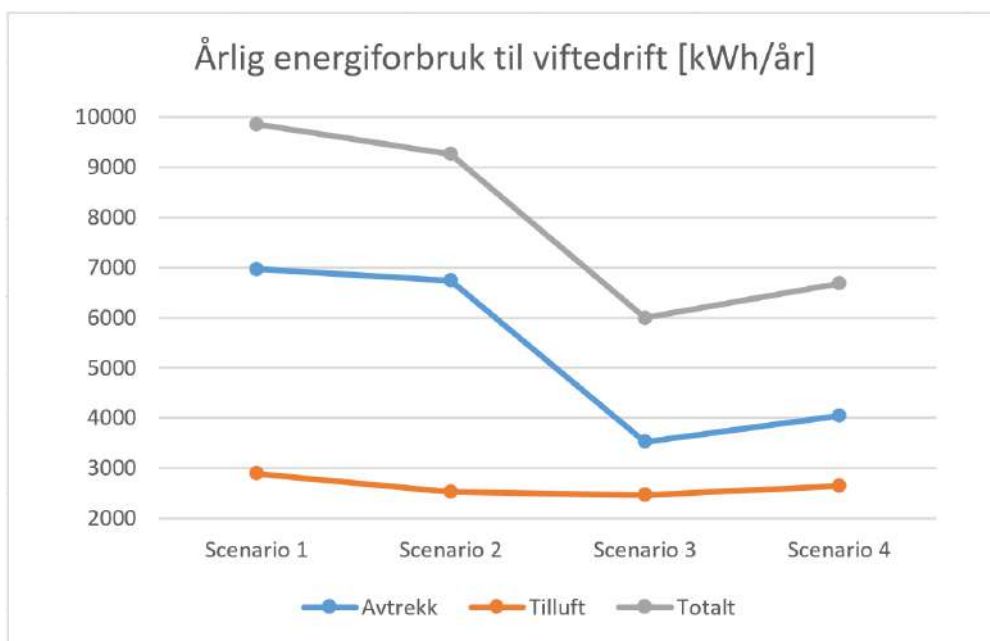


Diagram 5-7: Beregnet energiforbruk til viftedrift samlet og tilluft/avtrekk separat – Opphav: Gruppe 2

Når man ser på energiforbruket til drift av avtrekksvifta og tilluftsvifta separat, ser man en tydelig forskjell i energiforbruket før og etter kanalrengjøringen. Under scenario 2 hadde avtrekksvifta et årlig energiforbruk på 6737,3 kWh/år (Tabell 5-6). Energiforbruket til drift av avtrekksvifta var i scenario 2 alene, høyere enn det totale energiforbruket til viftedrift i scenario 3. Avtrekksviftas energiforbruk ble redusert med 3212,6 kWh/år, som tilsvarer en prosentvis endring på 47,7 prosent. Tilluftsviftas energiforbruk hadde derimot en betraktelig mindre reduksjon på 54,2 kWh/år, som kun utgjør 2,2 prosent. Fra scenario 1 til 4 ser man også samme tendens, der avtrekksviftas energiforbruk er redusert med 42,0 prosent og tilluftsvifta med 8,6 prosent.

Årlig energiforbruk til viftedrift [kWh]			
	Avtrekk	Tilluft	Totalt
Scenario 1	6966,3	2889,9	9853,7
Scenario 2	6737,3	2518,7	9254,2
Scenario 3	3524,7	2464,5	5990,1
Scenario 4	4043,1	2640,6	6684,0

Tabell 5-6: Årlig energiforbruk til viftedrift per scenario, avtrekk/tilluft separert og summert – Opphav: Gruppe 2

Det er overveiende sannsynlig at den store forskjellen i endring av energiforbruk for viftene primært skyldes de store måleavvikene på avtrekkskjeldene. Det har igjen ført til et unødvendig høyt viftepådrag til avtrekksvifta. Den visuelle inspeksjonen av kanalene i forkant av prosjektet viste en betraktelig større tilsmussingsgrad i avtrekkskanalene, noe som er normalt i ventilasjonsanlegg (Nilsen, 2004, s. 2). Lufta i tilluftskanalene er filtrert i aggregatet, men på avtrekksiden trekkes forurensninger fra rommene ufiltrert inn i kanalene. Tilsmussing i kanalene fører til et redusert kanaltvernsnitt og et økt trykkfall, som også bidrar til et økt energiforbruk til viftedrift (Ingebrigtsen, 2020b, s. 123).

Det har ikke vært praktisk mulig å skille konsekvensene av tilsmussingen på VAV-spjeldene og det øvrige kanalnett. I ettertid har det blitt klart at forsøket kunne med fordel blitt gjennomført med et femte scenarie, der VAV-spjeldenes målekors ble rengjort i forkant av det resterende kanalnett. På den måten kunne man vurdert betydningen av det reduserte kanal-tversnittet og betydningen av de tilsmussede målekorsene separat. Likevel må VAV-spjeldene anses som en fullverdig del av kanalnett.

6.2.4 Energiforbruk til viftedrift i større skala

I forsøket er det gjort målinger på system 360.05, som kun betjener en liten andel av det totale antallet hotellrom på hotellet. Bygget består av totalt seks ventilasjonsanlegg, hvor tre av anleggene primært betjener hotellrom. Samlet har de tre systemene en prosjektert luftmengde på 38 000 m³/h. Rengjøringsprosjektet omfatter, foruten system 360.03, alle anleggene på bygget, men det er ikke utført målinger av vifteeffekter før og etter rengjøring på disse anleggene. Optice AS, som har rengjort anleggene, har utført en visuell kontroll i forkant av rengjøringen som viste en lignende tilsmussingsgrad som for system 360.05.

Dersom man antar at tilsmussingen i de øvrige anleggene som betjener hotellrom har de samme avvikene som system 360.05, er det interessant å se på den samlede potensielle energibesparelsen for hotellet. Beregningene er begrenset til de systemene som primært betjener hotellrom, ettersom betjeningsområdene har tilsvarende innredning og bruksmønster. Anleggene har også tilsvarende reguleringsform og utforming som system 360.05. Beregningene er begrenset til en sammenligning av scenario 2 og 3. For å kunne gjøre en overslagsberegning på energibesparelsen er det forutsatt tilsvarende luftmengdeavvik, SFP-verdi og tidskalender som for 360.05.

Årlig energiforbruk til viftedrift for system 360.03, 04 og 05.

System 360.03 og 04 har en samlet prosjektert luftmengde på 34 500 m³/h. Med tilsvarende avvik som for system 360.05 ved scenario 2 gir det en virkelig maksimum luftmengde i anlegget på 40 074 m³/h (Vedlegg 7). Ved scenario 3 er den virkelige luftmengden 34 580 m³/h. Heller ikke system 03 og 04 har prosjekterte minimumsmengder oppgitt i underlaget. For beregningene er det derfor forutsatt at de innstilte minimumsmengdene utgjør en tilsvarende prosentandel av de prosjekterte maksimumsmengdene, som for 360.05. Samlet minimumsmengde utgjør da 48,8 prosent av prosjektert maksimumsmengde, altså 16 836 m³/h. Med tilsvarende avvik som for system 05 blir virkelig luftmengde 22 328 m³/h ved scenario 2, og 18 221 m³/h ved scenario 3.

Beregnet energiforbruk til viftedrift på system 360.03 og 04 er 92 934,5 kWh/år ved scenario 2 og 60 154,0 kWh/år ved scenario 3. Når man summerer opp energiforbruket med system 360.05 tilsvarer det en energibesparelse til viftedrift fra scenario 2 til 3 på 36 042 kWh/år.

Spesifikt energiforbruk til viftedrift

Videre kan man se på det spesifikke enerforbruket til viftedrift, altså energiforbruket til viftedrift per kvadratmeter oppvarmet BRA per år. Her må det poengteres at de påfølgende beregningene er basert seg på omtrentlige arealmålinger og antagelser om anleggets tilstand. Systemene betjener totalt 187 hotellrom, i tillegg til noen fellesområder som utgjør anslagvis 500 m². Et gjennomsnittlig rom på hotellet har et areal på omtrent 18,3 m², som gir et totalareal

til hotellrom på cirka 3422 m² og et totalt areal for betjeningsområdene til system 360.03, 04 og 05 på 3922 m².

Ved scenario 2 er da det spesifikke energiforbruket 26,1 (kWh/år)/m², og 16,9 (kWh/år)/m² ved scenario 3. Byggteknisk forskrift stiller krav til bygningers energieffektivitet ut ifra hvilken bygningskategori bygget tilhører. Hotellbygninger har etter rammekravsmetoden en energiramme på 170 (kWh/år)/m², gitt i TEK10, som var gjeldende forskrift da hotellet ble rehabilitert (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2017, § 14–2). Energiramme er uendret i TEK17 (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2023, § 14–2). Ved scenario 2 og 3 gikk henholdsvis 15,4 og 9,9 prosent av byggets totale energiramme med til viftedrift. Med en differanse på 5,5 prosent, kan konsekvensen altså være at et bygg som i utgangspunktet tilfredsstiller kravene til energieffektivitet etter Byggteknisk forskrift, ikke lenger gjør det.

6.2.5 Oppvarmingsbehov grunnet økt infiltrasjonstap

Luftmengdemålingene i forsøket viste at det var store differanser mellom tilluft og avtrekk (Diagram 5-8). I alle scenarier var avtrekksmengden høyere enn tilluftsmengden, men differansen var betraktelig større i forkant av rengjøringen. Med høyere avtrekksmengder enn tilluft innebærer det at bygget har et undertrykk. Infiltrasjonstapet til bygninger påvirkes av forhold som overtrykk og undertrykk, og en konsekvens av et undertrykk i bygget er at kald uteluft trekkes inn gjennom utettheter i bygningens klimaskjerm (Ingebrigtsen, 2020a, s. 338).

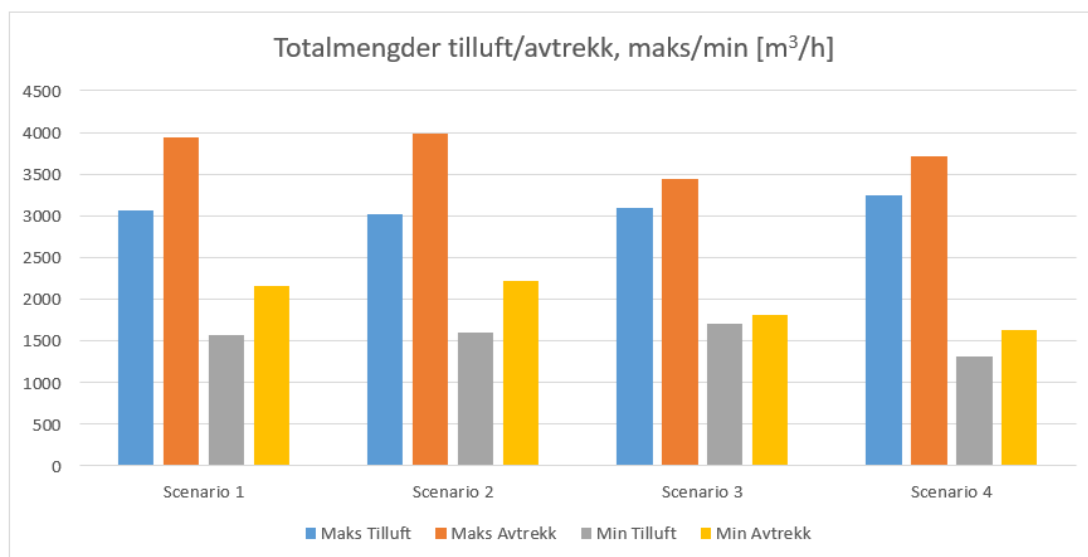


Diagram 5-8: Målte totalmengder for tilluft og avtrekk ved minimum og maksimum luftmengder. Gruppert for hvert scenario – Opphav: Gruppe 2

Hvis kald uteluft trekkes inn i bygget, må denne lufta varmes opp av byggets varmeanlegg for å opprettholde ønsket innetemperatur. Dersom man forenkler situasjonen noe og ser på system 360.05 og systemets betjeningsområder isolert som en egen bygning, kan man si at den totale luftmengdedifferansen vil være uteluft som må varmes opp til ønsket innetemperatur. Oppvarmingen vil da skje uten fordel av balansert ventilasjon med gjenvinning, ettersom denne luften kommer inn i bygget utenom ventilasjonsanlegget (Ingebrigtsen, 2020a, s. 338).

I realiteten vil sannsynligvis differansmengden komme fra en kombinasjon av infiltrert uteluft og motsatt ubalanse med en høyere tilluftsmengde enn avtrekk på andre systemer i tilstøtende

områder. Derfor er sannsynligvis det beregnede varmetapet noe høyere enn det som er realistisk. Likevel er dette et aspekt ved undertrykk som kan medføre store konsekvenser for en bygnings energiforbruk.

I beregningene (Vedlegg 7) er graddagstallet for Oslo på 3856 graddager benyttet (Tveito, 2021, s. 24). Graddagstallet er et gjennomsnitt av graddagstallene for årene 1991 til 2020. Ettersom graddagstallet er basert på et oppvarmingsbehov når temperaturen er under 17 °C, inkluderer beregningene ikke et eventuelt oppvarmingsbehov ved høyere temperaturer (Ingebrigtsen, 2020a, s. 131). Selv om man antar at det ikke er et oppvarmingsbehov, kan trekk gjennom lekkasjer i bygningskroppen føles ubehagelig, selv om temperaturen er høyere enn 17 °C.

Ved scenario 2 fører ubalansen i anlegget til et oppvarmingsbehov på 15 586 kWh/år. Ved scenario 3 er oppvarmingsbehovet redusert til 4484 kWh/år, som tilsvarer en reduksjon av oppvarmingsbehovet på 11 102 kWh/år. Det utgjør en endring på 71,2 prosent. Beregningene viser at oppvarmingsbehovet ved scenario 2 faktisk er høyere enn energiforbruket til viftedrift.

6.2.6 SFP-verdi som mål på energieffektivitet

Utgangspunktet for forsøket var å undersøke en mulig energibesparelse ved rengjøring av kanalnettet. Besparelsen skulle opprinnelig vurderes på bakgrunn av anleggets SFP-verdi. Resultatene fra forsøket viser at SFP-verdi i realiteten ikke alltid er egnet til å beskrive anleggets energieffektivitet. SFP-verdiens hensikt er å gjøre ventilasjonsanlegg med ulik størrelse og utforming, sammenlignbare (Ingebrigtsen, 2020b, s. 127). I forsøket viste det seg at da anleggets SFP-verdi endret seg med 25,0 prosent, endret anleggets energiforbruk seg med 35,3 prosent. Dette har direkte sammenheng med de økte avtrekksmengdene, som førte til at anleggets SFP-verdi var relativt lav.

Forsøket viser at en forutsetning for å benytte SFP-verdier som et mål på energieffektivitet er at luftmengdene i anlegget stemmer. I dette tilfellet var avtrekksmengden betydelig høyere enn tilluftsmengden, noe som førte til et økt oppvarmingsbehov grunnet undertrykk, i tillegg til det økte energiforbruket til viftedrift. SFP-verdien reflekterer ikke disse konsekvensene på en god måte. På bakgrunn av disse resultatene, kan det stilles spørsmål ved om SFP-verdi er en presis nok metode for å vurdere anleggenes energieffektivitet.

6.2.7 Innspill fra Trox om mulige sammenhenger

I prosjektarbeidet er det søkt mye informasjon hos relevante leverandører. Trox Auranor er en stor leverandør av ventilasjonsutstyr, og hadde flere interessante betraktninger og synspunkter rundt oppgavens problemstilling (S. Ingebrigtsen, personlig kommunikasjon, 11. mai 2023). De forteller at de har fått meldinger om et øktende problem med støv i avtrekkskanaler.

Relevante spørsmål som trekkes fram er om ventilasjonsanleggene nå starter før byggeplassen er tilstrekkelig rengjort, eller om det genereres mer støv i rommene. Eksempelvis kan strengere miljøkrav, eller at man har søkt lavere kostnader til sengetøy, ha påvirket kvaliteten på sengetøyet. Foreløpig har heller ikke Trox funnet tilstrekkelig gode svar på problematikken. Det poengteres at de har levert VAV-spjeld til hotellrom i svært mange år, men at problemet med måleavvik ser ut til å ha økt.

Trox trekker også fram noen aktuelle konsekvenser som støv i avtrekkskanaler kan føre til:

- Kanaler kan ikke gjenbrukes i nye prosjekter uten ekstra god rengjøring.
- Dersom kanalene føres gjennom kalde rom, vil eventuell kondensering kunne gi svært god grobunn for muggsopp.
- Ved trekk-ut-strategi må man tenke at det befinner seg brennbart materiale innvendig i avtrekkskanalene, og strategien derfor må ha nye vurderingskriterier. I dag er det kun ytre varmepåkjening som ligger til grunn for beregninger, tester og vurderinger.
- Sensorer i avtrekkskanaler kan få måleavvik. Dette innebærer blant annet VAV-spjeld i kanalnettet og CO₂-følere plassert i avtrekkskanaler.

Avslutningsvis i innspillene fra Trox foreslås det automatiske funksjonstester av VAV-spjeld. En automatisk funksjonstest vil kunne avdekke problemer og fortelle hvilke VAV-enheter som trenger rengjøring og vedlikehold, og vil redusere rengjøringskostnadene.

Det er uklart for oss hvordan en slik automatisk funksjonstest skal fungere, men vårt inntrykk er at en automatisk funksjonstest er en spennende mulighet som kan ha svært gode ringvirkninger. Det er i dag i stor grad opp til driftsteknikere og servicepersonell å oppdage eventuelle avvik på ventilasjonsanlegget. En selvtestfunksjon som avdekker tilsmussingsgrader i anlegget eller måleavvik på spjeldene, kan redusere behovet for manuelle kontroller betraktelig.

6.3 Forebyggende tiltak i eksisterende og nye bygninger

I forsøket ble det tidlig klart at luftmengdeavvikene på avtrekksiden av anlegget hadde flere negative konsekvenser for bygget. Både energiforbruk til viftedrift og byggets oppvarmingsbehov var drastisk økt. Kjernen til problemet ligger i de tilsmussede målekorsene til avtrekks-spjeldene. Tilsmussingen har ført til full åpning på spjeldet i andre etasje, og deretter fullt pådrag til avtrekksvifta, som resulterer i et undertrykk i bygget og økt vifteeffekt. I dette kapittelet presenteres det tiltak som kan forebygge lignende problemer i både eksisterende og nye bygg.

6.3.1 Inspeksjoner og renholdsrutiner

Det er viktig at driftspersonell og byggforvaltere er kjent med de mulige feilkildene i sitt system, slik at man kan forbygge lignende problemer ved rutinemessige inspeksjoner og vedlikehold. Vår oppfatning er at mange ikke er bevisst på de mulige forskjellene mellom de avleste verdiene, i for eksempel et SD-anlegg, og den virkelige situasjonen på bygget. Forsøket har vist at avvikene kan være store, uten at dette kommer til syne på en lettforståelig måte i SD-anlegget. I forsøksbygget er reguleringsformen svært sårbar for tilsmussing og komponentfeil, blant annet fordi anlegget ikke har noen øvre trykkbegrensning (Ingebrigtsen, 2020b, s. 218).

Det understrekes viktigheten av rutiner for inspeksjon av utsatte kanaldeler, og da spesielt VAV-spjeldenes målekors. I dette byggets tilfelle var anlegget driftet i seks år før rengjøringen, og tilsmussingen hadde sannsynligvis hatt store konsekvenser over lenger tid. Sintef Byggforsk har anbefalinger til kontrollintervall for tilstandskontroll i ventilasjonsanlegg etter bygnings typer, i tillegg til en anbefaling om årlige inspeksjoner. Hotellbygninger er ikke listet som en egen bygningskategori her, men en god sammenligning er skoler, barnehager, sykehus og lignende, som har et anbefalt kontrollintervall på 2 år (Nilsen, 2004, s. 6).

I forsøket har det ikke vært praktisk mulig å se på konsekvensene av tilsmussingen i kanalnettet uavhengig av spjeldenes tilsmussing. Likevel viste den visuelle kontrollen at stikkanalene til avtrekksventilene var svært tilsmusset og at det var behov for rengjøring (Bilde 5-2). Kontrollmålingene av luftmengdene i forkant av rengjøringen viste også at innreguleringen ikke stemte med prosjekteringsunderlaget. Erfaringsmessig er ofte ventilposisjoner tuklet med av beboere, som forringer innreguleringen og fører til ubalanse i anlegget. Det kan derfor anbefales at det også gjøres rutinemessige kontroller av anleggets innregulering slik at riktig drift sikres.



Bilde 5-2: Stikkanal til avtrekksventil i plan 3 – Opphav: Optice AS

En forutsetning for alle bygg med VAV-spjeld og annen sårbar måleteknologi bør være god tilkomst for rengjøring. Det innebærer tilkomst til både rengjøring av målekorsene utvendig og renblåsing av målekorsene innvendig med trykkluft. Tilkomst for utvendig rengjøring kan ofte løses ved installasjon av inspeksjonsluker, mens innvendig rengjøring krever tilstrekkelig fri plass rundt VAV-spjeldet. NS-EN 12097:2006 beskriver hvor og hvordan inspeksjonsluker bør monteres. Det skal blant annet installeres inspeksjonsluker før og etter utstyr i kanalnettet dersom det ikke er mulig å rengjøre gjennom utstyret eller utstyret ikke kan demonteres (*Standard Norge, 2007, s.8*).

Utfordringen er at det sjelden stilles krav til installasjon av inspeksjonsluker i prosjektbeskrivelser. Byggherre, prosjekterende og utførende må alle være bevisste på at ved valg av reguleringsform og anleggsutforming vil det være forskjellige behov for vedlikehold. Til rettelegger man for godt vedlikehold vil anleggets levetid kunne forlenges og driftskostnadene reduseres.

6.3.2 VAV-spjeld med nye målemetoder

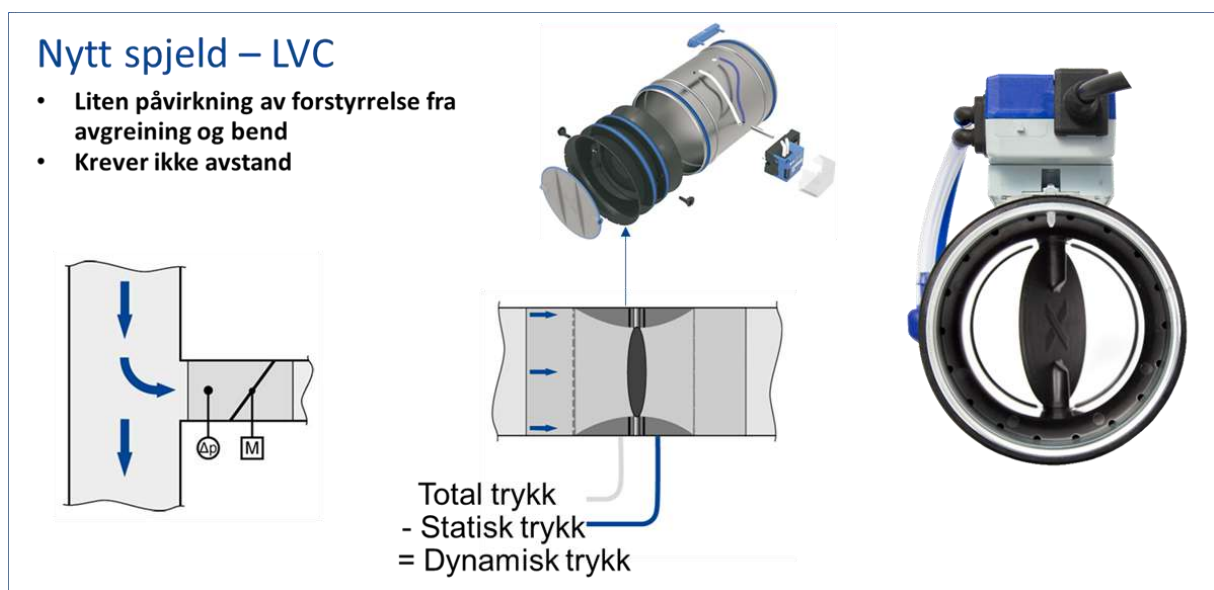
Siden VAV-spjeldets introduksjon i ventilasjonsbransjen på 90-tallet, har VAV-spjeld med tradisjonelle målekors vært ledende i markedet. De siste årene har bransjen blitt introdusert for

spjeld som benytter seg av andre måleteknologier. Blant annet har Lindab lansert et VAV-spjeld som benytter ultralyd til å måle luftmengder (Figur 5-1). I spjeldets kanalvegger er det montert to sensorer. Fordelen med plasseringen er at sensorene ikke stikker ut i luftstrømmen, slik et tradisjonelt målekors gjør, og dermed har lavere risiko for å samle opp støvpartikler i luften. I tillegg markedsføres sensorene som at de ikke er sensitive for støv, ettersom ultralyden kan måle gjennom et støvbelegg (Vedlegg 27).



Figur 5-1: VAV-spjeld Lindab Ultralink – Opphav: Lindab

Trox Auranor har også lansert to nye VAV-spjeld. Begge modellene er basert på differansestrykkmåling, men målepunktene er flyttet fra det tradisjonelle målekorset. I modellen LVC (Figur 5-2) er målepunktene flyttet til to målinger på hver sin side av spjeldbladet. En konsekvens kan være at tilsmussingshastigheten reduseres ved at målepunktene ikke er plassert i midten av luftstrømmen.



Figur 5-2: VAV-spjeld Trox LVC – Opphav: Trox Auranor

I modellen TVE (Figur 5-3) er målepunktene integrert i spjeldbladet. Spjeldbladet har to adskilte innvendige kamre med hull i overflaten. Via akslingen til spjeldbladet måler regulatoren differansetrykket over spjeldet. I denne modellen er målepunktet plassert midt i luftstrømmen, men spjeldets vinkel på luftstrømmen vil potensielt kunne påvirke tilsmussings-hastigheten positivt.



Figur 5-3: VAV-spjeld Trox TVE – Opphav: Trox Auranor

Felles for de tre nye målemetodene i VAV-spjeld er at de er relativt nye på markedet. Det finnes derfor foreløpig ingen god dokumentasjon av tilsmussingshastigheter og målenøyaktighet ved varierende grader av tilsmussing.

6.3.3 Andre reguleringsformer

Kombinasjonen av VAV-spjeld med tilsmussede målekors, og spjeldvinkeloptimalisert regulering av ventilasjonsaggregatet, har ført til en rekke feil i anlegget som tidligere er beskrevet. I kapittel 3.4, hvor anleggets reguleringsform er beskrevet, kommenteres det at reguleringsformen er svært lik et tradisjonelt konstantmengdeanlegg. Med det menes det at anleggets funksjon, hvor settpunktet til alle de seks VAV-spjeldene styres parallelt etter en forhåndsinnstilt tidskatalog, i praksis har samme funksjon som et konstantmengdeanlegg hvor viftene i anlegget reguleres mellom høyt og lavt viftepådrag.

Anlegget utnytter altså ikke mulighetene som ligger i VAV-spjeldene, som for eksempel differensiert pådrag i etasjene etter temperatur og luftkvalitet. Dersom VAV-spjeldene ble erstattet med manuelle regulerings-spjeld, og reguleringsformen ble endret til tidsstyrt høyt og lavt viftepådrag, ville man eliminert den mulige feilkilden og vedlikeholdsbehovet som følger med VAV-spjeldene, samtidig som man beholder samme funksjon som i dag. En konsekvens er at man mister en fremtidig mulighet til å benytte seg av differensiert regulering i etasjene.

Slik anlegget fungerer i dag er det også muligheter for å installere sikkerhetstiltak som forhindrer unødvendig høyt viftepådrag. En enkel og svært vanlig sikkerhetsmekanisme i spjeldvinkeloptimaliserte anlegg er trykkbegrensning i anlegget. Det monteres da en trykkføler i kanalnettet, og aggregatet programmeres med en innstilling for maksimalt tillatt eksternt trykk.

En vanlig praksis er å stille det maksimalt tillatte trykket 5 til 10 prosent over avlest trykk ved maksimal drift. Trykkgrensa bør stilles med rent kanalnett og anlegget innregulert. Dersom kanaltrykket øker til maksimalt tillatt trykk, er det en god indikasjon på at det er behov for vedlikehold av VAV-spjeld, tilsmussing i kanalnettet eller kontroll av innreguleringen.

En annen sikkerhetsfunksjon i spjeldvinkeloptimaliserte anlegg som sikrer mot et unødvendig høyt driftspunkt for viftene, er automatisk utkobling fra optimaliseringsfunksjonen av spjeld med spjeldvinkel på 100 prosent over en gitt tid. Dersom et VAV-spjeld får en målefeil, vil optimaliseringen koble ut spjeldet fra reguleringsfunksjonen og benytte spjeldet med nest høyest spjeldvinkel som førende for viftereguleringen.

Felles for en utkoblingsfunksjon og en trykkgrensefunksjon er at målefeilen på VAV-spjeldene kan bli relativt stor og vare over lang tid før sikkerhetsfunksjonene trer i kraft. Tilsmussingen av målekorsene er en gradvis prosess, gjerne over flere år, og det vil derfor kunne være skjulte feil over lang tid før måleavvikene oppdages. Rutinemessige inspeksjoner og kontroller av luftmengder, som beskrevet i kapittel 5.3.1, vil kunne avdekke slike feil.

6.3.4 Tekstilkvaliteter

Hittil i rapporten har rengjøringsrutiner, og andre reguleringsmetoder og -produkter blitt vurdert som mulige tiltak. Det kan også være aktuelt å se på kildene til støvet som tilsmusser kanalnettet. På hoteller er det hyppig skift av sengetøy og håndklær. Dersom kvaliteten på tekstilene er lav og tekstilene avgir mye tekstilfiber ved skift, vil dette kunne medvirke til hyppigere tilsmussing i kanalnettet.

På Thon Hotel Spectrum er alle avtrekksventiler plassert på bad, og de fleste avtrekkspunktene er også plassert i nærheten av dusjsonen. Det er nærliggende å tro at kombinasjonen av tekstilstøv og fuktig luft fra hyppig dusjing blant hotellets gjester er en uheldig kombinasjon der fuktigheten kan virke som et lim på støvet. Å velge tekstiler som avgir lite støv kan ha stor betydning for tilsmussingshastigheten i kanalene.

6.3.5 Kanalfilter

Årsaken til at avtrekkskanalene er utsatt for betydelig større grad av tilsmussing enn tilluftskanalene har sammenheng med den ufiltrerte luften som trekkes inn i avtrekkskanalene. En løsning på tilsmussingsproblemet kan derfor være å installere et kanalfilter (Bilde 5-3) i bakkant av avtrekksventilen.



Bilde 5-3: Kanalfilter Lindab STR – Opphav: Lindab

I forsøket har ikke bruk av kanalfilter blitt undersøkt, og erfaringer rundt bruk av slike filtre er heller ikke undersøkt. Noen umiddelbare tankekors ved å benytte kanalfilter er blant annet at kanalnettet tillegges et ekstra trykkfall som må kompenseres ved trykkøkning over avtrekksvifta. Et høyere trykkfall vil derfor bidra til et økt energiforbruk til viftedrift (Ingebrigtsen, 2020b, s. 123). Et kanalfilter vil også sannsynligvis tilsmusses svært fort og kreve hyppig vedlikehold ved rengjøring eller utskifting av filteret. Det kan likevel ikke utelukkes at dette er en løsning som kan ha positiv effekt på energiforbruk og driftskostnader. En forutsetning vil uansett være at filteret enkelt kan skiftes eller rengjøres og gode vedlikeholdsrutiner.

7 Konklusjon

I rapportens konklusjon presenteres de viktigste funnene fra forsøket. Avslutningsvis gis det noen anbefalinger til videre forskning innen temaet.

7.1 Resultater

Rapportens hensikt har vært å besvare problemstillingen: Hvilke konsekvenser har tilsmussing av et kanalnett for energiforbruket til et moderne ventilasjonsanlegg? Gjennom målinger av luftmengder og vifteeffekter parallelt med rengjøring av kanalnettet, er anleggets tilstand dokumentert. De viktigste funnene er oppsummert i de påfølgende underkapitlene.

Det viktigste funnet i forsøket var VAV-spjeldet på avtrekkssiden i andre etasje, hvor målekorset var svært tilsmusset. Tilsmussingen resulterte i et høyt pådrag til avtrekksvifta. Forsøket viser gjennom energiberegningene, hvorfor det er essensielt at det tilrettelegges for vedlikehold av sårbare komponenter i ventilasjonsanlegg. For nye bygg er det viktig at prosjektbeskrivelser og prosjektering tar hensyn til problemet gjennom komponentvalg, anleggsutforming og valg av reguleringsformer.

I både eksisterende og nye bygg kan stabil drift sikres ved å planlegge for god tilkomst for rengjøring, samt gode vedlikeholdsrutiner. Inspeksjonsluker for tilkomst til VAV-spjeldenes målekors kan i mange tilfeller være tilstrekkelig for nødvendig vedlikehold. I dag er det ikke et forskriftskrav om montering av inspeksjonsluker, men funnene i dette forsøket peker i retning av at det burde vært et krav. I praksis er det i dag opp til byggherren å ha med et slikt krav i en prosjektbeskrivelse.

7.1.1 Økt energiforbruk til viftedrift

Undersøkelsene i forsøket har vist en drastisk endring i energiforbruket til viftedrift. Fra scenario 2 til 3 ble det årlige energiforbruket til viftedrift redusert med 35,3 prosent. Det var store forskjeller på tilluftssiden og avtrekkssiden, der tilluftsviftas energiforbruk kun ble redusert med 2,2 prosent, mens avtrekksvifta hadde et redusert energiforbruk på 47,7 prosent.

7.1.2 VAV-spjeld med store måleavvik

Alle VAV-spjeld i anlegget ble kontrollert ved hvert scenario. Avtrekksspjeldet i andre etasje hadde en spjeldvinkel på 100 prosent i forkant av rengjøringen. Nærmere undersøkelser av spjeldet viste at spjeldets interne måling var forringet av tilsmussingen på målekorset. Ved scenario 2 hadde spjeldet en målt mengde på 1047 m³/h, mens den virkelige mengden som passerte spjeldet var 1523 m³/h.

I kombinasjon med anleggets spjeldvinkeloptimaliserte regulering var konsekvensene av det tilsmussede spjeldet svært negative. Spjeldvinkelen førte til at avtrekksvifta hadde et viftepådrag på omtrent 100 prosent. I tillegg til økt energiforbruk til viftedrift, medførte de økte avtrekksmengdene i anlegget et undertrykk som økte oppvarmingsbehovet i bygget grunnet et økt infiltrasjonstap.

7.1.3 Store avvik i luftmengder

Luftmengdemålingene viste store avvik både på ventilnivå og ved måling av hovedmengder. Særlig på avtrekkssiden før rengjøringen var avvikene store. Ved maksimum luftmengde ved

scenario 2, var avviket i totalmengden fra prosjektert verdi på +16 prosent. I scenario 3 etter rengjøringen var dette avviket redusert til 0 prosent.

I kombinasjon med negative avvik for totalmålingene på tilluftssiden, var det store avvik mellom tilluft og avtrekk i anlegget. Ved scenario 2 var differansen på 970 m³/h. Ved scenario 3 var differansen redusert til 347 m³/h. Den negative luftmengdedifferansen medførte et økt infiltrasjonstap og oppvarmingsbehov. Ved scenario 2 var oppvarmingsbehovet på 15 586 kWh/år. Ved scenario 3 var oppvarmingsbehovet redusert med 71,2 prosent, til 4483 kWh/år.

I beregningene for oppvarmingsbehov grunnet infiltrasjonstap, var en forutsetning for beregningene at system 360.05 ble vurdert som et isolert bygg uten andre tilstøtende anlegg. Det innebærer at den overskytende avtrekksmengden i sin helhet vil komme uoppvarmet gjennom lekkasjer i byggets klimaskjerm. I realiteten vil sannsynligvis en andel av luftmengden komme fra øvrige oppvarmede bygningsdeler, slik at det reelle oppvarmingsbehovet ikke er like høyt som beregningene tilsier.

7.2 Anbefalinger til videre forskning

Av hensyn til rapportens omfang har det blitt satt noen begrensninger for hva som undersøkes i forsøket. Forsøket har løftet frem flere relevante problemstillinger knyttet til tilsmussing av ventilasjonsanlegg. Videre følger det noen anbefalinger til relaterte problemstillinger som vi mener krever videre undersøkelser.

Støvkilder. Årsaken til at hotellbygninger er særlig utsatt for støv i avtrekkskanaler har ikke blitt undersøkt i denne rapporten. Tekstilkvaliteten på sengetøy og håndklær kan være en viktig faktor for mengden støv tekstilene avgir. Hyppig pakking av kofferter blant hotellets gjester kan også være kilder til støv som føres til avtrekkskanalene. Dersom det kan bevises at en del av problematikken er relatert til tekstilkvaliteter på rommet kan dette være tiltak som reduserer problemet.

Fuktig avtrekkslufts betydning for støvansamling i kanaler. En tanke i forkant av prosjektet har vært at fuktig avtrekksluft bidrar til at støv fester seg i kanalnettet. Det bør utføres en undersøkelse der tilsmussingshastigheten for avtrekksventiler plassert i områder med høy og lav luftfuktighet sammenlignes under ellers like forhold.

Energiforbruk før og etter rengjøring i konstantmengdeanlegg. Denne rapporten beskriver endringene i energiforbruk til viftedrift i et anlegg der VAV-spjeldene var hovedårsaken til et økt energiforbruk. En undersøkelse som vurderer endringer i energiforbruk, forårsaket av kanaltvernsnittsreduksjon grunnet tilsmussing kan være interessant.

Spjeld med annen måleteknologi. I rapporten foreslås VAV-spjeld som benytter annen måleteknologi enn tradisjonelle målekors som et mulig tiltak. Et forsøk der spjeld med forskjellige måleteknologier under ellers like forhold sammenlignes, ville vært nyttig. Tilsmussingshastigheter og spjeldenes målenøyaktighet er faktorer som bør undersøkes.

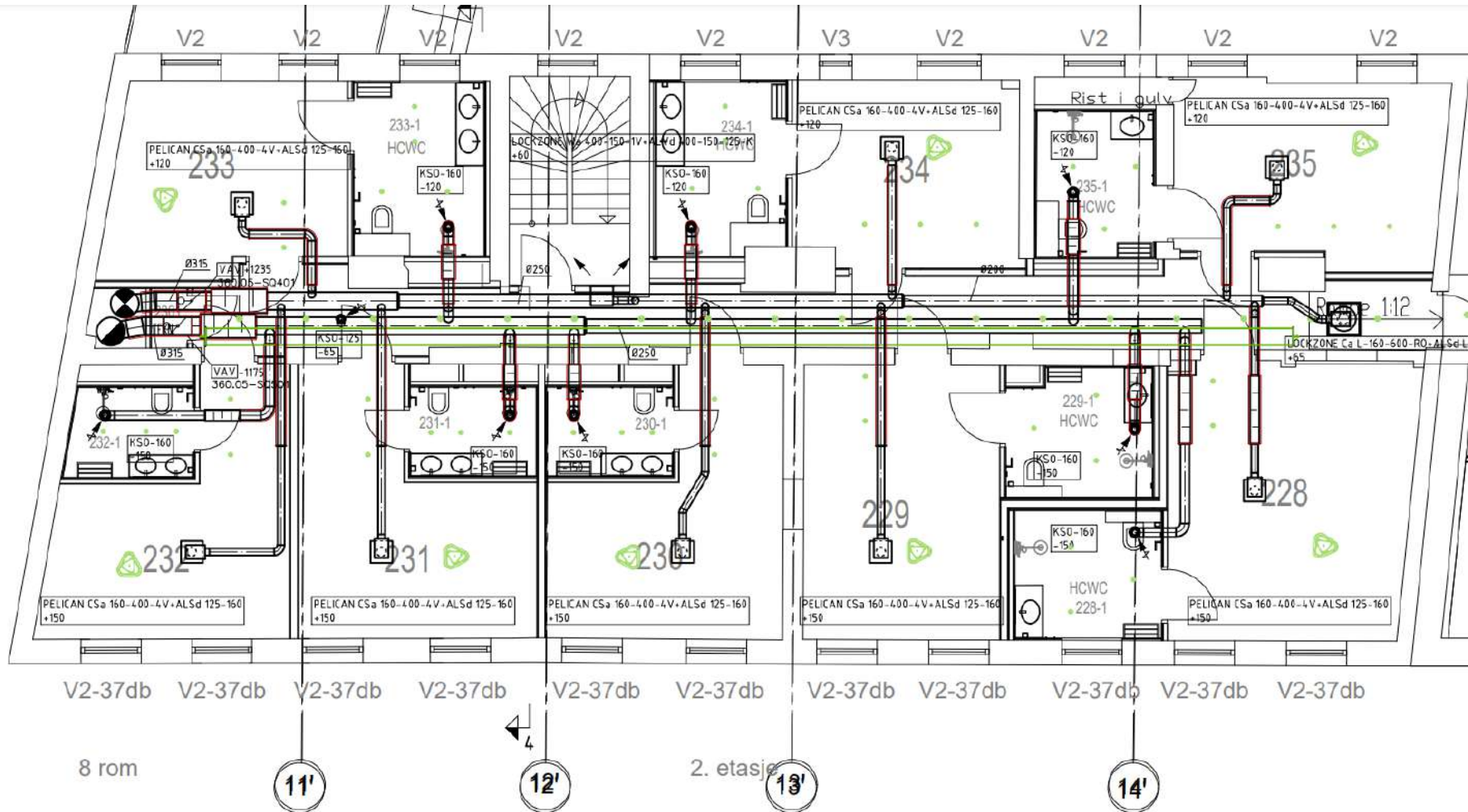
Kilder

- Byggteknisk forskrift (TEK10). (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (FOR-2017-06-19-840). Kommunal- og moderniseringsdepartementet. <https://dibk.no/regelverk/tek>
- Byggteknisk forskrift (TEK17). (2023). *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (FOR-2023-02-28-280). Kommunal- og distriktsdepartementet. <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- Ingebrigtsen, S. (2020a). *Ventilasjonsteknikk Del I*. VVS-foreningen/Nemitek.
- Ingebrigtsen, S. (2020b). *Ventilasjonsteknikk Del II*. VVS-foreningen/Nemitek.
- Johansson, P., & Svensson, A. (2007). *Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallasjoner* (2. utg.). Byggeforskningsrådet.
- Mysen, M., & G. Schild, P. (2013). *Behovsstyrt ventilasjon, DCV - krav og overlevering* (Prosjekteringsveiledning Nr. 11). Sintef Fag
- Mysen, M., & Polak, K. (2001). *Energieffektiv viftedrift* (Prosjekteringsveiledning Nr. 303). Norges byggeforskningsinstitutt
- Nilsen, S. K. (2004). *Rengjøring av ventilasjonsanlegg. Tilsmussing og rengjøringsbehov*. Sintef Byggeforsk.
- NS-EN 12097:2006 *Ventilasjon i bygninger—Kananlegg—Krav til kanalkomponenter for å lette vedlikehold av kanalanlegg*. (2007). Standard Norge.
- Ruud, T., & Solheim, O. M. (2003). *Byggeforsk har testet måletrakter for tilluft* (s. 6). Sintef Byggeforsk.
- Tveito, O. E. (2021). *Energi gradtall, normaler 1991-2020* (Nr. 08/2021). <https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2021>

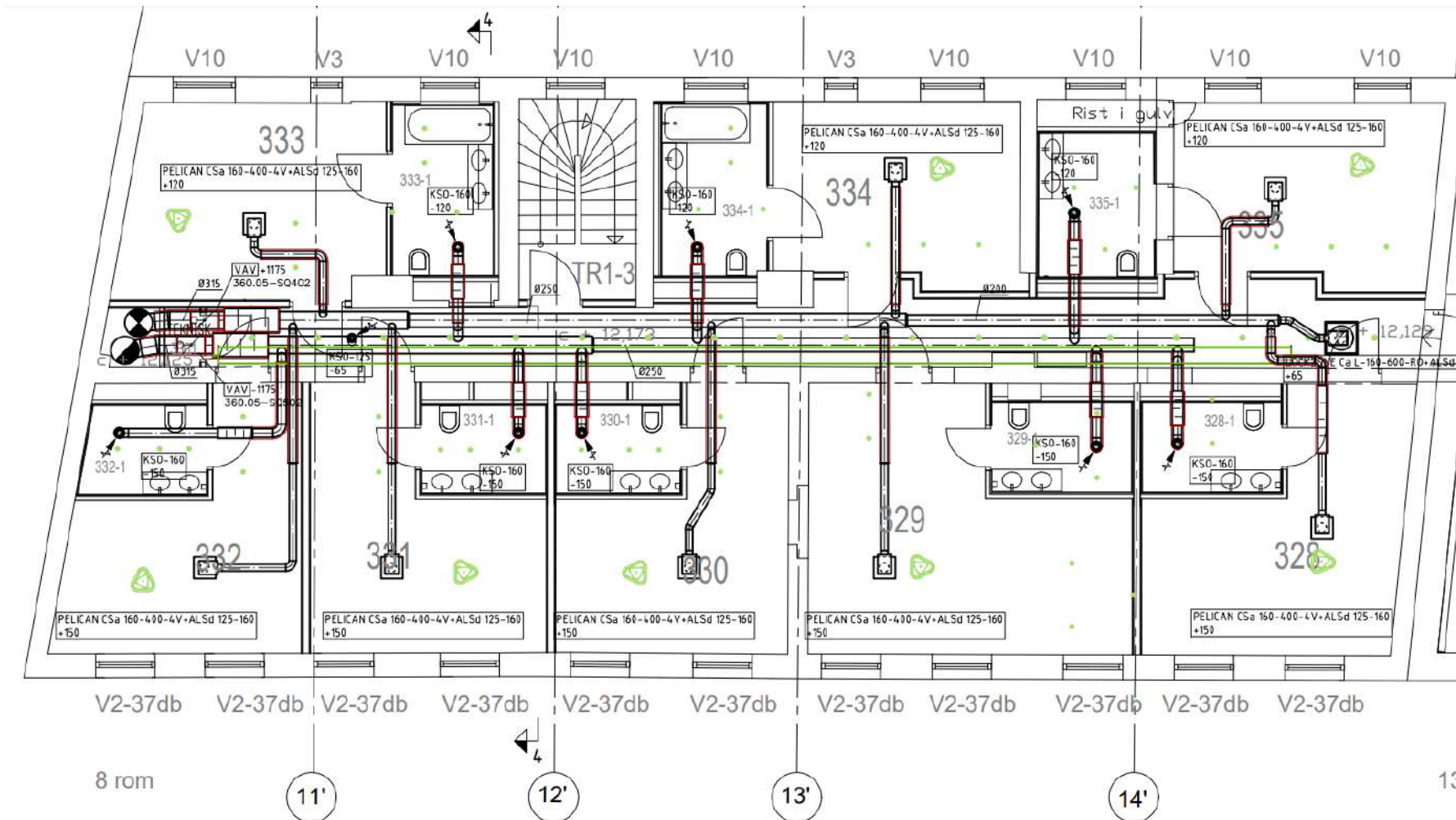
Vedlegg

Vedlegg 1: Plantegninger

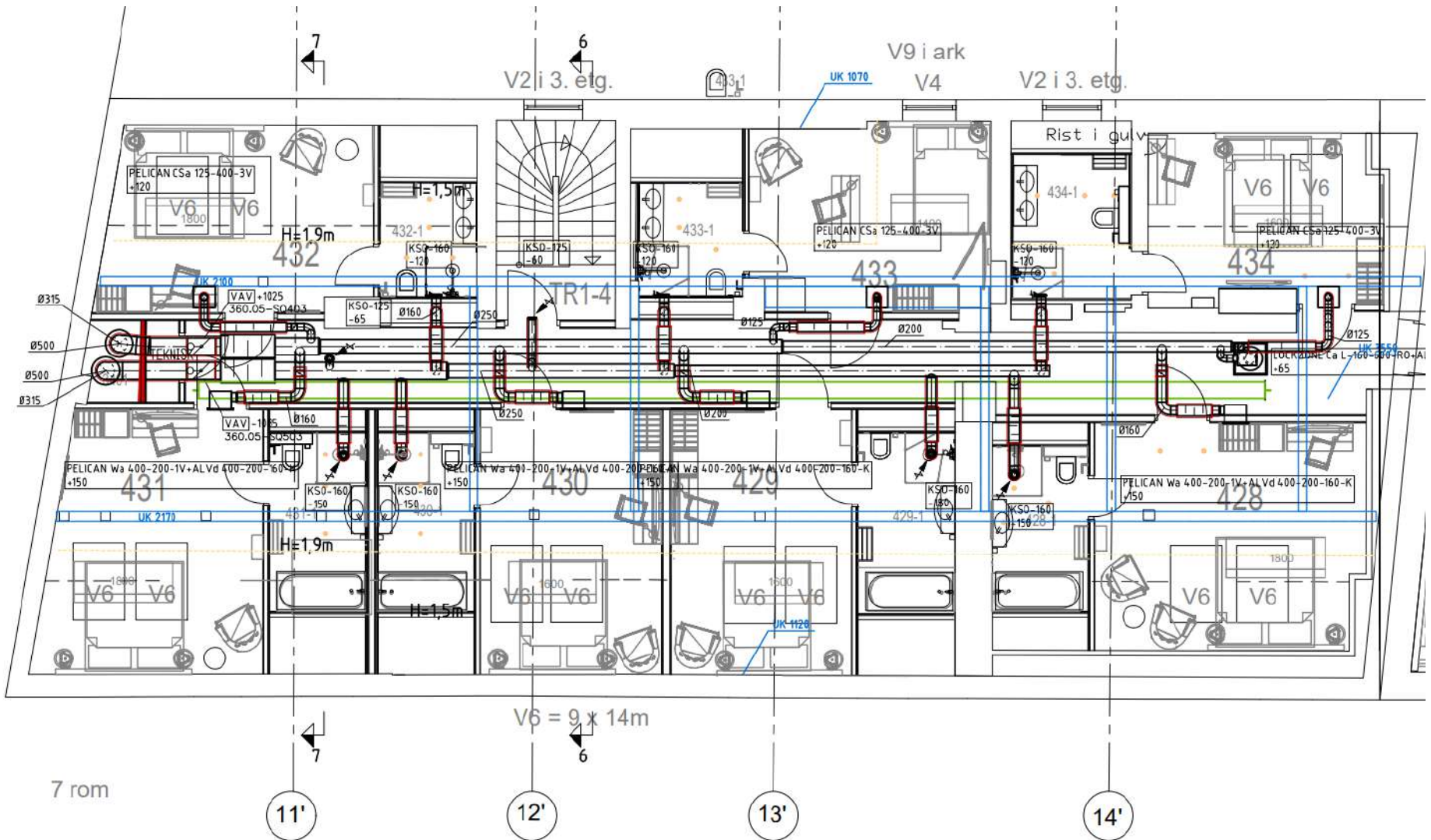
Plan 2



Plan 3



Plan 4



Vedlegg 2: SFP-skjemaer

SFP Maks luftmengder

Scenario 1	JV401	0,760	kW
	JV501	1,701	kW
	Sum	2,461	kW
	Største luftmengde	3935	m ³ /h
	Største luftmengde	1,09	m ³ /s
	SFP	2,25	kW/m³/s

Scenario 2	JV401	0,647	kW
	JV501	1,683	kW
	Sum	2,330	kW
	Største luftmengde	3990	m ³ /h
	Største luftmengde	1,11	m ³ /s
	SFP	2,10	kW/m³/s

Scenario 3	JV401	0,623	kW
	JV501	0,884	kW
	Sum	1,507	kW
	Største luftmengde	3443	m ³ /h
	Største luftmengde	0,96	m ³ /s
	SFP	1,58	kW/m³/s

Scenario 4	JV401	0,752	kW
	JV501	1,109	kW
	Sum	1,861	kW
	Største luftmengde	3720	m ³ /h
	Største luftmengde	1,03	m ³ /s
	SFP	1,80	kW/m³/s

SFP Minimum luftmengder

Scenario 1	JV401	0,133	kW
	JV501	0,381	kW
	Sum	0,514	kW
	Største luftmengde	2161	m ³ /h
	Største luftmengde	0,60	m ³ /s
	SFP	0,86	kW/m³/s

Scenario 2	JV401	0,123	kW
	JV501	0,351	kW
	Sum	0,474	kW
	Største luftmengde	2224	m ³ /h
	Største luftmengde	0,62	m ³ /s
	SFP	0,77	kW/m³/s

Scenario 3	JV401	0,125	kW
	JV501	0,182	kW
	Sum	0,307	kW
	Største luftmengde	1815	m ³ /h
	Største luftmengde	0,50	m ³ /s
	SFP	0,61	kW/m³/s

Scenario 4	JV401	0,095	kW
	JV501	0,165	kW
	Sum	0,26	kW
	Største luftmengde	1628	m ³ /h
	Største luftmengde	0,45	m ³ /s
	SFP	0,57	kW/m³/s

Vedlegg 3: Systemdata

Systemdata - Thon Hotel Spectrum - 360.05									
Dato	22-29.01.2023	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Aggregat									
Avtrekk									
RT501 (temp avkast)		0,6 °C	1,6 °C	2,2 °C	2,4 °C	3,8 °C	4,5 °C	9,2 °C	9,6 °C
RD501 (luftmengde avtrekk)		4341 m ³ /h	2416 m ³ /h	4402 m ³ /h	2431 m ³ /h	3641 m ³ /h	1848 m ³ /h	3955 m ³ /h	1695 m ³ /h
RD501 (Pådrag avtrekk)		97,9 %	53,1 %	99,7 %	52 %	71,3 %	39,8 %	83,6 %	37,1 %
RD501 (trykkfall filter)		33 Pa	18 Pa	34 Pa	18 Pa	31 Pa	17 Pa	36 Pa	17 Pa
RT500 (temp avtrekk)		18,6 °C	17,4 °C	18,4 °C	17,1 °C	18,8 °C	17,6 °C	19,9 °C	18,9 °C
RT900 (utetemp)		-6,8 °C	-6,1 °C	-5,5 °C	-4,1 °C	-1,1 °C	-0,3 °C	5,1 °C	5,6 °C
Effekt (avtrekksvifte)		1600 W	444 W	1600 W	415 W	848 W	244 W	1006 W	225 W
Frekvens (spenning)		60,8 Hz	37,8 Hz	60,8 Hz	36,9 Hz	48,1 Hz	30,6 Hz	53,4 Hz	30,5 Hz
K-faktor		198 -	198 -	198 -	198 -	198 -	198 -	198 -	198 -
Tilluft									
RT900 (temp inntak)		-6,9 °C	-6,1 °C	-5,5 °C	-4,1 °C	-1,1 °C	-0,3 °C	5,1 °C	5,6 °C
RD401 (trykkfall filter)		30 Pa	16 Pa	29 Pa	16 Pa	31 Pa	16 Pa	32 Pa	15 Pa
Pådrag varmegjenvinner		100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
RD401 (luftmengde tilluft)		3301 m ³ /h	1656 m ³ /h	3313 m ³ /h	1668 m ³ /h	3324 m ³ /h	1608 m ³ /h	3389 m ³ /h	1400 m ³ /h
RD401 (pådrag tilluft)		70,6 %	36,3 %	69,2 %	35,4 %	65,7 %	34,2 %	74,6 %	32,7 %
RT550 (returtemp varmebatteri)		16,2 °C	15,4 °C	16,5 °C	15,4 °C	16,8 °C	15,9 °C	18,6 °C	17,7 °C
RT402 (turtemp varmebatteri)		24,6 °C	22,4 °C	24,8 °C	22 °C	22,7 °C	20,4 °C	21 °C	19,9 °C
SB401 (pådrag shuntventil)		100 %	55,8 %	100 %	41,1 %	75,7 %	41,2 %	45,4 %	32,9 %
RT400 (tilluftstemp)		23,6 °C	23,5 °C	23,7 °C	23,3 °C	22,4 °C	22 °C	22 °C	22 °C
Effekt (avtrekksvifte)		652 W	190 W	634 W	178 W	630 W	170 W	730 W	138 W
Frekvens (spenning)		44,9 Hz	28,5 Hz	44 Hz	27,8 Hz	43,8 Hz	27,2 Hz	47,7 Hz	26,1 Hz
K-faktor		198 -	198 -	198 -	198 -	198 -	198 -	198 -	198 -

		Scenario 1				Scenario 2				Scenario 3				Scenario 4			
		Max		Min		Max		Min		Max		Min		Max		Min	
VAV-spjeld																	
Avtrekk	SQ501 - Plan 2																
	Spjeldposisjon	100 %		84,9 %		100 %		84,7 %		67,8 %		65,9 %		79 %		70,9 %	
	Settpunkt	1170 m ³ /h		591 m ³ /h		1170 m ³ /h		591 m ³ /h		1170 m ³ /h		591 m ³ /h		1175 m ³ /h		470 m ³ /h	
	Luftmengde	59 %		33,7 %		60,1 %		33,4 %		65,3 %		34,2 %		66,8 %		28,1 %	
	Luftmengde	1038 m ³ /h		589 m ³ /h		1046 m ³ /h		584 m ³ /h		1143 m ³ /h		589 m ³ /h		1169 m ³ /h		491 m ³ /h	
	ΔP	52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa	
	SQ502 - Plan 3																
	Spjeldposisjon	55 %		48,8 %		56,5 %		51 %		85 %		85,4 %		85 %		85,5 %	
	Settpunkt	1175 m ³ /h		543 m ³ /h		1175 m ³ /h		543 m ³ /h		1175 m ³ /h		543 m ³ /h		1175 m ³ /h		470 m ³ /h	
	Luftmengde	66,7 %		33,6 %		67,9 %		33,6 %		65,2 %		34,5 %		66,8 %		28,1 %	
	Luftmengde	1173 m ³ /h		587 m ³ /h		1173 m ³ /h		587 m ³ /h		1142 m ³ /h		604 m ³ /h		1170 m ³ /h		491 m ³ /h	
	ΔP	47 Pa		47 Pa		47 Pa		47 Pa		47 Pa		47 Pa		52 Pa		52 Pa	
	SQ503 - Plan 4																
	Spjeldposisjon	49 %		44,2 %		50,2 %		45,2 %		61,5 %		61,2 %		57 %		67,7 %	
	Settpunkt	1085 m ³ /h		543 m ³ /h		1085 m ³ /h		543 m ³ /h		1085 m ³ /h		543 m ³ /h		1105 m ³ /h		543 m ³ /h	
	Luftmengde	62,2 %		31 %		62,6 %		31 %		62 %		31,3 %		63,1 %		31,9 %	
	Luftmengde	1082 m ³ /h		543 m ³ /h		1096 m ³ /h		543 m ³ /h		1085 m ³ /h		548 m ³ /h		1104 m ³ /h		559 m ³ /h	
	ΔP	52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa	
Tilluft	SQ401 - Plan 2																
	Spjeldposisjon	63 %		64,3 %		61,8 %		62,1 %		62,6 %		64,2 %		68 %		84 %	
	Settpunkt	1236 m ³ /h		619 m ³ /h		1236 m ³ /h		619 m ³ /h		1236 m ³ /h		619 m ³ /h		1235 m ³ /h		500 m ³ /h	
	Luftmengde	70,6 %		34,8 %		71,2 %		37,2 %		71,2 %		34,2 %		71,4 %		28,7 %	
	Luftmengde	1201 m ³ /h		609 m ³ /h		1244 m ³ /h		651 m ³ /h		1247 m ³ /h		599 m ³ /h		1250 m ³ /h		503 m ³ /h	
	ΔP	52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa	
	SQ402 - Plan 3																
	Spjeldposisjon	85 %		84,9 %		85,1 %		85,4 %		85,8 %		84,8 %		85 %		85,2 %	
	Settpunkt	1176 m ³ /h		591 m ³ /h		1176 m ³ /h		591 m ³ /h		1176 m ³ /h		591 m ³ /h		1175 m ³ /h		470 m ³ /h	
	Luftmengde	66,8 %		34 %		67,6 %		35,6 %		67,9 %		33,4 %		66,7 %		27,4 %	
	Luftmengde	1189 m ³ /h		594 m ³ /h		1169 m ³ /h		623 m ³ /h		1194 m ³ /h		584 m ³ /h		1185 m ³ /h		479 m ³ /h	
	ΔP	52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa		52 Pa	
	SQ403 - Plan 4																
	Spjeldposisjon	54 %		48,7 %		56 %		51,6 %		57,4 %		50,5 %		59 %		53,6 %	
	Settpunkt	1025 m ³ /h		514 m ³ /h		1025 m ³ /h		514 m ³ /h		1025 m ³ /h		514 m ³ /h		1025 m ³ /h		410 m ³ /h	
	Luftmengde	58,7 %		29,2 %		57,8 %		30,9 %		60,1 %		28,8 %		59,3 %		23,6 %	
	Luftmengde	1032 m ³ /h		510 m ³ /h		1011 m ³ /h		541 m ³ /h		1052 m ³ /h		504 m ³ /h		1038 m ³ /h		413 m ³ /h	
	ΔP	47 Pa		47 Pa		47 Pa		47 Pa		47 Pa		47 Pa		52 Pa		52 Pa	

Side 2/3

		Scenario 1			Scenario 2			Scenario 3			Scenario 4			
Vifteeffekter		Max		Min	Max		Min	Max		Min		Min		
Avlest i display PEL 103														
Tilluft	P1 (Aktiv effekt)	0,760 kW		0,135 kW	0,627 kW		0,130 kW	0,620 kW		0,118 kW		0,760 kW	-	kW
	Q1 (Reaktiv effekt)	0,173 kVAR		0,080 kVAR	0,130 kVAR		0,077 kVAR	0,127 kVAR		0,081 kVAR		0,135 kVAR	-	kVAR
	S1 (Tilsynelatende effekt)	0,792 kVA		0,140 kVA	0,664 kVA		0,141 kVA	0,633 kVA		0,141 kVA		0,769 kVA	-	kVA
	I1 (strømtrekk)	3,371 A		0,600 A	2,780 A		0,590 A	2,660 A		0,600 A		3,360 A	-	A
	V1 (spenning)	235,7 V		234,4 V	236,6 V		236,5 V	237,4 V		236,2 V		232,4 V	-	V
	F (frekvens)	50,00 Hz		50,00 Hz	50,00 Hz		50,00 Hz	50,00 Hz		50,00 Hz		50,00 Hz	-	Hz
	PF	0,96 -		0,96 -	0,94 -		0,92 -	0,98 -		0,84 -		0,99 -	-	-
Avtrekk	P1 (Aktiv effekt)	1,700 kW		0,378 kW	1,685 kW		0,362 kW	0,858 kW		0,183 kW		1,107 kW		0,168 kW
	Q1 (Reaktiv effekt)	0,151 kVAR		0,103 kVAR	0,145 kVAR		0,102 kVAR	0,144 kVAR		0,089 kVAR		0,157 kVAR		0,086 kVAR
	S1 (Tilsynelatende effekt)	1,710 kVA		0,389 kVA	1,689 kVA		0,377 kVA	0,861 kVA		0,204 kVA		1,117 kVA		0,184 kVA
	I1 (strømtrekk)	7,290 A		1,680 A	7,140 A		1,560 A	3,650 A		0,860 A		4,830 A		0,760 A
	V1 (spenning)	233,7 V		233,2 V	236,4 V		236 V	236,1 V		235,6 V		231,4 V		232,7 V
	F (frekvens)	50,00 Hz		50,00 Hz	50,00 Hz		50,00 Hz	50,00 Hz		50,00 Hz		50,00 Hz		50,00 Hz
	PF	0,99 -		0,97 -	1,00 -		0,96 -	1,00 -		0,90 -		0,99 -		0,91 -
Loggede verdier med PEL 103														
Tilluft	P1 (Aktiv effekt)	-		0,133 kW	0,647 kW		0,123 kW	0,623 kW		0,125 kW		0,752 kW		0,095 kW
	Q1 (Reaktiv effekt)	-		0,081 kVAR	0,130 kVAR		0,079 kVAR	0,126 kVAR		0,082 kVAR		0,136 kVAR		0,076 kVAR
	S1 (Tilsynelatende effekt)	-		0,157 kVA	0,660 kVA		0,147 kVA	0,636 kVA		0,150 kVA		0,765 kVA		0,121 kVA
	I1 (strømtrekk)	-		0,670 A	2,791 A		0,619 A	0,684 A		0,636 A		3,293 A		233,2 A
	V1 (spenning)	-		234,5 V	236,5 V		236,9 V	237,0 V		235,8 V		232,3 V		0,520 V
	F (frekvens)	-		50,01 Hz	49,99 Hz		49,99 Hz	50,01 Hz		50,04 Hz		49,99 Hz		49,99 Hz
	PF	-		0,85 -	0,98 -		0,84 -	0,98 -		0,83 -		0,98 -		0,79 -
Avtrekk	P1 (Aktiv effekt)	1,701 kW		0,381 kW	1,683 kW		0,351 kW	0,884 kW		0,182 kW		1,109 kW		0,165 kW
	Q1 (Reaktiv effekt)	0,150 kVAR		0,104 kVAR	0,145 kVAR		0,103 kVAR	0,146 kVAR		0,089 kVAR		0,157 kVAR		0,084 kVAR
	S1 (Tilsynelatende effekt)	1,708 kVA		0,395 kVA	1,690 kVA		0,366 kVA	0,896 kVA		0,203 kVA		1,120 kVA		0,185 kVA
	I1 (strømtrekk)	7,305 A		1,689 A	7,154 A		1,552 A	3,799 A		0,861 A		4,841 A		0,795 A
	V1 (spenning)	233,8 V		233,6 V	236,2 V		236 V	236,2 V		235,6 V		231,3 V		232,8 V
	F (frekvens)	50,01 Hz		50,00 Hz	50,00 Hz		49,99 Hz	49,98 Hz		50,05 Hz		49,97 Hz		50,00 Hz
	PF	1,00 -		0,96 -	1,00 -		0,96 -	0,99 -		0,90 -		0,99 -		0,89 -

Side 3/3

Vedlegg 4: Måleprotokoll tilluft

MÅLEPROTOKOLL - TILLUFT											
Adresse		Brugata 3C		Dato		29.01.2023		System		360.005	
Romnr.	Kanaldim. (mm)	Prosjektert (m³/h)	K-faktor	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
				Dato:		Dato:		Dato:		Dato:	
				22.01.2023		22.01.2023		23.01.2023		29.01.2023	
				Regulert	Avvik	Regulert	Avvik	Regulert	Avvik	Regulert	Avvik
434	125	120	11,4	115	-4	93	-23	59	-51	124	3
Korridor	125	65	12,4	59	-9	82	26	95	46	62	-5
428	160	150	17,3	146	-3	129	-14	138	-8	140	-7
433	125	120	11,4	90	-25	81	-33	84	-30	118	-2
429	160	150	17,3	138	-8	115	-23	127	-15	147	-2
430	160	150	17,3	142	-5	145	-3	149	-1	141	-6
432	125	120	11,4	102	-15	99	-18	101	-16	121	1
431	160	150	17,3	143	-5	165	10	164	9	151	1
-SQ403	315	1025		935	-9	909	-11	917	-11	1004	-2
Korridor	125	65	12,4	69	6	124	91	120	85	70	8
328	125	150	11,4	140	-7	110	-27	107	-29	139	-7
335	125	120	11,4	108	-10	133	11	129	8	103	-14
334	125	120	11,4	102	-15	135	13	132	10	111	-8
329	125	150	11,4	148	-1	104	-31	104	-31	138	-8
330	125	150	11,4	136	-9	100	-33	95	-37	133	-11
331	125	150	11,4	138	-8	112	-25	127	-15	135	-10
333	125	120	11,4	113	-6	118	-2	119	-1	101	-16
332	125	150	11,4	87	-42	124	-17	125	-17	132	-12
-SQ402	315	1175		1041	-11	1060	-10	1058	-10	1062	-10
Korridor	125	65	12,4	70	8	88	35	89	37	70	8
228	125	150	11,4	117	-22	100	-33	96	-36	95	-37
235	125	120	11,4	91	-24	109	-9	111	-8	83	-31
234	125	120	11,4	88	-27	111	-8	104	-13	73	-39
229	125	150	11,4	115	-23	94	-37	91	-39	108	-28
230	125	150	11,4	113	-25	100	-33	98	-35	97	-35
TR1-4	125	60	9,9	53	-12	35	-42	39	-35	78	30
231	125	150	11,4	63	-58	112	-25	92	-39	98	-35
233	125	120	11,4	98	-18	78	-35	77	-36	73	-39
232	125	150	11,4	62	-59	65	-57	65	-57	93	-38
-SQ401	315	1235		870	-30	892	-28	862	-30	868	-30
Totalt	500	3435		2846	-17	2861	-17	2837	-17	2934	-15
	500	3435		3069	-11	3020	-12	3096	-10	3249	-5
	500	3435		3110	-9	3039	-12	3110	-9	3252	-5
		3435		3301	-4	3313	-4	3324	-3	3389	-1

Vedlegg 5: Måleprotokoll avtrekk

MALEPROTOKOLL - AVTREKK														
Adresse		Brugata 3C			Dato		29.01.2023			System		360.005		
Romnr.	Kanaldim. (mm)	Prosjekttert (m ³ /h)	Scenario 1 Dato: 22.01.2023			Scenario 2 Dato: 22.01.2023			Scenario 3 Dato: 23.01.2023			Scenario 4 Dato: 29.01.2023		
			Regulert	Avvik	Ventil- posisjon	Regulert	Avvik	Ventil- posisjon	Regulert	Avvik	Ventil- posisjon	Regulert	Avvik	Ventil- posisjon
434-1	160	120	90	-25	+10	80	-33	+20	85	-29	+20	107	-11	+23
428-1	160	150	94	-37	+8	93	-38	+20	97	-35	+20	132	-12	+27
429-1	160	150	122	-19	+15	100	-33	+20	100	-33	+20	138	-8	+21
433-1	160	120	102	-15	+9	96	-20	+20	96	-20	+20	112	-7	+16
TR1-4	125	60	110	83	+7	119	98	+20	118	97	+20	74	23	+1
432-1	160	120	114	-5	+9	118	-2	+20	117	-3	+20	103	-14	+9
430-1	160	150	129	-14	+9	138	-8	+20	140	-7	+20	130	-13	+12
431-1	160	150	173	15	+19	150	0	+20	149	-1	+20	140	-7	+13
Korridor	125	65	69	6	+0	102	57	+15	93	43	+15	52	-20	-1
-SQ503	315	1085	934	-14		996	-8		995	-8		988	-9	
328-1	160	150	139	-7	+21	93	-38	+20	99	-34	+20	146	-3	+20
329-1	160	150	122	-19	+11	86	-43	+20	102	-32	+20	138	-8	+17
335-1	160	120	125	4	13	99	-18	+20	103	-14	+20	110	-8	+10
334-1	160	120	114	-5	+8	113	-6	+20	103	-14	+20	110	-8	+7
330-1	160	150	135	-10	+10	132	-12	+20	134	-11	+20	137	-9	+11
331-1	160	150	130	-13	+10	130	-13	+20	126	-16	+20	140	-7	+13
333-1	160	120	113	-6	+7	124	3	+20	120	0	+20	112	-7	+6
Korridor	125	65	68	5	-2	110	69	+15	98	51	+15	59	-9	-2
332-1	160	150	90	-40	-1	148	-1	+20	150	0	+20	128	-15	+2
-SQ502	315	1175	1036	-12		1035	-12		1035	-12		1080	-8	
228-1	160	150	175	17	+21	131	-13	+20	93	-38	+20	152	1	+20
229-1	160	150	192	28	+20	150	0	+20	111	-26	+20	150	0	+13
235-1	160	120	139	16	+5	151	26	+20	111	-8	+20	120	0	+7
234-1	160	120	143	19	+5	171	43	+20	118	-2	+20	115	-4	+4
230-1	160	150	243	62	+25	172	15	+20	124	-17	+20	148	-1	+10
231-1	160	150	181	21	+11	183	22	+20	132	-12	+20	151	1	+9
233-1	160	120	149	24	+3	199	66	+20	142	18	+20	118	-2	-1
Korridor	125	65	83	28	-3	149	129	+15	93	43	+15	64	-2	-4
232-1	160	150	142	-5	-1	217	45	+20	117	-22	+20	129	-14	+1
-SQ501	315	1175	1447	23		1523	30		1041	-11		1147	-2	
Totalt	500	3435	3486	1		3554	3		3071	-11		3215	-6	
	500	3435	3935	15		3990	16		3443	0		3720	8	
	500	3435	3888	13		4100	19		3464	1		3746	9	
		3435	4341	26		4402	28		3641	6		3955	15	

Vedlegg 6: Detaljert beskrivelse av måleresultater

I dette vedlegget presenteres det luftmengder målt på flere punkter i anlegget med forskjellige målemetoder, samt avleste luftmengder på aggregatets håndterminal. Luftmengdemålingene har tidvis store avvik fra både prosjekterte luftmengder og målemetodene seg imellom. For å synliggjøre variasjonene i målemetodene er måleresultatene presentert i et diagram under (Diagram 1; Diagram 2). I diagrammet er det vist målte luftmengder for alle fire scenarier med fire forskjellige målemetoder. Gjennomsnittet for målingene er vist med en grønn linje og den prosjekterte luftmengden med en blå linje.

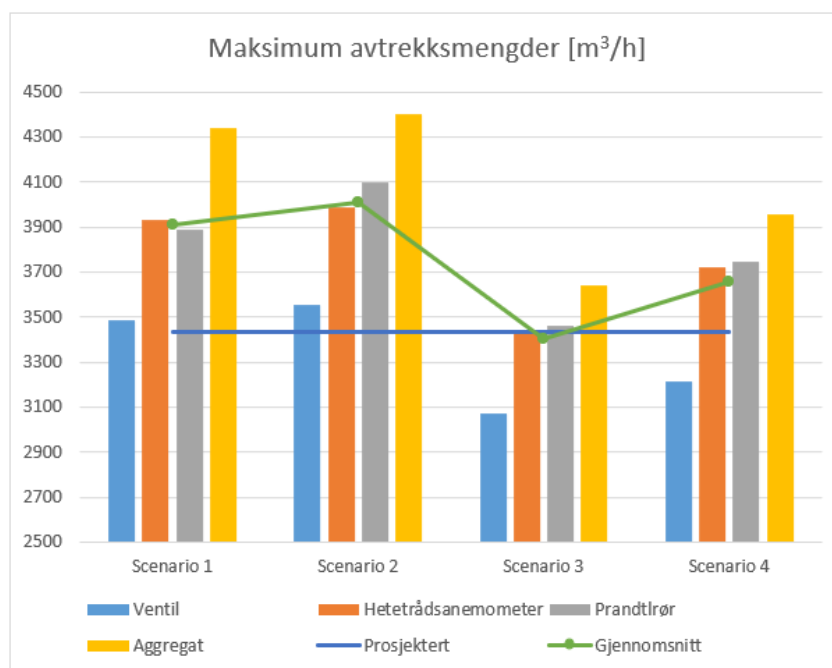


Diagram 1: Målte, avleste og prosjekterte avtrekksmengder ved forskjellige målemetoder

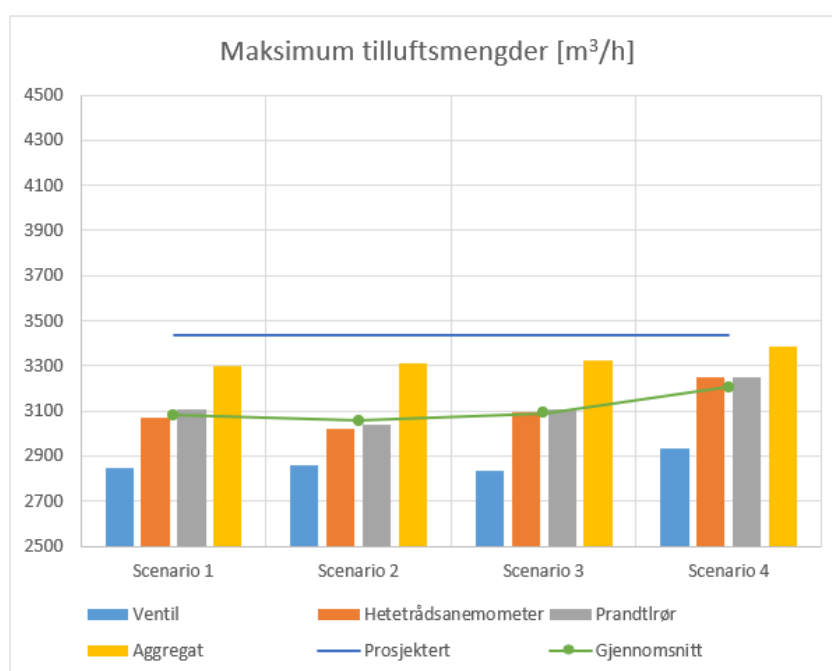


Diagram 2: Målte, avleste og prosjekterte tilluftsmengder ved forskjellige målemetoder

For samtlige målinger på både tillufts- og avtrekkssiden i anlegget er det målt lavere luftmengder på ventilnivå enn øvrige målinger og prosjekterte verdier viser. De lave måleresultatene kan for eksempel skyldes lekkasjer i kanalnettet eller at det er blitt gjort endringer i kanalnettet som ikke fremkommer i tegningsunderlaget.

Målingene med hetetrådsanemometer og prandtlrør er gjort på det samme målepunktet i hovedkanalene i kjelleren. Det er derfor naturlig at målingene er svært samstemte, og de små variasjonene kan forklares med måleusikkerhet knyttet til metodefeil og instrumentfeil.

Avlest luftmengde på aggregatets håndterminal er for alle scenarier høyere enn de manuelle målingene som er utført. Resultatavvikene kan skyldes lekkasjer i kanalnettet mellom aggregatet og målepunktene som er benyttet i kanalnettet. Avvikene kan også skyldes feil k-faktor innstilt på aggregatet eller feil på målepunktene på viftekonene.

Avvikene i måleresultatene med de forskjellige målemetodene kan betegnes som systematiske. For forsøket innebærer det at måleresultatene kan brukes som sammenligningsgrunnlag tross store avvik mellom målemetodene. Videre i vedlegget presenteres luftmengdemålinger med de forskjellige målemetodene, men for beregning av SFP-verdier er det valgt å benytte kanalmålingene utført med hetetrådsanemometer. Hetetrådsanemometermålingene samsvarer godt med gjennomsnittet av samtlige målinger.

Scenario 1

I scenario 1 ble målingene gjennomført slik anlegget stod med opprinnelige innregulerte luftmengder og tilsmussing. De viktigste måleresultatene og beregnede SFP-verdier er vist i tabellen nedenfor (Tabell 1). I forkant av målingene ble det registrert at avtrekksvifta gikk med et viftepådrag på 97,9 prosent ved maksimum luftmengde, noe som er svært høyt sammenlignet med tilluftsvifta som hadde et viftepådrag på 70,6 prosent. Årsaken til den høye viftehastigheten er et VAV-spjeld i andre etasje som hadde en spjeldposisjon på 100 prosent.

Scenario 1	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3935	3069	2161	1566	m ³ /h
Vifteeffekt	1,701	0,760	0,381	0,133	kW
SFP-verdi	1,556	0,891	0,635	0,306	kW/(m ³ /s)
SFP-verdi samlet	2,251		0,856		kW/(m ³ /s)

Tabell 1: Målte luftmengder og vifteeffekter, og beregnede SFP-verdier ved scenario 1

Luftmengder

Luftmengdemålingene utført på ventilene ved maksimal luftmengde viste en samlet tilluftsmengde på 2846 m³/h. Kanalmåling utført med hetetrådsanemometer på hovedkanal i kjelleren viste en samlet luftmengde på 3069 m³/h og luftmengden avlest på aggregatets håndterminal var 3301 m³/h. Sammenlignet med den prosjekterte luftmengden på 3435 m³/h, gir det et avvik på -17 prosent ved måling på ventilnivå, -11 prosent ved måling i hovedkanal og -4 prosent ved avlesning av luftmengde på aggregat.

Den prosjekterte avtrekksluftmengden ved maksimum luftmengder er også 3435 m³/h. Ventilmålingene viste en samlet luftmengde på 3486 m³/h, som tilsvarer et avvik fra prosjekterte luftmengder på +1 prosent. Måling med hetetrådsanemometer i hovedkanalen viste en luftmengde på 3935 m³/h, og avlest luftmengde på aggregatet var 4341 m³/h, som tilsvarer et avvik fra prosjektert luftmengde på henholdsvis +15 og +26 prosent.

Det er ikke oppgitt prosjekterte luftmengder ved drift i minimumssituasjon i prosjekteringsunderlaget, så det er her tatt utgangspunkt i innstilte verdier på VAV-spjeldene. Samlet innstilt minimumsmengde på tilluft er 1724 m³/h og på avtrekk 1677 m³/h. Ved minimum luftmengder er det kun foretatt luftmengdemålinger på hovedkanaler og avlest mengder på aggregatet. Måling i hovedkanalene viste en luftmengde på 1566 m³/h i tilluftskanalen og 2161 m³/h i avtrekkskanalen. Dette tilsvarer et avvik fra innstilte luftmengder på henholdsvis -9 og +29 prosent. Avleste luftmengder på aggregatet var 1656 m³/h på tilluft og 2416 m³/h på avtrekk.

Spjeld

Verdier fra anleggets VAV-spjeld ble avlest i SD-anlegg ved hvert scenario og ved både maksimum og minimum luftmengder. Ved maksimum luftmengde var det for avtrekksiden spjeldet i andre etasje som var styrende for anlegget, med en spjeldvinkel på 100 prosent. Aktuelt settpunkt var 1170 m³/h og spjeldets avleste mengde var 1038 m³/h. Målt luftmengde på underliggende ventiler var da 1447 m³/h, noe som tilsvarer et avvik på +39 prosent sammenlignet med spjeldets avleste mengde.

På tilluftssiden var det spjeldet i tredje etasje som var styrende for anlegget ved maksimum luftmengder med en spjeldposisjon på 85 prosent. Aktuelt settpunkt var da på 1176 m³/h og avlest mengde var 1189 m³/h. Målte luftmengder på underliggende ventiler var 1041 m³/h noe som tilsvarer et avvik på -12 prosent sammenlignet med den avleste mengden på VAV-spjeldet.

Ved minimumsmengder var det også spjeldet i andre etasje som var førende for avtrekksystemet. Spjeldvinkelen var da på 84,9 prosent, med settpunkt på 591 m³/h og en avlest luftmengde på 589 m³/h. På tilluftssiden var det fremdeles spjeldet i tredje etasje som var førende med en spjeldvinkel på 84,9 prosent. Luftmengdesettpunktet var 591 m³/h og avlest mengde var 594 m³/h.

Vifteeffekter og SFP-verdier

Ved drift med maksimumsmengder i anlegget ble den aktive effekten til avtrekksvifta målt til 1,701 kW og tilluftsvifta til 0,760 kW. Under målingene ble viftepådraget avlest til 97,9 prosent på avtrekksvifta og tilluftsvifta til 70,6 prosent. Det ble også gjort tilsvarende målinger ved minimumsmengder i anlegget. Den aktive effekten til avtrekksvifta ble målt til 0,381 kW og tilluftsvifta ble målt til 0,133 kW. Aktuelt viftepådrag på måletidspunktet var 53,1 prosent på avtrekk og 36,3 prosent på tilluft.

For beregning av samlet SFP-verdi for aggregatet benyttes den største luftmengde av tillufts- og avtrekksluftmengden. Ved maksimum luftmengder var den høyeste luftmengden avtrekk med en luftmengde på 3935 m³/h. Ved minimum luftmengder var det også avtrekksmengden som var høyest med en luftmengde på 1724 m³/h. I tillegg er det beregnet SFP-verdier for hver enkelt vifte, basert på de målte luftmengdene tilhørende hver enkelt vifte.

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Samlet} = \frac{(1,701 + 0,760)kW}{\frac{3935m^3 / h}{3600s / h}} = \underline{\underline{2,251kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Avtrekk} = \frac{1,701kW}{\frac{3935m^3 / h}{3600s / h}} = \underline{\underline{1,556kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,760kW}{\frac{3069m^3 / h}{3600s / h}} = \underline{\underline{0,891kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Samlet} = \frac{(0,381 + 0,133)kW}{\frac{2161m^3 / h}{3600s / h}} = \underline{\underline{0,856kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Avtrekk} = \frac{0,381kW}{\frac{2161m^3 / h}{3600s / h}} = \underline{\underline{0,635kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,133kW}{\frac{1566m^3 / h}{3600s / h}} = \underline{\underline{0,306kW / (m^3 / s)}}$$

Scenario 2

Målingene for scenario 2 ble utført i forkant av kanalrengjøring med eksisterende tilsmussing. De viktigste måleresultatene og beregnede SFP-verdier er vist i tabellen nedenfor (Tabell 2). Alle reguleringspjeld i tilluftsventilene i anlegget ble satt i åpen posisjon. Avtrekksventiler med KSO-ventil i ø160-dimensjon ble satt med koneposisjon +20, og ventiler med ø125-dimensjon ble satt til +15. Under målingene med maksimumsmengder hadde avtrekksvifta et pådrag på 99,7 prosent og tilluftsvifta gikk på 69,2 prosent. Det styrende pjeldet på avtrekksiden var fremdeles i andre etasje og hadde en pjeldvinkel på 100 prosent. På tilluftssiden var det pjeldet i tredje etasje som var styrende, med en pjeldvinkel på 85,1 prosent.

Scenario 2	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3990	3020	2224	1602	m ³ /h
Vifteeffekt	1,683	0,647	0,351	0,123	kW
SFP-verdi	1,518	0,771	0,568	0,276	kW/(m ³ /s)
SFP-verdi samlet	2,102		0,767		kW/(m ³ /s)

Tabell 2: Målte luftmengder og vifteeffekter, og beregnede SFP-verdier ved scenario 2

Luftmengder

Ved maksimum drift i anlegget ble total tilluftsmengde målt til 2861 m³/h på ventilene. Kanalmålingen på hovedkanalen viste en luftmengde 3020 m³/h, og avlest mengde på aggregatet var 3313 m³/h. Det gir et avvik på henholdsvis -17, -12 og -4 prosent sammenlignet med den prosjekterte mengden på 3435 m³/h. På avtrekksiden ble total mengde målt på ventiler 3554 m³/h, som tilsvarer et avvik fra prosjektert mengde på +3 prosent. Kanalmålingen viste en luftmengde på 3990 m³/h, et avvik på +16 prosent. Avlest mengde på aggregatet var 4402 m³/h, som tilsvarer et avvik på +28 prosent fra prosjektert mengde.

I minimumsdrift er de innstilte luftmengdene uendret med en avtrekksmengde på 1677 m³/h og en tilluftsmengde 1724 m³/h. Måling i hovedkanal viser en avtrekksmengde på 2224 m³/h og en tilluftsmengde på 1602 m³/h, som tilsvarer et avvik på henholdsvis +33 og -7 prosent. Avtrekksmengden avlest på aggregatet var 2431 m³/h, som tilsvarer et avvik på +45 prosent, og tilluftsmengden var 1668 m³/h, et avvik på -3 prosent.

Spjeld

Under scenario 2 var det fremdeles spjeldet i andre etasje som var førende for avtrekksiden med en spjeldvinkel på 100 prosent ved maksimum luftmengder. Spjeldets settpunkt var da 1170 m³/h og avlest mengde på spjeldet var 1046 m³/h. Total mengde målt på underliggende ventiler var da 1523 m³/h, noe som tilsvarer et avvik fra avlest mengde på +46 prosent. Spjeldvinkelen på 100 prosent er årsaken til at avtrekksvifta gikk med et pådrag på 99,7 prosent. På tilluftssiden var det spjeldet i tredje etasje som var styrende, samme som ved scenario 1. Spjeldet hadde da en spjeldvinkel på 85,1 prosent, et settpunkt på 1176 m³/h og en avlest mengde på 1169 m³/h. Total mengde målt på underliggende ventiler var 1060 m³/h, noe som tilsvarer et avvik på -9 prosent fra avlest mengde.

Under drift med minimumsmengder i anlegget var det også spjeldet i andre etasje som var førende for avtrekkssiden med en spjeldvinkel på 84,7 prosent. Spjeldets settpunkt var 591 m³/h og avlest mengde 589 m³/h. For tilluftssiden var det spjeldet i tredje etasje som var styrende med en spjeldvinkel på 85,1 prosent. Spjeldets settpunkt var 591 m³/h og avlest mengde 623 m³/h.

Vifteeffekter og SFP-verdier

Den aktive effekten til avtrekksvifta ble målt til 1,683 kW ved maksimum luftmengder, og tilluftsvifta ble målt til 0,647 kW. Ved måletidspunktet hadde avtrekksvifta et viftepådrag på 99,7 prosent og tilluftsvifta et pådrag på 69,2 prosent. Ved minimumsmengder ble den aktive effekten til avtrekksvifta målt til 0,351 kW og tilluftsvifta til 0,123 kW. Pådraget til avtrekksvifta var da 52,0 prosent og tilluftsvifta var på 35,4 prosent.

For beregning av anleggets SFP-verdi ved maksimum drift, benyttes avtrekksmengden målt i hovedkanalen på 3990 m³/h. Ved minimumsmengder er det også avtrekksmengden på 2224 m³/h som benyttes i beregningene.

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{\text{Samlet}} = \frac{(1,683 + 0,647) \text{ kW}}{\frac{3990 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}}} = \underline{\underline{2,102 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{\text{Avtrekk}} = \frac{1,683 \text{ kW}}{\frac{3990 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}}} = \underline{\underline{1,518 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{\text{Tilluft}} = \frac{0,647 \text{ kW}}{\frac{3020 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}}} = \underline{\underline{0,771 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}}$$

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved minimum luftmengder:

$$SFP_{\text{Samlet}} = \frac{(0,351 + 0,123) \text{ kW}}{\frac{2224 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}}} = \underline{\underline{0,767 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Avtrekk} = \frac{0,351kW}{\frac{2224m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,568kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,123kW}{\frac{1602m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,276kW / (m^3 / s)}}$$

Scenario 3

Ved scenario 3 var kanalnettet og VAV-spjeldenes målekors rengjort. De viktigste måle-resultatene og beregnede SFP-verdier er vist i tabellen nedenfor (Tabell 3). Det har i forkant av målingene blitt kontrollert at anleggets ventilposisjoner er uendret fra scenario 2. Under målingene med maksimumsmengder hadde avtrekksvifta et pådrag på 71,3 prosent og det var VAV-spjeldet i tredje etasje som var styrende for avtrekkssiden med en spjeldvinkel på 85,0 prosent. Tilluftsviftas pådrag var på 65,7 prosent og det var spjeldet i tredje etasje med en spjeldvinkel på 85,8 prosent som var styrende for anlegget.

Scenario 3	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3443	3096	1815	1704	m ³ /h
Vifteeffekt	0,884	0,623	0,182	0,125	kW
SFP-verdi	0,924	0,724	0,361	0,264	kW/m ³ /s
SFP-verdi samlet	1,576		0,609		kW/m ³ /s

Tabell 3: Målte luftmengder og vifteeffekter, og beregnede SFP-verdier ved scenario 3

Luftmengder

Ved maksimumsmengder ble det på ventilene i anlegget målt en samlet tilluftsmengde på 2837 m³/h. Sammenlignet med den prosjekterte luftmengden på 3435 m³/h tilsvarer dette et avvik på -17 prosent. Kanalmålingen på hovedkanalen viste 3096 m³/h, som tilsvarer et avvik på -10 prosent og avlest mengde på aggregatet var 3324 m³/h og et avvik på -3 prosent. For avtrekkssiden i anlegget ble den totale luftmengden på ventilene målt til 3071 m³/h, som gir et avvik på -11 prosent. Kanalmålingen viste en luftmengde på 3443 m³/h og et avvik på 0 prosent, og avlest mengde på aggregatet var 3641 m³/h med et avvik på +6 prosent.

Ved drift av anlegget i minimumsmengder var innstilte luftmengder på spjeldene uendret fra scenario 1 og 2, med en innstilt avtrekksmengde på 1677 m³/h og innstilt tilluftsmengde på 1724 m³/h. Total avtrekksmengde målt med hetetrådsanemometer i hovedkanalen viste en luftmengde på 1815 m³/h, som tilsvarer et avvik på +8 prosent. Avlest mengde på aggregatet var 1848 m³/h, som tilsvarer et avvik på +10 prosent. Målt tilluftsmengde i hovedkanalen var 1704 m³/h, som gir et avvik på -1 prosent. Avlest mengde på aggregatet var da 1608 m³/h, som tilsvarer et avvik på -7 prosent.

Spjeld

På avtrekkssiden var det spjeldet i tredjeetasje som var førende for aggregatet med en spjeldvinkel på 85,0 prosent. Ved tidligere scenarier har spjeldet i andre etasje ført til at avtrekksvifta har hatt tilnærmet 100 prosent pådrag. Ved scenario 3 hadde viftepådraget roet seg betraktelig ettersom ingen spjeld stod i åpen posisjon, og viftepådraget var redusert til 71,3 prosent. Spjeldet hadde under målingene et settpunkt på 1175 m³/h og en avlest mengde på 1142 m³/h. Målt mengde på underliggende ventiler var da 1035 m³/h, som tilsvarer et avvik fra avlest mengde på -9 prosent. På tilluftssiden var det fremdeles spjeldet i tredje etasje som var styrende med en spjeldvinkel på 85,8 prosent og tilluftsvifta hadde et pådrag på 65,7 prosent. Spjeldet hadde da et settpunkt på 1176 m³/h og avlest mengde på 1194 m³/h. Total mengde målt på underliggende ventiler var 1058 m³/h, som tilsvarer et avvik fra avlest mengde på -11 prosent.

Ved minimumsmengder i anlegget var det spjeldet i tredje etasje som var styrende for avtrekkssiden med en spjeldvinkel på 85,4 prosent. Spjeldet hadde da et settpunkt på 543 m³/h og en avlest mengde på 604 m³/h. På tilluftssiden var det også spjeldet i tredje etasje som før førende med en spjeldposisjon på 84,8 prosent. Spjeldets settpunkt var 591 m³/h og avlest mengde 584 m³/h.

Vifteeffekter og SFP-verdier

Ved scenario 3 ble den aktive effekten til avtrekksvifta målt til 0,884 kW med maksimum luftmengder i anlegget. Vifta hadde da et pådrag på 71,3 prosent. Vifteeffekten på tilluftssiden ble målt til 0,623 kW og pådraget til vifta var 75,7 prosent. Den aktive effekten til avtrekksvifta ble ved minimumsmengder målt til 0,182 kW og viftepådraget var 39,8 prosent. Tilluftsvifta hadde en aktiv effekt på 0,125 kW og et viftepådrag på 34,2 prosent.

Det er avtrekksmengden målt i hovedkanalen på 3443 m³/h som benyttes i beregningen av SFP-verdien ved maksimum luftmengder. Ved beregning av SFP-verdi ved minimumsmengder er det avtrekksmengden målt i hovedkanal på 1815 m³/h som benyttes.

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{\text{Samlet}} = \frac{(0,884 + 0,623) \text{ kW}}{\frac{3443 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}}} = \underline{\underline{1,576 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{\text{Avtrekk}} = \frac{0,884 \text{ kW}}{\frac{3443 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}}} = \underline{\underline{0,924 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,623kW}{\frac{3096m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,724kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Samlet} = \frac{(0,182 + 0,125)kW}{\frac{1815m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,609kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Avtrekk} = \frac{0,182kW}{\frac{1815m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,361kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,125kW}{\frac{1704m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,264kW / (m^3 / s)}}$$

Scenario 4

Ved scenario 4 var anlegget innregulert på nytt og de fysiske arbeidene på anlegget ferdigstilt. De viktigste måleresultatene og beregnede SFP-verdier er vist i tabellen nedenfor (Tabell 4). Etter innregulering hadde avtrekksvifta et pådrag på 83,6 prosent ved maksimum luftmengde. Det var fremdeles spjeldet i tredje etasje som var styrende for anlegget med en spjeldvinkel på 85,0 prosent. Tilluftsvifta hadde et pådrag på 74,6 prosent og det førende spjeldet i tredje etasje hadde en spjeldvinkel på 85,0 prosent.

Scenario 4	Avtrekk Maks	Tilluft Maks	Avtrekk Min	Tilluft Min	Enhet
Luftmengde	3720	3249	1628	1316	m ³ /h
Vifteeffekt	1,109	0,752	0,165	0,095	kW
SFP-verdi	1,073	0,833	0,365	0,260	kW/(m ³ /s)
SFP-verdi samlet	1,801		0,575		kW/(m ³ /s)

Tabell 4: Målte luftmengder og vifteeffekter, og beregnede SFP-verdier ved scenario 4

Luftmengder

I forkant av luftmengdemålingene ved scenario 4 ble innstillingene på alle VAV-spjeld i anlegget kontrollert på nytt. Det ble registrert noen mindre endringer i de innstilte verdiene etter innregulering. Alle innstilte verdier før og etter innregulering er vedlagt i et eget skjema med oversikt over alle relevante systemdata (Vedlegg 3). Samlet var den totale luftmengden på avtrekksspjeldene endret fra 3430 m³/h til 3455 m³/h ved maksimum drift og fra 1677 m³/h til 1483 m³/h ved minimumsmengder. Tilluftsspjeldenes maksimummengder var endret fra 3437 m³/h til 3435 m³/h og minimumsmengdene fra 1724 m³/h til 1380 m³/h.

Samlet avtrekksmengde målt på ventiler med anlegget i maksimumsdrift var 3215 m³/h. Sammenlignet med den prosjekterte mengden på 3435 m³/h er det et avvik på -6 prosent. Målingen i hovedkanalen viste en luftmengde på 3720 m³/h og et avvik på +8 prosent. Avlest mengde på aggregatet var 3955 m³/h, som tilsvarer et avvik på +15 prosent. På tilluftsventilene ble det målt en samlet luftmengde på 2934 m³/h, som gir et avvik på -15 prosent sammenlignet med den prosjekterte luftmengden på 3435 m³/h. I hovedkanalen ble det målt en total luftmengde på 3249 m³/h, og et avvik fra prosjekterte mengder på -5 prosent. Avlest mengde på aggregatet var 3389 m³/h, som tilsvarer et avvik på -1 prosent.

Ved anlegget innstilt med minimumsmengder ble det målt en total avtrekksmengde i hovedkanalen på 1628 m³/h. Sammenlignet med den innstilte luftmengden på 1483 m³/h gir det et avvik på +10 prosent. Total mengde avlest på aggregatet var 1695 m³/h, som tilsvarer et avvik fra innstilt mengde på +14 prosent. Målt total tilluftsmengde i hovedkanalen var 1316 m³/h og avlest mengde på aggregatet var 1400 m³/h. Målingene tilsvarer et avvik på henholdsvis -5 og +1 prosent sammenlignet med innstilte verdier på spjeldene.

Spjeld

Etter innreguleringen av anlegget var det fremdeles spjeldene i tredje etasje som var styrende for både avtrekks- og tilluftsvifta i anlegget. Ved maksimumsmengder i anlegget hadde avtrekksspjeldet en spjeldvinkel på 85,0 prosent og avtrekksvifta et pådrag på 83,6 prosent. Spjeldets innstilte mengde var 1175 m³/h og avlest mengde var 1194 m³/h. Samlet luftmengde målt på underliggende ventiler var 1080 m³/h, noe som tilsvarer et avvik fra den avleste mengden på spjeldet på -10 prosent. Tilluftsspjeldet hadde en spjeldvinkel på 85,0 prosent og tilluftsvifta et pådrag på 74,6 prosent. Innstilt mengde på spjeldet var 1175 m³/h og den avleste mengden var 1185 m³/h. Spjeldets underliggende ventiler ble målt til en samlet luftmengde på 1062 m³/h, som tilsvarer et avvik fra avlest luftmengde på spjeldet på -10 prosent.

Ved minimumsmengder i anlegget var spjeldet i tredje etasje førende for avtrekksiden. Spjeldet hadde en spjeldvinkel på 85,5 prosent og pådraget til avtrekksvifta var på 37,1 prosent. Spjeldets settpunkt var 470 m³/h og den avleste luftmengden var 491 m³/h. På tilluftssiden var det også spjeldet i tredje etasje som var førende med en spjeldposisjon på 85,2 prosent. Spjeldets innstilte luftmengde var 470 m³/h og avlest mengde på spjeldet var 479 m³/h. Tilluftsvifta hadde et pådrag på 32,7 prosent.

Vifteeffekter og SFP-verdier

Under scenario 4 ble den aktive effekten til avtrekksvifta ved maksimum luftmengder målt til 1,109 kW. Pådraget til avtrekksvifta var på måletidspunktet 83,6 prosent. Tilluftsvifta hadde et

pådrag 74,6 prosent og den aktive effekten ble målt til 0,752 kW. Ved minimumsmengder ble den aktive effekten til avtrekksvifta målt til 0,165 kW. Under målingen hadde avtrekksvifta et pådrag på 37,1 prosent. Den aktive effekten til tilluftsvifta ble målt til 0,095 kW, med et pådrag til vifta på 32,7 prosent.

For beregning av anleggets SFP-verdi ved maksimumsmengder er det benyttet resultatet fra den høyeste målingen i hovedkanalen, som ved scenario 4 var avtrekksmengden på 3720 m³/h. Ved minimums-mengder var det også avtrekksmengden på 1628 m³/h som var høyest, og er luftmengden som er benyttet videre i beregningene. Ved beregning av SFP-verdi for tilluftsvifta er det benyttet aktuell tilluftsmengde målt i hovedkanalen.

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Samlet} = \frac{(1,109 + 0,752)kW}{\frac{3720m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{1,801kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Avtrekk} = \frac{1,109kW}{\frac{3720m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{1,073kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved maksimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,752kW}{\frac{3249m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,833kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi samlet for aggregatet ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Samlet} = \frac{(0,165 + 0,095)kW}{\frac{1628m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,575kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for avtrekksvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Avtrekk} = \frac{0,165kW}{\frac{1628m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,365kW / (m^3 / s)}}$$

- SFP-verdi for tilluftsvifta ved minimum luftmengder:

$$SFP_{Tilluft} = \frac{0,095kW}{\frac{1316m^3/h}{3600s/h}} = \underline{\underline{0,260kW / (m^3 / s)}}$$

Vedlegg 7: Beregninger

Beregning av årlig energiforbruk til viftedrift for system 360.05

For beregning av energiforbruket til viftedrift er det tatt utgangspunkt i målte luftmengder i anlegget, beregnede SFP-verdier og aktuell tidsstyring av anlegget under prosjektgjennomføringen.

- Årlig energiforbruk til viftedrift ved scenario 1:

$$E_{Maks} = \frac{3935m^3 / h \cdot 2,251kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 53h / u = \underline{\underline{6781,0kWh / \text{år}}}$$

$$E_{Min} = \frac{2161m^3 / h \cdot 0,856kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 115h / u = \underline{\underline{3072,7kWh / \text{år}}}$$

$$E_{tot} = E_{Maks} + E_{Min} = (6781,0 + 3072,7)kWh / \text{år} = \underline{\underline{9853,7kWh / \text{år}}}$$

- Årlig energiforbruk til viftedrift ved scenario 2:

$$E_{Maks} = \frac{3990m^3 / h \cdot 2,102kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 53h / u = \underline{\underline{6420,7kWh / \text{år}}}$$

$$E_{Min} = \frac{2224m^3 / h \cdot 0,767kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 115h / u = \underline{\underline{2833,5kWh / \text{år}}}$$

$$E_{tot} = E_{Maks} + E_{Min} = (6420,7 + 2833,5)kWh / \text{år} = \underline{\underline{9254,2kWh / \text{år}}}$$

- Årlig energiforbruk til viftedrift ved scenario 3:

$$E_{Maks} = \frac{3443m^3 / h \cdot 1,576kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 53h / u = \underline{\underline{4154,0kWh / \text{år}}}$$

$$E_{Min} = \frac{1815m^3 / h \cdot 0,609kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 115h / u = \underline{\underline{1836,1kWh / \text{år}}}$$

$$E_{tot} = E_{Maks} + E_{Min} = (4154,0 + 1836,1)kWh / \text{år} = \underline{\underline{5990,1kWh / \text{år}}}$$

- Årlig energiforbruk til viftedrift ved scenario 4:

$$E_{Maks} = \frac{3720m^3 / h \cdot 1,801kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 53h / u = \underline{\underline{5129,0kWh / \text{år}}}$$

$$E_{Min} = \frac{1628m^3 / h \cdot 0,575kW / (m^3 / s)}{3600s / h} \cdot 52u / \text{år} \cdot 115h / u = \underline{\underline{1555,0kWh / \text{år}}}$$

$$E_{tot} = E_{Maks} + E_{Min} = (5129,0 + 1555,0)kWh / \text{år} = \underline{\underline{6684,0kWh / \text{år}}}$$

Beregning av energiforbruk til viftedrift for system 360.03 og 360.04

For å gjøre en overslagsberegning av energiforbruket til viftedrift for system 360.03 og 04 settes det forutsetninger om at anleggenes tilstand er lik som for system 360.05. De prosjekterte luftmengdene for anleggene omregnes derfor med tilsvarende avvik som ble målt på system 360.05, og tilsvarende SFP-verdier og driftstider benyttes for å beregne energiforbruket.

Sirkulert luftmengde basert på tilsvarende avvik som for system 360.05:

- Avvik for system 360.05 ved scenario 2:

- Maks luftmengde

$$Avvik = \frac{\dot{V}_{M\ddot{a}lt}}{\dot{V}_{Prosjekt\ddot{e}rt}} = \frac{3990m^3 / h}{3435m^3 / h} = \underline{\underline{1,162}}$$

- Min luftmengde

$$Avvik = \frac{\dot{V}_{M\ddot{a}lt}}{\dot{V}_{Prosjekt\ddot{e}rt}} = \frac{2224m^3 / h}{1677m^3 / h} = \underline{\underline{1,326}}$$

- Luftmengde 03/04 ved tilsvarende avvik som system 05 ved scenario 2:

- Maks luftmengde

$$\dot{V} = \dot{V}_{Prosjekt\ddot{e}rt} \cdot Avvik = 34500m^3 / h \cdot 1,162 = \underline{\underline{40074m^3 / h}}$$

- Min luftmengde

$$\dot{V} = \dot{V}_{Prosjekt\ddot{e}rt} \cdot Avvik = 16836m^3 / h \cdot 1,326 = \underline{\underline{22328m^3 / h}}$$

- Avvik for system 360.05 ved scenario 3:

- Maks luftmengde

$$Avvik = \frac{\dot{V}_{M\ddot{a}lt}}{\dot{V}_{Prosjekt\ddot{e}rt}} = \frac{3443m^3 / h}{3435m^3 / h} = \underline{\underline{1,002}}$$

- Min luftmengde

$$Avvik = \frac{\dot{V}_{M\ddot{a}lt}}{\dot{V}_{Prosjekt\ddot{e}rt}} = \frac{1815m^3 / h}{1677m^3 / h} = \underline{\underline{1,082}}$$

- Luftmengde 03/04 ved tilsvarende avvik som system 05 ved scenario 3:

- Maks luftmengde

$$\dot{V} = \dot{V}_{\text{Prosjektet}} \cdot \text{Avvik} = 34500 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,002 = \underline{\underline{34580 \text{ m}^3 / \text{h}}}$$

- Min luftmengde

$$\dot{V} = \dot{V}_{\text{Prosjektet}} \cdot \text{Avvik} = 16836 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,082 = \underline{\underline{18221 \text{ m}^3 / \text{h}}}$$

Beregnet energiforbruk for system 360.03 og 04:

- Årlig energiforbruk til viftedrift ved scenario 2:

$$E_{\text{Maks}} = \frac{40074 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 2,102 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot 52 \text{ u} / \text{år} \cdot 53 \text{ h} / \text{u} = \underline{\underline{64487,0 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

$$E_{\text{Min}} = \frac{22328 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 0,767 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot 52 \text{ u} / \text{år} \cdot 115 \text{ h} / \text{u} = \underline{\underline{28447,5 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{Maks}} + E_{\text{Min}} = (64487,0 + 28447,5) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{92934,5 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Årlig energiforbruk til viftedrift ved scenario 3:

$$E_{\text{Maks}} = \frac{34580 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,576 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot 52 \text{ u} / \text{år} \cdot 53 \text{ h} / \text{u} = \underline{\underline{41721,3 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

$$E_{\text{Min}} = \frac{18221 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 0,609 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{s})}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot 52 \text{ u} / \text{år} \cdot 115 \text{ h} / \text{u} = \underline{\underline{18432,7 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{Maks}} + E_{\text{Min}} = (41721,3 + 18432,7) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{60154,0 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

Summert energiforbruk for system 360.03, 04 og 05:

- Scenario 2:

$$E_{\text{tot}} = E_{03+04} + E_{05} = (92934,5 + 9252,2) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{102186,7 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Scenario 3:

$$E_{\text{tot}} = E_{03+04} + E_{05} = (60154,0 + 5990,1) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{66144,1 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Besparelse:

$$\text{Besparelse} = E_{S2} - E_{S3} = (102186,7 - 66144,1) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{36042,6 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

$$\text{Besparelse} = \frac{E_{\text{Besparelse}}}{E_{S2}} = \frac{36042,6 \text{ kWh} / \text{år}}{102186,7 \text{ kWh} / \text{år}} = 0,353 = \underline{\underline{35,3\%}}$$

Beregning av spesifikt energibehov til viftedrift for system 360.03, 04 og 05

Når det totale energibehovet til viftedrift er beregnet, kan det være interessant å se på det spesifikke energiforbruket til viftedrift. Totalt betjener systemene 187 hotellrom, hvor rommene har en omtrentlig gjennomsnittlig størrelse på $18,3 \text{ m}^2$. En grov oppmåling på tegning viser at øvrige områder anlegget betjener utgjør omtrentlig 500 m^2 .

- Oppvarmet BRA:

$$BRA = (A_{\text{Hotellrom}} \cdot n_{\text{Hotellrom}}) + A_{\text{øvrig}} = (18,3 \text{ m}^2 \cdot 187) + 500 \text{ m}^2 = \underline{\underline{3922 \text{ m}^2}}$$

Spesifikt energibehov til viftedrift:

- Scenario 2:

$$E_{\text{Spesifikk}} = \frac{E_{S2}}{BRA} = \frac{102186,7 \text{ kWh} / \text{år}}{3922 \text{ m}^2} = \underline{\underline{26,1 (\text{kWh} / \text{år}) / \text{m}^2}}$$

- Scenario 3:

$$E_{\text{Spesifikk}} = \frac{E_{S3}}{BRA} = \frac{66144,1 \text{ kWh} / \text{år}}{3922 \text{ m}^2} = \underline{\underline{16,9 (\text{kWh} / \text{år}) / \text{m}^2}}$$

Andel av energiramme:

- Scenario 2:

$$\text{Andel} = \frac{E_{\text{spesifikk}}}{E_{\text{ramme}}} = \frac{26,1 (\text{kWh} / \text{år}) / \text{m}^2}{170 (\text{kWh} / \text{år}) / \text{m}^2} = \underline{\underline{15,4\%}}$$

- Scenario 3:

$$\text{Andel} = \frac{E_{\text{spesifikk}}}{E_{\text{ramme}}} = \frac{16,9 (\text{kWh} / \text{år}) / \text{m}^2}{170 (\text{kWh} / \text{år}) / \text{m}^2} = \underline{\underline{9,9\%}}$$

Oppvarmingsbehov grunnet infiltrasjonstap

Det ble målt store differanser mellom tilluft og avtrekk på system 360.05. Ved scenario 2 var avtrekksmengden 970 m³/h høyere enn tilluft ved maks-mengder, og 622 m³/h høyere ved minimumsmengder. Ved scenario 3 var differansen redusert til 347 m³/h ved maks-mengder og 111 m³/h ved min-mengder. For å beregne energibehovet til oppvarming grunnet undertrykk i bygget, benyttes graddagstallet 3856 som er målt for Oslo i perioden 1991-2020.

Scenario 2:

- Maks-mengder (søndag – torsdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{970 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{5 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{7 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{6271,3 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Maks-mengder (fredag og lørdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{970 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{2 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{9 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{3225,2 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Min-mengder (søndag – torsdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{622 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{5 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{7 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{4021,4 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Min-mengder (fredag og lørdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{622 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{2 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{9 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{2068,1 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Min-mengder (søndag – torsdag):

$$E_{\text{oppv.s2}} = (6271,3 + 3225,2 + 4021,4 + 2068,1) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{15586,0 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

Scenario 3:

- Maks-mengder (søndag – torsdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{347 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{5 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{7 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{2243,4 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Maks-mengder (fredag og lørdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{347 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{2 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{9 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{1153,8 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Min-mengder (søndag – torsdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{111 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{5 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{7 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{717,6 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Min-mengder (fredag og lørdag):

$$E_{\text{oppv.}} = \frac{111 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 1,006 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 3856 \text{ Gd} \cdot 24}{3600 \text{ s} / \text{h}} \cdot \frac{52 \text{ u} / \text{år}}{52 \text{ u} / \text{år}} \cdot \frac{2 \text{ d} / \text{u}}{7 \text{ d} / \text{u}} \cdot \frac{9 \text{ h} / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \underline{\underline{369,1 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

- Min-mengder (søndag – torsdag):

$$E_{\text{Oppv.S2}} = (2243,4 + 1153,8 + 717,6 + 369,1) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{4483,9 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

Endring i oppvarmingsbehov før og etter kanalrengjøring:

$$\Delta E_{\text{Oppv.}} = E_{\text{Oppv.S2}} - E_{\text{Oppv.S3}} = (15586,0 - 4483,9) \text{ kWh} / \text{år} = \underline{\underline{11102,1 \text{ kWh} / \text{år}}}$$

Vedlegg 8: Kalibreringsbevis SWA 31

Calibration Certificate

Certificate no: 2336503

SWA 31
Part no. 758150

Calibration after adjustment:
S/N: 423819
Manufact. date: 2018-11-13
Required Software version: 1.00
Required Hardware version: 1.00

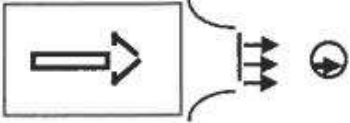
Cal. date: 2022-12-02
Cal. setup: SWEMA (A/N 91)
Next cal. date: 2023-12-02


Cal. cond.: 1028 hPa 26 %RH



Ref	Read	Corr
10.0 cm/s	10.4 cm/s	-0.4
25.0 cm/s	26.8 cm/s	-1.8
60.0 cm/s	60.8 cm/s	-0.8
1.00 m/s	1.00 m/s	0.00
2.00 m/s	2.00 m/s	0.00
3.00 m/s	2.96 m/s	0.04
5.00 m/s	4.98 m/s	0.02
7.00 m/s	6.99 m/s	0.01
10.0 m/s	10.1 m/s	-0.1
23.3 dgC	23.3 dgC	0.0

Uncertainty of measurement:
Velocity
0,07-0,50 m/s = ± 0,02 m/s.
0,50-3,00 m/s = ± 0,03 m/s
3,00-6,00 m/s = ± 0,04 m/s
6.00 - 12.00 m/s = ± 1 % r.v.
Temperature ±0,3°C
Coverage probability 95%
Instrument uncertainty - see manual

Measuring method:
Calibration in free air stream in Swema 2. According to "Q 758150, 760090 SWA 31, SWA 31E.doc" instruction. The sensor is placed horizontally with the arrow in the air stream direction.



Calibrated by:

Pernilla Håkansson

Measuring equipment:

Parameter	Name	ID
Wind Tunnel Differential pressure	MKS Baratron	R/N 1
Wind tunnel Atmospheric pressure	HALSTRUP /BA90	A/N 69
Air temperature Wind tunnel Relative humidity	Rotronic I200	A/N 5
Reference	Swema 3000	See Cal.Setup

Traceability:

The measuring equipment is traceable
calibrated to these official measuring centres

Parameter	Measuring centre
Differential pressure	RISE Research Institute of Sweden AB
Atmospheric pressure	RISE Research Institute of Sweden AB
Air temperature	RISE Research Institute of Sweden AB
Relative humidity	Rotronic AG, Switzerland
Reference: Voltage, resistance	Element METECH AB, Sweden



Tel: +46 (0)8 94 00 90
E-mail: swema@swema.se www.swema.se
Pepparv. 27, SE-123 56 Farsta, Sweden

Vedlegg 9: Kalibreringsbevis Swema 3000md

Calibration Certificate

Certificate no: 2336307


Swema 3000md
Part no. 764202

Calibration after adjustment
S/N: 697899
Cal. date: 2022-12-02
Cal. setup: swema
Next cal. date: 2023-12-02

Ref	Read	Corr
-299.08 Pa	-299.05 Pa	-0.03
-99.63 Pa	-99.68 Pa	0.05
20.66 Pa	20.61 Pa	0.05
49.97 Pa	49.92 Pa	0.05
99.88 Pa	99.88 Pa	0.00
199.53 Pa	199.55 Pa	-0.02
300.07 Pa	300.05 Pa	0.02
499.99 Pa	499.88 Pa	0.11
999.74 Pa	999.64 Pa	0.10
1499.55 Pa	1499.42 Pa	0.13



Barometer
1028.8 hPa 1028.8 hPa 0.0

Pressure calibration conditions:
Relative Humidity: 22 % ± 10%-rh
Ambient temperature (dgC): 23.0
Atmospheric pressure: 1029 hPa

Calibrated by:

Pernilla Håkansson

Uncertainty of measurement:
Coverage probability 95%
Barometric Pressure
± 1 hPa
Temperature ±0,3 °C
Differential Pressure
0–200 Pa = ± 0,2 Pa
200–1000 Pa = ± 0,2%
1000–1500 Pa = ± 0,1%
Instrument uncertainty – see manual

Measuring method:
This Swema 3000 is calibrated with Voltmeter and Temperature meter to measure according to specification – see manual. To obtain stated uncertainty with probe use corrections stated in probe certificate.
Manual adjustment of pressure levels in Swema "Pressure rig" while instrument is communicating with PC-program for selection of calibration levels, measurement averaging and calibration result input.
According to "Q 764202-205 Swema 3000md_mdH+_3500_md lågt tryck.doc" instruction.

Measuring equipment:

These instruments have been used when calibrating the instrument

Parameter	Name	ID
DC-Voltage	Keithley	A/N 49
Differential Pressure	MKS Baratron	R/N 41
Temperature	TempmasterPro	R/N 43
	Pt100 sensor	R/N 44
	Swematemp 360	A/N 9
Atmospheric Pressure	DRUCK/DPI	R/N 35

Traceability:

The measuring equipment is traceable calibrated to:

Parameter	Measuring centre
Resistance, DC-Voltage	Element METECH AB, Sweden
Temperature	RISE Research Institute of Sweden AB
Differential Pressure	RISE Research Institute of Sweden AB
Atmospheric Pressure	RISE Research Institute of Sweden AB



Tel: +46 (0)8 94 00 90
E-mail: swema@swema.se www.swema.se
Pepparv. 27, SE-123 56 Farsta, Sweden

Vedlegg 10: Kalibreringsbevis SwemaFlow 233

Calibration Certificate

Certificate nr: 2336503

SwemaFlow 233

Part no. 761960

Calibration after adjustment

S/N: 342669

Manufact. date: 2007-12-04

Software version: 1.00

Calibration date: 2022-12-02

Next calibration date: 2023-06-02

Cal. cond.: 22 dgC

1028 hPa 26 %RH

Uncertainty of measurement:

$\pm 2\%$ or $\pm 0,2$ l/s of read value depending on which is largest.

Coverage probability 95%

Instrument uncertainty – see manual

Measuring method:

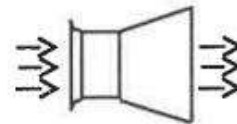
Calibration in air flow rig Swema 6.

Calibration results:

True val.	Read val.	Corr
3.0 l/s	3.3 l/s	-0.3 l/s
10.0 l/s	10.3 l/s	-0.3 l/s
20.0 l/s	20.4 l/s	-0.4 l/s
30.0 l/s	30.4 l/s	-0.4 l/s
50.0 l/s	50.4 l/s	-0.4 l/s
65.0 l/s	63.8 l/s	1.2 l/s

(At 1013 hPa)

Instrument position at air flow rig.



Calibrated by:

Daniel Haneryd



Vedlegg 11: Produktdatablad Swema 3000

Swema 3000

Universal Instrument

Multifunctional

Swema 3000 is a multifunctional instrument and logger with external probes, leakage testers, SwemaTwin modems and measurement programs.

Models and Sensors

Three models: Swema 3000 basic unit. Swema 3000md and mdH+ with differential pressure sensor, zeroing valve, barometer and thermo couple connector. Selection of external probes: anemometers, temperature probes and Rotronic humidity probes. Draught - omni-directional anemometer, black globe and humidity probes fulfill ISO-EN 7726 requirements. Probes and instruments are individually calibrated.

Ventilation - Air flow

Swema 3000 is the ideal professional tool for ventilation testing, adjusting and balancing (TAB) and includes telescopic anemometers, air density compensation and measuring programs according to EN 16211 and 12599. Swema 3000md and mdH+ are micromanometers of highest accuracy for Pitot static tube and air terminal device (ATD) measurements. SwemaTwin is the proportional method with a second instrument communicating its measurement value from the reference valve by wireless modems.

Duct and building leakage tester

Swema 3000md controls a leakage tester for ducts according to EN 12237 or EN 1507 and EN 1382 for buildings.



Industry and research

The accurate instruments and sensors together with the logging capability meet the high demand for exact measurements of temperature, humidity, differential pressure, air velocity and flow.



SWEMA AB
Pepparvägen 27
SE-123 56 Farsta, Sweden

Tel: +46 8 94 00 90
swema@swema.com
www.swema.com

Technical Data

General:

Memory: 1.300 protocols or 10.500 logs
Time and date.

Sampling interval: 0,1 second...24 hours.

Battery: 2 AA, standard/rechargeable.

Battery time: Up to 150h (24h display light)

Interface: USB to PC, RS232 for modems

PC software: SwemaTerminal2.

Size: 212x82x36 mm

IP rating: IP50 (protects against dust)

Swema 3000 md/mdH+:

Time constant: 0,25...120 s (selectable)

Differential pressure: -300...1.500Pa (md, SWA 10)
-10.000...10.000Pa (mdH+)

Resolution: 0,01 (mdH+), 0,1 or 1 Pa

Pitot static tube velocity: 2...49(md)...129(mdH+)m/s,

390...9600(md)...9999fpm

Other units: l/s, m³/h, cfm, m/s, fpm

Barometer: 600...1200 hPa

Temperature: -270...1372 °C,
-450...2500°F (Thermocouple connector type K)

Thread sensor: -40...400°C, -40...750 °F
(Included) (class 1 thermo couple type K)

Weight: 490g

Measurement uncertainty at 23°C ±5°C:

Differential pressure: ±0,3% read value or
±0,3 Pa (md, after zeroing)
±1% read value or
±0,4 Pa (mdH+, after zeroing)

Barometer: ±2,5 hPa

Temperature: ±0,3°C at -10...70°C

With sensor: ±2,5°C

(Uncertainty according to GUM (JCGM 100:2008) using a coverage factor of 2, which for a normal distribution corresponds to a probability of 95%. It is important to correct the measurement values with the corrections stated in the calibration certificate to obtain the above uncertainties. Operational in 0...+50°C, non condensing, non moist air, <80%RH, non aggressive gases.)

Swema 3000 **Part.no. 764200:** Basic unit.
Swema 3000md **764202:** -300...1.500 Pa.
Swema 3000mdH+ **764203:** ±10 000Pa.

All models include:

2 1.5V IEC LR6 AA batteries, USB cable, calibration certificate & manual.

External Sensors

For full range and technical data see
www.swema.com



SWA 31: 0,1...30 m/s. **Part.no. 758150,**
SWA 31E: -20...80°C Air velocity, flow. **760090**



HC2A-S: 0...100 %RH, -40...+60°C. **859550**

SWHP 28-HC2: 0...100%RH, -40...+85°C **767560**



SWA 03: 0,05...3,0 m/s +10...+40 °C,
Omnidirectional Air velocity. **764730**



SWA 52 Globe temperature sensor. **765560**

Temperature sensors: -50...+450°C



SWA Differential Pressure
761430



Leakage testers

Duct **77110**

Building **765910**



SwemaTwin Bluetooth
3000-8 & 3000-3000
modem
768730, 766361

SwemaTwin Bluetooth
repeater
766681

SwemaTwin Radio modem
See www.swema.com



Vedlegg 12: Produktdatablad Swema SWA 31

Måtområde

Lufthastighet 0,1... 30m/s vid -10...+45°C

Temperatur -20...+80°C

Mätosäkerhet

Luftflöde vid 23 ± 3°C ±0,03 m/s vid 0,10...0,4 m/s

±0,04 m/s vid 0,10...1,33 m/s

±3% av avläst värde vid 1,33...30 m/s

Vid -10...+45°C ±0,05 m/s vid 0,1...1,10 m/s

±4,5% avläst värde vid 1,10...30 m/s

Temperatur ± 0,3°C Vid 23°C

± 1,0°C Vid -20...+80°C

Mätosäkerhet med 95% täckningssannolikhet vid ej kondenserande, ej fuktig luft, mindre än 80% Relativ fukt

Övrigt

Ø 8...10 mm

Längd 66cm + 50cm förlängning

Kalibrering var 12e månad

Vedlegg 13: Produktdatablad Kimo Pitot tube Type L



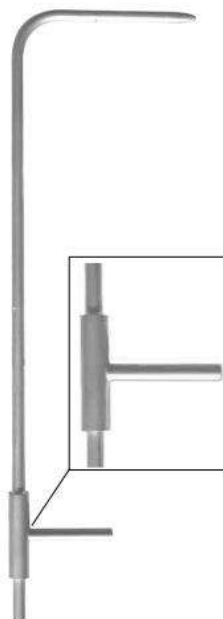
Technical Data Sheet

Pressure • Temperature • Humidity • Air Velocity • Airflow • Sound level

Pitot tube
Type L

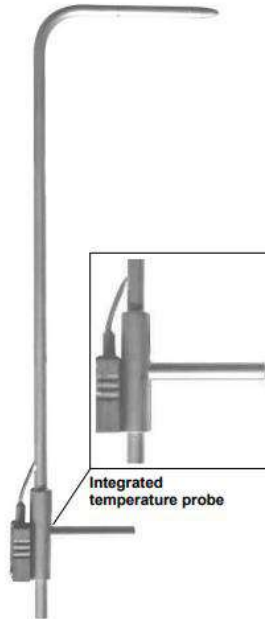


Pitot tube Type L



Pitot tube with ellipsoidal head.
An intake for total pressure and 6 holes for static pressure.
Body made of stainless steel.

Pitot tube Type L with TC K



Pitot tube with ellipsoidal head.
An intake for total pressure and 6 holes for static pressure.
Sheathed thermocouple K probe integrated, with connection cable length 1,5 m.
Body made of stainless steel.

■ **Presentation**

KIMO offers a wide range of high-quality and accurate **Pitot tubes**, as per the AFNOR NFX 10-112 norm.

These **Pitot tubes**, when being connected to a differential column / or needle / or electronic manometer, can measure the dynamic pressure of a moving fluid in a duct, and then can deduct its air velocity in m/s and its airflow in m³/h.

These **Pitot tubes** are used in HVAC field, vacuum cleaning and pneumatical transport. They are mainly dedicated to measure hot and particle-charged air, and also high air velocity.

■ **Features**

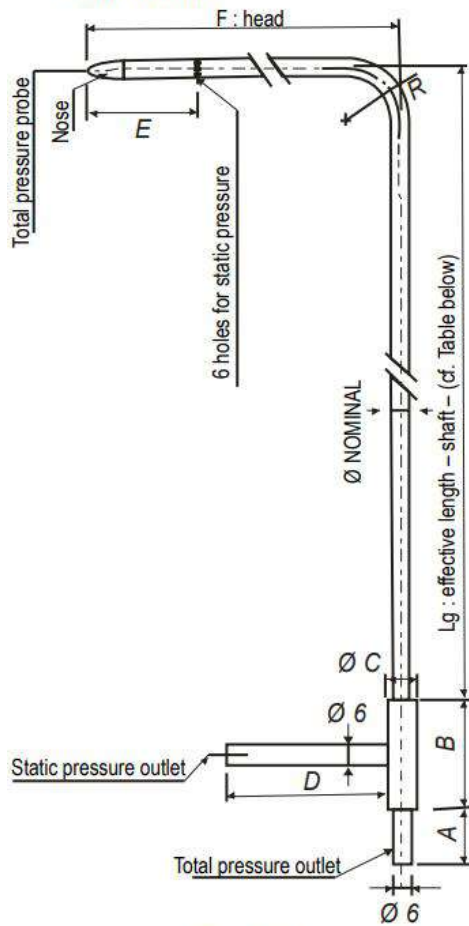
Norm	AFNOR NFX10-112. Annex 4 dated 14.9.77. This norm meets the requirements of the International Norm ISO 3966.
Model	NPL curved with ellipsoidal head
Coefficient	1.0015±0.01
Accuracy	Better than 1 %, for a ± 10 ° alignment to the fluid flow.
Quality	stainless steel 316 L
Operating temperature	from 0 to 600 °C in standard and up to 1000 °C in option (except Ø 3 mm).



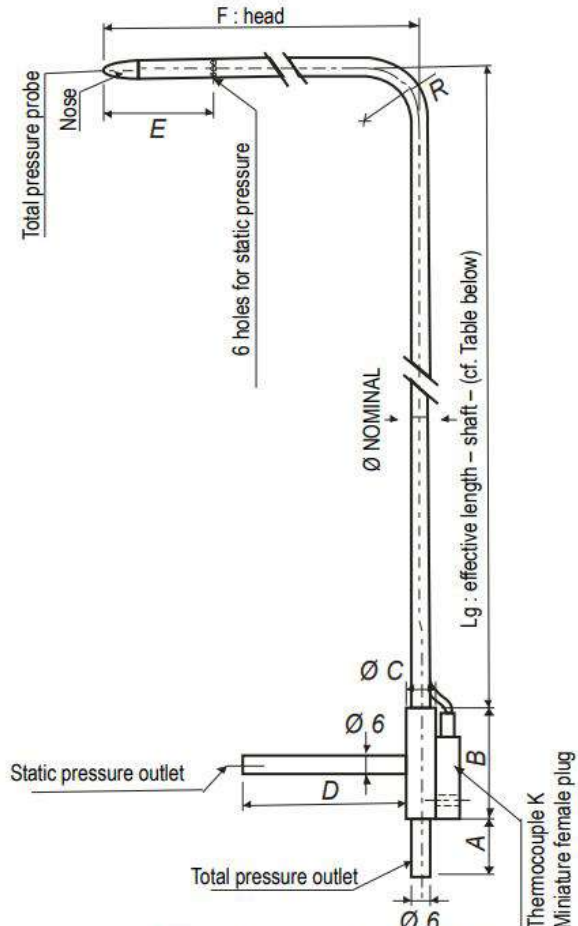
- The extent error of an air velocity or airflow measurement with a KIMO Pitot tube remains inferior to 2%, when being carried out as per the NFX10-112 norm.
- It is recommended to carry out a calibration of the Pitot tube, in order to determine its exact coefficient.



Dimensions



Pitot tube Type L



Pitot tube Type L with TC K

	A	B	ØC	D	E	F	R
Pitot tube Ø 3 mm	17	32	10	30	25	48	9
Pitot tube Ø 6 mm	25	40	10	45	48	96	18
Pitot tube Ø 8 mm	25	40	10	45	64	128	24
Pitot tube Ø 12 mm	25	50	16	60	96	192	36
Pitot tube Ø 14 mm	25	50	16	60	112	224	42

Ranges

Pitot tube Type L

Diameter	Reference	Length
Ø 3 mm	TPL-03-100	100 mm
	TPL-03-200	200 mm
	TPL-03-300	300 mm
Ø 6 mm	TPL-06-300	300mm
	TPL-06-500	500 mm
	TPL-06-800	800 mm
Ø 8 mm	TPL-08-1000	1000 mm
	TPL-08-1250	1250 mm
Ø 12 mm	TPL-12-1500	1500 mm
	TPL-12-2000	2000 mm
Ø 14 mm	TPL-14-2500	2500 mm
	TPL-14-3000	3000 mm

Pitot tube Type L with TC K

Diameter	Reference	Length
Ø 3 mm	TPL-03-100-T	100 mm
	TPL-03-200-T	200 mm
	TPL-03-300-T	300 mm
Ø 6 mm	TPL-06-300-T	300 mm
	TPL-06-500-T	500 mm
	TPL-06-800-T	800 mm
Ø 8 mm	TPL-08-1000-T	1000 mm
	TPL-08-1250-T	1250 mm
Ø 12 mm	TPL-12-1500-T	1500 mm
	TPL-12-2000-T	2000 mm
Ø 14 mm	TPL-14-2500-T	2500 mm
	TPL-14-3000-T	3000 mm

Operating

The **Pitot tube** must be introduced perpendicularly into the duct, in several points pre-determined (see table "location of measuring points").

The head (ending with an ellipsoidal nose) must be maintained parallel and facing the flow.

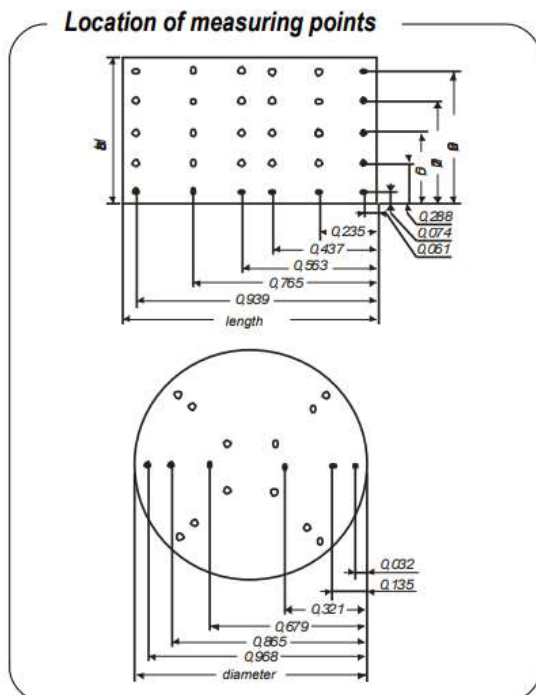
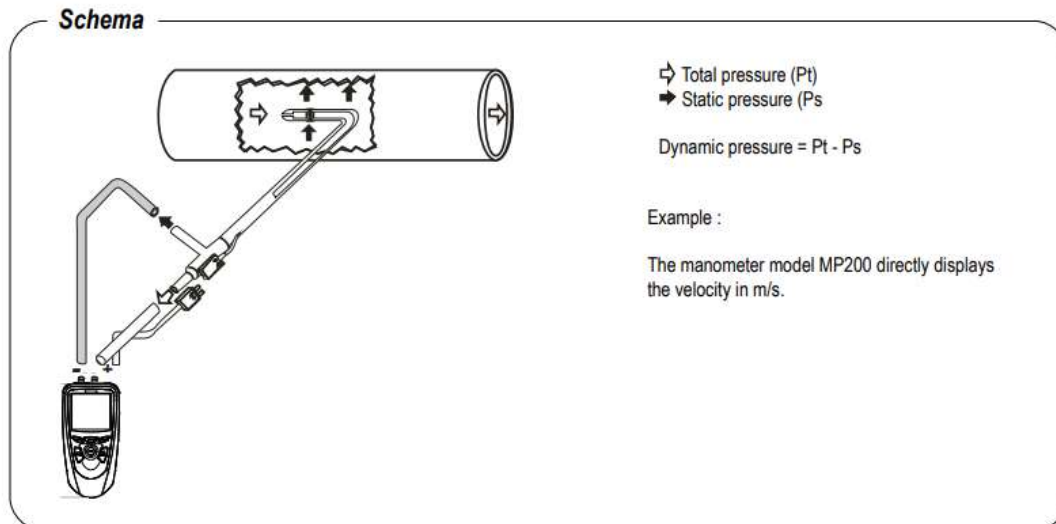
The total pressure (+) caught by the nose, is connected to the + of the manometer

The static pressure (-) caught by the holes of the head, is connected to the - of the manometer.

The connection cable of the thermocouple K probe is connected to the thermocouple K inlet of the manometer (only on the **Pitot type L with TC K**).

Then, the instrument can display the dynamic pressure, also named "velocity pressure".

The dynamic pressure corresponds to the difference between the total pressure and the static pressure : $Pd = Pt - Ps$



With the dynamic pressure in mm H₂O or in Pa, we can calculate the air velocity in m/s, with the simplified BERNOULLI formula :

$$V \text{ in m/s à } 20\text{ °C} : 1,291 \sqrt{Pd \text{ in Pa}}$$

or

$$V \text{ in m/s} : 4,05 \sqrt{\Delta P \text{ en mm CE}}$$

Formula to get the velocity, with temperature balancing of the airflow :

$$V \text{ in m/s} = K \times \sqrt{\frac{574,2 \Theta + 156842,77}{P_0} \times \Delta P \text{ in Pa}}$$

With

P_0 = barometric pressure in Pa

Θ = temperature in °C

K = coefficient of the Pitot tube

■ **Accessories**

- Connection glands made of nickel plated brass (to install the Pitot tube in a fixed location)
- Clamp made of stainless steel and cast iron
- Sliding connections with nipple, made of stainless steel or Teflon
- Extension cable for thermocouple K class 1 :
- Rubber sealing caps : come in a 10-unit bag
- Caps : come in a 10-unit bag
- Graduation (mm) red-marked on the shaft
- Tubes
- Straight **Pitot tube type L** and **type L with TC K** :
You can directly make the measurements by plunging this tube into the air duct.
Diameters and dimensions : same as the **Pitot tube** NPL curved.



Feel free to contact KIMO for any special case, any special manufacturing.

www.kimo.fr

EXPORT DEPARTMENT

Tel : + 33. 1. 60. 06. 69. 25 - Fax : + 33. 1. 60. 06. 69. 29

e-mail : export@kimo.fr



Distributed by :

Vedlegg 14: Produktdatablad SwemaFlow 236

SwemaFlow 236

Air flow Hood

SwemaFlow 236 measures air flows up to 65 l/s, 137 cfm. SwemaFlow 236 uses the proven Swema principle, a net of hot wires, which gives a good and accurate mean value for exhaust air flows. The net allows low flow and also a wide opening. Measured values can be stored and transferred to PC.

Additional hoods

There are two foldable adapters that fit wider openings. The longer adapter is for supply air to equalize the flow pattern. Be aware that supplies often have a low pressure drop and that a flow hood may throttle the flow. In that case SwemaFlow 126 back pressure method is recommended.

Low weight and telescopic handle

The low weight and the telescopic handle with angular adjustment provide a good reach that makes a ladder often not needed.

Large digital display

The large digital display with backlight can freeze and turn its reading upside down. Air flow, temperature or barometric pressure can be displayed.

Barometer, temperature

Temperature and barometric pressure are measured to present the flow at Real or Standard density. Select Real or Standard flow with the PC-setting.

Part.No. 769780

SwemaFlow 236, charging adapter (230 V Europlug - EN 50075), aluminium frame case, calibration certificate & manual.



SWEMA AB
Pepparvägen 27
SE-123 56 Farsta, Sweden

Tel: +46 8 94 00 90
swema@swema.se
www.swema.com

Accessories



Technical Data

Measurement range

Air flow: 1...65 l/s, 3.6...234 m³/h, 2.1...137 cfm
 Temperature: 0...50 °C, 32...122 °F
 Barometer: 600...1200 hPa, 18...35 inHg

Measurement uncertainty

Air flow: ±3.5% read value (at 20...25°C)
 min ±1l/s, 3.6 m³/h, ±2.1 cfm
 Temperature: ±1°C, ±2°F
 Barometer: ±3.5 hPa, ±0.1 inHg

Measuring method according to EN 16211:215 ST 31 and ET 21.

At 95% coverage probability in non condensing, non moist air, <80%RH, non aggressive gases.
 Measurements corrections based in the calibration protocol are not needed to obtain the above stated uncertainty.

General

Shaft length: 45...80 cm (adjustable)
 Measurement opening: 190 x 200 mm (inner)
 Height: 330 mm
 Weight: 1.5 kg
 Power supply: Rechargeable Li-Ion battery
 Battery life: <9 hours continuous measurement
 Charging time: <2 hours with included adapter, with usb-adapter (mini-usb) 5V and minimum 0,5A output it takes longer.

Measuring principle

Net of hot wires



SWEMA AB
 Pepparvägen 27
 SE-123 56 Farsta, Sweden

Tel: +46 8 94 00 90
 swema@swema.se
 www.swema.com

Vedlegg 15: Produktdatablad PEL103



PEL 102
PEL 103

Optimera din energieffektivitet

Övervaka ditt elnät och din förbrukning
samt kontrollera din energikostnad



Effekt
samt energi
logger

Ergonomiska och kompakta samt med magnetisk baksida passar dessa enkelt i ett elskåp, där de ger alla effekt- och energivärden.

- En-fas, två-fas samt tre-fasinstallationer m.m.
- Installationen utförs utan att strömkretsen bryts
- Övertonsanalys upp till 50:e övertonen
- Kommunicerar med BlueTooth®, Ethernet samt USB
- Automatisk igenkänning av strömtänger
- Inspelning görs på SD kort
- Realtidskommunikation till PC med svensk mjukvara

www.pel100.com

IP
54

1000 V CAT III



För en hållbar framtid, förbättra din energieffektivitet!

I ett världsomspännande initiativ för att skydda vår miljö, har Europa satt ett mål om att reducera energiförbrukningen med 20 %. I dag svarar industrier och byggnader för mer än 50 % av den totala energikonsumtionen. För att nå målet om att reducera förbrukningen behöver olika typer av energioptimering göras.

Med PEL102 och PEL103 energilogger mäts energi- och effekter på alla typer av elektriska installationer.

Mätning utförs med 3 strömtänger samt 3 spänningar.

De visar alla elektriska parametrar

som behövs för att nå framgång i energibesparande syfte.

Även den elektriska installationen

övervakas med övertoner samt effekter.

Med PEL100 familjen är det enkelt att

utan att bryta strömkretsen lägga till

mätutrustning vid elskåp där platsen är

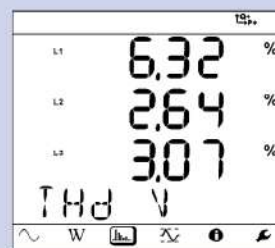
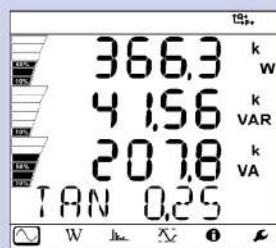
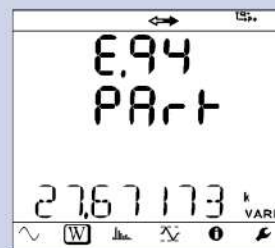
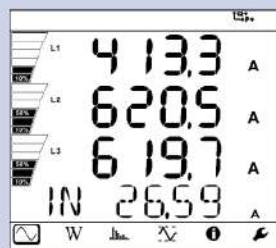
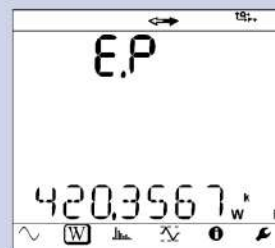
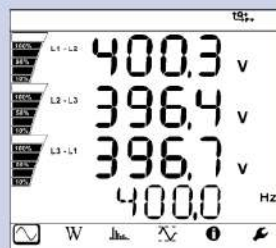
begränsad. Tack vare den magnetiska

baksidan är det enkelt att sätta upp dem

på insidan av en skåpdörr.

Funktioner:

- Frekvens, spänning och ström TRMS
- Effektvärden VA, W; var
- Energivärden VAh, Wh (från källa och last)
- samt varh (4 kvadranter, och totalenergi)
- $\cos \varphi$, $\tan \Phi$ och effektfaktor (PF)
- Crestfaktor
- THD total övertonshalt för ström och spänning
- Enskilda övertoner upp till 50:e både för ström och spänning
- Mäter på DC, 50 Hz, 60 Hz samt 400 Hz
- AC och AC+DC TRMS
- Visning på LCD skärm (PEL 103)
- Lagrar alla mätvärden till SD-kort
- Automatisk igenkänning av strömtänger
- Förberedd för många olika elektriska nätverk: en-fas, två-fas, tre-fas, med eller utan nolla osv.
- Kommunikation: USB, Bluetooth
- Svensk mjukvara även för realtid



APPLIKATIONER

Övervakning av energikonsumtion

Med PEL100 kan även den minsta förbrukning övervakas i fastigheter, industrier samt andre elmiljöer. De måter simultant både realtids måtningar samt viser tidligere måtningar och analyser.

Förebyggande måtning

När de installeras för en längre tid på en plats ger PEL100 logger alla aktive, reaktiva samt skenbare effekter på nettet. Det betyder att vid en effekttopp kommer den omedelbart registreras. Med den svenske mjukvaran kan sedan automatisk genererede rapporter göras for analyse.



Centraliserad forbrukningsinformasjon

Med ett flertal PEL100 på ett nätverk kan analyse göras på en hel anläggning. Via ethernet, USB eller bluetooth i realtid.

- gatubelysning
- belysning i fastigheter
- nätverksövervakning
- generella en-fas system
- tre-fas distribution

Mät vad du sparer

De lagrade måtvärdena i PEL 100 är tids- och datumstämplade.

Det gör det enkelt att se var man sparer i energiforbrukning vid en måtning före samt efter en ombyggnad.

Referensvärden får du från måtningen som gjorts med PEL 100 innan på samme plats. Med en korrekt installerad PEL 100 fås en snabb överblick av installationen, samt eftersom den är flyttbar, en enkel installation utan att bryta strömkretsen. Vid måtninger som är några dager eller en uke er det en fordel.



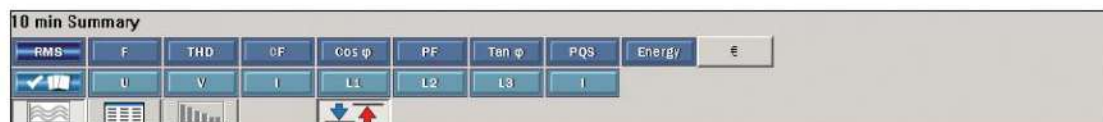
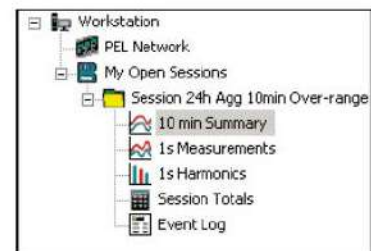
Mjukvara DataView

Med den gör du følgende:

- Konfigurerer PEL100
- Verifierer att anslutningarna er korrekte innan måtning
- Laddar ner alle inspelade måtninger fra PEL 100
- Visning av alle parametre samt analyserer resultatet

Med den svenske DataView' mjukvara görs automatisk genererede rapporter.

Generering av energirapporter på ett enkelt sätt.



SPECIFIKATIONER :

Modeller	PEL102	PEL103
Display	Nej	Ja, med tredelad display
Elnätstyp	En-fas, två-fas, tre-fas, med eller utan nolla samt flere andra konfigurasjoner	
Noggrannhetsklasse	0,2 %	
Elektriske spesifikasjoner		
Antal kanaler	3 spenningsinganger / 3 strøminganger med beräkning av nollström	
Nätfrekvenser	DC, 50 Hz, 60 Hz & 400 Hz	
Spenningsområde	Spänning: 0 till 1000 V _{DC}	
Strømtænger	MN93 MN93A C193 A193 och MA193 PAC93 E3N från 2 till 240 A _{AC} från 0,005 A _{AC} till 5 A _{AC} /0,1A till 120 A _{AC} från 3 A till 1200 A _{AC} från 100 mA till 10000 A _{AC} från 10 A till 1000 A _{AC} /10A till 1400 A _{DC} från 50 mA till 10 A _{DC} / från 100 mA till 100 A _{AC+DC}	
Spenningsomsætning / Strømsomsætning	Upp till 65 kV / Upp till 25 kA	
Beräknade storheter		
Effekt	Från 10 W till 10 GW / från 10 var till 10 Gvar / från 10 VA till 10 GVA	
Energi	Upp till 4EWh / 4 EVAh / 4 Evarh	
Fas	cos φ, tan Φ, PF	
Övertoner	upp till den 50:e	
Extra funksjoner		
Fasindikering	Ja	
Min / Max	Ja	
Fastsætning	Magnet eller med krok	
Inselning		
Sampling / Medelværdesbildning / Loggning	128 ggr/per periode - 1 mætning/s - från 1 min till 60 min	
Minne	SD kort 4GB per mætning totalt 32 GB)	
Kommunikasjon	Bluetooth* (Klass 2), Ethernet, USB	
Drivspænning	110 V - 250 V (+ 10 %, - 15 %) @ 50-60 Hz & 400 Hz	
Sikkerhet	EN 61010 600 V KAT IV - 1000 V KAT III	
Mekaniske spesifikasjoner		
Storlek	256 x 125 x 37 mm utan strømtænger	
Vekt	900 g	950 g
Kapsling	IP54 - UL	



LEVERERAS MED:

- En energilogger PEL102 eller PEL103 med:
 - 4 måtkabelsett (bøyd banan/rak banan, lengd 3 m, svart)
 - 4 krokodilklæmmor (svarta)
 - 3 MiniAmpFLEX typ MA193 (kabelldng 3 m)
 - 1 SD-kort 2GB
 - 1 mærsatt for kablar samt strømtænger
 - 1 nætspænningskabel (længd 1,8 m)
 - 1 USB kabel (Typ A/Typ B- lændg 1 m)
 - 1 Kit Multifix fastsætningssystem
 - 1 manual (på CD)
 - 1 væska

TILLBEHØR:

Mjukvara DataView™	P01102095
CA Væska No 23	P01298078
Satt med tænger og kablar	P01295476
Mærsatt for tænger og kablar	P01102080
Adapterbox 5 A	P01101959
Strømtång MN93	P011204258
Strømtång MN93A	P011204348
Strømtång C 193	P011203238
Strømtång PAC93	P011200798
Strømtång AmpFLEX™ A193-450 mm	P011205268
Strømtång AmpFLEX™ A193-800 mm	P011205318
Strømtång Mini-AmpFLEX™ MA193-200 mm	P01120580
Strømtång E3N	P01120043A
Adapter for E3N	P01102081
MultifIX	P01102100Z
Nædspænningskabel	P01295174

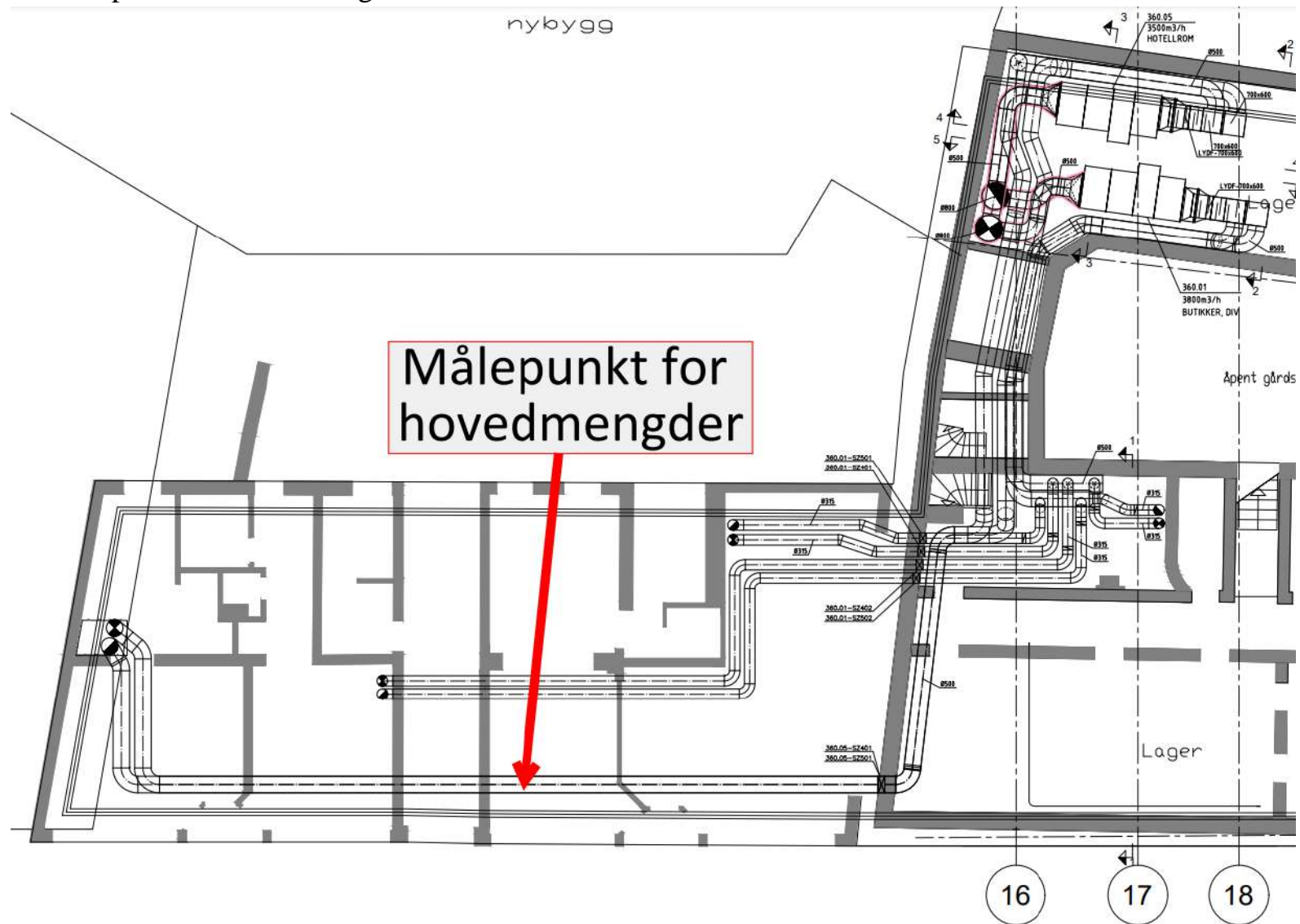
BESTÅLLNINGSPERFORMASJON:

Logger PEL102 utan strømtænger	P01157152
Logger PEL103 utan strømtænger	P01157153

SKANDINAVIEN
CA MÆTSYSTEM AB
Box 4501
SE-18304 TÆBY
Tel: +46 8 50 52 68 00
Fax: +46 8 50 52 68 10
info@chauvin-arnoux.se
www.chauvin-arnoux.se

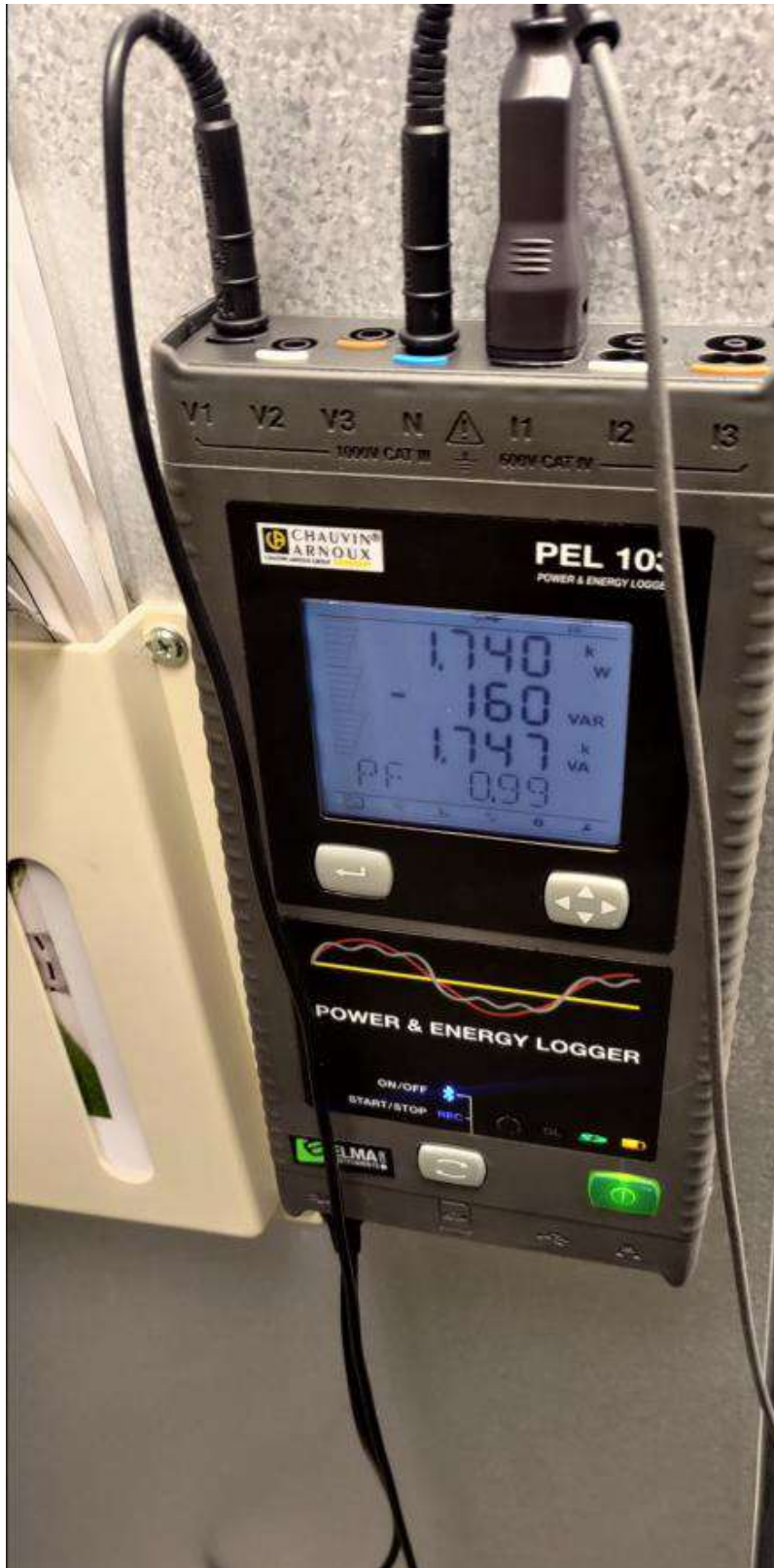
CHAUVIN
ARNOUX
GROUP

Vedlegg 16: Målepunkt for hovedmengder



Vedlegg 17: Oppkobling PEL 103





Vedlegg 18: Bilde av Swema 3000md, digitalt manometer



Vedlegg 19: Bilde av Swema SWA 31, hetetrådsanemometer



Vedlegg 20: Bilde av SwemaFlow233, måletrakt



Vedlegg 21: Bilde av prandlrør



Vedlegg 22: Bilde av PEL 103, effekt- og energilogger



Vedlegg 23: Bilde av Belimo ZTH, serviceverktøy



Vedlegg 24: Målepunkter i kanal

Diameter [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	Figur
100	29	71	-	-	
125	36	89	-	-	
160	46	114	-	-	
200	20	100	180	-	
250	25	125	225	-	
315	32	158	283	-	
400	40	200	360	-	
500	22	145	355	478	
630	27	185	445	603	
800	34	230	570	766	
1 000	43	290	710	957	
1 250	54	360	890	1 196	

Vedlegg 25: Teknisk data system 360.05

EXHAUSTO Novagg Version 2013.12.2 Dato: 12.02.2015
TEKNIKKORP I NOVEMA AGGREGATER Teknisk utskrift
Dato: 11.02.2016

Prosjekt: Thon Hotel Spectrum 2016

Side 18

Aggregat data

Prosjekt Thon Hotel Spectrum 2016 System nummer: 360.05
Aggregat type SMART-3-RK-NA2-2-2 Aggregatnavn: Hotellrom 11/2

	Luftmengde		Eksternt trykk				
Tilluft	3500 m ³ /h	0.97 m ³ /s	230 Pa	SFP	1.7	kW/(m ³ /s)	
Avtrekksluft	3500 m ³ /h	0.97 m ³ /s	230 Pa				
Totalvekt	1109 kg						

Lydeffektnivå

Oktavbånd	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Utekanal	55	62	67	62	58	48	41	25	63 dB(A)
Tilluftskanal	51	62	78	75	74	63	55	40	77 dB(A)
Avtrekkskanal	53	54	65	59	56	47	38	25	61 dB(A)
Avkastkanal	51	58	81	76	76	65	57	50	79 dB(A)
Omgivelser	59	63	65	59	60	53	46	39	63 dB(A)

Kontrollsystem

Integrert digitalt (MODBUS-basert) styresystem type NOVAGG AIR2 med variabel viftehastighet.

Konstant luftmengde (CAV)

Styresystemet betjenes via en brukervennlig håndterminal med et grafisk display.

Standard TCP / IP settings:
IP Address: 192.168.2.100
Gateway: 192.168.2.1
Netmask: 255.255.255.1
DNS server: 192.168.2.1

Tilbehør NOVAGG AIR2:

SD / Nettverk tilknytning BACnet TCP/IP
Røykdetektor kanal UG3-A40 24V CA1050 1

El tilslutnings informasjoner

Voit 3x230V
Tilsynelatende effekt 10.7 KVA
Strøm 46.4 A
Da strømmen ikke er sinusformet, er den dimensjonerende strøm ---- Amp 50.2 A

Komponenter, tilluft		Tekniske data		Trykkfall	
Spjeld	Klasse 3	Fronthastighet / Trykkfall Spjeldmål Spjeldmotor med fjær tilbaketrekk type	1.6 1000x600 Belimo LF24	m/s mm	3 Pa
Filter F7	Lengde 550 mm	Fronthastighet / Trykkfall rene/dim. Filtermodul 2x592x592	1.4	m/s mm	46/136 Pa
Integrert kjøling, Fordamper		Fronthastighet / Trykkfall Lufttemperatur inn/ut Relativfuktighet inn/ut Batterieffekt Kjølemedium Kjølemedie mengde Fordampningstemperatur Antall rader Finneavstand Finne / Rørmateriale Røranslutning inn/ut Tilkoplingside for rør Type Cu-Al-FeZn P3012ED 4R-21T-985A-2.0pa 5C 28 mm	1.6 26.0/15.7 50/84 16.1 R407C 8 9.0 4 2.0 Al/Cu /28 mm Foran	m/s °C % kW kg °C mm	69 Pa
Kompressor		ZR61KCE-TFD Kjølekapasitet Maks driftsstrøm Frekvensregulert mellom 35-50Hz Frekvensomformer	16.1 27 ATV21HU75M3X	kW A	
Roterende varmeveksler, tilluftsside		Fronthastighet / Trykkfall Type: Enventus ST1-XL-W-1245-CS-200-U-O-C-1	1.6	m/s	124 Pa

Novema aggregater as

Skedsmokorset Bergen Trondheim Flå
Tlf.: 63 87 07 70 Tlf.: 55 62 64 50 Tlf.: 73 82 08 95 Tlf.: 32 05 35 50

	Rotor ikke hygroskopisk aluminium , Bølg høyde	1.5	mm	
	Rotortykkelse	200	mm	
	Temperaturvirkningsgrad	87	%	
	Tilluftstemperatur inn/ut, vinter	-20.0/16.6	°C	
	Avtrekkstemperatur inn/ut, vinter	22.0/-14.6	°C	
	Varmegjenvinning, vinter	53.7	kW	
Rotorstyring	RHX2M 1212 2Nm Modbus 0-10V IP54	1		
Kammervifte	Direkte drevet GPEB	GPEB-1-045		
	Statisk / totalt trykk	571/585	Pa	
	r/min / Maks r/min	1535/3100	r/min	
	Drift / Maks frekvens	53/60	Hz	
	Maks turtall ved 60 Hz	1726	r/min	
	Nødvendig vifteakseffekt	0.77	kW	
	Viftevirkningsgrad (for totalt statisk trykk)	72	%	
	K-faktor	198		
Motor IE2	APAL-4-00110-1-2-7	1.10	kW	
	Motorvirkningsgrad	81	%	
	Strøm	4.68	A	
Frekvensomformer	OJ4445 FC110W Effekt	1.10	kW	
Varmebatteri	Fronthastighet / Trykkfall	1.7	m/s	9 Pa
	Lufttemperatur inn/ut	16.6/22.0	°C	
	Batterieffekt	6.4	kW	
	Væskemengde	0.05	l/s	
	Væsketemperatur inn/ut	70.0/40.0	°C	
	Trykkfall væskeside	6.7	kPa	
	Antall rader	1		
	Finneavstand	2.0	mm	
	Finne / Rørmateriale	Al/Cu		
	Røranslutning str.	1/2"		
	Tilkoplingside for rør	Foran		
	Væsketype	Vann		
	Type	Cu-Al-FeZn P3012AC 1R-20T-945A-2.0pa 1C 1/2"		
Returvannsføler		1		
Shuntventil		1		
Strømforsyning ekstern pumpe		1		

Komponenter, avtrekk			Tekniske data		Trykkfall	
Filter F7	Lengde	550 mm	Fronthastighet / Trykkfall rene/dim. 2x592x592	1.4	m/s mm	46/136 Pa
Roterende varmeveksler, avtrekksside			Fronthastighet / Trykkfall	1.6	m/s	124 Pa
Integrert kjøling, Kondensator			Fronthastighet / Trykkfall	1.6	m/s	37 Pa
			Lufttemperatur inn/ut	26.0/42.7	°C	
			Luftmengde avtrekk ved densitet 1.10kg/m3	1.07	m3/s	
			Relativfuktighet inn/ut	50/20	%	
			Batterieffekt	20.1	kW	
			Kondenseringstemperatur	48.0	°C	
			Antall rader	5		
			Finneavstand	2.0	mm	
			Finne / Rørmateriale	Al/Cu		
			Røranslutning inn/ut	28 mm/22 mm		
			Tilkoplingside for rør	Foran		
			Type	Cu-Al-FeZn P3012COND 5R-20T-985A-2.0pa 5C 28 mm 22 mm		
Kammervifte			Direkte drevet GPEB	GPEB-1-045		
			Statisk / totalt trykk	530/545	Pa	
			r/min / Maks r/min	1571/3100	r/min	
			Drift / Maks frekvens	55/61	Hz	
			Maks turtall ved 61 Hz	1768	r/min	
			Nødvendig vifteakseffekt	0.77	kW	
			Viftevirkningsgrad (for totalt statisk trykk)	73	%	
			K-faktor	198		
Motor IE2			APAL-4-00110-1-2-7	1.10	kW	
			Motorvirkningsgrad	81	%	

Novema aggregater as

 Skedsmokorset
 Tlf.: 63 87 07 70

 Bergen
 Tlf.: 55 62 64 50

 Trondheim
 Tlf.: 73 82 08 95

 Flå
 Tlf.: 32 05 35 50

EXHAUSTO Novagg Version 2013.12.2 Dato: 12.02.2015
EXHAUSTO GROUP | NOVEMA AGGREGATER
 Teknisk utskrift
 Dato: 11.02.2016

Prosjekt: Thon Hotel Spectrum 2016

Side 20

		Strøm	4.68	A	
Frekvensomformer		OJ4445 FC110W Effekt	1.10	kW	
Spjeld	Klasse 3	Fronthastighet / Trykkfall	1.6	m/s	3 Pa
		Spjeldmål	1000x600	mm	
		Spjeldmotor med fjær tilbaketrekk type	Belimo LF24		
Bunnramme valg		Føtter			

Novema aggregater as

Skedsmokorset
Tlf.: 63 87 07 70

Bergen
Tlf.: 55 62 64 50

Trondheim
Tlf.: 73 82 08 95

Flå
Tlf.: 32 05 35 50

EXHAUSTO Novagg Version 2013.12.2 Dato: 12.02.2015
 EXHAUSTO GRUPP I NOVEMA AGGREGATER
 Teknisk utskrift
 Dato: 11.02.2016

Prosjekt: Thon Hotel Spectrum 2016

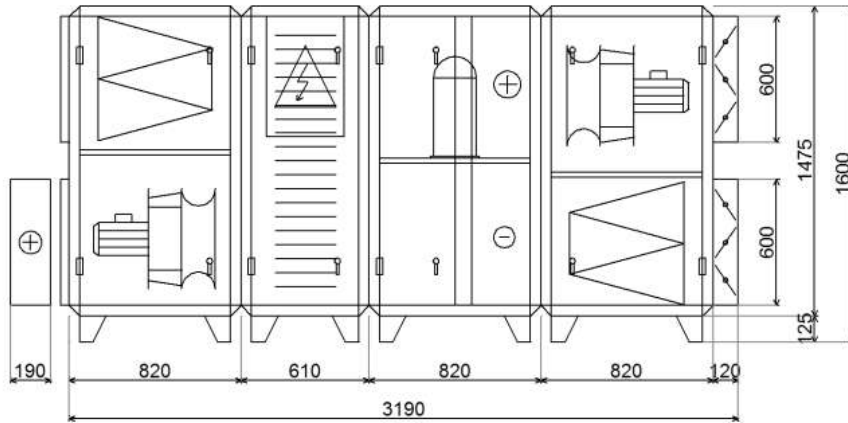
Side 21

Aggregat data

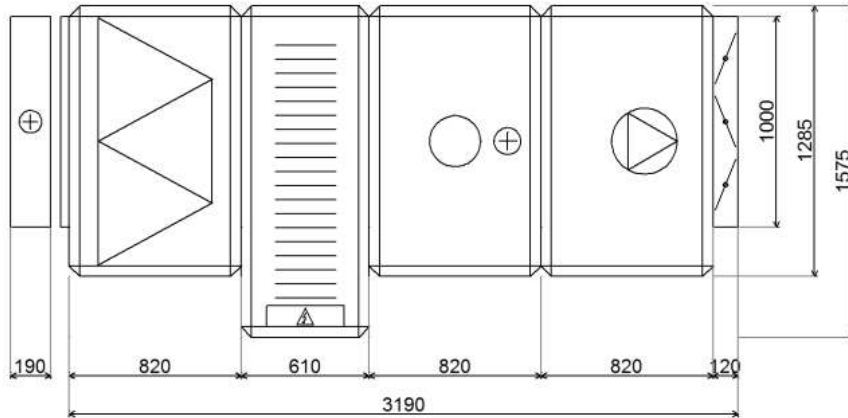
Prosjekt Thon Hotel Spectrum 2016 System nummer: 360.05
 Aggregat type SMART-3-RK-NA2-2-2 Aggregatnavn: Hotellrom 11/2

Aggregattegning

Inspeksjonsside



Visning ovenifra



Novema aggregater as

Skedsmokorset
Tlf.: 63 87 07 70

Bergen
Tlf.: 55 62 64 50

Trondheim
Tlf.: 73 82 08 95

Flå
Tlf.: 32 05 35 50

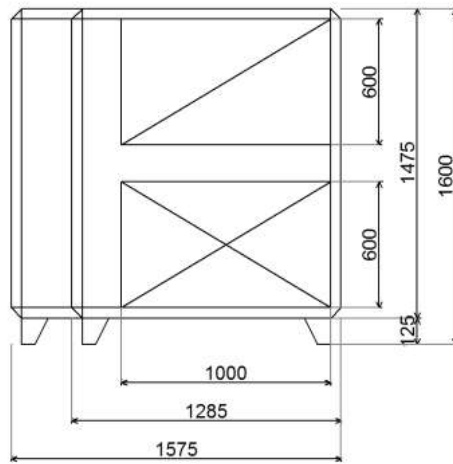
EXHAUSTO Novagg Version 2013.12.2 Dato: 12.02.2015
TEKNIKKONTORET
Terningveien 10
2007 Kvernberget
Tlf: 91 12 12 12
E: teknikk@exhausto.no
www.exhausto.no

Teknisk utskrift
Dato: 11.02.2016

Prosjekt: Thon Hotel Spectrum 2016

Side 22

Høyre gavel



Novema aggregater as

Skedsmokorset
Tlf.: 63 87 07 70

Bergen
Tlf.: 55 62 64 50

Trondheim
Tlf.: 73 82 08 95

Flå
Tlf.: 32 05 35 50

Aggregat data

Prosjekt Thon Hotel Spectrum 2016 System nummer: 360.05
 Aggregat type SMART-3-RK-NA2-2-2 Aggregatnavn: Hotellrom 11/2

Aggregat volum og vektor

Aggregatkapsling	Dimensjoner (L x B x H)	Volum	Vekt
Spjeld	120x1000x600 mm	0.1 m3	9 kg
Aggregatkapsling 1	820x1285x1475 mm	1.6 m3	263 kg
Filter			
Kammervifte			
Aggregatkapsling 2	820x1285x1475 mm	1.6 m3	308 kg
Fordamper			
Kompressor			
Kondensator			
Aggregatkapsling 3	610x1575x1475 mm	1.4 m3	228 kg
Roterende varmeveksler			
Aggregatkapsling 4	820x1285x1475 mm	1.6 m3	263 kg
Kammervifte			
Filter			
Varmebatteri	190x1000x600 mm	0.1 m3	16 kg
Spjeld	120x1000x600 mm	0.1 m3	9 kg

Novema aggregater as

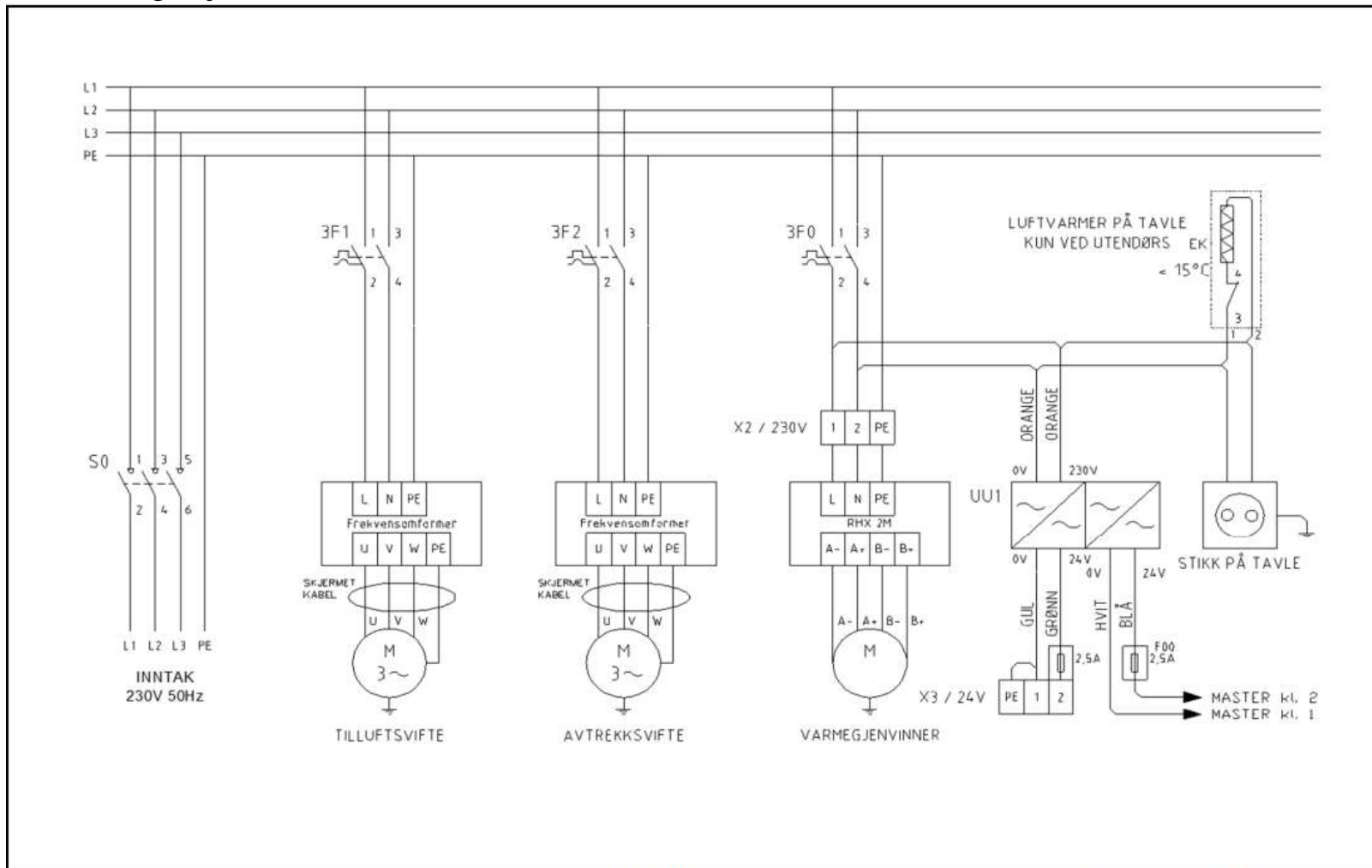
Skedsmokorset
 Tlf.: 63 87 07 70

Bergen
 Tlf.: 55 62 64 50

Trondheim
 Tlf.: 73 82 08 95

Flå
 Tlf.: 32 05 35 50

Vedlegg 26: Koblingskjema hovedstrøm 360.05



		EXHAUSTO	AGGREGAT TYPE SMART 3	P. NR SK16.03.087
TEGNET AV	RDP	TELEFON 63870770	ANLEGG	SYST. NR 360.05
REV	25.01.12	www.exhausto.no	Thon Hotel Spectrum 2016	FUNKSJON HOVEDSTRØM
				DATO 30.03.16
				SIDE 3

Vedlegg 27: Lindab FTCU - Utdrag fra teknisk informasjonsblad

Lindab | technical information

UltraLink[®] Controller

FTCU

Introduction

UltraLink[®] FTCU is a highly accurate flow controller, which measures the flow with an angled ultrasonic beam which can be calculated and compensated to a very high accuracy over the whole flow range. The method is very stable over time due to that it is not sensitive to dirt and the design minimizes the dust accumulation on the flow sensors.

An increased focus on energy saving has led to ventilation systems requiring low minimum flows. The low flows are a problem since they are very difficult to measure and it makes it difficult to control the ventilation system.

The new technology of UltraLink[®] makes it possible to measure lower air flows compared to today's products while maintaining measurement accuracy. This offers great advantages for the user in terms of comfort and savings in energy consumption, which is of great interest.