

Magnus Rasch Borisoff
Alexander Peter Olsen
Andreas Undheim Øgreid

Fordeler ved å oppgradere eldre ventilasjonssystemer i kontorbygg

En mulighetsstudie av Kongens gate 87

Bacheloroppgave i VVS-teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Mai 2020

Magnus Rasch Borisoff
Alexander Peter Olsen
Andreas Undheim Øgreid

Fordeler ved å oppgradere eldre ventilasjonssystemer i kontorbygg

En mulighetsstudie av Kongens gate 87

Bacheloroppgave i VVS-teknikk
Veileder: Bjørn Austbø
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Fordeler ved å oppgradere eldre ventilasjonssystemer i kontorbygg

The Advantages of Upgrading Older Ventilation Systems in Office Buildings

Prosjektnr

EPT-V-2020-06

Forfattere

Magnus Rasch Borisoff

Alexander Peter Olsen

Andreas Undheim Øgreid

Oppdragsgiver(e) eksternt

COWI AS & Entra ASA

Veileder internt

Bjørn Austbø

Rapporten er ÅPEN

Dato levert

19.05.2020

Kort sammendrag

Oppgaven utforsker fordelene ved å oppgradere eldre ventilasjonssystemer i kontorbygg med hovedfokus på energibruk. Formålet med oppgaven er å utarbeide et nytt ventilasjonssystem i et referansebygg, dette for å kartlegge bedring i energibruk mot investeringskostnader for oppgradering.

This thesis explores the advantages of upgrading older ventilation systems in an office building with energy usage as the main focus. The purpose of the thesis is developing a new ventilation system in a reference building, this to compare the improvement in energy consumption against the investment costs of upgrading the system.

Stikkord:

Energibruk

Ventilasjon

Rehabilitering

Investeringsgrunnlag

Keywords:

Energy usage

Ventilation

Rehabilitation

Investment basis

Oppgavebeskrivelse

Formålet med oppgaven er å vurdere om økonomisk gevinst fra spart energibruk kan oppnås ved oppgradering av eldre ventilasjonsanlegg i kontorbygg. Det settes søkelys på hvor mye energi en eventuell oppgradering kan spare og om moderne krav fra *Byggeteknisk forskrift 2017* (TEK17) og *Arbeidstilsynets veiledning nr.444* (NR444) kan tilfredsstilles.

Kongens gate 87 i Trondheim er brukt som referansebygg i oppgaven. Den eksisterende løsningen i bygget er kartlagt ved hjelp av målinger og tegninger. Resultatene fra kartleggingen brukes til å gjennomføre energiberegninger av løsningen, samt vurdere bygget mot kravene i forskriftene nevnt over. Deretter utarbeides en ny foreslått løsning for å bedre funnene fra kartleggingen i bygget, for så å estimere nytt energibruk for å vurdere effekten av tiltakene. Oppdagelsene gjort i Kongens gate 87 vil deretter forsøkes generalisert for andre kontorbygg med samme forutsetninger. Oppgaven gjennomføres i samarbeid med COWI AS Trondheim, Entra ASA og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Resultatmål

- Kartlegge tilstanden for dagens anlegg
- Kontrollere ventilasjonen i bygget mot dagens krav og forskrifter
- Vurdere ventilasjonsløsningen i dagens anlegg med fokus på energibruk
- Utarbeide flere alternative ventilasjonsløsninger som vil redusere energibruken i bygget
- Estimere gevinst fra foreslåtte endringer
- Generalisere resultater slik de blir representative for lignende bygninger

Forord

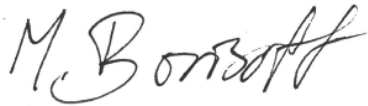
Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med faget TMAS3001 og konkluderer vårt treårige bachelorstudium i maskin ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er på 20 studiepoeng og er gjennomført ved Institutt for energi- og prosesssteknikk.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår veileder ved NTNU, Bjørn Austbø. Han har bistått oss med gode råd og diskusjoner gjennom hele bachelorperioden, og vi har satt veldig stor pris på hans tilgjengelighet. Vi vil også takke Entra ASA for oppgaven, samt de ansatte på COWI AS avdeling Trondheim for god veiledning gjennom oppgaven. Gruppen retter en spesiell takk til Kristin Følstad, seksjonsleder VVS i COWI AS, for oppfølging og veiledning.

Til sist rettes en takk til venner og familie for gode innspill og støtte.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

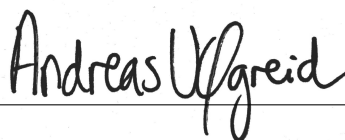
Trondheim, mai 2020



Magnus Rasch Borisoff



Alexander Peter Olsen



Andreas Undheim Øgreid

Sammendrag

Norges bylandskap er i stadig vekst, og nye bygninger oppføres med lavt energibruk og effektive tekniske installasjoner. Energibruket for eldre bygninger er derimot stadig høyt som følge av mangelfull isolasjon og eldre tekniske installasjoner med lav effektivitet. Ventilasjonssystemer utgjør en betydelig del av dette energibruket. Det kan derfor være mulig å redusere energibruk i eldre bygg ved å oppgradere ventilasjonssystemene.

I samarbeid med Entra ASA, COWI AS og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) er det derfor gjennomført en mulighetsstudie for oppgradering av ventilasjonssystemet i Kongens Gate 87, Trondheim, et kontorbygg fra 1974 brukt til utleie. Resultatene fra mulighetsstudiet skal brukes som et investeringsgrunnlag for oppgradering av ventilasjonssystemet.

Opgaven er tredelt hvor første del består av kartlegging av den eksisterende systemløsningen i bygget. Fysiske målinger ble gjennomført av ventilasjonssystemene i bygningen, og energibruket ble estimert ved hjelp av simuleringsprogrammet SIMIEN. Resultatene ble deretter sammenlignet med kravene i *Byggteknisk forskrift 2017* og *Arbeidstilsynet veiledning nr. 444*. I andre delen av oppgaven utarbeides ett nytt foreslått ventilasjonssystem for å redusere energibruken til bygningen, samt tilfredstille flere av kravene i *Byggteknisk forskrift 2017* og *Arbeidstilsynets veiledning nr. 444*. I avsluttende del av oppgaven utarbeides et investeringsgrunnlag, og en generalisering for andre bygninger i samme kategori.

Resultatene fra oppgaven tilsier at det eksisterende ventilasjonssystemet i Kongens gate 87 ikke opprettholder moderne krav i *Byggteknisk forskrift 2017* og *Arbeidstilsynets veiledning nr. 444*. Simuleringer gjennomført i SIMIEN for det eksisterende ventilasjonssystemet og den nye foreslåtte løsningen danner grunnlaget for sammenligning av energibruk mellom løsningene. Disse kan kun bli sett på som veiledende grunnet mangler i målinger og informasjonsgrunnlag. Det foreslåtte nye ventilasjonssystemet i bygget vil ifølge simuleringer i SIMIEN føre til en energibesparelse på ca 266 000 kWh årlig, som tilsvarer en reduksjon på 23,1% av dagens totale energibruk. Kostnaden for utbedringen er på ca 7,5 millioner kr, og tilbakebetalingstiden for utbedringen estimeres til ca. 28 år. Levetiden for slike ventilasjonssystemer er på 20 år, og det nye foreslåtte systemet vil derfor ikke være økonomisk forsvarlig ut fra reduksjon i energibruk alene. Oppgradering av ventilasjonssystemet kan derimot også bidra til økte leieinntekter for eierne av bygningen, og tiltaket kan derfor gjøres økonomisk lønnsomt. Den nye foreslåtte ventilasjonsløsningen vil tilfredstille kravene i *Arbeidstilsynet veiledning nr. 444* og kravene til inn klima og helse i *Byggteknisk forskrift 2017*. Resultatet vil også være en del av et grunnlag for vurdering av oppgradering i tilsvarende bygninger.

Abstract

The Norwegian cityscape is continuously growing, and new buildings are constructed with low energy usage and effective technical installations. Energy usage in older buildings is on the other hand, still significant as they lack insulation and have older technical installations with low efficiency. Ventilation systems constitute a considerable amount of overall energy usage. It is therefore possible to reduce energy usage in older buildings by upgrading the ventilation system.

In cooperation with ENTRA ASA, COWI AS and the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) a feasibility study has therefore been completed for upgrading the ventilation system in “Kongens gate 87, Trondheim”, an office building from 1974 used as a rental property. The results from the feasibility study shall form an investment basis for upgrading the ventilation system.

The bachelor thesis is threefold, where the first part consists of “mapping” the existing ventilation system in the building. Physical measurements of the ventilation system in the building were made, and the energy usage was estimated using the simulation program SIMIEN. The results were thereafter compared to the requirements in the building code, “*Byggeteknisk forskrift 2017*” and the Labour Inspection Authority’s guidelines “*Arbeidstilsynets veiledning nr. 444*”. The second part of the thesis is a suggested solution for the ventilation system to reduce the energy usage in the building, and simultaneously meet further requirements in “*Byggeteknisk forskrift 2017*” and “*Arbeidstilsynets veiledning nr. 444*”. In the final part of the thesis an investment basis, and a generalization for other buildings in the same category is formed.

The results from the thesis suggest the ventilation system in “Kongens gate 87” does not meet the requirements in “*Byggeteknisk forskrift 2017*” and “*Arbeidstilsynets veiledning nr. 444*”. Comparison of simulations done in SIMIEN for both the existing ventilation system and the new proposed solution form the foundation for comparing the in energy usage for the building. The results can only be regarded as indicative as some measurements were lacking and some information was not available. Simulations in the SIMIEN program indicate the new suggested ventilation system will give an annual reduction in energy usage of approximately 266 000 kWh, which is a reduction of 23,1% of total energy usage. The cost of this improvement is approximately NOK 7,5 million, and the payback time of this investment will be approximately 28 years. The lifetime of the new ventilation system is approximately 20 years, and the improvement of the system will therefore not be economically viable from the reduction in energy usage alone. Upgrading the ventilation system can however contribute to increased rental fees for the owners of the building, and the improvement can therefore be economically viable. The new suggested ventilation system will meet

the requirements in “*Arbeidstilsynets veiledning nr. 444*” and the requirements to “indoor climate and health” in “*Byggeteknisk forskrift 2017*”. The results will also form a part of an investment foundation for similar buildings.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn og orientering	1
1.2	Prosjektbeskrivelse og problemstilling	1
1.3	Omfang og begrensninger	1
1.3.1	Omfang	1
1.3.2	Begrensninger	2
1.4	Metode for litteraturstudie	3
1.5	Struktur	3
2	Teori	4
2.1	Ventilasjonsbehov	4
2.1.1	Personer og emisjoner	4
2.1.2	Krav og forskrifter	4
2.2	Forskrifters historie	6
2.3	Energiberegning	7
2.4	Ventilasjonsløsninger	8
2.4.1	CAV	8
2.4.2	VAV og behovsstyrt ventilasjon	8
2.4.3	Sentrale og desentrale ventilasjonsanlegg	9
2.5	Aggregat	9
2.5.1	Varmegjenvinner	9
2.5.2	Varmebatteri	11
2.5.3	Vifte	11
2.5.4	Trykk	13
2.6	Varmepumper og kjølemaskiner	13
2.7	Annet	14
2.7.1	Lineær interpolasjon	14
2.7.2	Tilført effekt motor	14
2.7.3	Areal teknisk rom	14
3	Metode	16
3.1	Kartlegging av bygg	16
3.2	Målinger	16
3.3	Kostnadsestimering	16
3.4	Autodesk Revit	16
3.5	Swegon AHU design	17
3.6	SIMIEN	17
4	Eksisterende systemløsning	18
4.1	Teknisk oversikt Kongens gate 87	18
4.1.1	Soneinndeling	19
4.1.2	Aggregater	22
4.1.3	Varmebatterier	26
4.1.4	Styring	26
4.2	Kartlegging av luftmengder	27
4.2.1	Oversikt tegninger	27
4.2.2	Resultater	28
4.3	Målinger	30
4.3.1	Temperaturvirkningsgrad	30
4.3.2	Luftmengde	30
4.3.3	Trykk	31

4.3.4	Utførelse	31
4.3.5	Beregning av SFP	34
4.3.6	Resultater normal drift	35
4.3.7	Resultater full drift	36
4.4	Simulering eksisterende løsning SIMIEN	38
4.4.1	Grunnmodell	38
4.4.2	Eksisterende systemløsning	42
4.4.3	Simulering	49
4.4.4	Resultater SIMIEN	50
4.5	Feilkilder og usikkerhet	51
4.5.1	Kartlegging	51
4.5.2	Målinger	52
4.5.3	Simuleringsusikkerhet	53
4.5.4	Total usikkerhet	54
4.6	Krav og forskrifter	55
4.6.1	Luftmengder	55
4.6.2	Temperaturer	57
4.6.3	Energieffektivitet	57
4.6.4	Kjølemedium	58
4.7	Energibruk	59
4.7.1	Varmebatterier	59
4.7.2	Varmegjenvinning	59
4.7.3	SFP _e	60
4.7.4	Styring	60
4.7.5	Kjøling	61
5	Ny systemløsning	62
5.1	Plassering av tekniske rom	62
5.1.1	Sentralisert løsning	62
5.1.2	Desentralisert løsning	63
5.1.3	Hybrid	66
5.1.4	Sammenligning av løsninger	68
5.1.5	Direkte evaluering	71
5.1.6	Resultat	73
5.2	Behovsstyring	73
5.2.1	Styringsparameter	74
5.2.2	Utforming av behovsstyring	75
5.2.3	Anbefalt løsning for behovsstyring	78
5.3	Luftmengder	79
5.3.1	Ventilasjon 6. etasje	79
5.3.2	Ventilasjon kjeller	80
5.3.3	Prosjekterte luftmengder	80
5.3.4	Gjennomsnittlige luftmengde	81
5.3.5	Minimum luftmengde	82
5.3.6	Frikjøling	82
5.4	Ventilasjonsvarme- og kjøling	83
5.4.1	Fjernvarme	83
5.4.2	Varmepumpe	84
5.5	Nye aggregater	88
5.5.1	Varmegjenvinning	88
5.5.2	Varme og kjøling	89
5.5.3	Justert eksterntrykk	89
5.5.4	Aggregatsimulering	90

5.5.5	Ny foreslått ventilasjonsløsning	93
5.6	Simulering av ny løsning med SIMIEN	93
5.6.1	Modell	94
5.6.2	Ventilasjon sone nord	98
5.6.3	Simulering	99
5.6.4	Resultater SIMIEN	100
5.7	Feilkilder og usikkerhet	102
5.7.1	Aggregater	102
5.7.2	SIMIEN	103
5.7.3	Total usikkerhet	103
5.8	Krav og forskrifter	104
5.8.1	Luftmengder	104
5.8.2	Temperaturer	104
5.8.3	Energieffektivitet	107
5.8.4	Kjølemedium	107
5.9	Energibruk	107
5.9.1	Ventilasjonsvarme	108
5.9.2	Vifter	108
5.9.3	Ventilasjonskjøling	109
5.9.4	Levert energi til bygg	109
6	Gevinst	110
6.1	Estimering av investering	110
6.1.1	Aggregat	110
6.1.2	Prisestimering DCV-komponenter	111
6.1.3	Total estimert investering	112
6.2	Utbytte	113
6.3	Økonomisk vurdering	113
6.4	Andre gevinster	114
7	Generalisering	116
7.1	Kongens gate 87	116
7.2	Resultater	117
7.3	Bruk av erfaringer	117
8	Konklusjon	118
	Referanser	120
	Appendiks	123
A1	Digitale vedlegg	123
A1.1	Arbeidsgrunnlag	123
A1.2	Utarbeide filer	123
A2	Utstyr	124
A2.1	Rotronic CP11	124
A2.2	MEMORY HiLOGGER 8430-20	125
A2.3	TSI VELOCICALC 9565	127
A3	Romoversikt	130
A4	Målinger	136
A4.1	Normal drift	136
A4.2	Full drift	139
A5	Beregninger	143
A5.1	SFP	143
A5.2	Usikkerhet grunnmodell	149

A5.3	Usikkerhet virkningsgrader	150
A6	Aggregatinfo for eksisterende system	151
A7	Swegon AHU Design	160
A8	Revit	162

Figurliste

2.1	Tilnærming dimensjoner [1]	15
4.1	Østfasaden Kongens gate 87	18
4.2	Soneinndeling 0. etasje	19
4.3	Soneinndeling 1. etasje	20
4.4	Soneinndeling 2. etasje	20
4.5	Soneinndeling 3. etasje	21
4.6	Soneinndeling 4. etasje	21
4.7	Soneinndeling 5. etasje	22
4.8	Aggregat 360.01	23
4.9	Aggregat 360.02 og 360.03	24
4.10	Aggregat 360.04	24
4.11	Aggregat 360.05	25
4.12	Avtrekkskanaler	25
4.13	Styring system	26
4.14	Eksisterende luftmengder fordelt på soner	29
4.15	Målepunkter trykk	31
4.16	Måling varmegjenvinningsgrad aggregat 360.02	33
4.17	Regresjon luftmengder 360.01	45
4.18	Samlet netto energibehov for Kongens gate 87	58
4.19	Kuldemedium	59
5.1	Tekniske rom 1. etasje	65
5.2	Aggregater underetasje	67
5.3	AHP	69
5.4	Eksempel på ugunstig kanalføring for behovsstyring	76
5.5	Eksempel på gunstig kanalføring for behovsstyring	77
5.6	Oversikt fjernvarmetilgjengelighet Trondheim sentrum [2]	84
5.7	Årsvarmefaktorer ved ulike temperaturnivå [3]	85
5.8	Varmekilder i Norge med temperaturnivåer [3]	86
5.9	Overordnet sammenstilling av varmekilder for varmepumper [3]	87
5.10	Systemoppbygging GOLD RX/HC	92
5.11	Systemoppbygging GOLD PX	92
5.12	Alternative løsninger ventilering	94
5.13	Resultat årssimulering splittet	98
5.14	Resultat årssimulering felles	99
5.15	Luftmengder simulering mot byggforskrifter	101
5.16	Temperaturforløp kantine maksimale luftmengder	106
5.17	Samlet netto energiforbruk ny løsning	107

Tabelliste

1.1	Oversikt tegninger	3
2.1	§ 13-3 Avtrekksmengder fra ulike hygienerom og spesialrom [4]	5
2.2	§ 13-4 Tabell 1: Anbefalte verdier for operativ temperatur [4]	5
2.3	Forskriftshistorie [5] [6] [7] [8] [9] [4]	6
2.4	Tilleggsverdier fra TEK97 og TEK07 [8] [9]	7
2.5	Type gjenvinner med virkningsgrad [10]	11
2.6	GWP-verdier for noen arbeidsmedier [3]	14
4.1	Fakta om Kongens gate 87 [11]	19
4.2	Soneinndeling oversikt	22
4.3	Eksisterende varmebatterier	26
4.4	Styring 360.04	27
4.5	Styring 360.05	27
4.6	Eksisterende luftmengder basert på analyse av tegninger	29
4.7	Beregnet tilluft basert på tegninger	29
4.8	Luftmengder ved normal drift	35
4.9	Temperaturvirkningsgrad ved normal drift	35
4.10	Trykk normal drift	36
4.11	SFP ved normal drift	36
4.12	Luftmengder ved full drift	37
4.13	Temperaturvirkningsgrad ved full drift	37
4.14	Trykk full drift	37
4.15	SFP ved full drift	38
4.16	Soner tekniske installasjoner	39
4.17	Informative verdier soner	39
4.18	Informative verdier kjeller	40
4.19	Lokalt klima	40
4.20	Anvendte verdier for bygningsskall	41
4.21	Driftstider	41
4.22	Typiske verdier for internlast [12]	42
4.23	Styring eksisterende løsning	43
4.24	Ventilasjonstemperaturer eksisterende løsning	43
4.25	Gjennomsnitttemperaturer driftstid Trondheim	44
4.26	Gjennomsnittlige luftmengder eksisterende anlegg	45
4.27	Gjennomsnittlige luftmengder eksisterende avtrekkskanaler	46
4.28	SFP _e eksisterende anlegg	46
4.29	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad eksisterende løsning	46
4.30	Anvendte verdier luftbehandlingssystem	47
4.31	Virkningsgrad oppvarming og kjøling	47
4.32	Anvendte luftmengder evaluering mot byggforskrifter	48
4.33	Anvendt SFP _e evaluering mot byggforskrifter	49
4.34	Energiforsyning ny løsning	49
4.35	Utvalgte verdier sommersimulering eksisterende løsning	50
4.36	Utvalgte verdier vintersimulering eksisterende løsning	50
4.37	Utvalgte verdier årssimulering eksisterende løsning	51
4.38	Usikkerhet måleapparater	53
4.39	Luftmengder ved 50 %	55
4.40	Luftmengder sammenligning	56
5.1	Størrelser på noen kompaktaggregater fra Swegon, GOLD RX serien [13]	64
5.2	Plassbehov aggregat	64
5.3	Vurderingskriterier for AHP	68
5.4	Vurderingsskala for AHP [14]	70

5.5	Forkortelser løsninger	70
5.6	Vurdering mot kriterier	70
5.7	Vurdering av kriterier	71
5.8	Total prioritet	71
5.9	Luftmengdebehov 6. etasje	79
5.10	Nye luftmengder	81
5.11	Dimensjonert personbelastning per aggregat	81
5.12	Gjennomsnittlig luftmengde	82
5.13	Minimum luftmengde	82
5.14	Luftmengder frikjøling	83
5.15	Varmegjenvinnere nye aggregater	89
5.16	Varme og kjøling nye aggregater	89
5.17	Forholdstall luftmengder	90
5.18	Justert trykk for nye luftmengder	90
5.19	Nye aggregater	91
5.20	Nye aggregater	91
5.21	Effekt elektrisk varmebatteri	91
5.22	Kapasitet integrert reversibel varmepumpe	92
5.23	Varme- og kjølebatteri kantine	92
5.24	Gjennomsnittlig SFP _e i drift og utenfor drift	93
5.25	Styring system	94
5.26	Aggregater drift	95
5.27	Aggregater utenfor drift	95
5.28	Varme og kjølebatterier	96
5.29	Luftmengder forskrifter	97
5.30	Energiforsyning ny løsning	97
5.31	Avvik modell	98
5.32	Sammenligning pris	99
5.33	Utvalgte verdier sommersimulering ny løsning	100
5.34	Utvalgte verdier vintersimulering ny løsning	100
5.35	Utvalgte verdier årssimulering ny løsning	101
5.36	Luftmengder sammenligning krav	104
5.37	Utvalgte verdier ny sommersimulering	105
5.38	Utvalgte verdier årssimulering sammenligning	108
6.1	Pris aggregat	110
6.2	Pris aggregat inkl. riving og montering	110
6.3	Enhetspris DCV-komponenter	111
6.4	Kostnadsestimering VAV-spjeld	111
6.5	Kostnadsestimering DCV-sensorer	112
6.6	Pris montering VAV-spjeld	112
6.7	Summering kostnadsestimeringer	112
6.8	Årlig besparelse	113
6.9	Tilbakebetalingstid	113

Forkortelser

KG87 Kongens gate 87

TEK17 Byggteknisk forskrift 2017

NR444 Arbeidstilsynets veiledning nr. 444

CAV Konstant luftmengde (Constant Air Volume)

VAV Variabel luftmengde (Variable Air Volume)

DCV Behovsstyrt luftmengde (Demand Controlled Ventilation)

SFP Forholdstall for effektiviteten til luftdistribusjon (Specific Fan Power)

BRA Bruksareal

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og orientering

Gjennom årene har det vært stor forbedring i energieffektiviteten til bygninger [15]. Nybygg er oppført med effektive tekniske installasjoner og energibruken til blant annet ventilasjonssystemer har blitt redusert gjennom årene. Eldre bygninger har derimot stadig generelt høyt energibruk, og rehabilitering av bygningskroppen og oppgradering av de tekniske systemene vil kunne bidra til å redusere dette. Det er store kostnader tilknyttet slik rehabilitering og er derfor mindre tiltrekkende for eierne av byggene. Samtidig er energibruk i bygninger et stadig viktigere tema i kampen for å redusere klimautslipp.

Kongens gate 87 i Trondheim er et eldre kontorbygg, brukt til utleie, som forvaltes av eiendomsselskapet Entra ASA. Bygget har blitt benyttet som kontor for Skatteetaten siden 2004, men i mars 2020 opphørte leieforholdet i bygget. I denne sammenhengen ønsket Entra ASA å gjennomføre en mulighetsstudie for oppgradering av byggets ventilasjonssystem, som skal kunne brukes som et investeringsgrunnlag. Dette muliggjorde et samarbeid med Entra ASA.

COWI AS vil som samarbeidspartner til Entra ASA, bidra med veiledning gjennom oppgavens forløp som kontaktorganisasjon.

1.2 Prosjektbeskrivelse og problemstilling

Oppgaven omfatter en studie av energi og økonomiske aspekter ved oppgradering av ventilasjonssystemet i et eldre kontorbygg. Et nytt foreslått ventilasjonssystem vil utarbeides for bygningen og sammenlignes med det eksisterende ventilasjonssystemet. Resultatene fra denne oppgaven skal kunne brukes som et investeringsgrunnlag for Entra ASA for oppgradering av ventilasjonssystemet i Kongens gate 87. I denne prosessen vil også systemene vurderes mot moderne krav fra *Byggteknisk forskrift 2017* og *Arbeidstilsynets nr.444*. Problemstillingen til denne oppgaven lyder dermed som følgende:

Fordeler ved å oppgradere eldre ventilasjonssystemer i kontorbygg.

1.3 Omfang og begrensninger

1.3.1 Omfang

Kontorbygget i Kongens gate 87 inneholder flere tekniske installasjoner, men oppgaven avgrenses til ventilasjonssystemet. Oppgaven er hovedsakelig teoretisk av natur, men inneholder også praktiske deler. Det vil bli gjennomført fysiske målinger av anlegget for å kunne estimere det

nåværende systemets energibruk. Gjennom oppgaven vil det bli utarbeidet en ny systemløsning som ikke vil være mulig å teste. Det nye energibruket og effektiviteten til ventilasjonssystemet vil dermed være teoretisk.

En forutsetning for oppgaven er at mest mulig av eksisterende kanalsystem skal beholdes. Nye systemløsninger for ventilasjonssystemet i Kongens gate 87 vil dermed innebære det originale kanalsystemet. Det gjøres ingen analyser av strømpris i denne oppgaven. Energikostnadsberegninger er basert på reduksjonen i energibruk, og beregnes på basis av en fastlagt spesifisert strømpris.

1.3.2 Begrensninger

Informasjonsgrunnlaget for oppgaven er eksisterende tegninger gjort tilgjengelig fra Entra ASA, samt info tilknyttet byggets SD-anlegg. Denne informasjonen har gradvis blitt gjort tilgjengelig gjennom oppgaven. Tegningsunderlaget for “ventilasjonsanlegg” for 1. til 6. etasje har vært tilgjengelig gjennom hele oppgaven, men det var først mot slutten av mars disse tegningene også ble gjort tilgjengelig for kjelleren. Dette har skapt utfordringer ved kartlegging av systemet.

En detaljert gjennomgang av tegningsunderlaget har klarlagt flere avvik mellom ulike typer tegninger for bygget. Romløsninger i tegninger for “ventilasjonsanlegg” stemmer ikke overens med “som bygget” tegninger. Det er også observert avvik mellom dagens faktiske romløsning og romløsning på tegningene. SD-anlegget innebar også utfordringer ettersom tilgangen ble avsluttet uten forvarsel. Dette gjorde det umulig å få tak i all nødvendig informasjon angående styringen av anlegget. Annen dokumentasjon som viser tekniske detaljer om bygningskroppen har heller ikke vært tilgjengelig.

Bygget er fra 1974, og mangelfull dokumentering er ikke en overraskelse. Likevel velges det å anvende tilgjengelige tegninger som utgangspunkt, da tidsbegrensninger ikke tillater utarbeidelse av nøyaktige tegninger for romløsningen i bygget. Ettersom “ventilasjonsanlegg” tegninger fremstår med minst mulig avvik blir disse grunnlaget for oppgaven. For kjeller ble det benyttet originaltegninger i papir fra 1973, da ingen digitale tegninger for ventilasjonssystemet for denne etasjen ble gjort tilgjengelig. Det var store avvik fra denne tegningen og “som bygget” for kjeller, og resultatene blir dermed utarbeidet som på bakgrunn av begge. Tabell 1.1 viser en liste over gjeldene tegninger for oppgaven.

Etasjeplan	Tittel	Filnavn
Kjeller	Arealdisponering Plan Kjeller	Kongens gate 87 00.dwg
Kjeller	Kjellerplan Ventilasjonssystem (1973)	Kjellerplan ventilasjonssystem.pdf
01	Ventilasjonssystem 1. etasje	V101_07.10.2016.pdf
02	Ventilasjonssystem 2. etasje	V102_07.10.2016.pdf
03	Ventilasjonssystem 3. etasje	V103_07.10.2016.pdf
04	Ventilasjonssystem 4. etasje	V104_07.10.2016.pdf
05	Ventilasjonssystem 5. etasje	V105_07.10.2016.pdf
06	Ventilasjonssystem 6. etasje	V106_07.10.2016.pdf

Tabell 1.1: Oversikt tegninger

1.4 Metode for litteraturstudie

Det ble gjennomført en litteraturstudie før de fysiske målingene på bygget for å planlegge parametere som var viktige å måle til videre arbeid. Gjennom forløpet til oppgaven har også behovet til relevant litteratur økt, for å kunne utarbeide relevante løsninger og estimere utbytte av dem. Ved innhenting av slik informasjon er det viktig å være kritisk til kilder og bare benytte kilder som er troverdige. Troverdigheten vurderes etter hvor informasjonen kommer fra og om kilden er blitt brukt tidligere.

Kildene brukt i denne oppgaven varierer fra lærebøker, rapporter og vitenskapelige artikler. Mye informasjon hentes også spesifikt fra Byggforskserien utviklet av SINTEF. Dette er en kilde som blir sett på som troverdig grunnet organisasjonens kompetanse.

1.5 Struktur

Rapportens første del er et teoretisk kapittel som omhandler ventilasjonssystemer, systemer og komponenter. Dette danner grunnlaget for resultatene og valgene i oppgaven. I kapittel 3 gis en kort innføring i rapportens metoder og verktøy, mens bruken er beskrevet i tilhørende del hvor de er brukt i rapporten. Oppgavens resultater er todelt da det ses på både eksisterende og ny systemløsning for ventilasjonen i Kongens gate 87. Resultater og diskusjon er derfor samlet for eksisterende og ny systemløsning i henholdsvis kapittel 4 og 5. Resultatene blir deretter brukt for å se på gevinst ved oppgradering i kapittel 6. Til sist kommer en generalisering av resultatene fra oppgaven etterfulgt av endelig konklusjon.

2 Teori

Dette kapittelet utdyper nødvendig teori som er benyttet i løpet av oppgaven. Det er oversikter av de viktigste kravene i TEK17 og NR444, samt forklaringer for ulike deler av et ventilasjonssystem og formler benyttet i oppgaven. En granskning av krav gjennom forskriftshistorien er også gjennomført i dette kapittelet.

2.1 Ventilasjonsbehov

2.1.1 Personer og emisjoner

Omsetningen av energi i menneskekroppen er en prosess som forbruker oksygen. Det er derfor essensielt for et menneskes helse at det til enhver tid har tilgang til nok oksygen. Det må i tillegg ikke være helseskadelige stoffer i romlufta, samt at den skal være behagelig å oppholde seg i. Dette gjør at det i hovedsak er to faktorer som er viktige for hvor mye luft som bør tilføres til et rom. Den første er personbelastningen. En person tilfører luften forurensing i form av gasser, hudpartikler og lignende. Det finnes derfor krav om at luftmengden skal dimensjoneres etter hvor mange personer som skal oppholde seg i et rom. I tillegg til personer så vil det også komme avdunstinger fra bygningsmaterialer, møbler osv., omtalt som emisjoner [10]. Luftmengden avhenger derfor av hvilken emisjonsfaktor bygget har, nyere bygg har ofte lavere grad enn eldre bygg. Det skilles mellom lav, middels og høy emisjonsfaktor for bygninger. Disse er henholdsvis på $2,5m^3/hm^2$, $7,2m^3/hm^2$ og over $7,2m^3/hm^2$ gulvareal [16]. Det er ulik dokumentasjonsgrad for om et bygg oppfyller disse kravene, hvor det er mest krevende å få dokumentert lav emisjon på $2,5m^3/hm^2$.

2.1.2 Krav og forskrifter

En av forskriftene bygg oppført etter 2017 må følge er *Byggteknisk forskrift 2017*, omtalt som TEK17. Dette er en forskrift om de tekniske krav til byggverk, og ble utarbeidet for å trekke opp grensen for minimum egenskaper et bygg må ha [4]. TEK17 er delt inn i 17 deler, hvor “kapittel 13 Inneklima og helse” er mest relevant for denne oppgaven. Her stilles det “krav til luftkvalitet, termisk inneklima, strålingsmiljø, lyd og vibrasjoner, lys og utsyn, samt fukt og fuktsikring” [4]. I tabell 2.1 og 2.2 finnes det en oversikt over den viktigste informasjonen fra dette kapittelet.

Fra § 13-1. Generelle krav til ventilasjon kommer det frem at bygninger skal ha “ventilasjon som er tilpasset rommenes utforming, forutsatte bruk, forurensing og fuktbelastning” [4]. For å opprettholde dette må rommene tilføres minimum $26m^3/h$ tilluft per person ved lett aktivitet [4]. Ved annen aktivitet må dette justeres til høyere luftmengder for å ivareta kravene. Videre

må “frisklufttilførsel på grunn av forurensning fra materialer, produkter og installasjoner være minimum $2,5\text{m}^3/\text{hm}^2$ gulvareal når bruksenheten eller rommene er i bruk” [4]. Når bygget ikke er i bruk er $0,72\text{m}^3/\text{hm}^2$ gulvareal tilstrekkelig. Dette er minimumsverdiene for frisklufttilførsel og gjelder bare for bygg med dokumentert lav emisjon fra materialer. For å kunne opprettholde god luftkvalitet i hele bygget er det viktig at rom med forurensende prosesser har tilstrekkelig med avtrekk. Dette fordi en vil sørge at lukt og forurensning ikke sprer seg til resten av bygget og skaper ubehag. En oversikt over disse luftmengdene kan finnes i tabell 2.1.

Romtyper	Avtrekksvolum m^3/h
Bad/dusj	54 m^3/h per dusj
Toalett	36 m^3/h per toalettstol/urinal
Heissjakt	30 m^3/h per heissjakt
Kjellerrom	2,5 m^3/h per m^2 bruttoareal
Garasje for langtidsparkering	3 m^3/h per m^2 bruttoareal
Garasje for korttidsparkering	6 m^3/h per m^2 bruttoareal

Tabell 2.1: § 13-3 Avtrekksmengder fra ulike hygienerom og spesialrom [4]

TEK17 setter også andre krav enn til bare luftmengder. Temperaturen på en arbeidsplass har mye å si for inneklimate og effektiviteten for de som arbeider der. Tabell 2.2 viser en oversikt over temperaturene som er tillat på arbeidsplassen. Temperaturen kan ikke overskride maksgrensen mer enn 50 timer i året, og det anbefales at den holdes under 22°C i oppvarmingsperioder [4]. Det finnes også krav i TEK17 til det totale netto energiforbruk en bygning kan ha. Et kontorbygg kan maksimalt ha et totalt netto energibehov på $115\text{ kWh}/\text{m}^2$ oppvarmet BRA per år [4]. Ventilasjonssystemet spiller en stor rolle i å oppnå slike krav.

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	middels arbeid	Tungt arbeid
Temperatur $^\circ\text{C}$	19-26	16-26	10-26

Tabell 2.2: § 13-4 Tabell 1: Anbefalte verdier for operativ temperatur [4]

I tillegg må bygg også overholde “Arbeidstilsynets veiledning nr. 444 Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen”, omtalt som NR444. Denne veilederen går i større detalj om hvilke krav som må være opprettholdt for at inneklimate på en arbeidsplass er forsvarlig. Med tanke på emisjoner i bygget konstateres det at “ved normal materialbruk vil det være rimelig å benytte 2 l/s pr. m^2 gulv” [16], som tilsvarer $7,2\text{m}^3/\text{hm}^2$. Dette gir et betydelig høyere krav til frisklufttilførsel på arbeidsplassen hvis en ikke kan dokumentere lav emisjon.

2.2 Forskrifters historie

Gjennom årene har byggebransjen måtte forholde seg til stadig endrede forskrifter. Disse inneholder som nevnt tidligere krav som bygget må overholde for å være godkjent til bruk. Dette gjør at selv om et bygg ble oppført i henhold til kravene i sin tid, kan det ligge langt bak moderne bygg på byggestandard. Når det skal kartlegges hvor godt et bygg er, kan det ses tilbake i historien og få en oversikt over kravene et slikt bygg måtte overholde. En oversikt over disse kravene for yrkesbygg fra år 1969 frem til i dag kan finnes i tabell 2.3.

Parameter	1969	1987	TEK97	TEK07	TEK17
Min luft pr pers [m^3/h]	-	25,2	25,2	25,2	26
Min luft pr areal [$(m^3/h)/m^2$]	-	2,5	2,5	2,5	2,5
U-verdi yttervegg [$W/(m^2K)$]	0,46-1,04	0,8	0,22	0,22	0,22
U-verdi tak [$W/(m^2K)$]	0,46	0,6	0,18	0,18	0,18
U-verdi gulv grunn/fri [$W/(m^2K)$]	0,41	0,6/0,4	0,18	0,18	0,18
U-verdi vindu/dør [$W/(m^2K)$]	2,44-3,14	ingen	1,6	1,6	1,2
Lekkasjetall 50 Pa [$Luftveksling/h$]	-	1,5	3	3	1,5
Netto energibehov [kWh/m^2]	-	-	165	165	115

Tabell 2.3: Forskriftshistorie [5] [6] [7] [8] [9] [4]

U-verdiene for 1969 avhenger av hvor i landet bygget er oppført. På den tiden var Norge nemlig delt inn i fire soner som hadde ulike krav i denne forskriften. Verdiene som står i tabellen gjelder derfor for sone II hvor Trondheim og dermed Kongens gate 87 befinner seg. Forskrift 1969 skiller seg også fra de andre forskrifter på grunn av kravene til U-verdier endrer seg med typen konstruksjon, tyngde og areal. Forskriften for 1969 har heller ingen minimumsverdier for luftmengder for personer og areal som gjelder alle bygg, men det fantes likevel spesifikke krav. For kontorer var det for eksempel minimumskrav på $5m^3/m^2h$ med friskluft, og for WC, urinaler og dusjer var det $60m^3/m^2h$ [5]. Dette vil som regel gi tilsvarende luftmengder som dagens gjeldende forskrifter.

Verdiene i tabell 2.3 er absolutte minimumskrav for at bygget skal kunne bli erklært godkjent ut fra de ulike forskriftene. Hvis verdiene er høyere enn dette kan bygget ikke bli godkjent. Dette med unntak for *Netto energibehov* for TEK 97 og TEK 07. For *Netto energibehov* er det bare for TEK17 det gjelder som et minimumskrav. For TEK 97 og TEK 07 trenger ikke disse kravene å

oppfylles. Kravet om *Netto energibehov* gjelder bare om tilleggskravene gitt i tabell 2.4 ikke er oppfylt.

Parameter	1997	2007
U-verdi yttervegg [$W/(m^2K)$]	0,18	0,18
U-verdi tak [$W/(m^2K)$]	0,13	0,13
U-verdi gulv grunn/fri [$W/(m^2K)$]	0,15	0,15
U-verdi vindu/dør [$W/(m^2K)$]	1,2	1,2
Lekkasjetall 50 Pa [$Luftveksling/h$]	1,5	1,5
SFP [$kW/(m^3/s)$]	2	2

Tabell 2.4: Tilleggsverdier fra TEK97 og TEK07 [8] [9]

Tabellene over viser tydelig at kravene som stilles til bygg innskjerpes. U-verdiene som gjelder TEK17 er under halvparten så store som i byggteknisk forskrift for 1969. Dette vil si at et bygg oppført i perioden som tilhørte denne forskriften vil ha betydelig høyere varmetap enn moderne bygg, dette med utgangspunkt i minimumsverdiene.

2.3 Energiberegning

For å gjennomføre en energiberegning av bygget anvendes NS3031:2016. Dette er en teknisk spesifikasjon som omfatter regler for beregning av bygningers energibehov. NS3031:2016 erstatter ingen Norsk standard, men er et supplement til NS3031:2014 for helhetlige energiberegninger for bygninger [12]. Denne standarden kan brukes til å blant annet:

- Vurdere om bygningen tilfredsstillende et bestemt energinivå
- Dokumentere teoretisk energibehov
- Vurdere virkningen av mulige energiltak på eksisterende bygninger ved å beregne energibehovet med og uten energiltak

“Denne tekniske spesifikasjonens omfang og kompleksitet tilsier at den i praksis egner seg for dynamiske beregningsprogrammer” [12]. Disse beregningsprogrammene må være validert etter NS-EN 15265 med nøyaktighetskrav “level C”. NS3031:2016 inneholder også flere informative og normative tillegg. Tillegg A inneholder normerte inndata som kan brukes til å beregne energiytelsen med standardiserte betingelser. Disse verdier kan brukes som et estimat for tekniske verdier til bygg når ingen verdier er tilgjengelige. Disse representerer ikke nødvendigvis reelle forhold [12].

For å dokumentere at energibruken ligger innenfor kravene gitt i *Byggeteknisk forskrift 2017* skal NS 3031:2014 benyttes [12]. Dette gjøres under standardiserte driftsbetingelser for bygget.

2.4 Ventilasjonsløsninger

2.4.1 CAV

CAV er et akronym for “Constant Air Volume”, og betegner ventilasjonsløsninger hvor luftmengdebehov leveres ved en fast luftmengde gjennom en satt driftsperiode. Dette er en løsning som er enkel å prosjektere og ikke bruker mange dyre komponenter, men har noen ulemper. Dersom et bygg som benytter en CAV løsning ikke er i bruk med de samme forholdene som systemet er dimensjonert etter, risikerer man ofte unødvendig ventilasjon, rom som blir kalde, eller dårlig luftkvalitet og inneklime utenfor satt driftstid.

2.4.2 VAV og behovsstyrt ventilasjon

Variable Air Volume, forkortet VAV, er en betegnelse for ventilasjonsløsninger hvor ventilasjonsbehovet til et bygg er gitt ved en varierende luftmengde gjennom satt driftsperiode. Dette er en mer kompleks løsning enn CAV, men har fordel ved at unødvendig ventilerings unngås. De fleste VAV-systemer baserer seg på å observere behovet for ventilasjon i et rom eller en sone, og tilføre en luftmengde tilsvarende det observerte behovet.

DCV (Demand Controlled Ventilation), eller behovsstyrt ventilasjon, er en VAV-løsning som er meget utbredt, der tilført ventilasjonsluftmengde reguleres automatisk etter et samtidig målt behov på romnivå [17]. Hensiktsmessig behovsstyrt ventilasjon forutsetter at behovet varierer betydelig over tid, som er tilfellet i yrkesbygninger hvor det er varierende personbelastning [18]. DCV defineres på mange forskjellige måter, her brukes DCV begrepet slik det er definert i doktorgradsavhandlingen om DCV-systemer i yrkesbygninger skrevet av Maripuu [19]: “en VAV-ventilasjonsløsning der tilført ventilasjonsluftmengde reguleres automatisk etter et samtidig målt behov på romnivå.”

Behovsstyrt ventilasjon kan føre til reduksjon i energibruk i forhold til CAV. Dette gjennom reduksjon av energibruk til viftedrift, oppvarming/kjøling av ventilasjonsluft, romoppvarming, og drift av varmegjenvinner [20], hvor den største potensielle sparingen ligger i viftedriften.

Ved behovsstyrt ventilasjon vil ofte systemet driftes ved redusert kapasitet. Likevel er det dimensjonert for behov ved maksimal belastning. Ved redusert belastning blir det en reduksjon i totalluftmengden i anlegget, som gir lavere lufthastigheter, trykkfall, og vifteeffekter. Alle disse faktorene resulterer i en lavere SFP-verdi enn den oppgitte SFP-verdien ved maksimal drift av

anlegget [20]. I tillegg vil vanligvis roterende varmegjenvinnere få økt temperaturvirkningsgrad ved lavere lufthastigheter [20]. Noe som resulterer i redusert energibruk.

2.4.3 Sentrale og desentrale ventilasjonsanlegg

Det finnes i hovedsak to forskjellige prinsipper for plassering av ventilasjonsaggregater; dette er sentralt og desentralt. I sentrale anlegg plasseres et stort aggregat som skal håndtere store luftmengder og fordele dette over store avstander i bygget. Et typisk eksempel på en slik løsning er et aggregat plassert på taket av et bygg som håndterer all luft i hele bygget. Et desentralt anlegg er motsetningen, hvor det plasseres flere mindre aggregater i bygget, som håndterer mindre luftmengder over kortere avstander.

Begge disse løsningene er vanlige i nye bygg og de har fordeler og ulemper. Et sentralt ventilasjonsanlegg har fordelene at det kan plasseres langt vekk fra bruksareal. Slik tar det opp lite bruksareal og kanalføringer til luftinntak og avkast kan kortes ned. Det gir også gode muligheter for drift og vedlikehold av aggregatet. Ulempene med et slikt anlegg vil være effektiviteten. Store luftmengder må bevege seg over lange strekninger som vil føre til en stor økning i trykktapet [1]. Sentrale anlegg egner seg best til bygg hvor bruksarealer er verdifulle og det ikke er stor grad av soneinndeling, som for eksempel kontorbygg. Sentrale anlegg er ofte også billigere for luftmengden som leveres.

Desentrale anlegg tar opp mer bruksareal og kan skape utfordringer med tanke på føringene til luftinntak og avkast. Likevel vil dette i mange situasjoner kunne være en bedre løsning på grunn av redusert trykktap i kanalnett. Ved å plassere flere mindre aggregater kan luftmengdene hvert enkelt aggregat må kunne levere reduseres, samtidig som avstandene luften må forflyttes kortes ned [1]. Desentrale anlegg åpner også opp for en større grad av soneinndeling i bygget. Dette betyr at hvis bare små deler av bygget blir brukt, trengs bare et lite aggregat å driftes for å håndtere denne luftmengden. Det er derfor mulig å spare energi ved å drifte på denne måten i forhold til driften av et stort aggregat. Dette egner seg godt til for eksempel leilighetsbygg.

2.5 Aggregat

2.5.1 Varmegjenvinner

En varmegjenvinner har som oppgave å gjenvinne varme fra avtrekksluften og tilføre den til tilluften. Dette fører til redusert oppvarming ved hjelp av varmebatteri, og kan derfor spare energi ved å utnytte en effektiv varmegjenvinner. Det finnes mange forskjellige typer varmegjenvinnere som alle er egnet til forskjellig bruk. De som er mest relevant å nevne i dette tilfelle er: roterende varmegjenvinner, plateveksler og batterigjenvinner [10].

En varmegjenvinneres temperaturvirkningsgrad beregnes ved følgende formel [21]:

$$\eta_T = \left(\frac{\dot{V}_{tilluft}}{\dot{V}_{min}} \right) \cdot \left(\frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} \right) \cdot 100\% \quad [\%] \quad (2.1)$$

- η_T - Temperaturvirkningsgrad [%]
- $\dot{V}_{tilluft}$ - Luftmengde tilluft [m^3/s]
- \dot{V}_{min} - Laveste luftmengde (tilluft/avtrekk) [m^3/s]
- T_1 - Temperatur i uteluft før varmegjenvinner [$^{\circ}\text{C}$]
- T_2 - Temperatur i tilluft etter varmegjenvinner [$^{\circ}\text{C}$]
- T_3 - Temperatur i avtrekksluft før varmegjenvinner [$^{\circ}\text{C}$]

En roterende varmegjenvinner overfører varme mellom avtrekksluft og tilluft ved hjelp av et roterende hjul. Dette hjulet består av mange små kanaler med god evne til å magasinere varme, og virkningsgraden i gjenvinneren kan reguleres ved å øke eller senke turtallet. Denne typen har god virkningsgrad, men det kan være fare for overføring av lukt og forurensninger mellom tilluft og avtrekk. Denne problematikken kan håndteres ved korrekte trykkforhold rundt hjulet [10].

Det finnes to typer platevekslere, men den som benyttes mest i Norge er typen kryssveksler. I en kryssveksler overføres varmen mellom avtrekksluft og tilluft ved hjelp av et sett med plater som skiller luftstrømmene fra hverandre. I denne typen veksler er det derfor ingen fare for overføring av lukt og forurensninger, den har til gjengjeld en mye lavere virkningsgrad. I en slik veksler er det også behov for kondensavløp [10].

Den andre typen plateveksler er motstrømsveksleren. Denne har samme prinsipp som kryssveksleren, men er strukket i lengderetning for å ha større flate til varmeoverføring. Dette gjør at motstrømsveksleren har en bedre virkningsgrad enn kryssveksleren.

En batterigjenvinner består av to batteri, ett som er plassert i tilluftskanal og ett som er plassert i avtrekkskanal. Mellom disse batteriene sirkulerer væske som varmes opp av avtrekksluften og deretter avgir varmen til tilluften. Etttersom denne væsken sirkulerer i ett lukket system vil det være ingen fare for overføring av lukt og forurensning. Virkningsgraden er derimot lav, men godt egnet til steder hvor smittefare er kritisk [10].

Type	Virkningsgrad [%]
Roterende	75 - 85
Kryssveksler	50 - 60
Motstrømsveksler	80 - 95
Batteri	45 - 60

Tabell 2.5: Type gjenvinner med virkningsgrad [10]

2.5.2 Varmebatteri

Et varmebatteri har som oppgave å varme opp tilluften til en ønsket temperatur, og plasseres vanligvis etter varmegjenvinneren for å gjøre den resterende økningen i temperatur. Et varmebatteri kan fungere ved hjelp av elektrisitet eller ved hjelp av fluid, en skiller mellom elektrisk varmebatteri og vannbårent varmebatteri.

Et vannbårent varmebatteri overfører varme fra væske til luft ved hjelp av rør med varmt vann føres gjennom luftstrømmen [10]. Luften vil da ta opp varme fra vannet. Disse rørene utstyres ofte med lameller for å øke varmeovergangen.

Et elektrisk varmebatteri tilfører varme ved hjelp av elektrisitet direkte. Disse batteriene består av en ramme hvor lameller og rør er erstattet med varmekolber, som hver inneholder en elektrisk motstandstråd [22]. Disse blir i nyere tider brukt mer som spisslast om effekten fra vannbårent batteri ikke er tilstrekkelig.

Formel for beregning av nødvendig effekt på varmebatteri:

$$Q = \dot{V} * \rho * c_p * \Delta T \quad (2.2)$$

- \dot{V} - Volumstrøm [m^3/s]
- ρ - Massetetthet [kg/m^3]
- c_p - Varmekapasitet [$kJ/(kg * K)$]
- ΔT - Temperaturløft [K]/[C]

2.5.3 Vifte

Viften er kanskje den viktigste komponenten i et ventilasjonssystem, det er selve drivkraften i systemet og sørger for at luften transporteres gjennom kanalnett. Et typisk system består av to vifter; en som driver tilluften og en som driver avtrekksluften. Energi til viftedrift er en vesentlig del av energibehovet i et bygg, men kan gjennom gode systemløsninger reduseres. Energibruken

til en vifte avhenger av effektbruket og tiden den er aktiv. Effektbehovet til en vifte kan beregnes ved:

$$\Phi_{vifte} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \quad (2.3)$$

Energibehovet til en vifte:

$$E_{vifte} = \Phi_{vifte} \cdot t = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \cdot t \quad [Wh] \quad (2.4)$$

- Δp_{tot} - Total trykkøkning [Pa]
- η_{tot} - Total virkningsgrad
- t - tid aktiv [h]
- \dot{V} - Luftmengde [m^3/s]

SFP er forkortelse for **S**pecific **F**an **P**ower, og kalles også spesifikk vifteeffekt. Dette er et forholdstall som forteller noe om hvor effektivt luften distribueres gjennom kanalnett. Kan beregne SFP faktor for en enkel vifte, et enkelt aggregat eller for et helt bygg. Kan beregne SFP-faktor ved hjelp av følgende formel [21]:

$$SFP = \frac{\sum \Phi_{vifter}}{\dot{V}} \quad [kW/(m^3/s)] \quad (2.5)$$

- $\sum \Phi_{vifter}$ - Samlet vifteeffekt [kW]
- \dot{V} - Største luftmengde (tilluft/avtrekk) [m^3/s]

Kan også beregnes ved:

$$SFP = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\dot{V} \cdot \eta_{tot}} = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \quad [kW/(m^3/s)] \quad (2.6)$$

Får fra formlene over at det er mulig å redusere energibruket i et bygg ved hjelp av å [21]:

- Senke det totale trykktapet
- Øke den totale virkningsgraden
- Redusere driftstiden
- Redusere luftmengden

Det finnes flere typer SFP-verdier som er litt ulike. Noen av disse er forklart under [21]:

- SFPv - Denne verdien anvendes ved kontrollmåling av aggregatets ytelse. SFPv gjelder for en spesifikk luftmengde og eksterntrykk.

- SFPe - Denne verdien er teoretisk som skal benyttes for å beregne ventilasjonsanleggets energibruk til viftedrift. Oppgis ved gjennomsnittlig driftspunkt over året.

2.5.4 Trykk

Som beskrevet tidligere er viften selve drivkraften i ventilasjonsanlegget. Dette kommer av at viften danner et overtrykk som driver luften gjennom kanalnett. Størrelsen på viften kommer av hvor stort trykktap det er internt og eksternt i systemet. Det interne trykktapet er trykktapet kommer fra selve aggregatet, mens det eksterne trykktapet kommer av kanalnett. Formel for trykktap er vist under og er avhengig av lengden på kanalnett, lufthastighet og enkeltmotstander som bend og spjeld.

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot U^2}{2} \cdot \left(f \cdot \frac{L}{D_h} + \sum \zeta \right) \quad (2.7)$$

2.6 Varmepumper og kjølemaskiner

Varmepumper og kjølemaskiner er maskiner som transporterer varme fra en kilde med relativt lav temperatur, til et reservoar med høyere temperatur, med elektrisitet som drivkraft [3]. Et godt eksempel er varmpumper i boliger, hvor varme hentes fra utelufta og tilføres romluft. Siden varmpumper henter varme fra en varmekilde, klarer de å levere mer varme enn de forbruker, som er meget energieffektivt.

Energieffektiviteten til varmpumper og kjølemaskiner kan tallfestes ved forholdet mellom varme/kjøling levert og elektrisk energi forbrukt. Dette forholdes omtales som effektfaktor, betegnet COP (Coefficient of Performance).

Formler for beregning av effektfaktor:

$$COP = \frac{Q_H}{W} \quad (2.8)$$

$$COP_R = \frac{Q_L}{W} \quad (2.9)$$

Hvor:

- Q_H - Levert varme [kW]
- Q_L - Levert kjøling [kW]
- W - Tilført elektrisk arbeid [kW]

- COP_R - kuldefaktor, effektfaktor for kjøling

Ved varmepumpe-løsninger er det viktig at arbeidsmedier som benyttes har mild miljøpåvirkning ved lekkasje. Dagens varmepumper benytter nesten utelukkende såkalte HFK-gasser (HydrogenFluorKarboner), og disse er kraftige drivhusgasser ved utslipp. GWP-verdien for en gass defineres som påvirkningen på drivhusgassen fra ett tonn utslipp av gassen sammenlignet med ett tonn utslipp av CO_2 over et gitt tidsrom [3]. Tabell 2.6 viser GWP-verdier for noen arbeidsmedier.

HFK R407C	HFK R410A	HFK R134a	HFO 1234ze	Ammoniakk R717	Propan R290	CO_2 R744
1770	2090	1430	6	0	3	0

Tabell 2.6: GWP-verdier for noen arbeidsmedier [3]

2.7 Annet

2.7.1 Lineær interpolasjon

$$f(x) = f_1 + (f_2 - f_1) * \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.10)$$

2.7.2 Tilført effekt motor

For å beregne tilført effekt til en elektrisk 3-fas motor kan følgende formel brukes:

$$P_t = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (2.11)$$

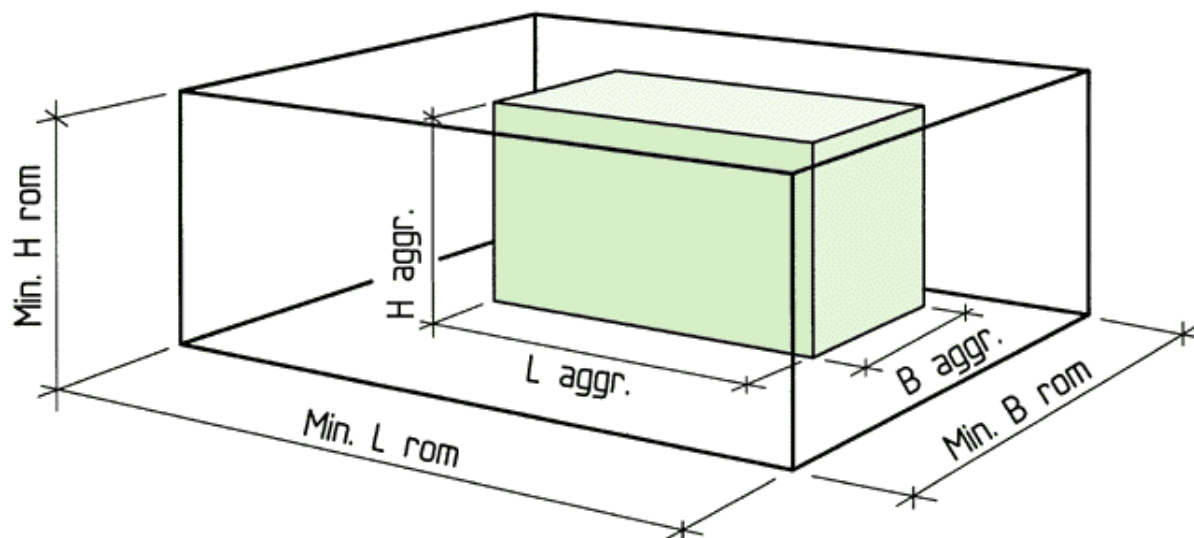
- P_t = tilført effekt [W]
- U = spenning [V]
- I = strøm [A]
- $\sqrt{3}$ = for alle 3-fas belastninger

Formelen gjelder både for stjerne og trekant. [23]

2.7.3 Areal teknisk rom

For å kunne komme med et godt anslag for den nødvendige plassen til et teknisk rom kan det brukes tabell 2.1.

$$\begin{aligned}L \text{ rom} &= L \text{ aggregat} \times 2,0 \\B \text{ rom} &= B \text{ aggregat} \times 2,5 \\H \text{ rom} &= H \text{ aggregat} \times 1,2\end{aligned}$$



Figur 2.1: Tilnærming dimensjoner [1]

3 Metode

Dette kapitlet omhandler metodene som er brukt i utarbeidelsen av oppgavens resultater. En kort innføring til de ulike metodene og digitale verktøy benyttet er beskrevet herunder, mens bruken er beskrevet i tilhørende del av rapporten.

3.1 Kartlegging av bygg

For å få en oversikt over Kongens gate 87 er det gjort en kartlegging av bygget. Det ble derfor utarbeidet en romoversikt med informasjon over blant annet areal, eksisterende luftmengder og personbelastning ut fra vedlagte tegninger. Utarbeidelsen av romoversikten er beskrevet i kapittel 4.2.

3.2 Målinger

For å vurdere byggets eksisterende ventilasjonsanlegg er det foretatt fysiske målinger av systemets luftmengder og trykk, samt temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinner. Dette for å sammenligne mot dagens krav og forskrifter, samt danne grunnlag for videre simulering i SIMIEN. Hvordan målingene er utført forklares i kapittel 4.3.

3.3 Kostnadsestimering

Estimering av kostnader for fjerning av eksisterende ventilasjonsanlegg, samt innkjøp og montasje av planlagt ventilasjonsanlegg er gjort på grunnlag av tall fra leverandører og erfaringstall fra samarbeidsbedrift COWI AS. Se kapittel 6 for utarbeidelse.

3.4 Autodesk Revit

Autodesk Revit er en BIM (Building Information Modeling) programvare utviklet for å designe bygningsmodeller. Programmet gjør det mulig å designe 3D-modeller av bygninger for å planlegge de tekniske systemene i en bygning. Det er mulig å importere Autodesk AutoCAD filer samt PDF-tegninger til modellene for å lage oversikter over eksisterende bygninger. Programmet gjør det også mulig å gjennomføre detaljerte beregninger av tekniske systemer i bygninger ved komplette modeller.

I denne oppgaven er Autodesk Revit brukt for å lage en 3D-modell av det eksisterende ventilasjonssystemet i Kongens gate 87 i 3D. Denne modellen har videre gjort det mulig å designe og vurdere forskjellige DCV-løsninger for behovsstyring av ventilasjonssystemet i bygget.

Disse vurderingene står beskrevet i kapittel 5.2.2.

3.5 Swegon AHU design

Swegon AHU Design er et verktøy for å dimensjonere, konfigurere og beregne ventilasjonsaggregater innenfor Swegon GOLD-, SILVER C- og COMPACT-serier [24]. Programmet bruker eksterne trykkfall, luftmengder og temperaturer som input for å kjøre simuleringer av ventilasjonsaggregater. Programmet brukes for å skaffe tekniske data for et spesifikt system ved en angitt geografisk plassering, som i dette tilfellet er Trondheim. Verdier som søkes er SFP og temperaturvirkningsgrad for videre bruk i beregningsprogrammet SIMIEN. Bruken av verktøyet er beskrevet i kapittel 5.5.4.

3.6 SIMIEN

SIMIEN er et dynamisk beregningsprogram som kan brukes til å gjennomføre energiberegninger. Programmet tilfredsstiller nøyaktighetskravene gitt i NS-EN 15265, og ligger innenfor nøyaktighetsgrad B [25]. SIMIEN bygger på den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS3031:2014. Programmet kan brukes til å gjennomføre årssimuleringer av bygninger for å beregne netto energibruk, evaluere bygninger mot kravene i byggforskrifter og mer [26]. Dette gjøres ved å legge inn reelle verdier fra bygningen som simuleres slik at resultatene blir gjeldene for det spesifikke bygget.

Ved evaluering mot byggforskrifter vil ikke lenger de reelle verdier for bygningen anvendes for alle deler av bygningskroppen. Dette fordi at alle bygninger av samme bygningskategori skal kunne simuleres ved et likt underlag slik at simuleringene blir representative. Dette gjelder for eksempel driftstider av tekniske installasjoner og interlaster. Programmet henter automatisk ut normerte verdier fra NS3031:2014 for å kunne gjennomføre riktige beregninger.

Bruken av SIMIEN er beskrevet i kapittel 4.4 og 5.6.

4 Eksisterende systemløsning

Dette kapitlet omhandler det eksisterende ventilasjonssystemet i Kongens gate 87. Det inneholder en oversikt over de ulike ventilasjonsaggregatene i bygget, samt utarbeidelsen av en romoversikt med blant annet luftmengder og arealer. Bygget er også vurdert ved hjelp av målinger av ventilasjonssystemet som brukes i simuleringsprogrammet SIMIEN. Dette for å vurdere ventilasjonssystemet og energibruken mot byggetekniske forskrifter.

Det inneholder en oversikt over hvordan det eksisterende ventilasjonssystemet er bygd opp, luftmengdene som leveres og styringen som er brukt. Observerte tilstand sammenlignes også opp mot gjeldene krav fra TEK17 og NR444.

4.1 Teknisk oversikt Kongens gate 87



Figur 4.1: Østfasaden Kongens gate 87

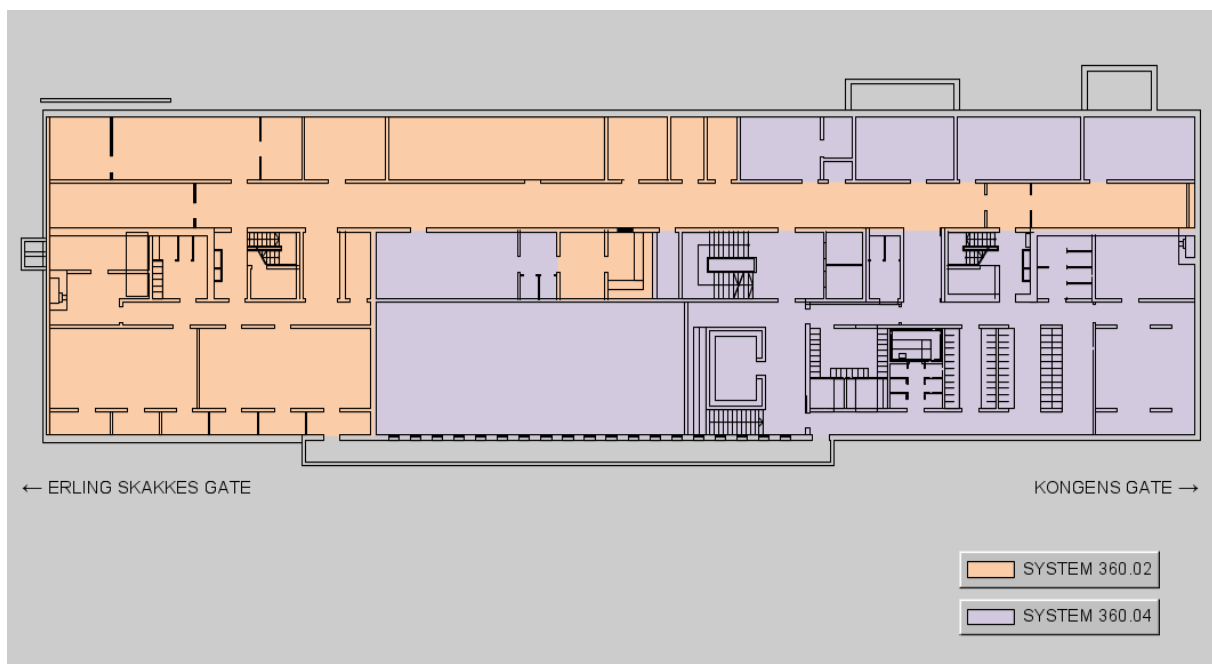
Bygget som oppgaven baserer seg på er plassert i Kongens gate 87, i sentrum av Trondheim. Bygget ble ferdigstilt i 1974 og ble frem til 2004 brukt som politikammer. I forbindelse med at politiet flyttet ut og Skatteetaten skulle overta ble det gjort en totalrehabilitering av bygget for å tilpasse behovet til de nye leietakerne. Etasjene 1 til 5 er i hovedsak kontorarealer, med kantine i 5. etasje. Kjelleren består av auditorium/gymsal og garderobes.

Beskrivelse	Verdi
Byggeår	1974
Arkitekt	Herman Krag
Totalt areal	7453 m ²
Antall etasjer	6
Byggestandard	Byggforskrift 1969
Energimerke	D

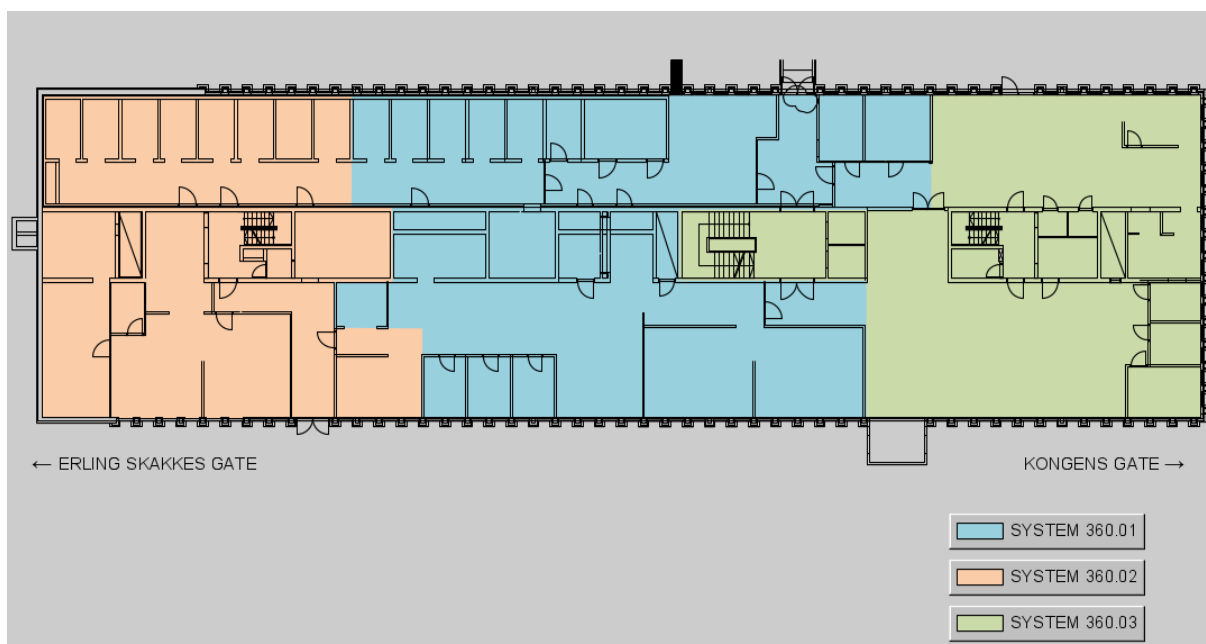
Tabell 4.1: Fakta om Kongens gate 87 [11]

4.1.1 Soneinndeling

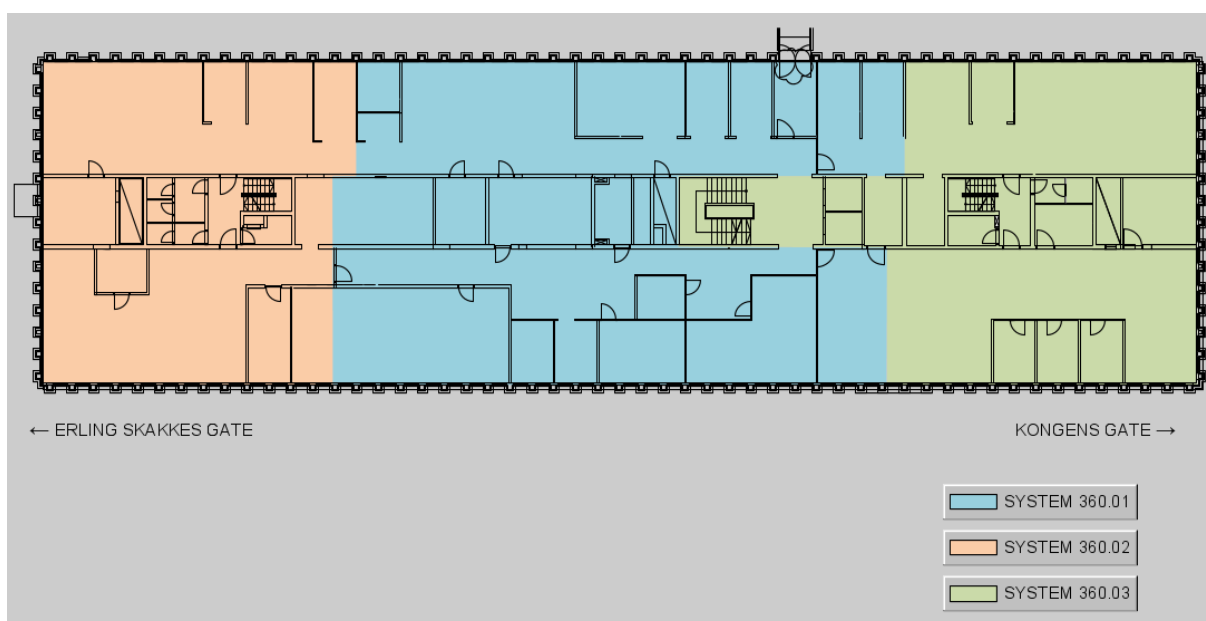
Bygget har i alt fem ventilasjonsaggregater, samt tre avtrekkskanaler som håndterer luftbehandlingen. Alle ventilasjonsaggregatene er plassert i 6. etasje, som er en etasje bare for tekniske installasjoner. Bygget er laget med tre hovedsjakter som fører kanalene ned til de ulike etasjene/sonene. Det er en sjakt i senter av bygget, en i nordre og en i sørlige del. Byggets lufttilførsel er delt inn i soner rundt disse sjaktene. Disse sonene er effektivt bare en oversikt over hvor de forskjellige aggregatene leverer luft i etasjene. Soneillustrasjoner ble funnet på byggets SD-anlegg, og utklipp av disse vises i figurene 4.2 til 4.7:



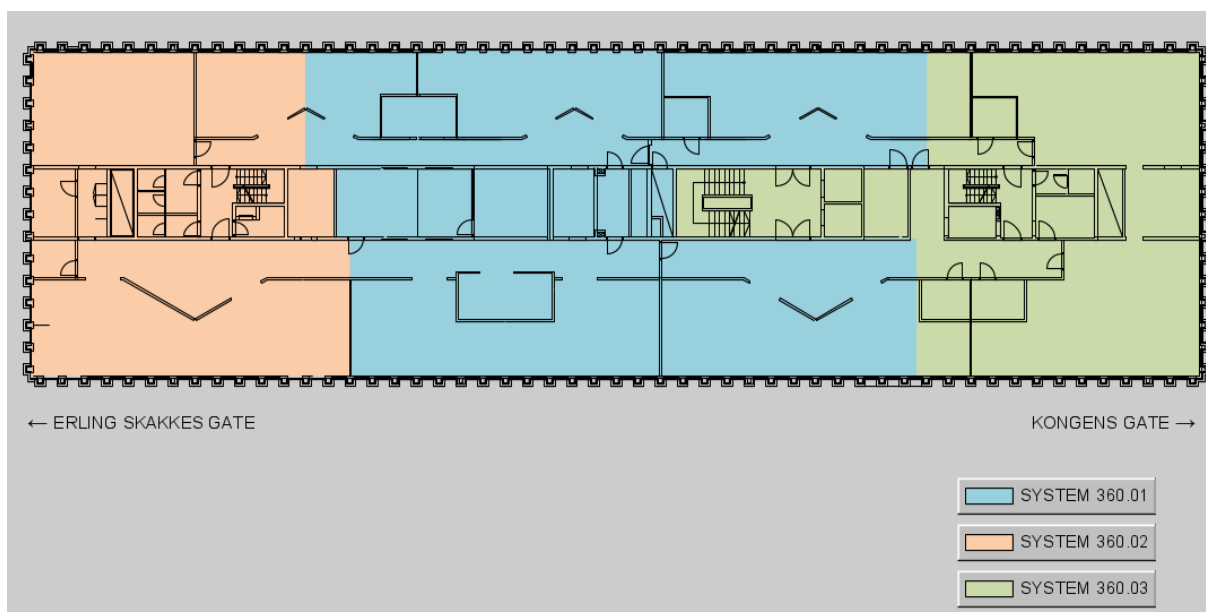
Figur 4.2: Soneinndeling 0. etasje



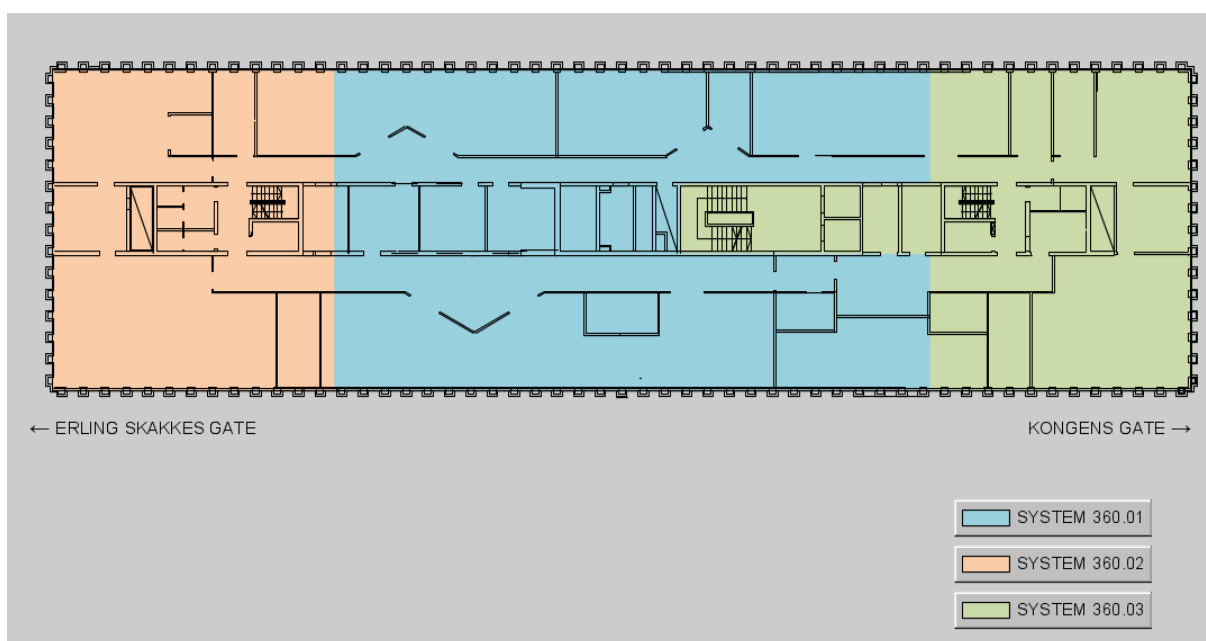
Figur 4.3: Soneinndeling 1. etasje



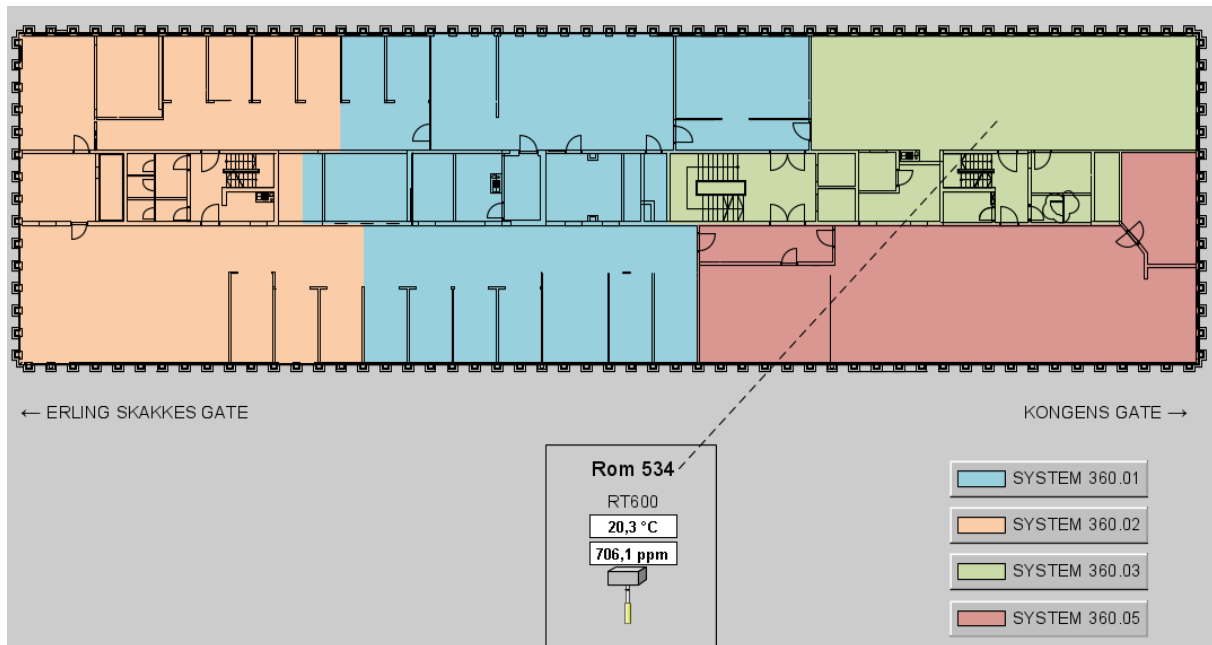
Figur 4.4: Soneinndeling 2. etasje



Figur 4.5: Soneinndeling 3. etasje



Figur 4.6: Soneinndeling 4. etasje



Figur 4.7: Soneinndeling 5. etasje

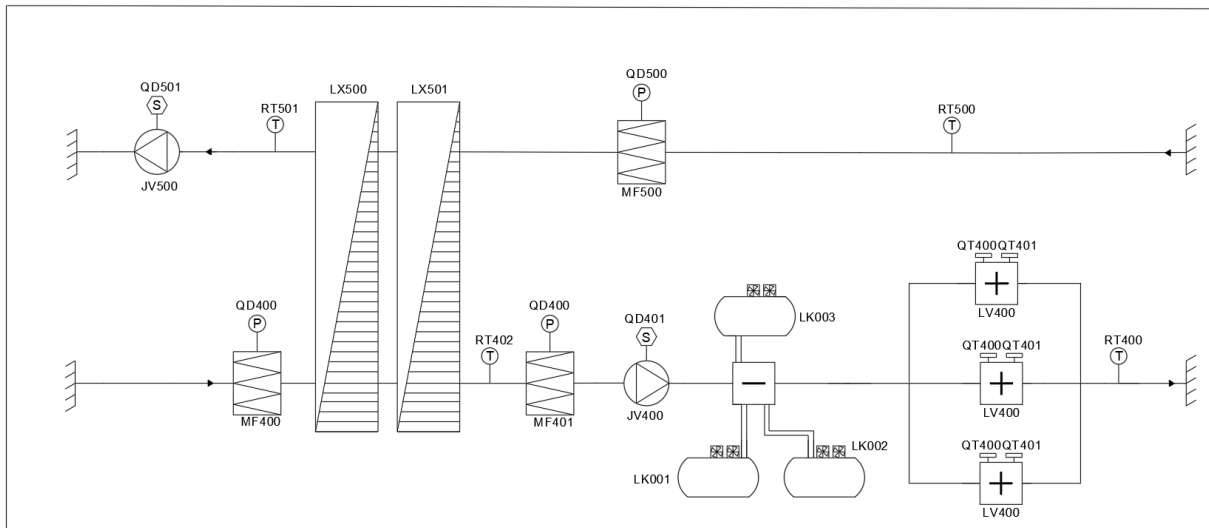
De ulike sonene har blitt navngitt for å kunne holde en oversikt over dem.

Etasje	Oransje	Blå	Grønn	Lilla	Rød
0	0-Sør	-	-	0-Nord	-
1	1-Sør	1-Midt	1-Nord	-	-
2	2-Sør	2-Midt	2-Nord	-	-
3	3-Sør	3-Midt	3-Nord	-	-
4	4-Sør	4-Midt	4-Nord	-	-
5	5-Sør	5-Midt	5-Nord	-	5-Kantine

Tabell 4.2: Soneinndeling oversikt

4.1.2 Aggregater

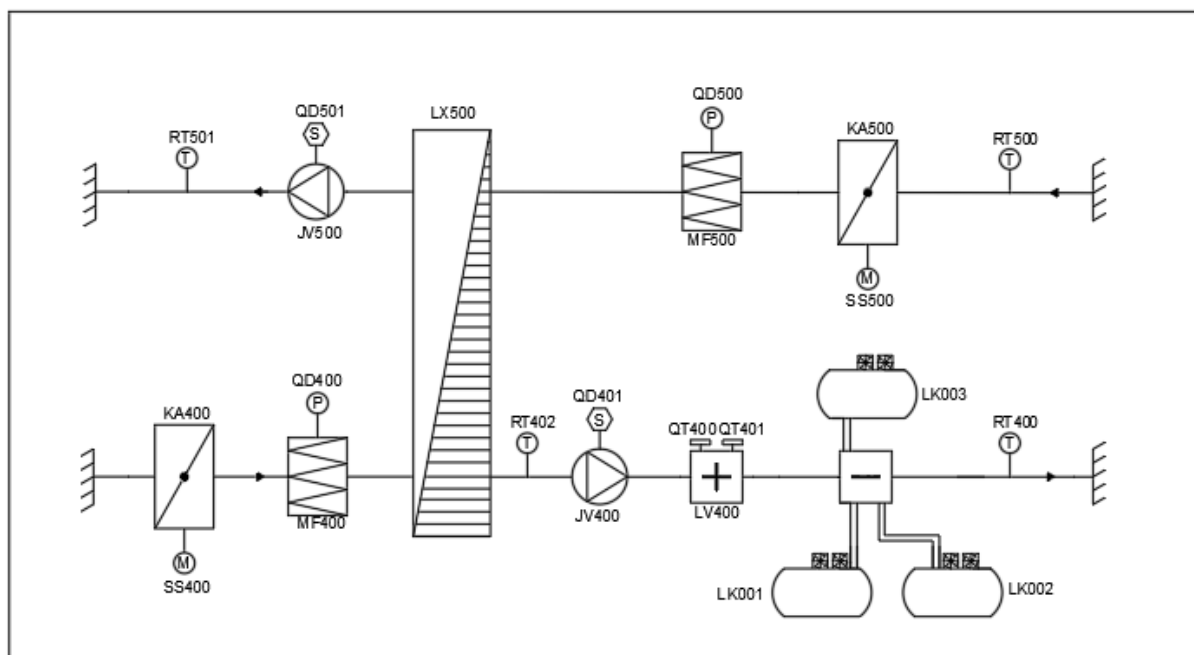
Ventilasjonsaggregat 360.01 er et plassbygd aggregat som håndterer $16000 \text{ m}^3/\text{h}$ luft. Dette supplerer midtdelen av bygget i etasjene 1-5. Figur 4.8 viser systemoppbyggingen.



Figur 4.8: Aggregat 360.01

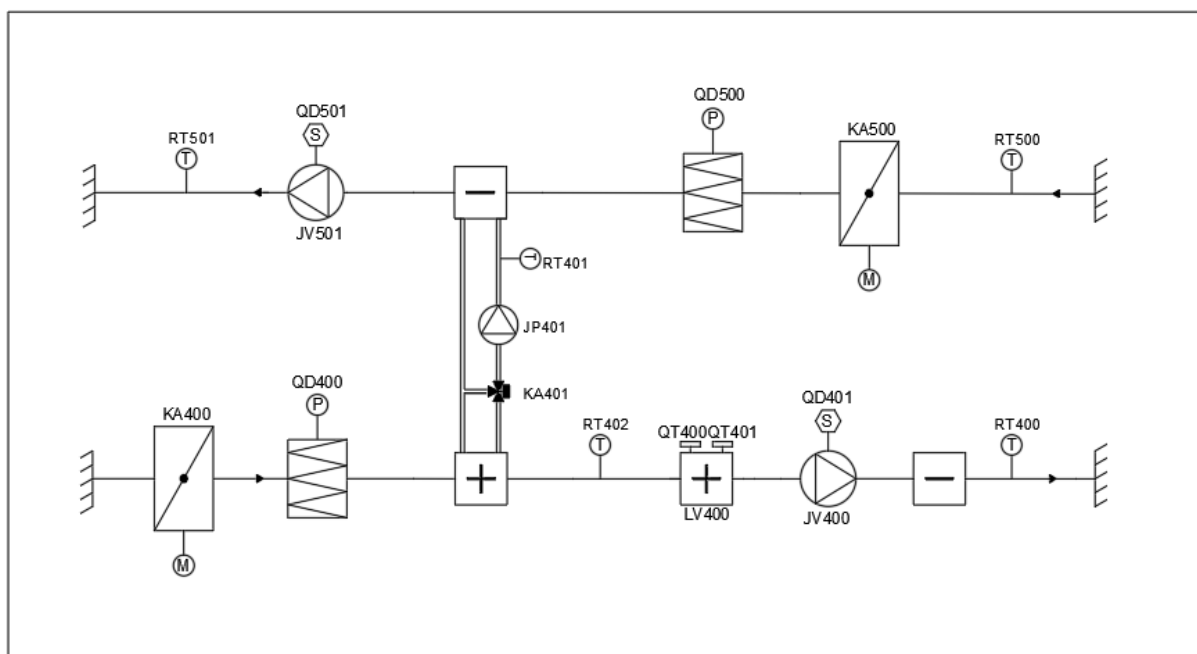
Aggregatet består av en rekke komponenter separert i forskjellige rom i 6. etasje. Dette er det største aggregatet i bygget og leverer luft gjennom to store vifter. Videre er det to roterende varmegjennvinnere, tre parallelle elektriske varmebatteri, et DX-kjølebatteri og tre filternivå. Avtrekksluft fra aggregatet strømmes gjennom gangen i den tekniske etasjen, med relativt utette dører som skiller avtrekksluft fra tilluft. Her vil det være lekkasje mellom de to luftstrømmene. Aggregatets vifter er utstyrt med frekvensomformere som gir mulighet for trinnløs regulering.

Ventilasjonsaggregatene 360.02 og 360.03 er funksjonsmessig bygd likt, se figur 4.9. Dette er kompaktaggregater levert av Systemair, 360.02 supplerer sørenden av bygget, mens 360.03 supplerer nord. De leverer luftmengder på henholdsvis $15000 \text{ m}^3/\text{h}$ og $10000 \text{ m}^3/\text{h}$. Frekvensomformere for trinnløs regulering er installert i viftene og det er roterende varmegjennvinner i begge aggregatene.



Figur 4.9: Aggregat 360.02 og 360.03

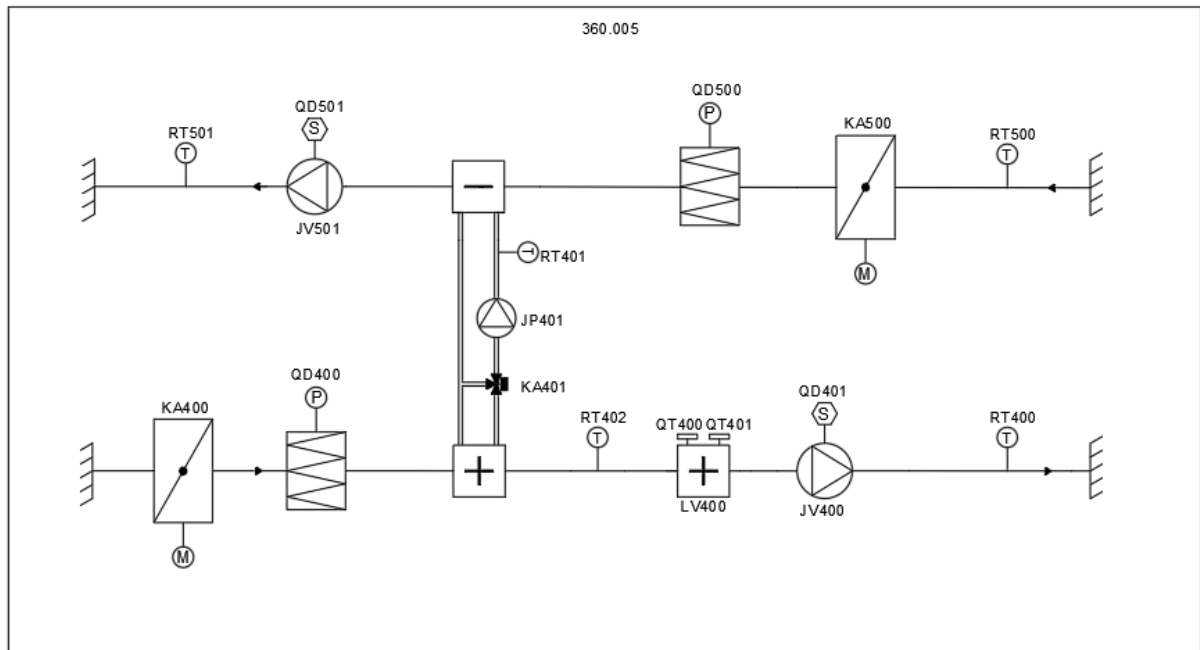
Ventilasjonsaggregat 360.04 forsyner luft til kjelleretasjen i bygget, spesifikt til garderober, og en gymsal/auditorium. Det er prosjektert for å levere en luftmengde på $8500 \text{ m}^3/\text{h}$, og er plassert i nordenden av bygget. Her er det benyttet et varmegjenvinningsbatteri i stedet for roterende varmegjenvinner som i system 360.01/02/03. Systemoppbygging er vist i figur 4.10.



Figur 4.10: Aggregat 360.04

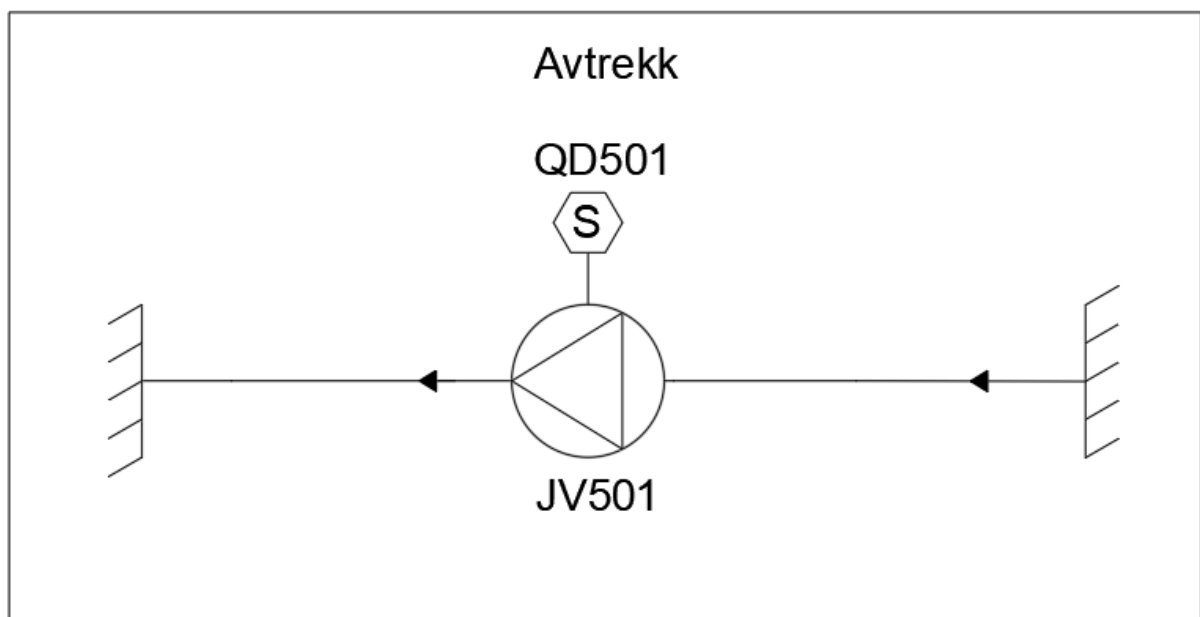
System 360.05 behandler luft til kantine og kjøkken i 5. etasje, og er prosjektert for å behandle $3200 \text{ m}^3/\text{h}$. Dette aggregatet er også plassert i nord-enden av bygget i 6. etasje. Her er det som i

aggregat 360.04 benyttet et varmegjenvinningsbatteri. Systemoppbyggingen er lik som 360.04 , og er illustrert i figur 4.11.



Figur 4.11: Aggregat 360.05

Kongens gate 87 har også tre kanalsystem med kun avtrekk, hvor to dekker WC-er og et system dekker EL-rom. Disse sender avtrekksluft rett ut av bygget uten noen form for varmegjenvinning. De tre avtrekkskanalsystemene har alle samme oppbygging, vist i figur 4.12.



Figur 4.12: Avtrekkskanaler

I tillegg til luftbehandlingsaggregater, er det installert trykksettingsvifter for trappeoppgangene

som brannløsning for bygget. Disse er plassert i tekniske rom i 6. etasje for nordre og søndre trappegang, og midterste trappegang har trykksettingsviften i taket/himling øverst i trappen. Trappegangen i midten er den eneste som går helt opp til teknisk etasje, derav den tilpassede plasseringen av trykksettingsviften. Viftene skal produsere et overtrykk i trappegangene for å hindre spredning av røyk og brann, da trappene er rømningsveiene for bygget.

4.1.3 Varmebatterier

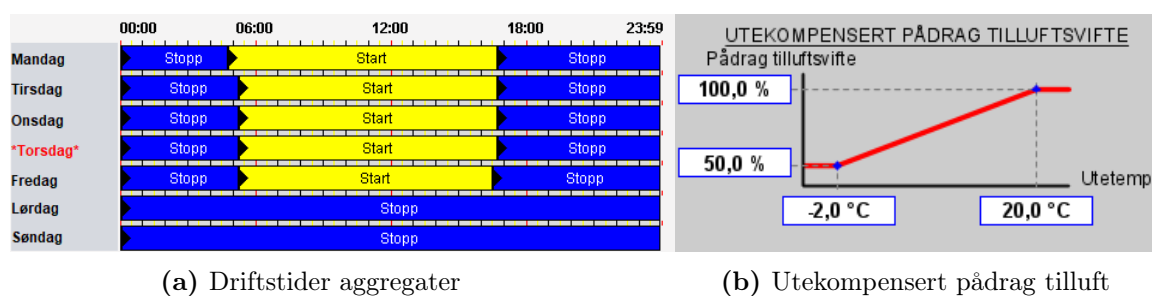
De ulike ventilasjonsaggregatene er utstyrt med elektriske varmebatterier. Disse kan levere effekten vist i tabell 4.3.

Aggregat	Effekt [kW]
360.01	72,8
360.02	56,6
360.03	38,6
360.04	62,0
360.05	24,0

Tabell 4.3: Eksisterende varmebatterier

4.1.4 Styring

Den eksisterende løsningen i Kongens gate 87 er driftet som VAV-system med luftmengdene styrt etter utetemperaturen for alle systemene med unntak av 360.04. Største delen av de leverte luftmengdene i bygget styres dermed uavhengig av behov. Ventilasjonskanalene er dermed ikke utstyrt med spjeld for å styre luftmengden til de individuelle rommene. Alle systemene er urstyrte med fastsatt driftstid, og skrus av utenom denne. Dette gjelder ikke i sommerperiodene hvor aggregatene brukes til frikjøling. Figur 4.13a viser driftstidene alle systemene følger. Systemene som styres ved hjelp av utekompensering driftes etter kurven vist i figur 4.13b. Mellom de gitte punktene er pådraget lineært med utetemperaturen. Hvert av systemene har en felles temperaturføler ute som styrer denne funksjonen.



Figur 4.13: Styring system

System 360.04 skiller seg fra de andre systemene ved at det er utstyrt med sensorer på romnivå. Garderobene og gymsalen/auditoriet i kjelleren har sensorer som måler temperatur, CO₂, og luftfuktighet. Sensorene har et settpunkt som bestemmer om aggregatet kjører ved høyfart ved 100% pådrag, eller normal drift med 50% pådrag. Dersom verdien for minst én av de gitte parameterne overstiger dette settpunktet aktiveres høyfart. Tabell 4.4 viser settpunktene som er satt. Som vist er CO₂ for aktivering høyfart satt til 400 ppm, som i praksis betyr at aggregatet alltid vil driftes ved høyfart, da uteluften i Trondheim sentrum har høyere CO₂-nivå enn dette.

Parameter	Settpunkt
Utetemp for aktivering av høyfart	23°C
Romtemp for aktivering av høyfart	23°C
CO ₂ for aktivering av høyfart	400ppm
Luftfuktighet for aktivering av ventilasjon	50%

Tabell 4.4: Styring 360.04

Aggregat 360.05 skiller seg også fra de andre aggregater fordi dette bare reguleres som høyfart og normalfart. Tabell 4.5 viser kriteriene for dette.

Parameter	Settpunkt
Høy utetemp for aktivering av høyfart	12°C
Høy avtrekkstemp for aktivering av høyfart	25°C

Tabell 4.5: Styring 360.05

Avtrekkskanalene i bygget styres kun ut fra satt driftstid, og følger samme driftstider som alle aggregatene vist i figur 4.13a. Det vil si ingen ventilasjon utenom driftstid, og 100% dimensjonert luftmengde ved drift.

4.2 Kartlegging av luftmengder

I denne delen av oppgaven beskrives kartleggingen av luftmengdene i Kongens gate 87. Tegningsunderlaget er ventilasjonstegninger vedlagt oppgaven, en oversikt over disse finnes i appendiks. Oversikt over tegninger brukt er vist i tabell 1.1.

4.2.1 Oversikt tegninger

På grunnlag av tegningene ble det utarbeidet en oversikt over rommene i bygget med de tilhørende luftmengdene. Disse kan finnes i appendiks i delkapittel A3. Følgende informasjon som er nødvendig for å vurdere ventilasjonssystemet er lagt inn i tabellene:

- Romnummer
- Romnavn
- Systemkode
- Areal
- Personbelastning
- Nødvendig luftmengde med lav emisjonsfaktor (NDV lav)
- Nødvendig luftmengde med $3,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ emisjonsfaktor (NDV lav-mid)
- Nødvendig luftmengde med middels emisjonsfaktor (NDV mid)
- Faktisk tilluft
- Faktisk avtrekk

Bygg har, som sagt i kapittel 2.1.1, forskjellig emisjonsfaktor basert på hvilke materialer de består av. I tabellen for estimerte luftmengder er det derfor tatt med en kolonne for lav emisjon, en for middels emisjon og en for $3,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ for å se hvordan estimatet blir i forhold til prosjekterte luftmengder. Disse verdiene er ved full personbelastning og bruk av alle rom. De nødvendige luftmengdene for de ulike arealene ble beregnet etter prinsippet beskrevet i delkapittel 2.1.1. Disse verdiene ble deretter justert ved hjelp av minimumskravene gitt i tabell 2.1 slik at luftmengden tilfredsstiller kravene gitt i TEK17. Nederst på hver tabell er summen av estimerte verdier markert i grønn eller rød ut fra om prosjekterte verdier dekker behov etter dagens krav eller ikke.

Kjeller og 6. etasje skiller seg fra de andre etasjene i bygget. For kjelleren forelå det ikke oppdaterte tegninger av ventilasjonsløsningen, dermed ble den originale tegningen for ventilasjon fra 1973 benyttet. Denne tegningen har ikke samme romløsningen som bygget i dag, og det må derfor også anvendes “som bygget” tegninger. Tegningsunderlaget for kjeller blir dermed en kombinasjon av disse. 6. etasje i bygget skiller seg også fra de andre ettersom denne etasjen er kun for tekniske installasjoner, og er uventilert.

4.2.2 Resultater

Ved å summere luftmengdene til de ulike ventilasjonsaggregatene fra tabellene i appendiks fås resultatene vist i tabellene 4.6, 4.7 og figur 4.14. Summen for de ulike emisjonsfaktorene omfatter ikke luftmengden fra toalett og andre rom med lavere krav til luftkvalitet. Dette fordi luft fra andre rom blir her brukt som sekundærluft, og trenger dermed ikke å tilføre denne luftmengden til bygget. Verdiene fra disse tabellene vil kommenteres nærmere i kapittel 4.6 og 4.7.

Aggregater	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	Differanse [m^3/h]
360.01	16728	16948	-220
360.02	15470	11831	3639
360.03	9800	11210	-1410
360.04	8500	9885	-385
360.05	3044	3150	-106
360.01 EL	0	250	-
360.02 WC	0	1198	-
360.03 WC	0	2425	-
Totalt	53542	55897	-2355

Tabell 4.6: Eksisterende luftmengder basert på analyse av tegninger

Emisjon	Luftmengde [m^3/h]
Lav	37105
Lav/middels	44284
Middels	65993

Tabell 4.7: Beregnet tilluft basert på tegninger

Etasje	Sone midt		Sone sør		Sone nord	
	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk
1	2670	2770	1600	1948	2440	2930
2	4080	3110	2290	2425	1820	2905
3	3410	4482	2720	2235	2180	2575
4	4010	4130	2050	2255	1820	1995
5	2558	2706	2160	2141	1540	2180

Etasje	Sone nord		Sone sør		Sone kantine	
	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk
0	8500	9935	4650	2025		
5					3044	3150

Figur 4.14: Eksisterende luftmengder fordelt på soner

Det bemerkes at de oppgitte luftmengdene i tabell 4.6 ikke stemmer overens med luftmengdene oppgitt i ventilasjonstegning for 6. etasje. Dette er en uoverensstemmelse mellom tegningene, men det er valgt å bruke de utarbeidede verdiene. Dette utgjør summen av alle ventilene i bygget, noe som blir sett på som de mest presise verdiene.

4.3 Målinger

For å kartlegge byggets nåværende ventilasjonsanlegg er det gjennomført målinger av parametere som temperatur, luftmengde og trykk. Dette er gjort for å kartlegge energieffektiviteten til anlegget, samt danne grunnlaget for vurderingen om bygget opprettholder kravene i TEK17 og NR444. Utstyret brukt til disse målingene er omtalt i appendiks A2. Målingene er gjennomført i flere omganger for å måle anlegget ved normal drift, og ved full drift. Fremgangsmåte for målingene er forklart herunder etterfulgt av selve utførelsen for hvert aggregat.

4.3.1 Temperaturvirkningsgrad

Målepunktene for å bestemme temperaturvirkningsgrad i en varmegjenvinner er gjort på bakgrunn av formel 2.1. Denne formelen tilsier at for å beregne temperaturvirkningsgrad behøves inntakstemperatur, tilluftstemperatur rett etter gjenvinner og avtrekkstemperatur rett før gjenvinner. Det er derfor ønskelig at disse temperaturene måles samtidig, slik at resultatet blir så nøyaktig som mulig. På stedene hvor dette er mulig er det benyttet termoelementer og en Hioki datalogger. For aggregat 360.01 lar dette seg ikke gjøre ettersom størrelsen på aggregatet innebærer at termoelementene blir for korte. Målingene er derfor gjort innenfor så kort tidsrom som mulig med en Rotronic CP11.

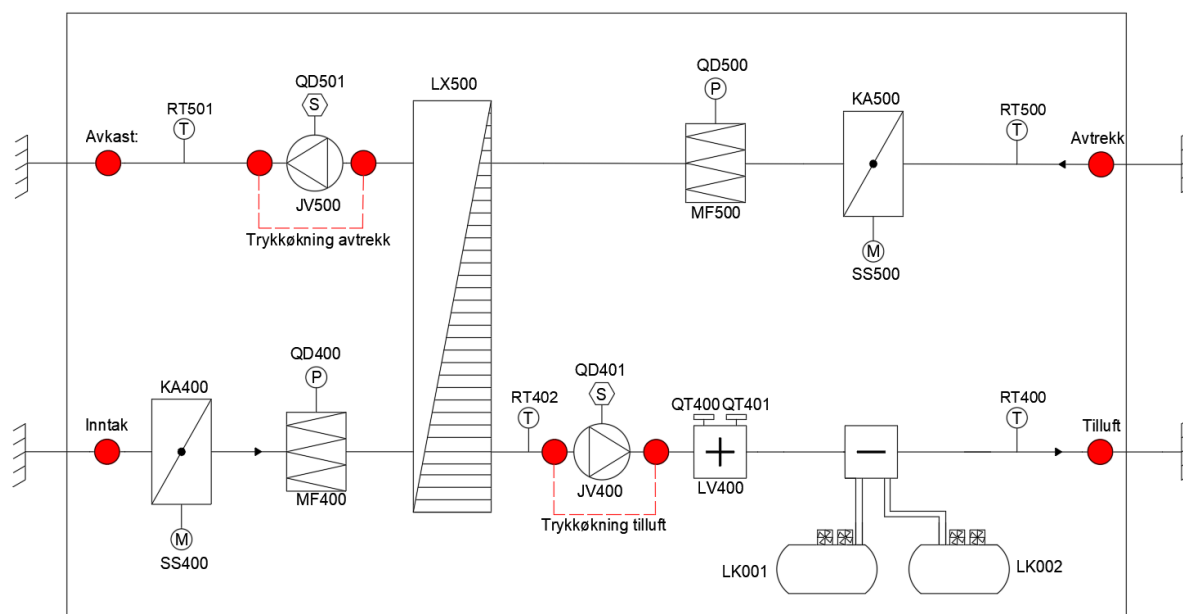
4.3.2 Luftmengde

For å måle luftmengden i hvert aggregat er det brukt traversering, etter metoden beskrevet av Leif Stensaas [27]. Dette gjøres ved å utføre et sett med lufthastighetsmålinger i kanalens tverrsnitt. Plassering og antall målepunkter varierer med kanalens størrelse og utforming. Resultatene for målingene blir mer nøyaktige om målepunktet befinner seg et sted med minst mulig turbulent strømning. Anbefalt er $5 \times diameter$ med rett kanalstrek før målepunktet, for at målepunktet skal ha mulighet for å bli representativt for den faktiske luftstrømningen.

Alle målinger er gjort ved hjelp av TSI VELOCICALC. De gunstige målepunktene varierer fra hvert lufttekniske system ettersom det er ulik plass og tilgjengelighet til kanalføringene. Noen steder er det mulig å gjøre målingene på hovedkanalen fra aggregatet, mens på andre må flere bikanaler summeres opp, dette for å få målinger i så jevn luftstrøm som mulig og dermed mer nøyaktig resultat. Valg av målepunkter må gjøres fra egen vurdering og metodens anbefalinger, hvor $5 \times diameter$ fritt kanalstrek før målepunkt anbefales. Etter at lufthastighetsmålinger er gjort, beregnes kanalens luftmengde slik metoden forklarer. For dette trengs gjennomsnittshastighet, tverrsnittareal på kanal og K-faktor for gitt kanaltype. K-faktoren bestemmes av kanalens dimensjon og utforming og er oppgitt i underlaget [27].

4.3.3 Trykk

Statisk trykk i aggregatene er ønskelig å måle ved flere forskjellige punkter. Det er ønskelig å finne differansetrykket over viftene og det eksterne trykket i kanalnettet. Målepunktene for disse trykkene er vist i figur 4.15. Både differansetrykk over vifter og statisk kanaltrykk måles med TSI VELOCICALC. For å måle dette benyttes eksisterende målepunkter i kanaler og på aggregatene. Dersom tilfredsstillende målepunkter derimot ikke fantes, ble det laget nye målepunkter hvis mulig.



Figur 4.15: Målepunkter trykk

4.3.4 Utførelse

System 360.01

Aggregat 360.01 er unikt i utforming ettersom det er plassbygd og benytter gangen i 6. etasje ment for personer som avtrekkskanal. Da det var flere strømningshinder i denne gangen var det ikke hensiktsmessig å gjennomføre målinger av luftmengden her, og det var i tillegg komplisert å estimere et tverrsnittareal. Luften passerte derimot også gjennom en dør, som da ble brukt som målepunkt for avtrekkslufta. Døren ble behandlet som en rektangulær avtrekkskanal, men luftstrømningen beveger seg ikke på en hensiktsmessig måte å måle og vil medføre måleusikkerhet. Tilluften var derimot en enklere oppgave da dette var vanlige sirkulære kanaler som gjorde at metoden kunne følges direkte.

Temperaturmålingene var en enklere oppgave å utføre, men de store avstandene og vegger uten luker der varmegjenvinnere var installert gjorde at temperaturene ikke kunne måles simultant.

Det var god tilgang for trykkmålinger for tilluft i systemet. For avtrekk var dette en større utfordring ettersom lufta ikke beveger seg gjennom en tradisjonell kanal. Det var derfor ikke mulig å gjennomføre trykkmåling av avtrekk før aggregat i systemet. Trykkmålingene av avkastkanalen var også veldig tett på avtrekksviften som kan påvirke måleresultatet i denne plasseringen.

System 360.02

Aggregat 360.02 er et standard kompakt aggregat med normale kanaler. Her var tilgjengelighet en større utfordring, da aggregatet og kanalene til sjakten er plassert veldig tett. Tilluft ble derfor målt i rektangulær hovedkanal, og avtrekk som summen av fire kanaler i munning til sjakt. Disse kanalene i sjakt var svært gunstige for estimasjon av luftmengder da det her var tilstrekkelig lengde rett strekk før målepunkt. Den rektangulære tilluftskanalen var ikke et gunstig målepunkt ettersom plasseringen var direkte etter et bend, men annen måling var ikke mulig.

Utformingen på aggregat 360.02 gjorde det utfordrende å få representative målinger for temperaturene på hver side av den roterende varmegjenvinneren. Ettersom temperaturene etter en roterende varmegjenvinner ikke er uniform bør det utføres flere målinger av temperaturen i tverrsnittet etter varmegjenvinneren. Grunnet begrensninger i utstyret var dette ikke mulig, og temperaturen ble målt med termoelementer festet til spennstaver plassert sentralt i kanalens tverrsnitt. Dette vil være en feilkilde for målingene. Figur 4.16 viser hvordan målinger av varmegjenningsgraden ble gjennomført. Trykkmålinger kunne foretas uten problemer ettersom det var tilgang på gunstige målepunkt.



Figur 4.16: Måling varmegjenvinningsgrad aggregat 360.02

System 360.03

Aggregatet 360.03 er av samme type som 360.02 og kan dermed gjennomføre målingene på samme måte som beskrevet over. Dette aggregat innebar gunstige målinger for luftmengdene ettersom det var tilgang på lange rette kanaler som ga måleplan som kunne aksepteres [27]. Varmegjenvinningsgraden ble målt på samme måte som tidligere.

I dette anlegget var det ikke mulig å måle trykkøkningen over inntaket og tilluftsviften. Dette fordi det var trangt mellom aggregatkomponenter som gjorde at det ikke var mulig å få representative målepunkt.

System 360.04

Det var utfordrende å gjennomføre representative målinger på luftmengdene i dette systemet ettersom det var mangel på lange rette strekk.

Aggregat 360.04 er i likhet med 360.05 utstyrt med en batterivarmegjenvinner. Temperaturen ble dermed målt med termoelementer plassert på begge sider av hvert batteri. Grunnet utformingen til anlegget måtte termoelementet for tilluft plasseres nært varmegjenvinningsbatteriet. Dette kan ha ført til at temperaturen målt for tilluft er høyere enn den faktiske lufttemperaturen på grunn av strålingsvarme.

Oppbyggingen til systemet var det ikke mulig å gjennomføre trykkmålinger ved inntak for tilluft, og avkastet for avtrekk. De andre målepunktene var allerede utstyrt med målenipler som ga representative målinger.

System 360.05

Aggregat 360.05 forsyner luft til byggets kantine, og er derfor bygget opp litt annerledes. Det var derfor enkelt å måle anleggets luftmengde da disse kanalene stod godt tilgjengelig. Avtrekkskanalens luftmengde ble målt mellom to bend som ikke ga et tilfredsstillende målepunkt. På tilluftkanalen var ikke dette et problem.

Aggregatet er utstyrt med en batterivarmegjenvinner i likhet med aggregat 360.04. Problemet som oppstod i 360.04 ved måling av temperaturgjenvinningsgraden, er også tilstede i 360.05. Umiddelbar nærhet mellom varmegjenvinningsbatteriet og varmebatteriet i aggregatet førte til at termoelementet måtte ligge nærmere varmegjenvinningsbatteriet enn ønsket. Målingen av varmegjenvinningsgraden kan dermed her også ha blitt påvirket av strålingsvarmen til varmegjenvinningsbatteriet.

Det var gode muligheter for måling av trykk på dette aggregatet, med unntak av inntak og avtrekkskanalen som derfor ikke ble målt.

4.3.5 Beregning av SFP

For å beregne SFP for et aggregat trengs største luftmengde av tilluft og avtrekk, samt samlet effektforbruk for tilluftsvifte og avtrekksvifte. Dersom effektforbruket ikke er tilgjengelig, kan det også brukes total virkningsgrad og trykkøkning over vifter for å regne ut en tilnærming av effektbehovet til viftene. I denne oppgaven er begge metodene brukt på grunn av manglende informasjon på vifter og viftemotorer.

Der motorens merkeskilt har vært lett tilgjengelig, er effektforbruket til viftene beregnet med utgangspunkt i dette. Dette var tilfellet for aggregat 360.01 og 360.03.

Der motorens merkeskilt ikke har vært tilgjengelig, er det brukt produktblad fra leverandør for å finne enten total virkningsgrad eller effektforbruk direkte. For aggregat 360.02 var virkningsgrad oppgitt i aggregatets produktblad vist i figur A5.5 og A5.6. For aggregat 360.04 og 360.05 ble effektforbruket funnet i produktbladet til viftemodellene. Viftemodell var markert på innsiden av viftekammerne i begge disse aggregatene, og produktbladene ble fra dette funnet på internett. Effektforbruket ble da tatt ut fra diagram fra leverandør laget for viftene ved hjelp av tallene fra målinger gjort ved full drift. "Absorbent effekt" finnes lett ved hjelp av diagrammene ved å benytte trykkøkning over vifta og luftmengden som forflyttes A5.4 A5.5. Viftene var av typen: THLZ

400 for aggregat 360.04 og TLZ 225 for aggregat 360.05, radielle vifter produsert av Comefri. Aggregatene benytter seg av samme vifter for tilluft og avtrekk.

4.3.6 Resultater normal drift

Første sett med målinger ble gjort på en normal arbeidsdag ved normal drift av anlegget, i slutten av februar 2020. Normal drift varierer for hvert av anleggene, og etter hvordan forholdene er utendørs, som vist i figur 4.13b. I tabellen for luftmengder er pådrag ved gjennomført måling angitt.

Luftmengde

Full oversikt over måleresultater av lufthastigheter finnes i appendiks, kapittel A4.1.

Anlegg	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	Pådrag [%]
360.01	12871,6	13555,6	50
360.02	12206,9	8087,3	54
360.03	5755,1	5872,7	54
360.04	7823,4	7213,0	100
360.05	1535,9	1575,4	50

Tabell 4.8: Luftmengder ved normal drift

Temperaturvirkningsgrad

Full oversikt over måleresultater av temperaturer finnes i appendiks, kapittel A4.1.

Anlegg	Temperaturvirkningsgrad [%]
360.01	74,9
360.02	99,8
360.03	74,7
360.04	55,9
360.05	54,8

Tabell 4.9: Temperaturvirkningsgrad ved normal drift

Målt verdi for 360.02 er unormalt høy, dette skyldes måten temperaturgjenvinningsgrad beregnes. Formelen bruker forholdet mellom tilluft og laveste luftmengde gjennom aggregatet, vist av formel 2.1. I dette tilfellet blir det et stort forhold mellom tilluft og avtrekk, som fører til særdeles høy temperaturvirkningsgrad.

Trykk

Målepunkt	Trykk [Pa]				
	360.01	360.02	360.03	360.04	360.05
Trykkøkning tilluftsvifte	382	326	-	680	132
Tilluft	133	168	69	160	30
Inntak	-	-140	-	-	-
Trykkøkning avtrekksvifte	710	281	350	573	215
Avkast	430	-	-	-	20
Avtrekk	-280	-92	-111	-263	-

Tabell 4.10: Trykk normal drift

(-) ingen måling

SFP

Anlegg	SFP [$kW/m^3/s$]
360.01	2.17
360.02	1.13
360.03	1.36
360.04	1.56
360.05	0.73

Tabell 4.11: SFP ved normal drift

4.3.7 Resultater full drift

Andre sett med målinger ble gjort ved manuelt satt full drift, som vil si 100% pådrag fra viftene. Disse målingene ble gjort i midten av mars 2020, etter utflytting av leietakere.

Luftmengde

Full oversikt over måleresultater av lufthastigheter finnes i appendiks, kapittel A4.2. Det ble ikke gjennomført målinger av dedikerte avtrekkskanaler til WC og EL, grunnet begrenset tilgang til kanalene.

Anlegg	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	Pådrag [%]
360.01	18603,9	18028,0	100
360.02	17263,7	12277,5	100
360.03	9525,6	9239,0	100
360.04	7823,4	7213,0	100
360.05	2650,5	2751,4	100

Tabell 4.12: Luftmengder ved full drift

Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner

Full oversikt over måleresultat av temperaturer finnes i appendiks, kapittel A4.2.

Anlegg	Temperaturvirkningsgrad [%]
360.01	57,6
360.02	72,1
360.03	65,0
360.04	55,9
360.05	42,

Tabell 4.13: Temperaturvirkningsgrad ved full drift

Trykk

Målepunkt	Trykk [Pa]				
	360.01	360.02	360.03	360.04	360.05
Over tilluftsvifte	607	655	-	680	350
Tilluft	-	233	163	160	88
Inntak	-	-90	-	-	-
Over avtrekksvifte	1160	610	691	573	445
Avkast	-	60	83	-	44
Avtrekk	-	-369	-264	-263	-

Tabell 4.14: Trykk full drift

(-) - ingen måling

SFP

Anlegg	SFP [$kW/m^3/s$]
360.01	6.71
360.02	2.03
360.03	2.94
360.04	1.56
360.05	1.43

Tabell 4.15: SFP ved full drift

Anlegg 360.02 og 360.03 består i hovedsak av kompaktaggregat, men begge systemene har separate avtrekk for WC i tillegg til aggregatet. Disse avtrekkene er egne vifter som sender luften direkte ut av bygget uten varmegjenvinning. Det mangler data for disse viftene, de er derfor ikke inkludert i beregningene av SFP og temperaturvirkningsgrad. I tillegg til dette, har system 360.02 ikke balanserte luftmengder. Prosjekterte verdier er $15470 m^3/h$ for tilluft og $11831 m^3/h$ for avtrekk. Disse faktorene fører til at beregnet SFP for dette systemet blir noe lavere enn forventet, hvor forventet verdi var ≥ 2.04 , da dette var verdien oppgitt i produktbladet for aggregatet A5.5. Verdien fra produktblad er gitt ved balansert luftmengde på $15000 m^3/h$.

4.4 Simulering eksisterende løsning SIMIEN

I denne delen av oppgaven er det utarbeidet en modell i SIMIEN for å simulere inneklimate og energibruket i Kongens gate 87. Fra denne modellen ønskes det å få en detaljert oversikt over forventet inneklimate i bygget som det ikke har vært mulighet for å måle grunnet tidsbegrensning. Simuleringene skal også danne en oversikt over energibruken til bygget som kan sammenlignes med krav, og brukes som et underlag til å sammenligne utbytte til nye systemløsninger. Først utarbeides en grunnmodell som vil være felles for simulering av eksisterende ventilasjonsløsning og ny løsning for bygget. Deretter kommer mer spesifikke data som gjelder den eksisterende systemløsning, før resultatene fra simuleringen presenteres. Den komplette modellen som ble anvendt for å gjennomføre disse simuleringene er vedlagt oppgaven ved navn “Kongens gate 87 endelig eksisterende systemløsning”.

4.4.1 Grunnmodell

For å kunne gjennomføre beregninger på Kongens gate 87 ble en modell av bygget konstruert i SIMIEN. Denne modellen baserer seg på faktiske verdier fra bygget. Dette er resultater fra befaring og målinger gjennomført i bygningen, samt data fra SD-anlegg og oppgitt data for

bygget. Disse verdiene er supplert med tall fra tilhørende byggforskrift eller normative tall fra NS3031:2016 vedlegg A, hvor disse verdiene ikke var tilgjengelig.

Soneinndeling

Det er viktig å dele opp bygget i hensiktsmessige soner når simuleringer av bygninger skal gjennomføres, dette er for å få representative beregninger. Det er mange ulike måter å gjennomføre en slik inndeling på. Noen av de vanligste måtene er ut fra ulike tekniske installasjoner, ulikt soltilskudd eller ulike interne varmetilskudd [12]. Kongens gate 87 har blitt delt inn etter dens tekniske installasjoner ettersom dette vil påvirke inneklime og energibehovet mest. Tabell 4.16 viser inndelingen etter tekniske installasjoner i bygget, og tar utgangspunkt i de eksisterende sonene fra ventilasjonsaggregatene gitt i tabell 4.2. Øverste etasje som er teknisk etasje blir lagt inn som en individuell sone, ettersom denne er uventilert.

Sone	Delsone	Delsone	Delsone	Delsone	Delsone	Delsone
Sør	0-Sør	1-Sør	2-Sør	3-Sør	4-Sør	5-Sør
Midt	1-Midt	2-Midt	3-Midt	4-Midt	5-Midt	-
Nord	1-Nord	2-Nord	3-Nord	4-Nord	5-Nord	-
Tilleggsone kjeller	0-Nord	-	-	-	-	-
Kantine	5-Kantine	-	-	-	-	-

Tabell 4.16: Soner tekniske installasjoner

De ulike arealene for sonenes gulv, etasjeskillere og fasader er utarbeidet fra “som bygget” tegninger og soneinndeling fra ventilasjonssystemet tilknyttet Kongens gate 87.

Sone	Gulvareal [m^2]	Luftvolum [m^3]	Fasader [m^2]	Tak [m^2]
Sør	2086,1	6450,5	705,7	229,5
Midt	2321,2	6429,7	888,1	256,7
Nord	1520	4090,7	678,3	121,6
Tilleggsone nord	569,1	1650,4	-	-
Teknisk etasje	301,1	873,2	332,3	301,1
Kantine	212,7	589,2	93,6	195,0

Tabell 4.17: Informative verdier soner

Kjeller	Gulvareal [m^2]	Luftvolum [m^3]	Fasader [m^2]
Sør	591,1	1714,2	344
Nord	569,1	1650,4	322,7

Tabell 4.18: Informative verdier kjeller

Klima

SIMIEN gjennomfører simuleringer ved hjelp av vær- og klimadata fra hvor bygget som simuleres ligger i Norge. Verdier som dimensjonerende temperatur i området, samt årsmiddel relativ luftfuktighet og vindhastighet blir brukt som et grunnlag for beregninger. Det kan også brukes enda mer spesifikke verdier angående klimapåvirkningen til bygget. Dette er verdier som skjermingsgrad fra vind og i hvilken grad bygget er solutsatt. Disse må manuelt legges i hvert enkelt tilfelle. Ved evaluering mot byggeforskrifter og energimerking vil programmet likevel alltid bruke klimadata for Oslo. Dette for å stemme overens med NS3031:2014 [25].

Ettersom bygget ligger i Trondheim sentrum og er høyeste bygning i det lokale bygningsmiljøet er verdiene i tabell 4.19 satt for bygget. Sonene er også satt med mer enn en vindutsatt fasade ettersom det er flere fasader tilknyttet samme sone.

Parameter	Verdi
Skjermingsgrad	Høy
Solutsatt tak	Ja
Soner	Mer enn en vindutsatt fasade

Tabell 4.19: Lokalt klima

Bygningskroppen

Det har blitt gjennomført flere ombygninger i bygget som gjør at deler av bygningskroppen ikke er fra samme årstall, og dermed ikke følger de samme kravene til U-verdier. Ettersom det er lite informasjon om hva disse ombyggingene involverte og når de ble utført, tas et konservativt utgangspunkt i hva som er blitt erstattet. Det kommer frem i dokumenter tilhørende bygget at alle vinduene i bygget med unntak av noen få har blitt erstattet rundt 2015. Det er derfor valgt å justere disse vinduene til oppdaterte U-verdier som vil redusere energibehovet samt infiltrasjonstapet til bygget. Disse følger da minimumsverdiene gitt i TEK10. Samme utgangspunkt er tatt angående dørene i bygget, mens resten av bygningskroppen antas uendret. Tabell 4.20 er en oversikt over de anvendte verdiene for bygningskallet. Verdiene er utvalgte verdier fra tilhørende byggeforskrifter og informative verdier i NS3031:2016.

Parameter	Verdi
U-verdi yttervegg [$W/(m^2K)$]	0,81
U-verdi tak [$W/(m^2K)$]	0,46
U-verdi gulv [$W/(m^2K)$]	0,41
U-verdi vindu/dør [$W/(m^2K)$]	1,2-3,14
Etasjeskiller gulv [$W/(m^2K)$]	0,58
Lekkasjetall 50 Pa [$Luftveksling/h$]	6
Normalisert kuldebroverdi [$W/(m^2K)$]	0,13

Tabell 4.20: Anvendte verdier for bygningsskall

Lekkasjetallet for bygget er hentet fra NS3031:2016 og gjelder for bygninger, oppført før 1985. Lekkasjetallet tar ikke hensyn til ombygging i ettertid, og Kongens gate 87 vil høyst sannsynlig ha lavere lekkasjetall enn dette. Ettersom det ikke er mulig å få tak i spesifikasjoner på de nye vinduene, justeres ikke denne verdien.

Driftstid

Driftstiden til den eksisterende ventilasjonsløsningen og den nye reviderte løsningen vil variere. Likevel vil bruken av bygget samt driftstiden for flere av de tekniske systemene forbli like. Verdiene for disse er gjengitt i tabell 4.21.

	Belysning	Teknisk utstyr	Tappevann	Personbelastning
Driftstid	7-17	7-17	0-24	7-17
Helligdager og helg	Nei	Nei	Ja	Nei

Tabell 4.21: Driftstider

Belysningsnivået vil variere etter plassering i bygget på grunn av varierende personopphold. Teknisk etasje vil dermed ikke ha behov for belysning i samme grad som de andre etasjene, ettersom det ikke er varig personopphold i denne etasjen. Driftstiden settes derfor kun til klokken 13-14 i hverdager for å ta høyde for dette.

Oppvarming

Oppvarmingsbehovet i bygget dekkes av elektriske panelovner. Disse er eneste oppvarmingskilde utenom ventilasjonsanlegget. Ettersom det ikke er informasjon angående kapasiteten til dette anlegget settes det til maksimalt $60 W/m^2$ og konvektiv andel avgitt effekt på 0,5 [28]. Dette

medfører at når vintersimulering av bygget gjennomføres settes varmeanlegget uten begrensninger slik at bygget har mulighet for å opprettholde krav.

Internlast

Internlasten i bygget utgjøres av belysning, teknisk utstyr, tappevann og varmetilskudd fra mennesker. Etersom det er lite informasjon angående disse verdiene i Kongens gate 87 anvendes standard-verdier fra NS3031:2016. Verdiene som er brukt i grunnmodellen er gjengitt i tabell 4.22. Alle verdiene oppgitt i denne tabellen gjelder for driftstid av bygget, men tappevannsberedning gjelder for hele døgnet ettersom dette foregår konstant. Effekten av denne nedjusteres i helg/helligdager ettersom det ikke er forbruk av tappevann (derav to verdier for tappevann i tabell 4.22).

Belysning [W/m^2]	Teknisk utstyr [W/m^2]	Tappevann [W/m^2]	Personbelastning [W/m^2]
10	11	0,8/0,4	4

Tabell 4.22: Typiske verdier for internlast [12]

4.4.2 Eksisterende systemløsning

I denne delen av oppgaven beskrives den eksisterende systemløsningen av luftbehandlingsanlegget i Kongens gate 87. Dette inkluderer nåværende styringssystem, luftmengder, virkningsgrader og tekniske løsninger. Verdiene anvendt i denne simuleringen kommer fra utførte målinger i bygningen, styringsprotokoll fra eksisterende SD-anlegg og verdier fra NS3031:2016.

Styring

I tabell 4.23 finnes en grov oversikt over den anvendte styringen til de ulike luftbehandlingsaggregatene. En full oversikt over styringen av disse kan finnes i kapittel 4.1.4. Alle ventilasjonsaggregatene med unntak av avtrekkskanalene brukes også til frikjøling.

Aggregat	Sone	Ur-styring	VAV	Styring	Viftestyring
360.01	Midt	05.30-17.00	Nei	Utekompensert	50-100 %
360.02	Sør	05.30-17.00	Nei	Utekompensert	50-100 %
360.03	Nord	05.30-17.00	Nei	Utekompensert	50-100 %
360.04	Tilleggsone kjeller	05.30-17.00	Ja	PPM	50/100 %
360.05	Kantine	05.30-17.00	Nei	Utekompensert	50/100 %
360.01 EL	Midt	05.30-17.00	Nei	Konstant	100 %
360.02 WC	Sør	05.30-17.00	Nei	Konstant	100 %
360.03 WC	Nord	05.30-17.00	Nei	Konstant	100 %

Tabell 4.23: Styring eksisterende løsning

Tabell 4.23 viser at flere av ventilasjonssystemene er lagt inn i SIMIEN som CAV-systemer selv om de tidligere er oppgitt som VAV-systemer. Dette kommer av de mulige styringsparameterne til VAV-systemer i SIMIEN. Det er ikke mulig å legge inn ventilasjonssystemer hvor luftmengden styres lineært med utetemperaturen. Dermed legges disse aggregatene inn som CAV-systemer, men luftmengden blir estimert til en midlere luftmengde som stemmer overens med styringen av systemet.

Temperaturer

Ventilasjonsaggregatene leverer luft ved gitte temperaturer i tabell 4.24. Verdiene oppgitt i denne oversikten kan variere fra de reelle verdiene for anlegget grunnet manglende informasjon.

Aggregat	Maks tilluft [$^{\circ}C$]	Min tilluft [$^{\circ}C$]	Høy avtrekk [$^{\circ}C$]	Lav avtrekk [$^{\circ}C$]
360.01	22	18	24	20
360.02	22	18	24	20
360.03	22	18	24	20
360.04	-	-	-	-
360.05	22	18	24	20

Tabell 4.24: Ventilasjonstemperaturer eksisterende løsning

Aggregat 360.04 skiller seg fra de andre aggregatene ettersom dette er styrt etter sensorer plassert i kjeller. Denne reguleres slik at romtemperatur alltid skal holdes under $21,5^{\circ}C$.

Luftbehandlingssystem

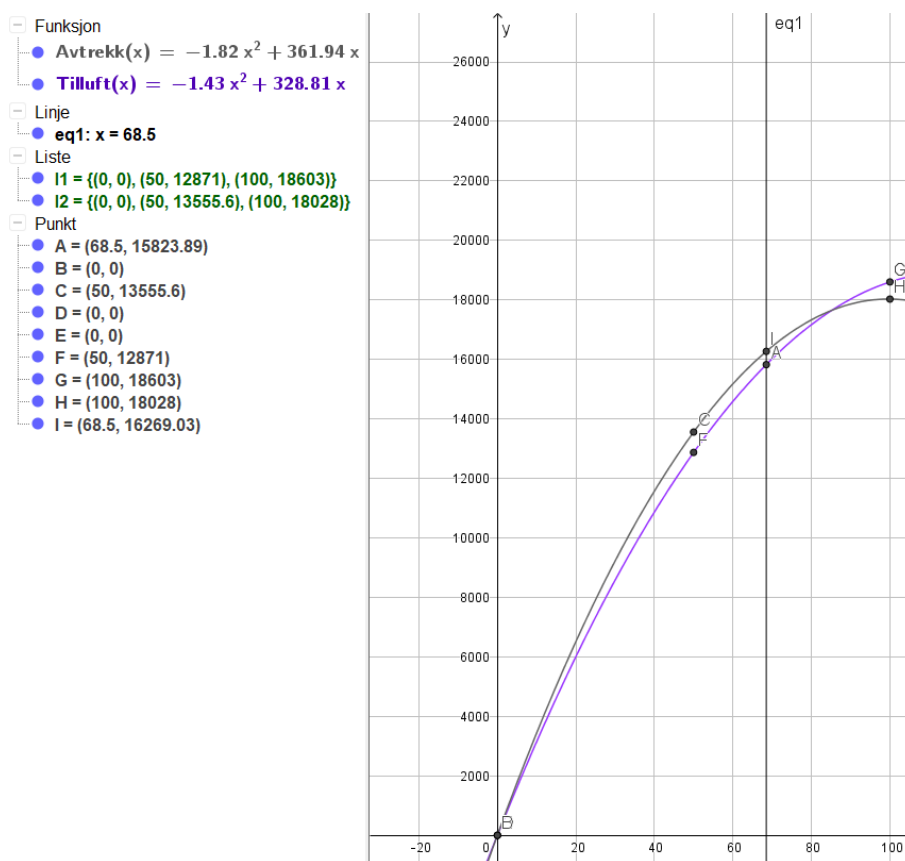
Størrelsen på de eksisterende varmebatteriene er funnet i tilhørende produktblader for aggregatene. Etersom det ikke finnes informasjon angående størrelsen på de tilhørende kjølebatteriene settes de i denne simuleringen som uten størrelsesbegrensning. Dette fører til at en simulering av bygget vil vise det nødvendige energibruket, og ikke være begrenset av mulige feilverdier. Verdiene for luftmengder, varmegjenvinningsgrad og SFP_e er utarbeidet i avsnittene under, og sluttresultatet gjengis i tabell 4.30.

Etersom ventilasjonssystemene er styrt etter utetemperaturen er det mulig ved hjelp av metrologiske data å finne en gjennomsnittlig luftmengde som de ulike aggregatene leverer gjennom et år. For å få en god approksimasjon av utetemperaturene er det anvendt data som gjengir utetemperaturen time for time for hele 2019 for Risvollan Trondheim. Data er hentet fra [29] og er tilpasset driftstiden til de ulike aggregatene og inkluderer ikke helger hvor anlegget ikke er i drift. Gjennomsnittet fra disse verdiene er gjengitt i figur 4.25 samt andelen av året hvor utetemperatur er over $12^{\circ}C$.

	Gjennomsnittlig lufttemperatur [$^{\circ}C$]	Andel over $12^{\circ}C$
Verdi	6,58	0,27

Tabell 4.25: Gjennomsnitttemperaturer driftstid Trondheim

Etersom pådraget til de ulike aggregatene er lineært med utetemperaturen kan det brukes lineær interpolasjon med formel 2.10 for å bestemme pådraget til aggregatene. Etter gjennomført lineær interpolasjon med utgangspunkt i figur 5.25 kommer det frem at de ulike aggregatene går ved gjennomsnittlig 68% av maksimal kapasitet. Levert luftmengde til en vifte er derimot ikke lineært med pådraget og det må benyttes regresjon for å beskrive levert luftmengde ved ulike pådrag. Det er benyttet de målte verdiene i tabell 4.12 og 4.8 som referansepunkter for de ulike temperaturene. Figur 4.17 viser hvordan dette ble gjennomført for aggregat 360.01.



Figur 4.17: Regresjon luftmengder 360.01

Dette gjentas for 360.02 og 360.03. Aggregat 360.04 er innstilt slik at det skal være i full drift hvis karbondioksidnivået er over 400ppm, og ellers utenivået i Trondheim har høyere verdi enn dette vil aggregatet alltid være i full drift. Aggregat 360.05 går ved høyt fart når utetemperaturen er over 12°C . Ved hjelp av verdiene gitt i tabell 4.25 kan luftmengden estimeres. Disse er gjengitt i tabell 4.26.

	360.01 [m^3/h]	360.02 [m^3/h]	360.03 [m^3/h]	360.04 [m^3/h]	360.05 [m^3/h]
Tilluft	15823	14330	7056	7823	1837
Avtrekk	16269	9676	7096	7213	1892

Tabell 4.26: Gjennomsnittlige luftmengder eksisterende anlegg

Etersom det ikke ble gjennomført fysiske målinger av de rene avtrekkskanalene i bygget kan disse ikke estimeres på samme måte som de andre luftbehandlingssystemene. Det er derfor valgt å ta utgangspunkt i de oppgitte verdiene på ventilasjonstegninger tilhørende bygget for å finne luftmengdene. Fra kapittel 4.1.4 vites det at viftene går ved 100% i driftstid og luftmengdene blir dermed som vist i tabell 4.27

System	360.01 EL	360.02 WC	360.03 WC
Avtrekk [m^3/h]	250	1198	2425

Tabell 4.27: Gjennomsnittlige luftmengder eksisterende avtrekkskanaler

SFP_e for det eksisterende anlegget regnes også ut ved hjelp av lineær interpolasjon med formel 2.10 og verdiene fra tabell 4.11, 4.15 og 4.26. Her blir høyeste luftmengde av tilluft og avtrekk brukt til å bestemme SFP_e . For aggregat 360.04 vil SFP_e være det samme som for maksimal drift på grunn av styringen til systemet. Verdiene er gitt i tabell 4.28.

System	360.01	360.02	360.03	360.04	360.05
SFP_e [$kW/m^3/s$]	4,61	1,51	1,89	1,56	0,92

Tabell 4.28: SFP_e eksisterende anlegg

Avtrekkskanalene i bygget kan igjen ikke estimeres som de andre aggregatene grunnet manglende målinger. SFP_e for systemene blir dermed anslått fra informative verdier fra NS3031:2016. For dedikerte avtrekkskanaler er dette $2 kW/m^3/s$ [12].

Temperaturvirkningsgradene som ble målt på anlegget er gjenvinnerens momentane virkningsgrad og gir ikke et klart bilde på hvor effektiv gjenvinneren er gjennom et helt år. Det er derfor behov å finne en årsgjennomsnittlig virkningsgrad til bruk i simulering og beregning av energibehov. Ettersom det er målt to momentane virkningsgrader ved forskjellig utetemperatur, er den årsgjennomsnittlige virkningsgraden estimert ved å anta at virkningsgraden varierer lineært med utetemperatur. Dermed benyttes formel 2.10 sammen med den årsgjennomsnittlig temperatur for å estimere en ny virkningsgrad. Den estimerte årsgjennomsnittlige temperaturvirkningsgraden for varmegjenvinnerene blir da som vist i tabellen under.

Anlegg	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad [%]
360.01	58,3
360.02	60,9
360.03	62,2
360.04	31,3
360.05	23,3

Tabell 4.29: Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad eksisterende løsning

Aggregat	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	Varmebatteri [kW]
360.01	15823	16269	72,8
360.02	14330	9676	56,6
360.03	7056	7096	38,6
360.04	7823	7213	62,0
360.05	1837	1892	24,0
360.01 EL	-	250	-
360.02 WC	-	1198	-
360.03 WC	-	2425	-
Aggregat	Kjølebatteri [kW]	SFP _e [$kW/m^3/s$]	Varmegjenvinningsgrad [%]
360.01	72,8	4,61	58,3
360.02	56,6	1.51	60,9
360.03	38,6	1.89	62,2
360.04	62,0	1.56	31,3
360.05	-	0.92	23,3
360.01 EL	-	2	-
360.02 WC	-	2	-
360.03 WC	-	2	-

Tabell 4.30: Anvendte verdier luftbehandlingssystem

Verdiene for kapasiteten til kjølebatteriene antas lik som kapasiteten til tilhørende varmebatteri. Grunnet manglende informasjon om kapasiteten til disse kjølebatteriene. Ved sommersimulering i SIMIEN settes kjølesystemet dermed uten effektbegrensning, for å ikke hindre bygget i å opprettholde kravene i TEK17.

Oppvarming og kjøling

Tabell 4.31 viser de anvendte verdiene for effektiviteten til de ulike komponentene til oppvarming og kjøling.

Komponent	Virkningsgrad
Varmebatteri	0,92
Kjølebatteri	2,5
Elektrisk panelovn	0,89

Tabell 4.31: Virkningsgrad oppvarming og kjøling

Evaluering mot byggforskrifter

Evaluering mot byggforskrifter i SIMIEN anvender standardverdier fra NS3031:2014, kan det ikke brukes samme verdier for alle deler av modellen. Dette gjelder for parametere som blant annet styring, internlaster, luftmengder og SFP_e . Luftmengden og SFP_e justeres ikke automatisk i programmet og disse må derfor estimeres etter de nye krav og manuelt legges inn i SIMIEN. Verdiene som blir anvendte for denne simuleringen er angitt i tabell 4.32 og 4.33 og er utarbeidet i avsnittene under.

For å finne nye luftmengder og SFP_e tas det utgangspunkt i minimumsverdiene for luftmengder i kontorbygg gitt i NS3031:2014 og gjennomførte målinger i Kongens gate 87. For luftmengder er det minimumskrav for friskluftstilførsel på $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ og $2 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ for henholdsvis i driftstid og utenfor driftstid [30]. Luftmengdene for avtrekkskanalene er blitt fjernet og verdiene for tilhørende aggregatene har blitt justert opp tilsvarende. Dette fordi SIMIEN bare åpner opp for lik luftmengde mellom tilluft og avtrekk i simulering mot byggforskrifter, og dette er dermed gjort for å få riktige luftmengder for bygget. Aggregat 360.05 er også justert for å dekke luftmengdene i den uventilerte tekniske etasjen, ettersom hele bygget må være ventilert med minimumskravene. Luftmengdene er beregnet ut fra arealet de ulike ventilasjonsaggregatene dekker gitt i tabell 4.17.

System	Luftmengde drift [m^3/h]	Luftmengde utenfor drift [m^3/h]
360.01	16248,4	4642,4
360.02	14602,7	4172,2
360.03	10640	3040
360.04	3983,7	1138,2
360.05	3596,6	1027,6
360.01 EL	-	-
360.02 WC	-	-
360.03 WC	-	-

Tabell 4.32: Anvendte luftmengder evaluering mot byggforskrifter

SFP_e er beregnet på samme måte som i del om luftbehandlingssystem, og gir verdiene gitt i tabell 4.33.

System	SFP _e drift [$kW/m^3/s$]	SFP _e utenfor drift [$kW/m^3/s$]
360.01	4,99	0,74
360.02	1,56	0,39
360.03	3,42	0,7
360.04	0,79	0,21
360.05	1,93	0,48
360.01 EL	-	-
360.02 WC	-	-
360.03 WC	-	-

Tabell 4.33: Anvendt SFP_e evaluering mot byggforskrifter

Energiforsyning

Område	Dekningsgrad El [%]	Dekningsgrad varmepumpe [%]
Romoppvarming	100	0
Oppvarmning tappevann	100	0
Varmebatterier ventilasjon	100	0
Kjølebatterier ventilasjon	100	0

Tabell 4.34: Energiforsyning ny løsning

4.4.3 Simulering

For den eksisterende systemløsningen gjennomføres det simulering av følgende:

- Årssimulering
- Sommersimulering
- Vintersimulering
- Evaluering mot byggforskrifter (TEK17)

Disse simuleringene vil til sammen kunne gi et detaljert bilde over den ønskede informasjon fra SIMIEN. Den fulle oversikten over resultatene fra simuleringene er vedlagt oppgaven som digitalt vedlegg.

Sommer- og vintersimulering av bygget simuleres begge uten effektbegrensninger og ved hjelp av n50 temperaturdata. Dette gjøres ettersom det ikke er nok tilgjengelig informasjon om disse

systemene til å gjennomføre en komplett simulering. Ved å simulere uten effektbegrensninger kan nødvendig effekt for systemene finnes. Samtidig har bygget enda mulighet for å opprettholde krav fra TEK17 hvis de antatte verdiene er lavere enn de faktiske verdiene i bygget for oppvarming- og kjølesystemet.

4.4.4 Resultater SIMIEN

De viktigste verdiene fra SIMIEN-simuleringen av den eksisterende systemløsningen er gitt i tabellene 4.35, 4.36, 4.37 og i avsnitt “simulering mot byggforskrifter”. Disse resultatene vil blant annet bli brukt som sammenligningsgrunnlag for effekten av nye tiltak, og til å vurdere den eksisterende løsningen i bygget.

Sommersimulering

Sone	Høyeste operativ temperatur [$^{\circ}C$]	Maks nødvendig samtidig effekt kjølebatteri [W/m^2]	Tidspunkt
Sør	25,3	33,9	17:15
Midt	25,3	43,6	14:15
Nord	26,3	17,0	14:15
Kjeller nord	22,6	10,6	17:00
Kantine	28,0	-	17:30
Totalt	28,0	105,1	-

Tabell 4.35: Utvalgte verdier sommersimulering eksisterende løsning

Vintersimulering

Sone	Laveste operative temperatur [$^{\circ}C$]	Maks nødvendig samtidig effekt varmebatteri [kW]	Maks installert samtidig effekt varmebatteri [kW]	Tidspunkt
Sør	18,6	103,5	56,7	05:45
Midt	18,1	73,0	72,9	06:00
Nord	18,6	30,9	38,6	05:45
Kjeller nord	18,9	71,2	62,0	05:30
Kantine	18,2	16,7	24,0	06:00
Totalt	18,1	292,7	254,2	-

Tabell 4.36: Utvalgte verdier vintersimulering eksisterende løsning

Årssimulering

	Energibruk [kWh]	Andel av energibruk[%]
Ventilasjonsvarme	263752	24,8
Vifter	84591	8,0
Ventilasjonskjøling	3791	0,4
Romoppvarming	346978	32,6
Totalt for bygg	1063547	100,0
Levert til bygg	1154362	100,0

Tabell 4.37: Utvalgte verdier årssimulering eksisterende løsning

Det er også viktig å nevne at SIMIEN-simuleringen av bygget viste at 28,2% av byggets varmetap er gjennom ventilasjonsanlegg. Dette kommer av den lave virkningsgraden til de ulike ventilasjonsaggregatene.

Simulering mot byggforskrifter

Det ble også gjennomført en simulering av den eksisterende bygningskroppen mot kravene i byggforskrifter ved hjelp av standardiserte verdier fra NS3031:2014. Etersom bygget er oppført i 1974 og dermed ikke ble konstruert for å følge kravene i TEK17, vises dette også igjen i resultatet fra simuleringene. Det kommer likevel fram noen sentrale momenter som er verdt å ta med seg videre. Disse er vist under.

- Bygningen tilfredsstillter ikke byggeforskriftenes energikrav i TEK17
- Luftmengdene tilfredsstillter minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
- Bygningen tilfredsstillter ikke energirammen ihht. §14-2 (1) i TEK17

4.5 Feilkilder og usikkerhet

Analysen av det eksisterende ventilasjonssystemet i Kongens gate 87 innebærer flere feilkilder og usikkerhet som kan ha betydning for resultatene for målingene og derfor også simulering. I dette delkapittelet drøftes disse tilknyttet de ulike delene av analysen.

4.5.1 Kartlegging

Ved gjennomgang av byggets ventilasjonsanlegg ble flere usikkerhetsmomenter identifisert. Som nevnt i kapittel 1.3 er det avvik mellom de ulike tegningene for bygget. Romløsningene stemmer ikke overens mellom tegninger, og den totale luftmengden til ventilasjonssystemene avviker fra

oversikten for 6. etasje og de andre tegningene. Resultatet for oppgaven blir likevel lite påvirket av dette ettersom informasjonen fra tegningene hovedsakelig blir brukt som en oversikt over de ventilasjonssystemene i KG87. Det er de målte verdiene som er grunnlaget for estimering av energibruket til bygget.

4.5.2 Målinger

Det er gjennomført ett stort antall målinger i KG87 for å kartlegge ventilasjonsanlegget. Dette inkluderte målinger for flere parameter i fem ulike ventilasjonssystemer. Ved et stort antall målinger følger det også større mulighet for feilkilder og usikkerhet. I avsnittene under utdypes disse for målingene i oppgaven.

Feilkilder

I kapittel 4.3 er prosessen for gjennomførelsen av målinger beskrevet i detalj. Her nevnes potensielle feilkilder ved de ulike målingene av aggregatene. Listen under oppsummerer disse:

- Aggregat 360.01
 - Ugunstig målepunkt luftmengde avtrekk
 - Tidsvariasjon mellom måling av temperaturer for varmegjenvinningsgrad
 - Trykkmålinger for tett på avtrekksvifte
- Aggregat 360.02
 - Ugunstig målepunkt luftmengde tilluft
 - Ett målepunkt etter roterende varmegjenvinner
- Aggregat 360.04
 - Ugunstig målepunkt luftmengde tilluft
 - Ugunstig målepunkt luftmengde avtrekk
 - Strålingsvarme varmegjenvinningsgrad
 - Ett målepunkt etter roterende varmegjenvinner
- Aggregat 360.05
 - Ugunstig målepunkt luftmengde avtrekk
 - Strålingsvarme varmegjenvinningsgrad

Fra oversikten kommer det frem flere mulige feilkilder som kan påvirke resultatet til målingene.

Måleusikkerhet

Målingene gjort i forbindelse med oppgaven er avhengig av presisjonen til utstyret. Det anvendte utstyret og kalibreringsprosessen er beskrevet i detalj i appendiks A2, men tabell 4.38 viser en oversikt over usikkerheten til de ulike apparatene for parameterne som ble målt. Målingene vil

også være påvirket av menneskelige feil, som avlesningsfeil og små unøyaktigheter i bruk av apparater.

Parameter	Rotronic CP11	MEMORY HiLOGGER 8430-20	TSI VELOCICALC 9565
Luftmengde	-	-	$\pm 0.015 [m/s]$
Temperatur	$\pm 0,3 [K]$	$\pm 0,08 [K]$	-
Trykk	-	-	$\pm 1 [Pa]$

Tabell 4.38: Usikkerhet måleapparater

Fra tabellen kommer det frem at måleusikkerheten til apparatene er små, og vil ha lite påvirkning for resultatet fra simuleringer.

4.5.3 Simuleringsusikkerhet

SIMIEN-modellen innebærer også flere mulige feilkilder for oppgaven. Etersom målingene er brukt som et underlag for denne modellen, vil feilkildene og usikkerheten fra disse gjelde for modellen også.

Styring

De ulike ventilasjonsaggregatene er lagt inn i SIMIEN som enten VAV eller CAV-systemer. Aggregat 360.03 er oppgitt som et CAV-system selv om det kommer frem i figur 4.7 at det er plassert følere i tilknyttede rom til dette systemet. Dette vil tyde på at dette aggregatet skal styres som et DCV-system hvor luftmengdene reguleres etter behov. System 360.03 oppgis likevel som et rent CAV-system ettersom SD-anlegget tilknyttet bygget ikke tyder på noen form for regulering etter disse følere.

Rommet med følere som aggregatet skal reguleres etter har en total personbelastning på 20 personer. Kontorbygg tilføres $26 m^3/h$ per person 2.1.2, og luftmengden som kan justeres utgjør da $520m^3/h$. For tilluft og avtrekk utgjør dette henholdsvis 0,97% og 0,93% av prosjekterte luftmengder. Usikkerheten tilknyttet dette utgjør under 1% av prosjekterte luftmengder og vil dermed ha lite utslag på energibruket til bygget.

Styringen til det eksisterende systemet kan variere fra styringen oppgitt i SIMIEN simuleringen. Dette fordi det har vært begrenset tilgang til SD-anlegget tilknyttet systemet, og alle gjeldende verdier har ikke vært mulig å få tilgang til.

Estimasjon

Estimasjon av luftmengder, SFP_e og årgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad involverer også usikkerhetsmomenter. Faktiske luftmengder ble estimert ved hjelp av regresjon og utetemperaturer i Trondheim over ett år. Dette gir en god approksimasjon av de faktiske luftmengdene systemet driftes ved. For å finne en approksimasjon av SFP_e ved de faktiske luftmengdene er det brukt lineær interpolasjon mellom to gitte referansepunkt. Etersom SFP_e 'en til et system har en eksponentiell sammenheng med luftmengden vil dette innebære usikkerhet, og den reelle SFP_e for bygget vil være lavere enn oppført. Den årgjennomsnittlige temperaturvirkningsgraden ble estimert ved å anta at virkningsgraden varierer lineært med utetemperaturen. Dette er en grov tilnærming som vil være en klar feilkilde for oppgaven, men grunnet tidsbegrensning er det ikke mulig å gjennomføre målinger over et helt år for bedret estimat.

Etersom det ikke ble gjennomført målinger av de rene avtrekkskanalene anvendes prosjekterte verdier som grunnlag. For de andre ventilasjonssystemene har de prosjekterte verdier vist seg å variere fra de faktiske luftmengdene i bygget. De målte luftmengdene for avtrekk i bygget varierer med 5% fra de prosjekterte luftmengdene uten de rene avtrekkskanalene ($52024m^3/h$). Det samme avviket antas dermed for de rene avtrekkskanalene som ikke ble målt i bygget. Dette gir et mulig avvik på $193,65m^3/h$ for avtrekket i bygget.

Grunnmodell

Grunnmodellen av Kongens gate 87 involverer betydelige feilkilder. Det er lite til ingen informasjon tilgjengelig angående bygningskroppen. Parametere som U-verdier, luftvekslingstall og internlaster er dermed i sin helhet hentet fra byggforskrifter og NS3031:2016. De reelle verdiene for bygget kan variere i betydelig grad fra disse.

4.5.4 Total usikkerhet

Målingene gjennomført i bygget innebærer betydelige feilkilder som vil påvirke resultatet til målingene. Mangelen på gode målepunkt har skapt usikkerhet til resultatet til de ulike målingene. Dermed selv om måleusikkerheten er lav for de ulike apparatene vil målingene gjennomført for Kongens gate 87 ikke kunne anvendes som en konklusjon for det eksisterende anlegget. De kan derimot brukes som orienterende målinger for å gi et godt estimat av den eksisterende løsningen i bygget.

Modellen konstruert i SIMIEN innebærer også usikkerhetsmomenter. Dette vil innebære samme usikkerhet som målingene, samt de ukjente verdiene for bygningskroppen i Kongens gate 87. Det finnes ingen informasjon om U-verdier, lekkasjetall og lignende som vil ha stor påvirkning

til resultatene fra simuleringen. Resultatet fra SIMIEN-simuleringen vil dermed også være orienterende, og kan ikke brukes som en konklusjon for byggets energibruk. Verdiene vil derimot være et godt estimat av energibruket, og modellen vil egne seg godt til å vurdere effekten for nye tiltak for å bedre energibruket. Dette fordi bygningskroppen vil være identisk i simuleringene og vil dermed påvirke resultatet minimalt.

4.6 Krav og forskrifter

Som omtalt i kapittel 2.2 er byggebransjens krav og forskrifter blitt betydelig endret med årene, og det strebes alltid etter mer energieffektive bygg. I dette delkapittelet vurderes derfor den eksisterende systemløsningen mot kravene gitt i TEK17 og NR444.

4.6.1 Luftmengder

For å sjekke om byggets prosjekterte luftmengder tilfredsstillers dagens krav og forskrifter anvendes verdiene utarbeidet i tabell 4.6. Disse verdiene kan da sammenlignes med de prosjekterte luftmengdene, og laveste luftmengder levert i KG87. Disse er nemlig ikke like ettersom ventilasjonssystemet ikke driftes ved prosjekterte luftmengder.

Lavere emisjonskoeffisient skal være tilstrekkelig for KG87 etter en totalrenovasjon i 2004, samt en mindre renovasjon i 2014/2015. Dette kommer av at nyere bygninger blir prosjektert slik at de skal opprettholde kravene til lav emisjonsfaktor. Det ble også observert ved befaring av bygget at store deler av de innvendige materialene er gips, som er et lavemitterende materiale [16]. Det er likevel vanskelig å dokumentere at bygget har lav emisjonsfaktor, og ventilasjonsanlegget bør dermed kunne ventilere for høyere emisjonsfaktorer. En sammenligner dermed også med en emisjonsfaktor på $3,6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ som dekker noe høyere emisjon fra bygget.

Laveste leverte luftmengder finnes ved hjelp av målinger ved normal drift. Ettersom aggregat 360.02 og 360.03 gikk ved 54% av maksimal kapasitet under måling vil disse justeres til 50% slik at det ses på absolutt laveste leverte luftmengde mulig i driftstid ved styringen satt. Luftmengdene for aggregat 360.02 og 360.03 beregnes ved hjelp av regresjon med verdiene gitt i tabell 4.8 og 4.12 og ingen luft ved ingen drift. De utarbeide luftmengdene er gitt i tabell 4.39

Aggregat	Tilluft [m^3/h]	Avkast [m^3/h]
360.02	11534	7605
360.03	5508	5378

Tabell 4.39: Luftmengder ved 50 %

For avtrekkskanalene vil verdier fra tegninger bli anvendt grunnet manglende målinger. Tabell

4.40 viser en oversikt over verdiene anvendt til sammenligning.

	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]
Lav emisjon	37105	37105
Lav/middels emisjon	44284	44284
Middels emisjon	65993	65993
Prosjekterte luftmengder	53442	55897
Laveste leverte luftmengde	39273,1	39200,5

Tabell 4.40: Luftmengder sammenligning

Det kommer frem av tabell 4.40 at de prosjekterte luftmengdene i bygget kan dekke kravene i TEK17 ved lav emisjonskoeffisient. Dette gjelder også for en emisjonskoeffisient på $3,6 m^3/hm^2$ som enklere vil la seg dokumentere. For middels emisjonskoeffisient vil de prosjekterte luftmengdene ikke være tilstrekkelig, men dette anses ikke som et relevant krav for bygget.

Selv om byggets prosjekterte luftmengder tilfredsstillter TEK17 ved lav emisjon, betyr det ikke at de faktiske luftmengdene gjør dette. Ventilasjonsanlegget er som nevnt tidligere utekompensert, og driftes store deler av året ved reduserte luftmengder. Tabellen viser at de laveste leverte luftmengdene til bygget også ligger innenfor kravene ved lav emisjonsfaktor, noe som ikke er tilfelle for høyere emisjonsfaktorer. Dermed vil det forekomme utfordringer ved godkjenning av det tekniske anlegget, om det ikke kan dokumenteres at bygget klassifiseres som lavemisjon. En ny løsning bør derfor kunne tilføre høyere luftmengder enn laveste leverte luftmengde for eksisterende anlegg.

Det stilles også krav i TEK17 til minimumsluftmengder i rom med forurensende aktiviteter. Disse er gitt i tabell 2.1. Fra den utarbeide romoversikten i appendiks kan det ses at minimumsluftmengdene er oppfylt for alle slike rom. Det ses vekk fra heisrom ettersom dette dekkes av et separat system. KG87 oppfyller dermed kravene gitt i TEK17 til minimumsluftmengder hvis luftmengdene på tegninger stemmer overens med de leverte verdiene.

For luftmengdene i 6. etasje i KG87 er situasjonen litt annerledes. Dette arealet er under gjeldende systemløsning uventilert, noe som ikke er tilfredsstillter krav gitt i TEK17 [4]. Fra veiledning NR444 stilles det også krav til at bygg skal ventileres med $0,7 m^3/hm^2$ med friskluft utenfor driftstid [16]. Ettersom aggregatene skrus av med nåværende styring utenfor driftstid oppfylles ikke dette kravet.

4.6.2 Temperaturer

Det stilles også krav til operative temperaturer i bygget, gitt i tabell 2.2. Dette er verdier som skal kunne overholdes ved n50 temperaturdata. “For n50 er maksimaltemperaturen satt lik temperaturen som overskrides 50 timer i et normalår” [25]. Grunnet tidsbegrensningen til oppgaven var det ikke mulig å gjennomføre målinger av operative innetemperaturer i bygget både for sommer og vintersesong. En kan dermed ikke anvende målinger som grunnlag for at temperaturene i bygget overskrider krav.

Fra simuleringen av den eksisterende bygningen i SIMIEN kan en derimot simulere de høyeste og laveste operative temperaturene i bygget ved henholdsvis sommer-og vintersimulering. Ettersom effekten til kjøleanlegget var utilgjengelig, grunnet manglende data, vil sommersimuleringen ikke gi representative tall. Dette gjelder ikke for system 360.05 ettersom det ikke er ventilasjonskjøling for dette systemet. Fra simuleringen fås at den maksimale operative innetemperaturen er på 28°C som ikke ligger innenfor de gitte kravene. Dette systemet supplerer kantinen som både har høy internlast fra utstyr og personbelastning, som forsterker troverdigheten til simuleringen. Det kan ikke hevdes at bygget ikke opprettholdte krav til den operative temperaturen i TEK17 ut fra denne simuleringen. Resultatet tyder likevel på at den operative temperaturen kan bli for høy.

For simulering av vinterperioden i bygget vil igjen manglende data gjøre at resultatene ikke blir representative. Det er dermed ikke mulig å hevde at de operative temperaturene ikke ligger innenfor kravene i TEK17. Det er likevel verdt å legge merke til verdiene fra denne simuleringen. Maksimum nødvendig samtidig effekt for varmebatteriene er på 292,7kW, mens den installerte er på 254,2kW. Dette kan tyde på at den operative temperaturen kan bli for lav i bygget.

4.6.3 Energieffektivitet

Energieffektivitet til systemet er noe som på forhånd var forventet å havne utenfor dagens krav og forskrifter. Dette fordi kravene til energieffektivitet har blitt drastisk skjerpet gjennom årene. Fra simulering “Evaluerings mot byggeforskrifter” fås verdier ved standardiserte driftsforhold for bygget. Det samlede netto energibehovet for bygget fra denne simuleringen vises i figur 4.18.

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	60,2 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	65,8 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	5,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	21,1 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	0,8 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	25,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	6,0 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov	218,5 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	115,0 kWh/m ²

Figur 4.18: Samlet netto energibehov for Kongens gate 87

Det kommer frem av figur 4.18 at den eksisterende løsning i KG87 overskrider kravene til netto energibehov som spesifisert i TEK17. Likevel omfatter det totale netto energibehov til et bygg ikke bare tekniske installasjoner, og det er dermed vanskelig å konkludere med at ventilasjonsanleggene ikke tilfredsstiller moderne krav. Ventilasjonsanleggene har likevel et betydelig bidrag til at bygget overskrider kravene, og bør dermed utbedres.

4.6.4 Kjølemedium

Det er ikke krav i TEK17 angående godkjente kjølemedium til kjølekretser for tekniske installasjoner, men mange tidligere kjølemedium skal fases ut. Kjølesystemet i KG87 bruker enten R404a eller R407c som kuldemedium. Dette er kuldemedier som enda er godkjent til bruk, men skal utfases i henholdsvis 2020 og 2022 [31]. Det er dermed ikke gunstig å fortsette med bruk av disse kuldemediene, selv om det opprettholder krav året oppgaven er utarbeidet (2020).



(a) Kuldemedium aggregat 360.02

(b) Kuldemedium aggregat 360.03

Figur 4.19: Kuldemedium

4.7 Energibruk

I dette delkapittelet vil ventilasjonsløsningen i dagens anlegg vurderes med fokus på energibruk. Derved oppnås en god oversikt over systemet, og hva som kan endres for å forbedre ventilasjonssystemet i Kongens gate 87.

4.7.1 Varmebatterier

Slik som vist i figur 4.18 går store deler av byggets energibruk til oppvarming av ventilasjonsluft. Dette kommer som en følge av at alle aggregatene bruker elektriske varmebatterier til oppvarming av tilluften. Dette er lite gunstig ettersom elektriske varmebatterier bruker mye energi i forhold til varmen som leveres til lufta, samt at det gir høye effekttopper i strømforbruket til bygget. Dette er både dyrt, og legger et stort press på strømmettet i Norge. Bakgrunnen for at denne typen varmebatterier ble installert i bygget kan være lave installasjonskostnader, og muligheten for direkte integrering i ventilasjonsaggregatene.

4.7.2 Varmegjenvinning

Tabell 4.30 viser den beregnede gjennomsnittlige varmegjenvinningsgraden til ventilasjonsaggregatene i bygget. Bygget har også flere avtrekkskanaler uten varmegjenvinning, som sender oppvarmet luft rett ut av bygget. Disse kanalene har dermed ingen gjenvinning

av varmen i lufta. Dette er uheldig ettersom varmegjenvinningsgraden til ventilasjonsaggregatene har stor betydning for byggets energibruk. I nye aggregater etterstrebes derfor en varmegjenvinningsgrad på over 80% fra avtrekkslufta.

Varmegjenvinningsgraden i bygget er lav etter dagens standarder av flere grunner. Største grunnen til dette er eldre varmegjenvinnere, og typen gjenvinner som er valgt for aggregatene. Alle aggregatene er fra 2004 eller tidligere, og har dermed tekniske komponenter fra over 15 år siden. Disse vil ikke være like effektive som moderne aggregater. System 360.04 og 360.05 har også batterigjenvinnere for å forhindre smitte mellom de to luftstrømmene. Ulempen ved slike varmegjenvinnere er samtidig en lav grad av varmegjenvinning som vist i tabell 2.5. For flere av aggregatene er det også ubalanse mellom den leverte luftmengden for tilluft og avtrekk, noe som gjør det utfordrende å utnytte energien i avtrekkslufta.

4.7.3 SFP_e

SFP_e til ventilasjonsaggregatene i Kongens gate 87 er estimert i tabell 4.30. Her vises at SFP_e for den gjennomsnittlige luftmengden ligger innenfor moderate verdier. For nye bygninger etterstrebes en SFP_e på under 1,5 og de fleste verdiene ligger innenfor dette området. Aggregat 360.01 overskrider likevel dette ganske betydelig, og påvirker energibruket til vifter i høy grad.

4.7.4 Styring

Energibruken i bygget er avhengig av hvordan systemet driftes og reguleres. Ventilasjonsaggregatene er styrt ved hjelp av urstyring som vil si at det driftes ved forhåndsinnstilte tidspunkt. Det blir altså ikke tatt hensyn til det faktiske behovet i bygget. Dette gjør for eksempel at rom som står tomme blir forsynt med luft selv om det ikke er behov. Dette fører til at bygget forsynes med mer luft enn nødvendig, som øker energibruken til bygget betraktelig.

Dagens anlegg er også som nevnt tidligere basert på konstante luftmengder med utekompensering. Den tilførte luftmengden til bygget varierer altså med temperaturen. Fra et inneklimateknisk perspektiv er dette ikke gunstig, men det er positivt for byggets energibruk. Ved å tilføre mindre luft i kaldere perioder vil bygget kreve mindre energi til oppvarming av tilluft.

Bygget driftes slik at det er en ubalanse i tilluft og avtrekk levert. Den totale differansen er ikke like betydelig som først antatt ut fra tegningsgrunnlaget til bygget, som er vist i tabell 4.6. Ved målinger av de faktiske luftmengdene er dette mer moderat og vil ikke være av stor betydning. Det er likevel moderate lokale differanser i luftmengdene for de ulike etasjene. Disse vil skape lokale over- og undertrykk som kan påvirke luftstrømningen inn og ut av bygget,

og føre til at uteluft slipper inn eller oppvarmet tilluft slipper ut. Generelt er det dårlig for varmegjenvinningen/varmetapet til bygget.

4.7.5 Kjøling

Ettersom det er manglende dokumentasjon angående kjølesystemet i bygget er det lite hensiktsmessig å sette søkelys på dette. Det er likevel verdt å nevne at kjølesystemene er fra 2004-2005 og har dermed vært i drift lenge som kan påvirke effektiviteten til systemet negativt.

5 Ny systemløsning

I denne delen av oppgaven har nye alternative systemløsninger for ventilasjonssystemet i Kongens gate 87 blitt vurdert. En anbefalt ny løsning utarbeides og simuleres i SIMIEN for å få et godt innblikk i resultater som er mulige å oppnå ved rehabilitering av ventilasjon. Energibruken for den nye foreslåtte løsningen sammenlignes med det eksisterende systemet, og analyseres mot kravene i TEK17 og NR444.

5.1 Plassering av tekniske rom

Ettersom det er mange måter en ny systemløsning for bygget kan utarbeides, er det viktig å ha et godt grunnlag innenfor gitte rammer for valgene som gjøres. I dette delkapittelet vurderes derfor ulike måter å plassere tekniske rom i bygget, da dette er en sentral avgjørelse. Plasseringen av de tekniske rommene har mye å si for oppbyggingen av resten av systemet. Sentralisert og desentralisert løsning, samt en hybrid mellom disse vil herunder vurderes om hva som er beste løsning for KG87.

Aggregattype

Da det finnes mange forskjellige leverandører av aggregater som kan oppfylle behovene som trengs, er det enkleste å ta utgangspunkt i én type aggregat fra samme leverandør. For denne oppgaven benyttes aggregater i serien "GOLD" levert av Swegon. Disse reklameres som kompakte, energieffektive og lette å installere som er de viktigste egenskapene som bør oppfylles for nye aggregater i dette bygget.

5.1.1 Sentralisert løsning

En sentralisert løsning bygger videre på samme prinsipp som den eksisterende systemløsningen. Alle ventilasjonsaggregatene står plassert i øverste etasje som sentrale anlegg. Dette forblir dermed en ren teknisk etasje.

Energieffektivitet

Plasseringen av alle aggregatene i teknisk etasje kan by på utfordringer for å få god energieffektivitet. Aggregatene er plassert langt unna fra hvor luften leveres i bygget og vil derfor trolig ha høyere trykktap enn for andre løsninger. Dette vil gi økt SFP for systemene og øke energiforbruket til bygget. Likevel vil plassering av alle aggregatene samme sted gjøre det mulig å bygge et felles vannbårent oppvarming og kjølesystemer for alle aggregatene. Hvis dette blir implementert i bygget vil pumpearbeidet bli minimalt med denne løsningen.

Støy

Tilgjengelig informasjon antyder ingen støyproblematikk i den eksisterende systemløsningen. Ved å plassere de nye tekniske rommene samme sted burde dermed støy ikke være en utfordring. Den nye løsningen vil også ta i bruk behovsstyring for å få bedre regulering av lufta. Dette vil gi viftene mulighet til å ofte driftes ved lavere turtall, som betyr mindre støy. Dette tyder videre på at plassering av tekniske rom i 6. etasje ikke vil lede til støyproblematikk.

Inngrep

Ettersom en sentralisert løsningen bygger videre på eksisterende løsning i bygget vil omfanget av ombygging og riving være minimalt. Det vil være mulig å beholde store deler av det eksisterende kanalnett, og den største delen av inngrepet vil innebære at de gamle aggregatene skal utskiftes. Ved å plassere aggregatene i 6. etasje er det heller ikke behov for å lage nye brannceller til de tekniske rommene. Dette vil drastisk senke omfanget på inngrepet i bygget.

Fleksibilitet

Å plassere de tekniske installasjonene i en egen teknisk etasje gir stort rom for fremtidig utvidelse av systemet. Det er plass til både nye føringer og aggregater som vil gjøre det mulig å utvide anleggets kapasitet. Denne typen løsning for plassering av teknisk rom vil derimot ha størst utfordring med å tilpasses behovsstyring. Det må plasseres mange VAV-spjeld i anlegget for å få en hensiktsmessig regulering av luftmengden.

5.1.2 Desentralisert løsning

Ved en desentralisert løsning er det ønskelig å plassere aggregatene nærme arealet de ulike ventilasjonsaggregatene skal tilføre luft. En desentralisert løsning for dette bygget innebærer at det plasseres nye aggregat enten for hver sone vist i kapittel 4.1.1, eller for hver etasje. Enklest blir soneplassering av aggregatene, ettersom kanalføringene som er til stede allerede er soneinndelt. Det vil dermed kreve mindre ombygging enn hvis det forsøkes å kun benytte ett aggregat per etasje. Det vil si at hver etasje da har behov for minst 3 aggregater ved bruk av eksisterende soneinndeling og kanalnett, med unntak av kjelleren som bare er delt inn i to soner. Denne løsningen krever også en endring i inntak- og avkastplassering, enten ved å benytte de eksisterende sjaktene som sentrale inntak/avkast, eller ved at nye inntak og avkastkanaler lages til hvert aggregat.

Plassbehov

Generelt er det behov for luftmengder på ca. 2000 til 4000 m^3/h til hver sone i bygget. Et aggregat som leverer disse luftmengdene har mulighet for å være ganske kompakt. Dimensjoner for kompaktaggregat kan eksempelvis være som vist i tabell 5.1:

GOLD RX	SIZE 005	SIZE 008	SIZE 012
Lengde	1499 mm	1619 mm	1859 mm
Bredde	825 mm	995 mm	1199 mm
Høyde	920 mm	1085 mm	1295 mm
Kanal Ø	315 mm	400 mm	500 mm
Max luft	2340 m^3/h	3600 m^3/h	5040 m^3/h
Vekt	234-271 kg	296-351 kg	451-537 kg

Tabell 5.1: Størrelser på noen kompaktaggregater fra Swegon, GOLD RX serien [13]

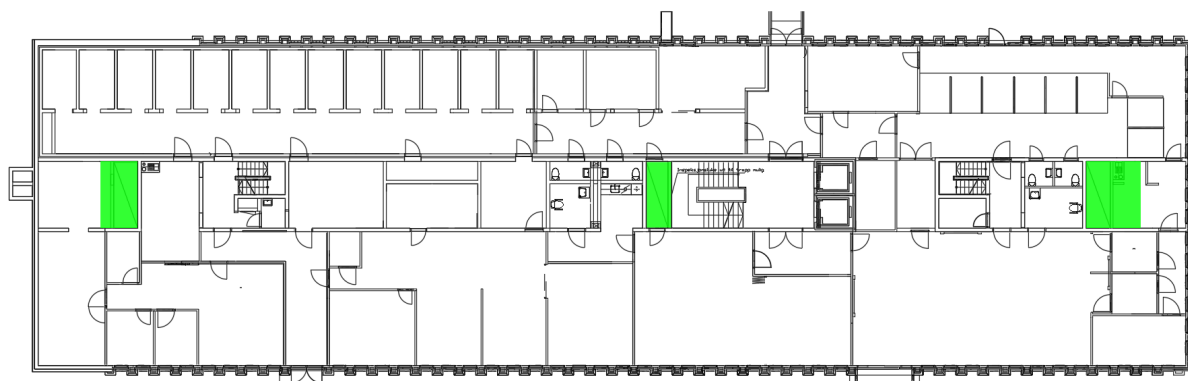
Ved installasjon av nye aggregater må det også tilrettelegges plass til noe nye kanalføringer. Det blir nødvendig med nye kanalføringer for inntak og avkast, som kan skape utfordringer. Kanalføringer sammen med aggregater utgjør et betydelig plassbruk. Byggforskserien til SINTEF har en veiledning som beskriver plassbehov for ventilasjonstekniske installasjoner [1]. Denne veiledningen anbefaler romdimensjoner som er nødvendig rundt et aggregat som vist i kapittel 2.7.3. For aggregatene beskrevet i tabell 5.1 gir det arealbehovene gitt i tabell 5.2.

Type	Luftmengde [m^3/h]	Nødvendig areal [L x B] (mm)
RX 005	2340	2998×2062.5
RX 008	3600	3238×2487.5
RX 012	5040	3718×2997.5

Tabell 5.2: Plassbehov aggregat

God tilgjengelighet er begrunnelsen bak denne anbefalingen til ledig plass i rommet rundt et aggregat. Installasjonene må være tilgjengelige for drift og vedlikeholdfunksjoner. Selv med det minste luftbehovet til en sone finnes et minimum anbefalt areal for et teknisk rom, dette er på ca. 6.2 m^2 for ett aggregat. Ved plassering av slike aggregat i hver sone, er det et behov for gulvareal på over 100 m^2 totalt i hele bygget. Dette arealet kan kanskje komme fra de eksisterende sjaktene i bygget, men mye av det må tas fra verdifullt bruksareal, som for eksempel møterom. Figur 5.1 viser forslag til arealer som kan benyttes til teknisk rom i etasje 1. De grønne områdene indikerer disse arealene, og de forskjellige størrelsene er fordi de er laget ut fra størrelsen på

nødvendig aggregat for luftmengdene til de forskjellige sonene. Dette er bare en estimering og er ikke definitive nødvendige arealer, det kan kun bestemmes ved detaljprosjektering i et senere stadie.



Figur 5.1: Tekniske rom 1. etasje

I den nordre delen (høyre på tegning) tar det tenkte nye tekniske rommet opp store deler av et eksisterende møterom.

Støy

Videre lager ventilasjonsaggregater mye støy, noe som også må tas spesielt hensyn til dersom det skal benyttes en desentralisert løsning. Dermed hvis desentraliserte ventilasjonsaggregater skal implementeres må nye tekniske rom grundig lydisoleres. Dette kan være en stor utfordring og vil gi ytterligere kostnader.

Energieffektivitet

Desentraliserte aggregat vil trolig være energieffektive med tanke på SFP, ettersom korte kanalføringer vil gi lave trykktap i systemet. Behovsstyring vil også være mer effektivt ved en desentralisert løsning, da det blir mindre spjeld for å styre luftmengdene til de ulike rommene i bygget.

En svakhet ved mange individuelle aggregat blir temperaturbehandling av tilluft. Dette kan være en utfordring ettersom en nye bygg ofte benytter seg av vannbårne oppvarmingssystemer. Det vil bli en stor kostnad å ha mange integrerte reversible varmepumper i bygget, og et felles oppvarming- og kjølesystem vil bli den mest realistiske løsningen med tanke på både investering og effektivitet. Hvis dette skal være mulig må det bygges lange rørføringer som kan skape ytterligere plassbegrensninger og store trykktap. Dette vil kunne negativt påvirke energieffektiviteten til en desentralisert løsning.

Inngrep

En desentralisert løsning krever betydelige inngrep i bygningsmassen. Det må bygges nye tekniske rom for hver sone i hver etasje, og alle disse rommene må være godt lydisolerte med egne brannceller. Nye kanalføringer er ikke til å unngå, selv om det tilstrebes å benytte eksisterende kanalføringer etter beste evne. Spesielt blir det endringer i avkast og inntak. Alle inngrepene som må til for å realisere en slik løsning vil bli kostbare, tidskrevende og opptar nyttig bruksareal i bygget. Dette blir en løsning som lønner seg best ved en totalrehabilitering av bygget hvor alt av kanaler skal byttes ut, og ny romplan skal lages.

Fleksibilitet

Den desentraliserte løsningen vil fungere godt med tanke på fremtidig utvidelse. Hvis bygget skal endres er det god kontroll over luftmengdene, og det blir mulighet til å gjøre endringer for små soner. Små tekniske rom plassert i hver etasje kan likevel innebære utfordringer hvis de leverte luftmengdene viser seg å være for små. Dette grunnet den begrensede plassen til de nye tekniske rommene, og dermed begrensede muligheter for fremtidig utvidelse.

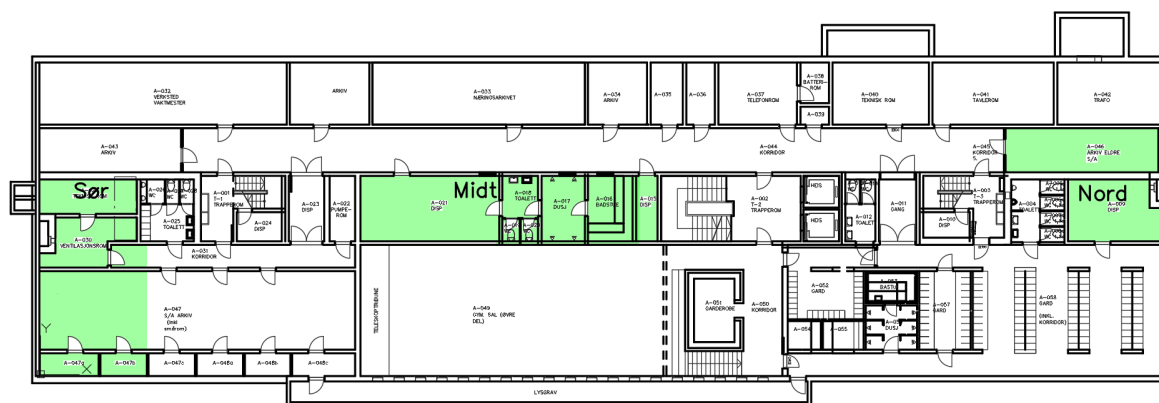
En desentralisert løsning vil være den mest optimale med tanke på behovsstyring. Det vil kreve få spjeld for å gi hensiktsmessig styring, og det vil være god kontroll over luftmengdene til de ulike sonene.

5.1.3 Hybrid

Blant flere mulige løsninger for plassering av tekniske rom er å bruke deler av kjeller og 6. etasje til plassering av aggregater. Det kan plasseres fire aggregater i øverste etasje som skal supplere 3-5 etasje, og tre aggregater i kjeller som skal supplere resten. Slik kan det lange kanalstrekket mellom 6. etasje og de nederste etasjene som bidrar til et unødvendig økt trykktap for systemet unngås.

Plass og plassering

Tre av de nye aggregatene kan bli plassert i kjelleren som nevnt over. Kjelleren har lite lyseksponeering, og store deler av arealet ble brukt av skatteetaten som arkiv. Deler av dette arealet kan da i stedet brukes til teknisk rom for å plassere de nye aggregatene. Det tapte arealet til arkivet kan da eventuelt flyttes til 6. etasje hvis nødvendig. Figur 5.2 viser et forslag til plassering av de nye tekniske rommene.



Figur 5.2: Aggregater underetasje

Støy

Støydannelsen fra ventilasjonsaggregatene ved denne plasseringen vil trolig ikke være sjenerende for byggets oppholdssoner. Ettersom det ikke er varig personopphold i kjeller og 6. etasje vil støyprobatikk med tanke på luft og trinnlyd ikke være like utbredt som ved desentralisert plassering av aggregatene. Selv om denne hybridløsningen ikke vurderes til å ha utfordringer med støy, vil støy trolig være en større risiko ved denne løsningen enn ved sentralisert løsning, og det kan være nødvendig med vibrasjonsmatter eller lignende for aggregatene i kjeller.

Inngrep

En hybrid løsning for plassering av aggregater vil kreve moderate ombygging i bygningsmassen. Ettersom det er krav for dedikerte brannceller for plassering av tekniske rom må dette utbedres for kjelleren. I praksis betyr det at hvis rom som velges å bruke til aggregater ikke er brannisolerte, må rommene bygges om med brannmotstandige materialer. De nye aggregatene har også behov for nye inntak og avkast som må installeres i underetasjen. Dette kan være problematisk grunnet begrenset himlingshøyde. Det kan også være nødvendig å øke størrelsen på hovedkanalene i de nederste etasjene for å tilrettelegge for de nye luftmengdene.

Energieffektivitet

Ved å plassere aggregater i både kjeller og 6. etasje kan ventilasjonssystemenes SFP potensielt reduseres. Luften må bevege seg en kortere strekning som vil sørge for reduserte trykktapet i kanalsystemet. Slik vil denne løsningen ha mulighet for økt energieffektivitet i forhold til en ren sentral løsning. Ved å dele opp luftmengden til flere mindre aggregater kan systemene trolig driftes mer effektivt. Hvis det bare er personopphold i en del av bygget, kan aggregatet som dekker dette området driftes normalt mens de andre kan redusere luftmengdene til utenfor drift. Dette vil

reduere energibruken. En forutsetning for dette er at behovsstyring blir implementert i bygget.

Fleksibilitet

Hybridløsningen vil ha god rom for fremtidig utvidelse i bygget ettersom det ikke er stor plassbegrensning. Løsningen vil stille nokså likt som en sentralisert løsning beskrevet i kapittel 5.1.1. Det vil kreve mange spjeld for å få en hensiktsmessig behovsstyring, og dermed god regulering av luftmengdene.

5.1.4 Sammenligning av løsninger

Tre hovedløsninger er presentert for oppgradering av ventilasjonen: desentralisert, sentralisert, og hybrid. Alle alternativene har både fordeler og ulemper, som kan gjøre det utfordrende å velge en av dem. I et nybygg stiller disse forskjellige løsningene ganske likt, men egner seg best til ulike situasjoner. En desentralisert løsning egner seg generelt best til bygg med høy grad av soneinndeling med relativt små luftmengder, som for eksempel leilighetsbygg. Sentralisert og hybrid løsning egner seg derimot ofte best til bygg hvor det er større og færre soner, og det kan benyttes sentrale avtrekk. Hvilken løsning som er best å etterimplementere i et bygg er derimot vanskelig å komme med et entydig svar på. Det er derfor gjennomført en sammenligning av de ulike alternative ved hjelp av en AHP-analyse.

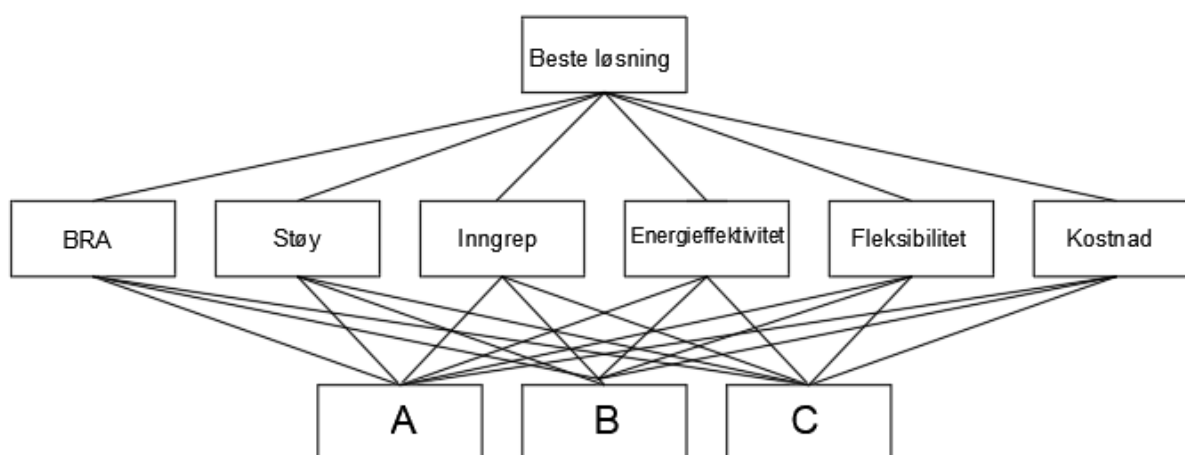
En AHP-analyse, også kjent som en “Analytical Hierarchy Process” er en prosess for å sammenligne ulike konsepter eller ta komplekse valg. Metoden baserer seg på et felles sett med vurderingskriterier som blir ansett som viktige for det nye anlegget. Disse blir grunnlaget for sammenligningen mellom de ulike løsningene. For denne oppgaven er kriteriene i tabell 5.3 valgt som det felles sammenligningsgrunnlaget. Dette fordi at disse kriteriene vil påvirke det nye systemet mest. Disse kriteriene vil ved hjelp av matematikk og subjektiv karaktersetning kunne gi svar på hva som er beste løsningen for det eksisterende bygget i KG87.

Vurderingskriterier
- Kostnad
- Energieffektivitet
- Støy
- Fleksibilitet
- Tapt BRA
- Inngrep

Tabell 5.3: Vurderingskriterier for AHP

AHP-analysen for denne oppgaven baserer seg på metoden beskrevet i boken *Praktisk*

prosjektledelse [14], og metoden sammenligner kriteriene for beste løsning som vist i figur 5.3.



Figur 5.3: AHP

Det er viktig at en ny løsning for bygget ikke innebærer en for stor finansiell investering. Det vil gjøre at en innsparingene for et nytt system vil ta lang tid, eller ingen total sparing blir oppnådd i løpet av nyinstallasjonens levetid. Dette vil videre føre til at å oppgradere det tekniske systemet utover hva som er absolutt nødvendig vil bli mindre attraktivt for eierne. Det samme gjelder for størrelsen på inngrepet i bygget. Hvis det krever mye ombygging og tid, vil det igjen bli en mindre attraktiv løsning. Det viktigste for den nye løsningen er energieffektivitet. Hvis et nytt systemet ikke oppnår betydelig sparing i energibruk, er det ingen åpenbar grunn til å oppgradere. Støy og tap BRA er også viktige faktor å ta høyde for. Hvis de tekniske systemene bråker for mye vil det skape ubehag for personer i bygget, og hvis nye installasjoner tar opp verdifullt BRA risikerer bygget å miste verdi. Fleksibiliteten til systemet er også viktig med tanke på soneinndeling, og muligheten til å gjøre eventuelle endringer ved senere tidspunkt.

Her sammenlignes først de ulike konseptene mot hverandre ut fra et bestemt vurderingskriterium. Disse gis verdier fra 1-9 med tilhørende verdier vist i tabell 5.4. Verdiene normaliseres og summeres i prioritet-boksen hvor det fås en verdi over hvor godt de ulike løsningene stemmer overens med kriteriet. Deretter gjøres det samme for de ulike kriteriene mot hverandre og det fås verdier over hvor viktige de ulike kriteriene blir ansett å være. Til sist multipliseres tilhørende verdier mot hverandre for de ulike løsningene, og det fås en verdi over hvilken løsning som egner seg best. Dette er gjennomført i tabellene 5.6, 5.7 og 5.8.

Verdi	Betydning
1	Like viktige
2	
3	Noe viktigere
4	
5	Mye viktigere
6	
7	Svært mye viktigere
8	
9	Absolutt dominans

Tabell 5.4: Vurderingsskala for AHP [14]

Løsning	Forkortelse
Sentralisert	A
Desentralisert	B
Hybrid	C

Tabell 5.5: Forkortelser løsninger

Kostnad	A	B	C	Prioritet	Energieffektivitet	A	B	C	Prioritet
A	1	9	3	0,67	A	1	1	$\frac{1}{2}$	0,26
B	$\frac{1}{9}$	1	$\frac{1}{5}$	0,06	B	1	1	1	0,33
C	$\frac{1}{3}$	5	1	0,27	C	2	1	1	0,41
Støy	A	B	C	Prioritet	Fleksibilitet	A	B	C	Prioritet
A	1	7	3	0,66	A	1	$\frac{1}{7}$	1	0,11
B	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{4}$	0,08	B	7	1	7	0,78
C	$\frac{1}{3}$	4	1	0,26	C	1	$\frac{1}{7}$	1	0,11
Tapt BRA	A	B	C	Prioritet	Inngrep	A	B	C	Prioritet
A	1	9	4	0,71	A	1	7	4	0,69
B	$\frac{1}{9}$	1	$\frac{1}{4}$	0,07	B	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{4}$	0,08
C	$\frac{1}{4}$	4	1	0,22	C	$\frac{1}{4}$	4	1	0,23

Tabell 5.6: Vurdering mot kriterier

Kriterier	Kostnad	Energieffektivitet	Støy	Fleksibilitet	Tapt BRA	Inngrep	Prioritet
Kostnad	1	$\frac{1}{3}$	2	1	1	4	0,16
Energieffektivitet	3	1	3	4	2	7	0,38
Støy	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1	1	1	4	0,13
Fleksibilitet	1	$\frac{1}{4}$	1	1	1	4	0,14
Tapt BRA	1	$\frac{1}{2}$	1	1	1	4	0,15
Inngrep	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	0,04

Tabell 5.7: Vurdering av kriterier

Alternativ	Kostnad	Energieffektivitet	Støy	Fleksibilitet	Tapt BRA	Inngrep	Total prioritet
A sentralisert	0,108	0,1	0,084	0,015	0,152	0,027	0,487
B desentralisert	0,01	0,125	0,01	0,106	0,017	0,003	0,272
C Hybrid	0,043	0,157	0,034	0,015	0,038	0,009	0,297

Tabell 5.8: Total prioritet

Resultatet av AHP-analysen viser tydelig at det er alternativ A, altså sentralisert løsning i 6. etasje, som egner seg best. Dette kommer av at kostnad, energieffektivt og tapt BRA blir sett på som de viktigste vurderingskriteriene. Ettersom denne løsningen bruker minst anvendtbart bruksareal samt den er billigst gjør at den vinner klart. Selv om denne løsningen ikke rangeres best på energieffektivitet vil de ulike løsningene alle ha fordeler og ulemper og det vil være relativt små variasjoner som skiller dem på dette punktet.

5.1.5 Direkte evaluering

Slik som nevnt tidligere er en AHP-analyse en god måte å sammenligne ulike løsninger ut fra felles kriterier. Svakheten ved denne metoden er at karakterene som settes er subjektive og ikke alltid vil gi det gunstigste resultatet. Det er derfor viktig når en slik analyse gjøres at det resultatet drøftes ved å sammenligne med gruppens vurderinger av løsningene. Hvis disse stemmer overens, er det kommet frem til beste løsning ut fra de gitte forutsetningene. I avsnittene under er det gjennomført en direkte evaluering av de ulike løsningene mot hverandre.

Kostnad

Nye tekniske rom og aggregater vil innebære en betydelig grad av oppussingsarbeid i bygget. Her vil arbeidsmengden og kostnadene for oppussingen varierer mellom løsningene. Uten detaljerte analyser er det relativt lett å argumentere for hvordan løsningene rangeres i pris. Den desentraliserte løsningen vil ha høyest investeringskostnad. Her må nye tekniske rom bygges ut for hvert nye

aggregat, og nye kanalføringer må tilrettelegges hvis denne løsningen skal fungere. I tillegg er det dyrt å kjøpe mange aggregater sammenlignet med noen få, uavhengig av aggregatstørrelsene. Eksempelvis er det dyrere å kjøpe ti små aggregater enn fem store, selv om den samlede luftmengden som skal behandles er lik. Kostnaden til den sentrale løsningen vil være billigst ettersom det ikke krever særlig ombygging, da den er lik den eksisterende løsningen.

Energieffektivitet

Løsningenes energieffektivitet er veldig avgjørende for hvilken løsning som velges å gå videre med til nærmere undersøkelse. Det er utfordrende å få et godt estimat for hvor energieffektive de ulike løsningene er. Likevel kan det dannes et godt bilde ut fra det forventede trykktapet, behovsstyringsmulighet og alternativer til varmeløsning som blir realistisk til de ulike måter å plassere aggregater på. Desentralisert løsning vil gi den beste muligheten for hensiktsmessig behovsstyring. At et aggregat bare leverer luft til en mindre sone gir gode muligheter for hensiktsmessig regulering. Trykktapet vil trolig bli ganske tilfredsstillende ettersom trykktapet i de lange fordelingskanalene og de ekstra VAV-spjeldene unngås. Det er derimot en risiko for større trykktap i luftinntak og avkast. Varmeløsning kan bli en utfordring for et desentralisert anlegg. Hvis et felles oppvarming og kjølesystem skal benyttes for bygget må kjøle/varmemediumet transporteres over store avstander. Alternativt må mange enkelte enheter som kan oppfylle varme og kjølebehovet installeres, som reduserer effektivitet og er dyrt.

En sentralisert og en hybrid løsning er nokså like med tanke på trykktap, men hybrid løsning har en fordel ettersom lufta må bevege seg kortere i fordelingskanalene. De er også nokså like med tanke på varmeløsning, men sentralisert løsning kan ha en fordel ved at alle aggregatene er samlet og en eventuelt felles varme/kjøleløsning for alle aggregater ikke må fordeles over store avstander. De ulike løsningene er dermed relativt like med tanke på energieffektivitet, men en hybrid løsning kommer best ut fordi den gir litt bedre mulighet for behovsstyring, samtidig som mange lange kanalstrekker elimineres.

Støy og Tapt BRA

Ventilasjonsaggregater skaper mye støy, vibrasjoner og tar mye plass. En desentralisert løsning vil ha store utfordringer med tanke på dette. Aggregatene må plasseres i tett nærhet til oppholdssoner, og må ta opp verdifullt BRA for å kunne plasseres der det er behov. Det vil dermed skape sjenerende støy som kan være veldig kostbart å dempe. For de andre løsningene vil dette ikke være et like stort problem ettersom de plasseres i mindre viktige areal, og lengre unna områder med mye forventet personopphold. Det blir også lettere å dempe støydannelsen fra aggregatene ved en sentralisert eller en hybrid løsning ettersom de vil være plassert i nærhet til hverandre og mindre

støydemping blir dermed nødvendig.

Fleksibilitet

Fleksibiliteten til den nye løsningen er også viktig for det tekniske systemet. Det er viktig at valgt løsning tilrettelegger godt for at behovsstyring er gjennomførbart, og det er god mulighet for fremtidig utvidelse. De ulike løsningene vil være nokså like med tanke på rom for fremtid utvidelse, men en desentralisert løsning vil ha størst utfordring hvis en vil øke luftmengden i bygget. Det er en tydeligere forskjell når det gjelder behovsstyring for bygget. En desentralisert løsning er klart best for dette ettersom en har egne aggregat dedikert til mindre soner. Dette åpner opp for veldig god kontroll over luftmengdene som tilføres. De to andre løsningene er relativt like, og begge krever flere VAV-spjeld inn til hver etasje for å kunne behovsstyre luftmengdene.

Inngrep

Det vil for alle de ulike løsningene kreve et inngrep i bygget for å installere ventilasjonsaggregatene, i form av riving av gamle installasjoner og montering av nye. Det er ønskelig at dette inngrepet er så lite som mulig for å spare tid og arbeid. Her vil igjen en desentralisert løsning stille dårlig ettersom flere rom i alle etasjene må bygges om for å tilrettelegge til nye tekniske rom for aggregatene, og nye løsninger for luftinntak og avkast blir nødvendig. De andre løsningene stiller bedre ettersom de kan ta utgangspunkt i allerede eksisterende rom. En hybridløsning vil kreve en del ombygging i kjeller, som kan være utfordrende med tanke på tilgjengelighet. Det er dermed sentralisert løsning som kommer best ut med tanke på nødvendig ombygingsarbeid.

5.1.6 Resultat

Gjennom den foretatte AHP-analyse og en samlet direkte evaluering konkluderes det at en sentralisert løsning trolig blir det beste alternativet. Denne løsningen er billigere enn de andre, involverer mindre risiko for støy, tar ikke opp verdifullt areal og er lettere å gjennomføre. Med tanke på fleksibilitet og energieffektivitet fremstår en sentralisert løsning som minst gunstig, men med en tilnærmet ubetydelig forskjell fra en desentralisert og en hybrid løsning. Ettersom en sentralisert løsning kommer best ut av begge typer evalueringer, blir dette derfor utgangspunktet for videre arbeid mot et endelig forslag til ny systemløsning.

5.2 Behovsstyring

Videre utarbeidelse av ny løsning for ventilasjonssystemet i Kongens gate 87 skal basere seg på en sentral plassering av tekniske rom og aggregater. Det nye ventilasjonssystemet i bygget ønskes designet som et VAV-system med behovsstyring for å redusere energibruken ved å eliminere

unødvendig ventilering. Designet av dette nye systemet gjøres ut fra anbefalingene i Byggforsks veiledninger 552.323 [20] og 552.324 [32], og med utgangspunkt i sentralisert løsning.

5.2.1 Styringsparameter

Luftmengden i et behovsstyrt system bestemmes ut fra lufttilstanden i byggets oppholdssoner. Aktuelle styringsparameter kan være tilstedeværelse, temperatur, CO₂, luftfuktighet (RF), og trykkforskjeller. I spesielle tilfeller kan andre gasser enn CO₂ også være aktuelle [20].

I Kongens gate 87 er de aktuelle styringsparameterne tilstedeværelse, temperatur, og CO₂, hvor disse kan brukes hver for seg eller en kombinasjon av parameterne kan benyttes for styring av ventilasjonen.

Persontilstedeværelse

Behovsstyring basert på tilstedeværelse fungerer ved at en bevegelsessensor registrerer om det er personer til stede i et rom eller en sone. Dette kan brukes til å bestemme luftmengden som behøves. Ved registrert tilstedeværelse reguleres ventilasjonen opp fra grunnmengde, til antatt belastning for rommet/sonen. Dette fungerer best dersom belastningen er forutsigbar, for eksempel i et cellekontor. Det kan også brukes for større rom, men på grunn av begrensningen i styring etter reell luftkvalitet, brukes det da oftest i kombinasjon med både temperatur-, og CO₂-styring.

Temperatur

Behovsstyring basert på temperatur gjøres ved en temperatursensor enten på vegg i oppholdssonen, i avtrekkskanal eller i tilluftsventilen. I tillegg er det sensor etter aggregat på tilluftssiden. Temperaturstyring bør ikke benyttes alene hvis ikke grunnventilasjonen er dimensjonert for å dekke ventilasjonsbehovet for både materialbelastning og personbelastning, fordi det er forsinkelse fra personene kommer inn til et rom eller en sone, til temperaturen stiger og kan registreres av temperaturføleren.

CO₂

Behovsstyring basert på CO₂-nivå fungerer ganske likt som styring ved hjelp av temperatur. Sensorer plasseres på vegg i oppholdssonen, eller med nærhet til avtrekk. CO₂-styring alene er sjeldent aktuelt, og i praksis leveres CO₂-sensorer med temperaturføler innebygd. Måling av luftkvalitet ved CO₂-sensor gir god kontroll og samsvar mellom reell luftkvalitet, behovet for ventilasjon og levert ventilasjon. Presis styring oppnås ved måling på romnivå.

Kombinasjon av styringsparameter

Mest effektiv behovsstyring oppnås ved å bruke en kombinasjon av styringsparameter. Det gjøres ved at flere parameter veksler på å være bestemmende for ventilasjonsbehovet. I en kombinasjon av tilstedeværelsesdetektor og temperatur-/CO₂-sensor sørger tilstedeværelsesdetektor for en rask økning av luftmengde, mens temperatur-/CO₂-senser sørger for tilfredsstillende luftkvalitet over lengre opphold. Det er viktig at ventilasjonslufta til enhver tid styres av det strengeste kriteriet satt. For eksempel kan CO₂-nivå være bestemmende i fyringssesongen, mens temperatur blir bestemmende for sommersesongen.

5.2.2 Utforming av behovsstyring

Det er ønskelig at den nye behovsstyringsfunksjonen skal være energieffektiv og gi tilfredsstillende inn klima, samtidig som det er en rimelig investeringskostnad. DCV-systemer er dyre installasjoner, og kan i tillegg være en kilde til uønsket trykktap og støy. Det er derfor viktig at ikke flere DCV-spjeld enn absolutt nødvendig for god styringsfunksjon installeres i systemet.

DCV-spjeld plassering: Sonestyring og romstyring

For Kongens gate 87 skal DCV-systemet ettermonteres i det eksisterende kanalnett. Eksisterende kanalnett er regulert med vanlige reguleringsspjeld i en konstant posisjon. Mange av de nye DCV-spjeldene kan erstatte disse spjeldene, og det oppnås da god spjeldplassering og det unngås i tillegg økning i trykktap. Dette gir også mulighet for forbedring i spjeldplassering dersom noen av de gamle reguleringsspjeldene har en åpenbar dårlig plassering. Dårlig plassering kan eksempelvis være et spjeld plassert direkte etter et strømningshinder i kanalnett. Fra Byggforsk veiledning 552.324 [32] anbefales en avstand til strømningshinder på minst $5 \times \text{kanaldiameter}$ før et DCV-spjeld.

Videre deles utformingen av behovsstyring i to ulike alternativer. Første alternativet baserer seg på at hvert enkelt rom får egen behovsstyring, mens alternativ nummer to baseres på at hver sone behovsstyres. Sonene er bestemt ut fra brannceller/brannsoner, og hvordan kanalnett utbrer seg fra kanalsjaktene.

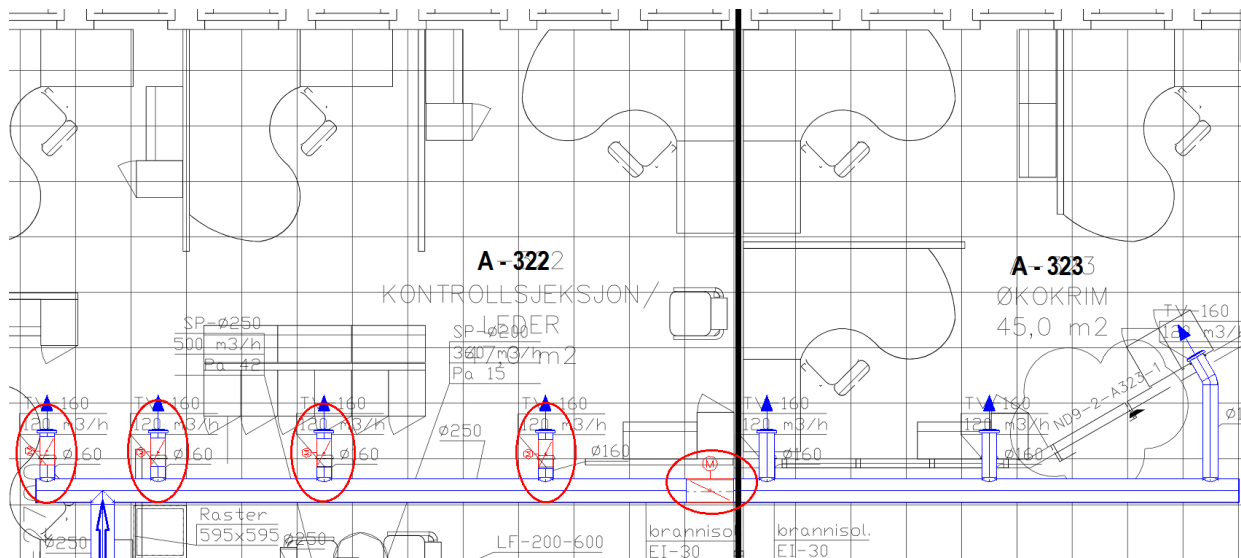
Får å undersøke mulighetene for begge disse alternative løsningene er det utarbeidet en 3D-modell av det eksisterende kanalnett i Revit, basert på tilgjengelige PDF-dokumenter av ventilasjonssystemet vist i tabell 1.1. Denne modellen gjør det lett å plassere DCV-spjeld som ønsket for å visualisere alternative løsninger, og gir innblikk i endringer som må til for å oppnå ønsket styringsfunksjon.

Generelt gir styring på romnivå best resultat ved behovsstyring, det vil da kunne oppnås en

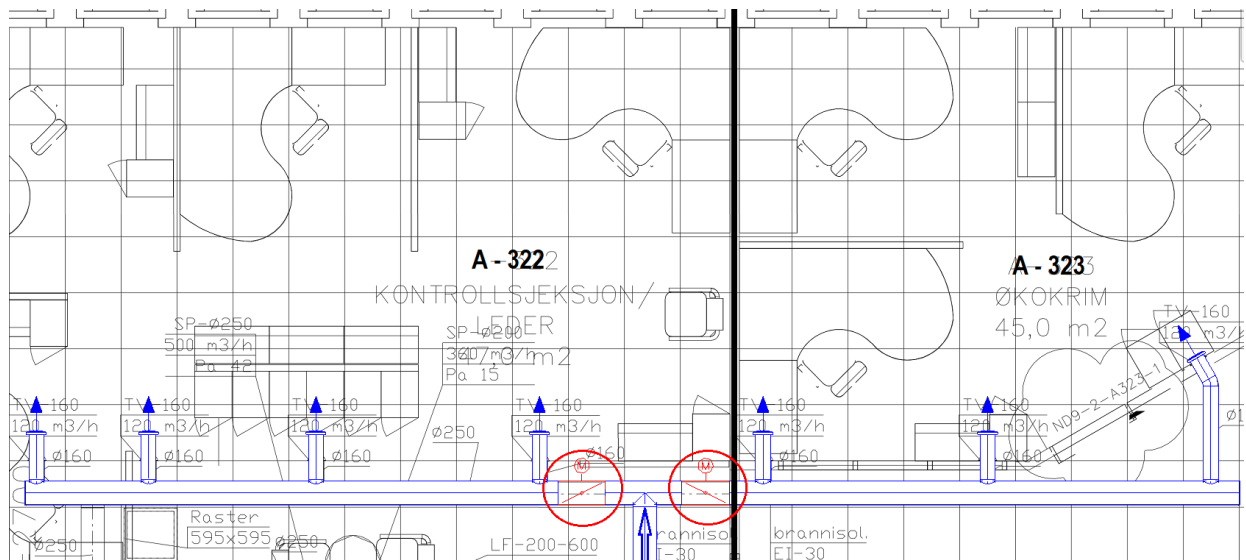
luftmengde ut til bygget med små avvik fra virkelig behov. Likevel er det en del utfordringer forbundet med denne løsningen i dette bygget som kommer av at kanalnettets og luftstrømningen gjennom bygget ikke originalt var utformet med tanke på behovsstyring. Dette fører til at styring på romnivå krever veldig mange DCV-spjeld fordi store rom med mange ventiler må ha mulighet for regulering i hver enkelt ventil for å få god styringsfunksjon. Som nevnt er det ønskelig å bruke så få spjeld som mulig da det er gunstig både for energieffektivitet og installasjonskostnad.

For å innblikk i problemet er det laget illustrasjoner som beskriver det. Figurene 5.4 og 5.5 under er utklipp fra tegninger laget i Revit. Kanalføringene i figur 5.4 er slik det eksisterende kanalnettets ligger, og er dårlig tilrettelagt for behovsstyring. Da ses at det er behov for DCV-spjeld (markert med rød sirkel) på alle ventilene inn til rom A-322 dersom regulering av rom A-322 og A-323 uavhengig av hverandre skal være mulig. For eksempel hvis rom A-322 ikke er i bruk, men A-323 har maks belastning, vil det ikke være mulig å gi minimum luftmengde til A-322 samtidig som det gis maksimum til A-323 hvis ikke hver av ventilene til rom A-322 har egne DCV-spjeld.

Hvis lufttilførselen til kanalstrekket derimot kom fra det alternative påstikket (blå pil) i figur 5.5, ville det kun vært behov for to spjeld for å kunne styre de to rommene separat. Slik kanalnettets er bygget er det behov for fem spjeld for god styring, mens dersom det hadde vært designet for behovsstyring i utgangspunktet hadde det kun vært behov for to.



Figur 5.4: Eksempel på ugunstig kanalføring for behovsstyring



Figur 5.5: Eksempel på gunstig kanalføring for behovsstyring

På grunn av dette problemet kan det være hensiktsmessig å ikke benytte styring på romnivå, men heller undersøke styring basert på behovet for hver sone i bygget da dette kan bli billigere, og trolig fortsatt kan gi noe behovsstyring.

Likevel har behovsstyring på romnivå mye bedre funksjon enn styring på sonenivå, og er derfor å foretrekke til tross for utfordringene. Et alternativ for å utbedre noen problemer er å bygge om enkelte kanalstrekk slik at de blir bedre tilrettelagt for behovsstyring, slik som eksempelet i figur 5.5. Videre arbeid og estimering tar likevel utgangspunkt i at dette ikke gjøres, da det et mål er å gjenbruke så mye av det eksisterende kanalnett som mulig.

Sensor valg og plassering

Korrekt plassering av sensorer er viktig for god styringsfunksjon for et behovsstyrt system. Dårlig plassering kan gi feil måleverdier, som igjen gir feil luftmengder.

Bevegelsessensorer bør dekke hele rom, og plasseres uten visuell hindring til arbeidsplasser og andre oppholdssoner i rom. Sensorene må plasseres slik at de ikke fanger opp bevegelse utenfor rommet eller sonen de skal styre, for eksempel en korridor utenfor et kontor. I store rom kan det være nødvendig med flere bevegelsessensorer.

For plassering av temperatursensorer er det viktig å sørge for at de ikke plasseres i umiddelbar nærhet til varmekilder. Ellers er det rimelig fritt, temperatursensorer kan benyttes både på vegg på rom og i avtrekkskanaler, alt etter behov. CO₂-sensorer kan ofte plasseres likt som temperatursensorer, og det er mest vanlig at disse to sensorene blir levert kombinert i samme enhet. Ved styring på romnivå er det behov for sensorer på romnivå, da er det viktig at alle sensorer plasseres lett tilgjengelig, anbefalt på vegg i hodehøyde, som regel 1 til 1.7 meter over

gulv avhengig av om rommet er beregnet for sittende, eller stående aktivitet.

For Kongens gate 87 ønskes det å benyttes en kombinasjon av tilstedeværelse-, temperatur-, og CO₂-styring. Sensorene skal plasseres slik at de nevnte anbefalingene ovenfor er oppfylt til beste evne, og med prioritert plassering på vegg 1 meter over gulv. For behovsstyring på romnivå trenger hvert behovsstyrte rom egne sensorer, mens som har behov for konstante luftmengder ikke trenger sensorer. Slike rom er blant annet toalett, bøttekott, andre rom uten personbelastning, og luftmengder her styres ut fra satt driftstid. Bygget har også mange cellekontor, hvor personbelastningen kun er en person. Ved behovsstyring på romnivå har cellekontorene derfor kun behov for bevegelsessensorer for registrering av tilstedeværelse for å kunne gi riktig luftmengde. Ellers har rom med forventet personbelastning på to eller høyere behov for tilstedeværelse-, temperatur- og CO₂-sensorer.

For behovsstyring på sonenivå er det to mulige metoder for styring. Den første metoden er å plassere sensorer i hvert rom i hver sone, og styre sonen etter den verste luftkvaliteten på romnivå. Dette sørger for at ingen rom får dårlig luftkvalitet, men også unødvendig energiforbruk ved lav personbelastning, for eksempel dersom få kontorer i en sone er i bruk.

En annen metode er å plassere sensorer i nærhet til, eller i sentrale avtrekk. Ved slik plassering vil sensorene måle luftkvaliteten for hele sonens blandete luft, altså sonens gjennomsnittlige luftkvalitet. Dette vil fungere godt dersom sonens faktiske personbelastning er tilnærmet lik dimensjonert/forventet belastning. Funksjonen blir også bra dersom det er veldig lav personbelastning, da tilstedeværelse registrert i sonen fortsatt sørger for økning i luftmengde opp fra grunnmengden. Det største problemet med denne løsningen blir dersom det er stor differanse i luftkvalitet mellom forskjellige rom i en sone, for eksempel hvis et møterom i en sone er i bruk, men nesten ingen mindre kontorer i samme sone. Da vil møterommet få for lav luftmengde, mens kontorene får mer enn nødvendig, siden sensorene fanger opp blandet luft fra ubrukte kontorer, og kraftig brukt luft i møterom.

5.2.3 Anbefalt løsning for behovsstyring

Sammenligning av sonestyling og romstyring gir en anbefalt løsning som behovsstyring på romnivå. Både sonestyling og romstyring møter utfordringer i det eksisterende kanalnett, mens romstyring har større potensiale for å få god funksjon med det eksisterende kanalnettets utforming. Ombygging av kanalnett er trolig den beste løsningen for å få god behovsstyring, men en forutsetning satt for oppgaven var at eksisterende kanalnett skulle beholdes.

5.3 Luftmengder

I kapittel 4.7 fremgår det at luftmengdene i KG87 ikke er driftet på en hensiktsmessig måte. Luftmengdene er utekompensert og styres derfor ikke etter behov, det er også ubalanse i byggets leverte luftmengder. En endring av dette vil føre til redusert energibruk for anlegget. Det anbefales at dette utbedres ved å først balansere de eksisterende luftmengdene i systemet, etterfulgt av implementering av behovsstyring for å redusere den gjennomsnittlige nødvendige luftmengden. Etersom 6. etasje er uventilert må dette også utbedres for å kunne opprettholde moderne krav til bygget.

5.3.1 Ventilasjon 6. etasje

Byggets 6. etasje er, som nevnt tidligere, en ren tekniske etasje hvor alle ventilasjonsaggregatene for bygget er plassert. Det er ingen varig personbelastning og etasjen er ikke av betydelig størrelse. Dermed kreves det ikke store luftmengder for å ventilere denne etasjen. Den beste måten å ventilere denne etasjen vil være lage et nytt kanalnett tilkoblet de nye aggregatene som vil bli installert.

De nye luftmengdene for 6. etasje blir beregnet med en emisjonsfaktor på $3,6m^3/hm$ med friskluft per gulvareal. Dette anses som tilstrekkelig ettersom denne etasjen er i betong og har flere store tekniske installasjoner. Ved å ikke anvende lav emisjonsfaktor stilles også mindre krav for å dokumentere materialene i denne etasjen. De ny foreslåtte luftmengdene for rommene i 6. etasje blir dermed som vist i figur A3.7 i appendiks. Dette betyr at de nye aggregatene må kunne levere luftmengdene i tabell 5.9.

Aggregater	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]
360.01	247	247
360.02	284	284
360.03	267	267
Totalt	798	798

Tabell 5.9: Luftmengdebehov 6. etasje

Etersom det kan bli endringer i utformingen av 6. etasje vil det ikke bli utarbeidet nye ventilasjonstegninger for 6. etasje. Dette må lages ved detaljespesifisering av nytt anlegg før byggherre skal renovere bygningen. Påvirkningen dette ekstra kanalnettet vil ha på trykktap i ventilasjonssystemet kan dermed ikke estimeres. Dette vurderes derimot uten beregninger til å ikke ha effekt på resten systemene, fordi luftmengdene er små i forhold til resten av bygget, og luften beveger seg over korte avstander fra de ulike aggregatene. Trykktapet i de ekstra

ventilasjonskanalene vil dermed være ubetydelige i forhold til resten av systemet, og ikke påvirke SFP_e .

5.3.2 Ventilasjon kjeller

Byggets eksisterende ventilasjonssystem er prosjektert med en løsning hvor kjeller ventileres med ekstra tilluft, som skal ventilere trappegangene og deres tilknyttede rom. For den nye løsningen blir disse luftmengdene redusert, ettersom dette anses som en lite hensiktsmessig løsning. Dette fordi trappegangene er egne brannsoner og skal derfor være relativt lufttette, som fører til dårlig distribusjon av lufta tilført her. De ulike etasjene vil dermed balanseres etasje for etasje, og den ekstra tilluften i kjelleren fjernes.

5.3.3 Prosjekterte luftmengder

Det vil være hensiktsmessig å endre styringen av det eksisterende ventilasjonssystemet til behovstyring. Dette vil innebære at luftmengdene i bygget kan reduseres betraktelig. Det er også ønskelig å balansere ventilasjonssystemene i KG87 slik at bygget er ventilert med balansert ventilasjon. Dette er et viktig tiltak for å hindre uønsket luftstrømning inn og ut av bygget.

Prinsipp

Det er flere måter å balansere luftmengdene i et bygg. For KG87 virker det hensiktsmessig å balansere den totale luftmengden ved å balansere etasje for etasje. Dette vil si at hver etasje skal ha lik mengde av tilluft og avtrekk. Det anbefales å justere etter dette prinsippet ettersom det vil være relativt lite luftveksling mellom de ulike etasjene grunnet etasjeskillere av betong. Dette vil være fordelaktig fremfor å balansere luftmengden tilført fra hvert aggregat, ettersom flere rom er tilknyttet flere ventilasjonsaggregater.

Redusering

Grunnlaget for de nye luftmengdene er samme romoversikt som for eksisterende anlegg, som forklart i kapittel 4.2. Ettersom eksisterende anlegg er dimensjonert med for høye luftmengder, er det nå ønskelig å dimensjonere ut fra faktisk behov for bygget. Det er derfor prosjektert nye luftmengder etter samme personbelastning som dagens anlegg og en emisjonsfaktor på $3,6 m^3/hm^2$. Emisjonsfaktoren på 3,6 brukes ettersom bygg trenger streng dokumentasjon for å oppføres som lavemitterende, noe som ikke er dokumentert for dette bygget. Denne emisjonsfaktoren er lettere å dokumentere og vil høyst sannsynlig dekke behovene i bygget som beskrevet i kapittel 4.6. Rommene markert i grønt i romoversikten er toaletter og trenger ikke direkte tilførsel av luft, disse tilføres derfor sekundærluft ved overstrømning fra primærrom. Disse rommene har derfor

bare avtrekk som tilfredsstillter kravene gitt i kapittel 2.1.2. En ender da opp med luftmengder som tilsvarer byggets behov. Avtrekksmengdene er utarbeidet fra eksisterende anlegg, og deretter redusert for å oppnå balanse i hver etasje.

Dette gir følgende luftmengder i tabell 5.10.

Aggregat	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]
360.01	14715	14440
360.02	11571	10557
360.03	10253	12141
360.04	4680	4080
360.05	3065	3065
Total	44284	44284

Tabell 5.10: Nye luftmengder

5.3.4 Gjennomsnittlige luftmengde

Ettersom det nye anlegget skal behovsstyres vil det sjeldent gå ved 100% luftmengde og vil i realiteten ha en lavere gjennomsnittlig SFP_e enn den ved 100% pådrag. For å finne en slik gjennomsnittlig SFP_e benyttes gjennomsnittlig tilstedeværelse, som for kontorbygg er på 0,2 – 0,6 av dimensjonert personbelastning [21]. For denne simuleringen bruker en 0,6 for sikkerhets skyld, slik at den faktiske energibruken ikke blir høyere enn simuleringen viser. Luftmengdene er derfor utarbeidet ved å fjerne 40% av dimensjonert personbelastning fra de nye prosjekterte luftmengdene til hvert aggregat. Dimensjonert personbelastning per aggregat er vist i tabell 5.11 under, og hentet fra romoversikten for eksisterende anlegg som kan finnes i kapittel A3 i appendiks. Samtidighet angir hvor mange prosent av prosjektert verdi som benyttes.

Aggregat	Personbelastning
360.01	274
360.02	153
360.03	199
360.04	123
360.05	89

Tabell 5.11: Dimensjonert personbelastning per aggregat

Aggregat	Gjennomsnittlig luftmengde [m^3/h]	Samtidighet i drift
360.01	11865	0,81
360.02	9979	0,86
360.03	8184	0,80
360.04	3401	0,73
360.05	2139	0,70

Tabell 5.12: Gjennomsnittlig luftmengde

5.3.5 Minimum luftmengde

Utenom normale driftstider vil det være null personbelastning og bygningen bør derfor bare ventileres for minimumskrav. Minimumskravene gitt i NR444 er luftmengder på $0,72m^3/hm^2$ [16] utenfor driftstid. Arealene for hvert aggregat er gitt i kapittel 4.4.1. Dette gir minimum luftmengdene vist i tabell 5.13.

Aggregat	Minimum luftmengde [m^3/h]	Samtidighet utenfor drift
360.01	1749	0,12
360.02	1554	0,13
360.03	1167	0,11
360.04	410	0,09
360.05	153	0,05

Tabell 5.13: Minimum luftmengde

5.3.6 Frikjøling

Det er ønskelig at de nye ventilasjonsaggregatene skal kunne anvendes til frikjøling i perioder med høy utetemperatur hvor bygget har behov for kjøling. Luftmengdene for de ulike sonene har blitt utarbeidet ved hjelp av emisjonsfaktor på $3,6m^3/m^2h$. Dette forsikrer en god SFP_e for ventilasjonssystemene, samtidig som bygget blir kjølt ned. Luftmengdene utarbeides fra verdiene i tabell 5.10 ved å justere til ingen personbelastning for henholdsvis tilluft og avtrekk. Slik vil de ulike etasjene forbli balanserte. Luftmengdene er gitt i tabell 5.14

Aggregat	Tilluft fri [m^3/h]	Avtrekk fri [m^3/h]
360.01	7591	7316
360.02	7593	6579
360.03	5079	6967
360.04	1482	882
360.05	751	751
Totalt	22496	22496

Tabell 5.14: Luftmengder frikjøling

5.4 Ventilasjonsvarme- og kjøling

Som nevnt tidligere består alle aggregatene i dagens anlegg av en varmegjenvinner og et elektrisk varmebatteri. Elektriske varmebatterier er ikke kostnadseffektive fordi de fører til høyt strømforbruk, det ønskes derfor å bytte over til en annen løsning for ventilasjonsvarme for å redusere energibruken og kostnaden. Det finnes mange alternativer som kan vurderes som kan gi redusert elektrisk forbruk. Noen viktige punkter disse løsningene burde oppfylle:

- Redusert strømforbruk
- Lav belastning på miljø
- Realistisk å gjennomføre

Løsninger som benytter lokalt brensel av hydrokarboner eller biomasser er ikke vurdert som alternativer, både på grunn av miljøbelastning, og den sentrale plasseringen til KG87 i Trondheim sentrum.

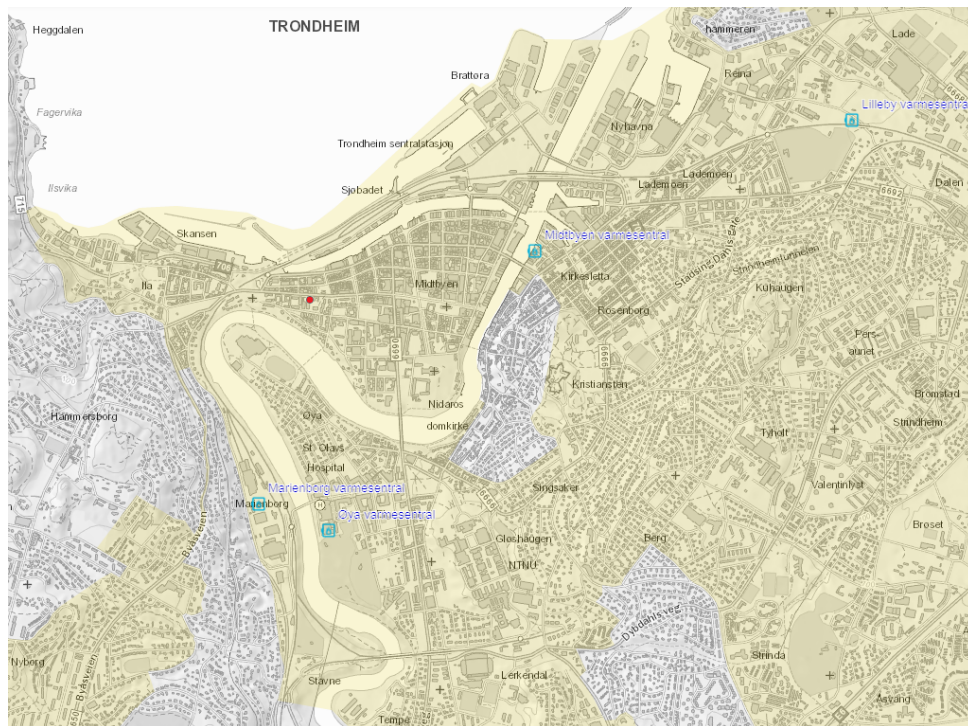
5.4.1 Fjernvarme

- Fordeler
 - Leveringssikkerhet
 - Driftssikker
 - Samfunnsmessige fordeler, utnytter spill- og avfallsvarme
- Ulemper
 - Varmetap i rørnett
 - Høy temperatur og trykk på primærside

– Store inngrep

Ved fjernvarme leveres oppvarmet vann fra en stor varmesentral som videre kan benyttes til oppvarming av tilluft gjennom vannbårne varmebatterier. Tilkobling til fjernvarme er en dyr investering om fjernvarmen kun skal brukes til varmebatterier i ventilasjonssystemet. Fjernvarme er derfor kun aktuelt om det også legges om til vannbåren oppvarming til romoppvarming, som da vil kreve en stor ombygging. Men dersom det bestemmes at varmeløsningen for hele bygget skal endres til fjernvarme, blir varmeleveranse til ventilasjonssystemet fra fjernvarme den beste løsningen. Kjølebehovet kan i dette tilfelle da leveres enkelt ved DX-kjølere eller et isvannsystem.

Figur 5.6 viser en oversikt over områder i Trondheim sentrum som har tilgjengelighet for tilkobling til fjernvarmenettet, områdene er indikert med grønn. Kongens Gate 87 ligger innenfor tilgjengelig område og er merket med en rød prikk.



Figur 5.6: Oversikt fjernvarmetilgjengelighet Trondheim sentrum [2]

Selv om fjernvarmeforsyning er mulig, vil det ikke vurderes videre. Rapporten omhandler kun oppgradering av ventilasjonssystemet med antagelsen at varmeløsningen for resten av bygget forblir som den er per Mars 2020. Skulle byggherren Entra ASA bestemme seg for å pusse opp mer enn bare ventilasjon vil fjernvarme trolig kunne være en løsning for både romoppvarming, ventilasjonsvarme, og oppvarming av tappevann.

5.4.2 Varmepumpe

- Fordeler

- Mindre utsatt for økninger i energipriser
- Redusert forbruk av elektrisitet
- Fornybar energi
- Ulemper
 - Kostbar investering
 - Vedlikeholdskostnader

En mulighet for å levere ventilasjonsvarmebehovet til bygget er ved varmpumper. Mye energi kan spares ved bruk av varmpumper i stedet for elektriske varmebatteri. I tillegg er det mulighet for å installere et varmpumpeaggregat som kan reverseres for å dekke både varme og kjølebehov. Da spares både plass og investeringskostnad i forhold til at både varme og kjøling dekkes av to separate varmpumpe-/kjølemaskinsystem.

For reversible varmpumper er R410A det vanligste arbeidsmediet som benyttes. Nøyaktig effektfaktor for en slik varmpumpe kan fås fra leverandører, men rimelige verdier å anta er COP mellom 2 og 5 for oppvarming av bygninger, og for middels temperatur varmedistribusjonssystemer ligger årsvarmefaktor (SCOP) typisk mellom 3 og 4 [3]. Dette gjelder for vannbårne systemer. Figur 5.7 viser noen vanlige årsvarmefaktorer for varmpumper til oppvarming av vannbårne systemer.

Varmedistribusjonssystem – tur-/returtemperatur ved dimensjonerende utetemperatur (DUT)	Varmepumpeanleggets SCOP
Lav temperatur – gulvvarmesystem (35/30 °C)	4–5
Medium temperatur – radiatorer (55/45 °C)	3–4
Høy temperatur – radiatorer (80/60 °C)	2–3

Figur 5.7: Årsvarmefaktorer ved ulike temperaturnivå [3]

For Kongens gate 87 er det bestemt at varmen/kjølingen ikke går til et vannbårent system, men heller direkte fra uteluft eller avkastluft, til ventilasjons-tilluft. Variasjoner i SCOP mellom leveranse til luft og et vannbårent system er derfor sannsynlig, men det ses på som neglisjerbart, og tallene fra figur 5.7 antas å være representative uansett hvilket fluid varmen leveres til. Et vannbårent varmebatteri som leverer varme til ventilasjonsluft bruker ofte middels temperaturnivåer som de illustrert i figur 5.7. SCOP på 3 for oppvarming antas derfor som realistisk for bygget.

Ved kjøling kan R410A oppnå en teoretisk kuldefaktor (COP_R) lik 5.19 [33], forutsatt en ideell kuldeprosess mellom -10 og 30°C. Prenøk kapittel 4.7: Varmepumper - Grunnlag, viser at

virkelig levert varmefaktor for en varmepumpeprosess vanligvis ligger mellom 40 - 60% av teoretisk oppnåelig varmefaktor [3]. Antas det at det samme gjelder for kjøleprosesser, og middelverdien ved 50% benyttes, betyr at R410A vil kunne levere kjøling med en kuldefaktor: $COP_R = 5.19 \cdot 50\% = 2.595 \approx 2.6$.

R410A har høy GWP-verdi i forhold til mange andre kuldemedium. Alternative kuldemedier kan derfor være ønskelig å undersøke nøyere, men nedprioriteres i denne oppgaven da fokuset er rettet mot sparing av energibruk, og ingen kilder viser til at kuldemediet skal utfases i nær fremtid slik andre kuldemedier skal.

Varmepumper har best effekt dersom temperaturløftet er lavt. Tiltak som kan gjøres for å redusere temperaturløftet kan være å endre varmekilden. Figur 5.8 viser en oversikt over varmekilder som kan være relevante i Norge, og de laveste temperaturene de kan ligge ved, samt temperaturvariasjonene de kan ha.

Varmekilde	Laveste temperaturnivå ved dimensjonerende forhold	Temperaturvariasjon over året – varmekilde og evt. kilde for frikjøling (varmesluk)
Uteluft	-40 til -10 °C	35 til 65 °C
Avtrekksluft	20 til 25 °C	Liten
Bergvarme	2 til -3 °C	Typisk 8 til 12 °C, inntil 30 °C i termiske energilagre
Jord	0 til -3 °C	10 °C
Grunnvann	3 til 8 °C	Liten
Sjøvann	3 til 8 °C	5 til 8 °C
Innsjøvann	0 til 4 °C	10 °C
Ellevann	0 til 2 °C	10 til 15 °C
Gråvann	20 til 30 °C	Liten
Avløpsvann (kloakk)	4 til 6 °C	10 °C
Industriell spillvarme	>10 °C	Prosessavhengig

Figur 5.8: Varmekilder i Norge med temperaturnivåer [3]

For Kongens gate 87 er de mulige varmekildene i hovedsak uteluft eller avtrekksluft. Bergvarme, grunnvannsvarme, og spillvarme kan også være alternativer, men vil kreve betydelig mer utbygging og forarbeid. Avtrekksluft eller avkastluft fra ventilasjonsanlegget kan være et alternativ. Avtrekksluft vil ikke være et godt alternativ, da det skal benyttes høy-effektive varmegjennvinnere. Avkastlufta og utelufta vil derfor kun ha minimal temperaturredifferanse, og hvilken av de som benyttes avhenger mest av hva leverandør av varmepumpeløsningen anbefaler. Kompaktaggregater

med integrert varmepumpe levert av Swegon benytter eksempelvis avkastlufta som varmekilde [13].

Spillvarme som varmekilde krever et oppsamlingsbasseng av avløp- og gråvann slik at bygget får en jevn varmekilde. I tillegg har spillvann mye fett, støv, partikler, osv. blandet inn i vannet, som gjør at en varmeveksler må utformes spesielt med tanke på avsetninger. Det er også uklart hvor i KG87 det kunne vært plass til en slik installasjon.

Bergvarme og grunnvann krever geoteknisk kartlegging for å vurdere om mulige setninger i terrenget kan medføre komplikasjoner. Byggets tekniske rom ligger på taket, og anbefales å fortsatt ha på taket, som gir stor avstand fra varmekilden til der varmen trengs. Ved stor avstand er det risiko for store forsinkelser av varme- eller kjøleleveransen når et behov oppstår. Bergvarme og grunnvannsvarme er først og fremst relevant for store anlegg som må levere mye effekt. Investeringskostnadene for et slikt system vil trolig også være så store at det gir mer mening å benytte seg av fjernvarme, da bygget ligger i en fjernvarmesone.

Varmekildene som ikke er luft har en fordel i at de vil alltid klare å levere både varme og kjøling uansett temperaturforholdene i utelufta. Fordelen med å benytte luft er i hovedsak investeringskostnad og tilgjengelighet. Installasjonen av varmepumpe med luft som varmekilde er betydelig mye enklere enn de andre alternativene.

Figur 5.9 viser en oversikt over noen fordeler og ulemper med tanke på kostnader ved de forskjellige varmekildene.

Varmekilde	Investeringskostnader	Energisparing	Vedlikeholdsbehov	LCC-kostnader	Driftssikkerhet
Uteluft	Lave	Middels	Middels	Lave/middels	Lav/middels
Fjell (berg)	Høye	Høy	Lavt	Middels/lave	Svært høy
Sjøvann	Middels/høye	Høy	Middels	Lave	Høy
Grunnvann	Middels	Høy	Middels	Middels	Middels/høy
Spillvarme	Lave/middels	Svært høy	Middels/høy	Lave	Middels/høy

Figur 5.9: Overordnet sammenstilling av varmekilder for varmepumper [3]

Oversikten i figur 5.9 er basert på hva som forventes for nye installasjoner av varmepumpesystemer. For et eksisterende bygg slik som er tilfellet for KG87, vil denne oversikten trolig se annerledes ut, spesielt med tanke på investeringskostnader. Mange ting burde vært annerledes for bygget dersom andre varmekilder enn uteluft (avkastluft) skulle vært realistiske investeringer. Berg- og grunnvannsvarme ville for eksempel vært mer realistiske alternativer om teknisk rom lå i kjeller. Spillvarme er vanskelig å tilrettelegge for i den eksisterende bygningskroppen da avløpene ikke er tilpasset et utgangspunkt i spillvannsoppsamling.

Varmepumpeenergien kan leveres til ventilasjonslufta ved to alternative metoder. Dersom det velges å installere nye aggregater av typen Swegon Gold RX, har disse mulighet for å leveres med en kompakt reversibel varmpumpe som leverer varme og kjøling direkte fra kretsen med arbeidsmedium til ventilasjonslufta. Alternativt kan varmpumpeenergien leveres til et isvannsystem. Til tross for navnet, kan dette også levere både varme og kjøling, gjennom samme vannbårne batteri [34].

5.5 Nye aggregater

Det er til nå diskutert flere ulike aspekter ved et ventilasjonssystem og vurdert hvilke som egner seg best for Kongens gate 87. Disse settes nå sammen til et komplett anlegg for simulering av energieffektivitet.

I dagens anlegg er det plassert to aggregater i nordre del av bygget utenom kantineaggregatet. Aggregat 360.03 som ventilerer nordre del av bygget fra 1-5 etasje, mens 360.04 ventilerer kjelleren. Luftmengdene i disse sonene er av en slik størrelse at ett enkelt aggregat kan dekke hele luftmengden. Det er dermed ønskelig å se på muligheten for å slå disse sammen til et felles aggregat for å redusere kostnader for nye ventilasjonsaggregater. Dette felles systemet omtales heretter som “Nord”.

5.5.1 Varmegjenvinning

For å gjøre det nye anlegget så energieffektivt som mulig er varmegjenvinner en sentral komponent. Som nevnt i kapittel 2.5.1 er det flere ulike typer varmegjenvinnere som alle har fordeler og ulemper. For å gjenvinne så mye varme som mulig er det ønskelig å bruke typen med høyest mulig virkningsgrad. Dette fører til bruk av roterende varmegjenvinner for alle aggregatene hvor smitte mellom luftstrømmene ikke blir sett på som skadelig. Dette er også den mest brukte i Norge [10]. Ventilasjonsaggregat 360.04 anvender en væskebåren batteriveksler i den eksisterende systemløsningen for å unngå smitte mellom luftstrømmene. Dette vurderes ikke som nødvendig grunnet det begrensede arealet som brukes til fysisk aktivitet og kan innebære smitte av lukt. Denne foreslås dermed erstattet med en roterende varmegjenvinner for øke energieffektiviteten til systemet. Dette gjelder også for den foreslåtte løsning med felles “Nord”.

Kantineaggregatet benytter i den eksisterende systemløsningen også en væskebåren batteriveksler. Denne type varmeveksler unngår smitte mellom luftstrømmene, men har samtidig lav grad av varmegjenvinning. Denne vil derfor bli erstattet med en motstrømsvarmeveksler som unngår den samme smitten, men har høyere virkningsgrad enn batteriveksleren. De ny varmegjenvinnere blir dermed som vist i tabell 5.15.

System	Varmegjenvinner
360.01/02/03/04/Nord	Roterende
360.05	Motstrøms

Tabell 5.15: Varmegjenvinnere nye aggregater

5.5.2 Varme og kjøling

Som nevnt tidligere i kapittelet er det flere måter å tilføre varme og kjøling til ventilasjonslufta. Ved bruk av integrert reversibel varmpumpe i et aggregat leveres løsningen som en del av aggregatet og sparer derfor mye plass. Det gjør også montering lettere ettersom det allerede er implementert i systemet, og behøver ikke et ekstra ledd i prosjekteringsprosessen for varme/kjølesystem, samt at alt kan leveres enkelt fra samme leverandør. Swegon tilbyr aggregater med slik løsning i sin produktlinje, disse aggregatene kalles “Gold RX/HC”, og er en kombinert løsning med roterende varmegjenvinner og reversibel varmpumpe [35]. I tillegg til oppvarming via reversibel varmpumpe inkluderes elektriske varmebatteri for ettervarming ved frostsikring. Aggregater av denne typen ses på som den mest realistiske løsningen å gjennomføre og vil derfor benyttes videre i oppgaven.

Aggregatene med reversibel varmpumpe fra Swegon kan kun leveres som Gold RX enheter, det vil si kun med roterende varmegjenvinner. Det er derfor nødvendig å bruke en separat løsning for varme og kjøling til kantineaggregatet. Den foreslåtte løsningen blir en egen reversibel varmpumpe for å dekke både oppvarming og kjølebehov i systemet. Denne installeres med ett elektrisk varmebatteri for sikkerhet i tilfelle ekstremtemperaturer og frostsikring. Det nye varme og kjølesystemet blir dermed som vist i tabell 5.16.

System	Varme	Kjøling
360.01/02/03/04/Nord	Integrert varmpumpe/elbatteri	Integrert varmpumpe
360.05	Ekstern reversibel varmpumpe/elbatteri	Ekstern reversibel varmpumpe

Tabell 5.16: Varme og kjøling nye aggregater

5.5.3 Justert eksterntrykk

Ettersom ny systemløsning anbefales med endring i luftmengder vil det påvirke det eksterne trykket i systemet. Det nye eksterne trykktapet er estimert ved hjelp av formel 2.7. Ettersom tilnærmet samme kanalnett som eksisterende skal benyttes så vil sammenligning mellom nytt og gammelt trykktap ha tilnærmet samme lengde, friksjonsfaktor og enkeltmotstander. Da lufthastighet er proporsjonal med volumstrøm fås at nytt trykktap tilnærmet med formelen under,

og det kan estimeres et nytt trykktap ved hjelp av dette. Eksponent er tilnærmet 1,4 for tilluft og 1,5 for avtrekk [21]. Eksisterende luftmengder og trykktap brukt er målingene gitt i kapittel 4.3.7, og anleggets nye luftmengder er gitt i tabell 5.10. Trykk som ikke er dokumentert er hentet fra teknisk data gitt i appendiks kapittel A6 eller beregnet ved hjelp av modell i Revit. Nye trykk for ventilasjonssystemene er gitt i tabell 5.18.

$$\Delta P_{ny} = \frac{\dot{V}_{ny}^a}{\dot{V}^a} \cdot \Delta P$$

Forholdstall for beregning av nye trykktap er gitt i tabell 5.17.

System	Tilluft $\frac{\dot{V}_{ny}^2}{\dot{V}^2}$	Avtrekk $\frac{\dot{V}_{ny}^2}{\dot{V}^2}$
360.01	0,72	0,72
360.02	0,57	0,80
360.03	1,11	1,51
360.04	0,49	0,43
360.05	1,23	1,18
Nord	0,81	0,98

Tabell 5.17: Forholdstall luftmengder

Målepunkt	Trykk [Pa]					
	360.01	360.02	360.03	360.04	360.05	Nord
Tilluft	157	130	169	73	105	124
Inntak	-63	-50	-141	-109	-104	-181
Avkast	439	51	112	13	41	77
Avtrekk	-286	-315	-357	-125	-64	-246

Tabell 5.18: Justert trykk for nye luftmengder

5.5.4 Aggregatsimulering

Aggregat av typen Swegon Gold som utgangspunkt for aggregatvalg, plassbehov og tekniske verdier. Det er derfor brukt Swegon “AHU Design” for valg og simulering av aggregatdata. For å beregne effektiviteten av de nye aggregatene behøves eksternt trykkfall ved de nye luftmengdene.

For simuleringen er det derfor brukt anleggets nye luftmengder, gitt i tabell 5.10, og de estimerte trykkene gitt i tabell 5.18. Swegon “AHU Design” gir følgende størrelser og tekniske verdier for simuleringen av aggregatene. Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad er beregnet etter

kravene i NS3031:2016. Simuleringen gir også tekniske data ved fem ulike driftspunkt som vist i appendiks kapittel A7.

Aggregat	Modell	SFPe ved 100% [$\frac{kW}{m^3/s}$]	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad [%]
360.01	RX 050	2,68	75,8
360.02	RX 050	1,51	75,6
360.03	RX 040	2,39	77,1
360.04	RX 020	1,56	73,6
Nord	RX 050	2,40	76,4
360.05	PX 011	1,82	73,4

Tabell 5.19: Nye aggregater

Kapasitet

Minimum og maksimum luftmengde for aggregatmodellene er vist i tabell 5.20.

Modell	Min. luftmengde [m^3/h]	Max. luftmengde [m^3/h]
PX 011	720	3960
RX 020	1080	7560
RX 040	2700	18000
RX 050	2700	18000

Tabell 5.20: Nye aggregater

Under følger kapasiteter og tekniske data fra “Swegon AHU Design”:

Simulering ga verdiene i tabell 5.21 for de elektriske varmebatteriene. Dette er nærmeste tilgjengelig størrelse til faktisk behov. De elektriske varmebatteriene er bare med som sikkerhet for ekstremtemperaturene, og de reversible varmepumpene skal kunne dekke hele temperaturløftet for tilluften.

Aggregat	Effekt [kW]
360.01	42
360.02	42
360.03	33
360.04	21
360.05	6
Nord	42

Tabell 5.21: Effekt elektrisk varmebatteri

Tabell 5.22: Max levert effekt for integrert reversibel varmepumpe i Gold RX/HC aggregatene.

Aggregat	Max effekt varme [kW]	Max effekt kjøling [kW]
360.01	40,17	68,17
360.02	37,0	63,49
360.03	44,83	65,18
360.04	24,31	27,76
Nord	42,85	68,92

Tabell 5.22: Kapasitet integrert reversibel varmepumpe

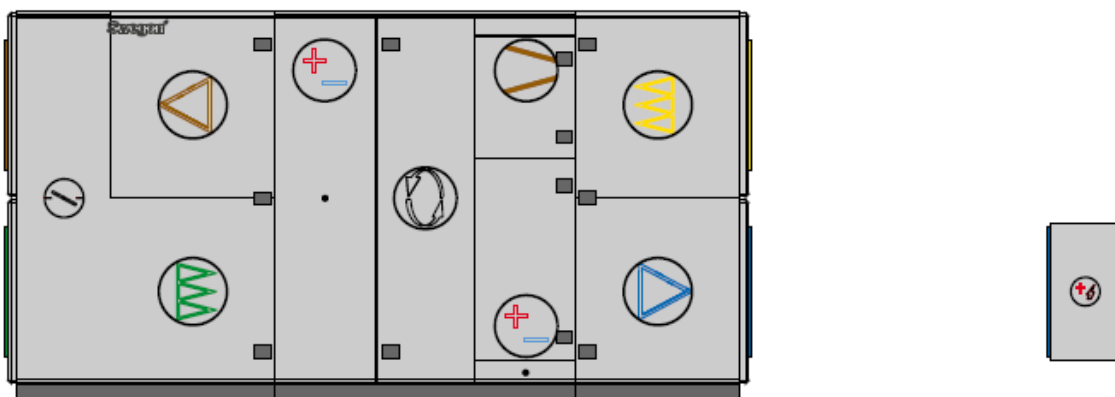
For aggregat 360.05, som styrer kantina, gjelder verdiene i tabell 5.23 for eksterne varme- og kjøleenheter.

Effekt varme [kW]	Effekt kjøling [kW]
17,80	8,01

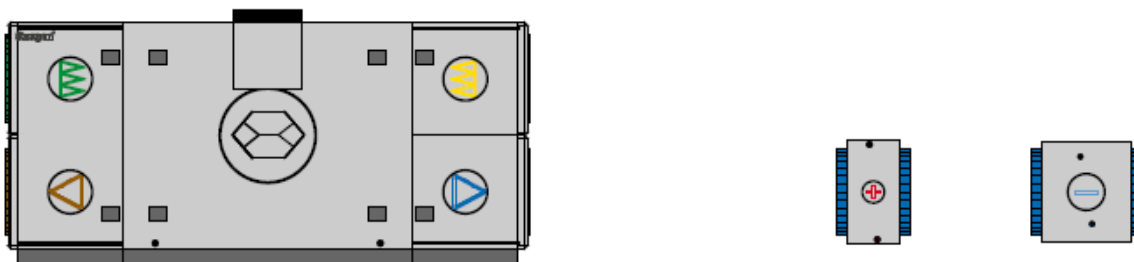
Tabell 5.23: Varme- og kjølebatteri kantine

Oppbygging

Oppbyggingen av aggregatene blir da som vist på figurene under. Som vist leveres Gold PX med eksterne varme- og kjøleenheter.



Figur 5.10: Systemoppbygging GOLD RX/HC



Figur 5.11: Systemoppbygging GOLD PX

Gjennomsnittlig SFP_e

Simuleringen i gir som nevnt tidligere tekniske data ved fem ulike driftspunkt som finnes i appendiks kapittel A7. Om data ved andre luftmengder ønskes, skal det ifølge NS3031:2016 gjøres ved lineær interpolering mellom disse punktene med formel 2.10. Ved lavere luftmengder enn $0,2 \cdot \dot{V}_{dim}$ gjelder verdiene angitt ved $0,2 \cdot \dot{V}_{dim}$ [12]. De ulike driftstidspunktene kan dermed brukes til å finne en gjennomsnittlig SFP_e i driftstid og utenfor driftstid for beregning av energibruk. Gjennomsnittlige luftmengder i driftstid er vist i kapittel 5.3.4, og minimum luftmengder i 5.3.5. Ettersom noen av disse verdiene er lavere enn aggregatets minimum luftmengde må disse heves til aggregatets minimum. Dette gir verdiene i tabell 5.24 verdier for SFP_e .

Anlegg	$SFP_{e,drift}[kW/m^3/s]$	$SFP_{e,u.drift}[kW/m^3/s]$
360.01	1,88	0,57
360.02	1,24	0,53
360.03	1,66	0,62
360.04	1,01	0,61
Nord	1,57	0,47
360.05	1,15	0,68

Tabell 5.24: Gjennomsnittlig SFP_e i drift og utenfor drift

5.5.5 Ny foreslått ventilasjonsløsning

Listen under viser en kort oppsummering av de foreslåtte endringene i ventilasjonssystemet.

- Byggets luftmengder balanseres ved å justere luftmengdene ved å ventilere de ulike etasjene med $3,6m^3/hm^2$ og dimensjonerende personbelastning.
- Byggets ventilasjonssystem endres til behovsstyring
- Nye aggregater installeres med høyere varmegjenvinningsgrad og lavere SFP_e
- Oppvarming og kjøling i de ulike aggregatene dekkes av reversible varmepumper, med elektrisk varmebatteri som sikring

5.6 Simulering av ny løsning med SIMIEN

I denne delen av oppgaven simuleres energibruket og inneklimate til Kongens gate 87 med de nye tiltakene. Det gjennomføres også simuleringer for å bestemme om aggregatene for sone “Nord” skal sammenslås. Verdiene fra simuleringene vil kunne sammenlignes med moderne krav for bygget, og brukes som et grunnlag for effekten av tiltakene. Modellen anvendt til denne simuleringen kan finnes som et digitalt vedlegg med navnet “Kongens gate 87 felles nord”.

Denne simuleringen av bygget vil anvende samme grunnmodell som beskrevet i tidligere. Dette sørger for likt sammenligningsgrunnlag mellom de to ulike simuleringene. Dermed kan de anvendte verdiene for den nye simuleringen finnes i kapittel 4.4.1.

5.6.1 Modell

I kapitelet under vil de nye verdiene for byggets nye ventilasjonssystem beskrives i detalj. Tabellene settes opp med utgangspunkt i at det nye ventilasjonssystemet skal ha ett felles aggregat for sonene “tilleggssone nord” og “nord”. Dermed vil verdiene for aggregatene som skal brukes ved simulering for to separate aggregater for disse sonene settes opp nederst i tabellene. Disse vil ikke bidra til verdien beregnet for totalene.

Styring

Tabell 5.25 viser styringen til ventilasjonsaggregatene som blir lagt inn i SIMIEN-modellene. En oversikt over hvilke aggregater som skal ventilere de forskjellige sonene er vist i figur 5.12.

Styring	Verdi
Drift	07.00-17.00
Behovsstyrt	Alle aggregater
Frikøling	Alle aggregater
Tilluftstemperatur	20°C
Tilluftstemperatur sommer	18°C

Tabell 5.25: Styring system

Sone	Aggregat	Sone	Aggregat
Midt	360.01	Midt	360.01
Sør	360.02	Sør	360.02
Nord	Nord	Nord	360.03
Tilleggssone nord	Nord	Tilleggssone nord	360.04
Teknisk etasje	360.01/02/Nord	Teknisk etasje	360.01/02/03
Kantine	360.05	Kantine	360.05

(a) Felles

(b) Separat

Figur 5.12: Alternative løsninger ventilering

Det er verdt å legge merke til at flere av aggregatene skal ventilere flere soner i bygningen. Dette kan ikke legges inn i SIMIEN, og teknisk etasje er derfor lagt inn som en uventilert sone. Den ekstra luften for denne etasjen tilføres de andre sonene i modellen for å gjøre opp for dette.

Dette vil også ha konsekvenser for ventilasjon av sone nord og tilleggssone nord med et felles ventilasjonsaggregat. Mer om dette forklares i kapittel 5.31.

Aggregater

Tabell 5.26 viser en oversikt over de leverte luftmengdene, SFP_e og varmegjenvinningsgrad til de ny ventilasjonsaggregatene i bygget under drift. Varmegjenvinningsgraden er gjeldende uavhengig av driftsforhold.

Aggregat	Type	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	SFP_e [kW/m^3]	Varmegjenvinningsgrad [%]
360.01	RX 050	11865	11650	1,88	75,8
360.02	RX 050	9979	9112	1,24	75,6
Nord	RX 050	11584	12666	1,57	76,4
360.05	PX 011	2139	2139	1,15	73,4
Totalt	-	35567	35567	1,55	75,7
360.03	RX040	8184	9698	1,66	77,1
360.04	RX020	3401	2969	1,01	73,6

Tabell 5.26: Aggregater drift

Ettersom den leverte luftmengden til de ulike aggregatene vil dekke rom med ulik personbelastning er det ikke gunstig for simuleringen å legge dem inn som VAV-systemer [25]. Derfor legges aggregatene som CAV-systemer med den gjennomsnittlige luftmengden til sonene aggregatet dekker.

Tabell 5.27 viser luftmengdene levert når bygget ikke er i bruk og når ventilasjonsanleggene blir brukt til frikjøling. Verdiene markert i “fet” skrift er minimumsluftmengdene de ulike ventilasjonsaggregatene kan levere. Dette fører til luftmengdene har blitt justert i de ulike sonene for å holde byggets luftmengde balansert, også utenfor driftstid. De faktisk nødvendige luftmengdene kan finnes i kapittel 5.3.

Aggregat	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	SFP_e [kW/m^3]	Tilluft fri [m^3/h]	Avtrekk fri [m^3/h]
360.01	2751	2700	0,57	7591	7316
360.02	2959	2700	0,53	7593	6579
Nord	2700	3010	0,47	6561	7848
360.05	720	720	0,68	751	751
Totalt	9130	9130	0,55	22496	22495
360.03	2700	3169	0,62	5079	6967
360.04	1239	1080	0,61	1482	1080

Tabell 5.27: Aggregater utenfor drift

Tabell 5.28 viser en oversikt over maksimal kapasitet til de vannbårne varme og kjølebatteriene, samt virkningsgradene. Etersom det ikke var mulig å simulere SCOP og $SCOP_R$ i “Swegon AHU design” er det benyttet gjennomsnittsverdier for R410a fra kapittel 5.4.2. Dette er kjølemediet som de reversible varmepumpene i Swegon GOLD RX serien anvender.

Aggregat	Varmebatteri[kW]	SCOP	Kjølebatteri [kW]	$SCOP_R$
360.01	40,2	3	68,2	2,6
360.02	37,0	3	63,5	2,6
Nord	42,9	3	68,9	2,6
360.05	17,8	3	8,0	2,6
Totalt	137,9	3	208,6	2,6
360.03	44,8	3	65,2	2,6
360.04	24,3	3	27,8	2,6

Tabell 5.28: Varme og kjølebatterier

Verdiene for tabellene er utarbeidet i kapittel 5.5 og 5.3.

Simulering forskrifter

Igjen kan ikke de samme verdiene for luftmengder anvendes ettersom evaluering mot byggforskrifter i SIMIEN anvender standardverdier fra NS3031:2014. Fra denne forskriften kommer det fra at det er nødvendig med $6m^3/hm^2$ friskluft i driftstid for ventilasjonsanlegg med behovsstyring [12]. Legg merke til at ved CAV-anlegg er det krav om $7m^3/hm^2$ som ble anvendt ved simulering av den eksisterende løsningen. Krav utenfor driftstid er det samme med $2m^3/hm^2$ friskluft [12].

For å finne luftmengdene ved 6 og $2 m^3/hm^2$ er det benyttet arealene hvert anlegg skal dekke, som vist i kapittel 4.4.1. På anlegg hvor dette gir en luftmengde større enn luftmengden for 100% drift, er et annet anlegg justert opp for å dekke den resterende luftmengden. SFP_e er, som forklart tidligere, beregnet ved interpolering av verdiene gitt i kapittel A7 ved hjelp av formel 2.10. Verdiene fra disse beregningene er gitt i tabell 5.29.

Aggregat	Luftmengde 6 [$\frac{m^3}{h}$]	SFP _e [kW/(m ³ /s)]	Luftmengde 2 [$\frac{m^3}{h}$]	SFP _e [kW/(m ³ /s)]
360.01	14576	2,64	4761	0,71
360.02	11571	1,51	4218	0,58
Nord	13141	2,40	4282	0,47
360.05	2653	1,49	720	0,68
Totalt	41941	2,18	13980	0,60
360.03	9727	2,20	3144	0,66
360.04	3415	1,02	1138	0,60

Tabell 5.29: Luftmengder forskrifter

Energiforsyning

Ettersom oppvarming- og kjølesystemene til ventilasjonsaggregatene er endret til oppvarming ved hjelp av varmpumper vil dekningsgraden til de tekniske systemene ikke lenger være bare el. De nye dekningsgradene blir dermed som vist i tabell 5.30. Det er verdt å legge merke til at dekningsgraden for oppvarmingssystemene for ventilasjonsaggregatene er 100% selv om de har installert elektriske varmebatterier. Dette kommer av de vannbårne varmebatteriene er dimensjonert for 100% kapasitet, og de elektriske varmebatteriene er med som en sikring.

Område	Dekningsgrad El [%]	Dekningsgrad varmpumpe [%]
Romoppvarming	100	0
Oppvarming tappevann	100	0
Varmebatterier ventilasjon	0	100
Kjølebatterier ventilasjon	0	100

Tabell 5.30: Energiforsyning ny løsning

Avvik modell

Slik som nevnt tidligere vil det være avvik i modellen ettersom SIMIEN ikke tillater å legge til flere soner for et ventilasjonsaggregat. Dette har størst effekt for sone nord og tilleggssone nord, ettersom disse vil skal dele ventilasjonsaggregat. Det velges derfor å legge inn et aggregat i hver som har verdiene justert slik at de stemmer overens med verdiene for aggregat “nord”. Disse aggregatene vil ha samme verdi for varmegjenvinning og SFP_e som vist for aggregat “nord” i tabellene 5.26, 5.27 og 5.29. De justerte verdiene er beregnet ved hjelp av forholdstall for nødvendig tilluft i de ulike sonene. De nye verdiene vises i tabell 5.31.

Sone	Tilluft [m^3/h]	Avtrekk [m^3/h]	Varmebatteri [kW]	Kjølebatteri [kW]
Nord	8184	9698	31,2	50,1
Tilleggsone nord	3401	2969	11,7	18,8
Totalt	11586	12668	42,9	68,9
Sone	Luftmengde 6 [m^3/h]	Luftmengde 2 [m^3/h]	Tilluft fri [m^3/h]	Avtrekk fri [m^3/h]
Nord	9727	3144	4856	5809
Tilleggsone nord	3415	1138	1705	2039
Totalt	13142	4282	6561	7849

Tabell 5.31: Avvik modell

5.6.2 Ventilasjon sone nord

Slik som tidligere nevnt ønskes det å undersøke om det er mulig å slå sammen ventilasjonsaggregat 360.03 og 360.04 til et felles aggregat “Nord”. De viktigste faktorene for en slik beslutning er pris og energibruk til de ulike løsningene. Ved å gjennomføre årssimuleringer i SIMIEN for de ulike løsningene kan det oppnås et godt estimat for forventet energibruk. Resultatet fra de ulike årssimuleringene vises i figur 5.13 og 5.14.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	843835 kWh	120,4 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	49768 kWh	7,1 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	893603 kWh	127,5 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	893603 kWh	127,5 kWh/m ²

Figur 5.13: Resultat årssimulering splittet

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	842914 kWh	120,2 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	45081 kWh	6,4 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	887995 kWh	126,7 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	887995 kWh	126,7 kWh/m ²

Figur 5.14: Resultat årssimulering felles

Fra figurene kommer det tydelig frem at det forventede energibruket ved et felles aggregat blir lavere enn ved to separate aggregater. Det fører til en gjennomsnittlig besparelse for bygget på 5608kWh med strøm årlig. Dette er en minimal besparelse, og resultatet fra simuleringene må ses i sammenheng med forventet kostnad for de ulike aggregatene.

Splittet		Felles	
Aggregat	Pris [NOK]	Aggregat	Pris [NOK]
RX 040	498 000	RX 050	551 000
RX 020	331 000	Sum	551 000
Sum	829 000		

Tabell 5.32: Sammenligning pris

Tabell 5.32 gir en prisforskjell mellom to og ett aggregat på 278 000 kr. Ettersom det både er billigere med et felles aggregat for de to sonene, samt det gir et lavere energiforbruk vil dette være den gunstigste løsningen. Videre simulering av den nye løsningen for Kongens gate 87 blir dermed av løsning “Felles”.

5.6.3 Simulering

Ny systemløsningen vil i likhet med simulering av “eksisterende systemløsning” i kapittel 4.4.3 simulere følgende:

- Årssimulering
- Sommersimulering
- Vintersimulering
- Evaluering mot byggforskrifter (TEK17)

Simuleringene vil gi et godt grunnlag for å kunne sammenligne med den eksisterende systemløsningen. Den fulle oversikten over resultatene fra simuleringene er vedlagt oppgaven som digitalt vedlegg.

Det nye forslaget til systemløsningen i Kongens gate 87 innebærer nye kjølebatterier med tilhørende maksimale effekter. Dette muliggjør sommersimulering av bygget uten effektbegrensninger, og verdiene fra denne simuleringen vil dermed bli representativ for bygningen. Vintersimulering vil stadig ikke være hensiktsmessig med effektbegrensning ettersom verdiene for romoppvarming er utilgjengelig. Begge simuleres ved hjelp av n50 temperaturdata.

5.6.4 Resultater SIMIEN

De viktigste verdiene fra SIMIEN-simuleringen av den eksisterende systemløsningen er gitt i tabellene 5.33, 5.34, 5.35 og i avsnitt “simulering mot byggforskrifter”.

Sommersimulering

Sone	Høyeste operativ temperatur [$^{\circ}C$]	Maks installert samtidig effekt kjølebatteri [W/m^2]	Maks nødvendig samtidig effekt kjølebatteri [W/m^2]	Tidspunkt
Sør	26,1	63,6	23,3	16:45
Midt	26,5	68,2	28,6	14:15
Nord	26,2	50,2	19,4	14:15
Tilleggsone nord	23,0	18,8	8,1	17:00
Kantine	27,9	8,0	4,9	17:45
Totalt	27,9	208,8	84,3	-

Tabell 5.33: Utvalgte verdier sommersimulering ny løsning

Vintersimulering

Sone	Laveste operative temperatur [$^{\circ}C$]	Maks installert samtidig effekt varmebatteri [kW]	Maks nødvendig samtidig effekt varmebatteri [kW]	Tidspunkt
Sør	18,7	37,1	36,1	05:30
Midt	18,1	40,2	33,7	06:00
Nord	18,6	31,2	5	06:00
Tilleggsone nord	18,9	11,7	13,8	06:00
Kantine	18,2	15,8	4,6	06:00
Totalt	18,1	137,9	93,2	-

Tabell 5.34: Utvalgte verdier vintersimulering ny løsning

Årssimulering

	Energiforbruk [kWh]	Andel av energiforbruk[%]
Ventilasjonsvarme	130012	14,4
Vifter	44608	4,9
Ventilasjonskjøling	4533	0,5
Romoppvarming	361616	39,9
Totalt for bygg	905486	100
Leverert til bygg	887995	100

Tabell 5.35: Utvalgte verdier årssimulering ny løsning

Evaluering mot byggforskrifter

Fra simuleringen mot kravene i TEK17 kom det frem følgende:

- Bygningen tilfredsstillter ikke energirammen ihht. §14-2 (1)
- Luftmengdene tilfredsstillter ikke minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
- Bygningen tilfredsstillter ikke byggeforskriftenes energikrav

Dette er det samme resultatet som ved simulering av den eksisterende systemløsningen i kapittel 4.4, men luftmengdene tilfredsstillter ikke lenger minstekrav gitt i NS3031:2014. Dette kommer som en konsekvens av at ventilasjonsaggregatene ved “simulering mot byggforskrifter” er lagt inn i modellen med $6\text{m}^3/\text{hm}^2$ tilført med friskluft i driftstiden. Dette vises i figur 5.15.

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	75,8	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,19	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	6,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,07	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	1,03	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	77	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,60	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	29	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Figur 5.15: Luftmengder simulering mot byggforskrifter

Kravene til luftmengder i “simulering mot byggforskrifter” i SIMIEN er $7m^3/hm^2$ og $2m^3/hm^2$ med friskluft i henholdsvis drift og utenfor driftstid for CAV-systemer. Ettersom de nye ventilasjonssystemene er lagt inn i SIMIEN som CAV-systemer som beskrevet i kapittel 5.6.1 vil de følge dette regelverket. Kravene for VAV-anlegg med behovsstyring er derimot lavere med $6m^3/hm^2$ og $2m^3/hm^2$ tilført med friskluft [12]. Forslaget for nytt ventilasjonssystem tilfredsstiller dermed kravene for simulering ettersom alle ventilasjonssystemene er behovsstyrte VAV-anlegg.

5.7 Feilkilder og usikkerhet

I likhet med den eksisterende løsningen i Kongens gate 87 vil forslaget for ny løsning også innebære flere feilkilder. I dette kapittelet vil disse feilkildene drøftes mot resultatet til oppgaven.

5.7.1 Aggregater

Luftmengde

For å finne en tilnærming til reelt energibruk er det benyttet gjennomsnittlig tilstedeværelse for å anslå en gjennomsnittlig luftmengde for bygget under drift. Disse tallene for tilstedeværelse er typiske verdier som er gitt av forskningsprosjekter, men kan i realiteten avvike. Tallet for tilstedeværelse for kontorbygg er satt til 0,2 – 0,6, hvor det er valgt å benytte 0,6. Det vil si at om tilstedeværelsen i realiteten er lavere vil det føre til et lavere energibruk. Dersom tilstedeværelse på 0,2 er tilfelle, vil gjennomsnittlig luftmengde bli på ca $27\ 000\ m^3/h$, noe som betyr reduksjon på ca. 25% i driftstid.

Trykk

Trykkene som er brukt for dagens anlegg er målingene som er presentert i kapittel 4, det er derfor knyttet usikkerhet ved utførelsen av målingene og for selve resultatet av målingene.

Det er også flere ønskede trykk som ikke var mulige å få målt på grunn av systemets oppbygning. For å få en verdi for disse er det brukt verdier for anlegget ved montering, som er flere år siden. Det er også ingen garanti for at disse verdiene er reelle.

Ettersom nye luftmengder er utarbeidet er det også estimert hvordan trykktapet vil være ved disse endrede mengdene. Dette er gjort ved en forenklet formel for trykktap, som i realiteten vil være påvirket av flere faktorer som her neglisjeres. Dette vil derimot påvirkes i kanalnettet for teknisk rom ved ombygging til nytt system.

Resultater fra målingene har gitt svært høye trykktap ved inntak og avkast, noe som påvirker anleggets energibruk. Dette er komponenter som vil bygges om ved oppgraderingen, og vil sannsynligvis føre til et lavere trykktap.

5.7.2 SIMIEN

Grunnmodell

Det er anvendt samme grunnmodell som for simulering av den eksisterende løsningen. Den nye modellen innebærer dermed de samme feilkildene som beskrevet i kapittel 4.5.3 grunnmodell.

Ved å anvende samme modell måtte også flere av aggregatene dekke flere soner som ikke er mulig i SIMIEN. Dermed måtte aggregat “nord” splittes til to mindre aggregater i modellen med justerte verdier for luftmengder og effekten til komponenter. Feilkilden dette innebærer er neglisjerbart for resultatet som beskrevet i appendiks kapittel A5.2.

Virkningsgrader

De årgjennomsnittlige virkningsgradene for varme- og kjølebatteriene i ventilasjonsaggregatene var ikke tilgjengelige ved simulering i “Swegon AHU design”. Verdiene anvendt er dermed gjennomsnittlige forventende verdier for slike systemer ved bruk av medium R410a. Ut fra bruken og systemet som anvender R410a kan den årgjennomsnittlige virkningsgraden variere. Den maksimale usikkerheten dette innebærer er på 3,5% av netto levert energi til bygget. Dette er estimert i appendiks kapittel A5.3.

5.7.3 Total usikkerhet

Mange av verdiene som er brukt for simulering av aggregater i “Swegon AHU Design” kommer fra måleresultatene i kapittel 4. Disse vil derfor inneholde samme usikkerhet som står beskrevet der, som i stor grad kommer av mangel på gode målepunkter. Blant disse er målingene av statisk trykk for kanalsystemet, som er sentrale ved utregning av tekniske data for aggregatene. Ettersom nye luftmengder ble utarbeidet måtte også trykkene justeres for å tilsvare luftmengden, noe som fører til usikkerhet ved estimeringen. Denne estimasjonen er utført ved en forenklet formel for forhold mellom trykktap og luftmengde.

For simulering i SIMIEN gjelder de samme usikkerhetene som i kapittel 4 ettersom samme grunnmodell er brukt. Det vil derimot gi en god indikasjon for hvordan tiltakene vil påvirke energibruket til bygget, da samme bygningskropp er brukt ved begge simuleringer og begge bygger på samme målinger. Resultatene må derfor kun brukes som orienterende, og vil avvike fra virkeligheten.

5.8 Krav og forskrifter

Slik som den eksisterende løsningen vurderes i kapittel 4.6, vil den nye forslåtte ventilasjonsløsningen også vurderes mot kravene i TEK17 og NR444. Det gjelder da spesifikt luftmengder, temperaturer i bygget og energibruken under standardiserte driftsbetingelser fra NS3031:2014.

5.8.1 Luftmengder

De nye luftmengdene for bygget er utarbeidet i kapittel 5.3 og kan sammenlignes med kravene for bygget ved ulike emisjonsfaktorer. Ettersom de nye luftmengdene er utarbeidet med en emisjonsfaktor på $3,6m^3/hm^2$ og $26m^3/h$ per person vil byggets maksimale luftmengder opprettholde minimumskravene i TEK17. De gjennomsnittlige luftmengdene vil derimot være lavere enn dette og tabell 5.36 viser en oversikt over de ulike verdiene.

	$[m^3/h]$
Lav emisjon	37105
Ny maksimal luftmengde	44284
Ny gjennomsnittlig luftmengde	35567

Tabell 5.36: Luftmengder sammenligning krav

Ettersom de gjennomsnittlig leverte luftmengdene i den nye foreslåtte løsningen er lavere enn luftmengdene ved lav emisjonsfaktor kan det fremstå som luftmengdene er for lave. Dette er ikke gjeldende ettersom luftmengdene reguleres etter personbelastningen i bygget, og i perioder med høy personbelastning vil luftmengdene være høyere. Luftmengdene i driftstid opprettholder dermed minimumskravene gitt i TEK17. Dette gjelder også for 6. etasje ettersom denne ikke lenger er en uventilert sone. Rom med forurensende aktiviteter vil som beskrevet i kapittel 5.3 stadig opprettholde kravene til minimumsluftmengder gitt i TEK17 [4].

Den nye foreslåtte løsningen ventilerer også bygget med $0,72m^3/hm^2$ med friskluft utenfor driftstid for å opprettholde kravene gitt i NR444 [16].

5.8.2 Temperaturer

Fra tabell 5.33 kommer det frem at den operative temperaturen i KG87 overskrider kravene til termisk inneklima i TEK17 [4]. Dette er minimalt for de ulike sonene, men med unntak av kantinen som overskrider kravene til operativ temperaturen med $1,9\text{ }^{\circ}C$.

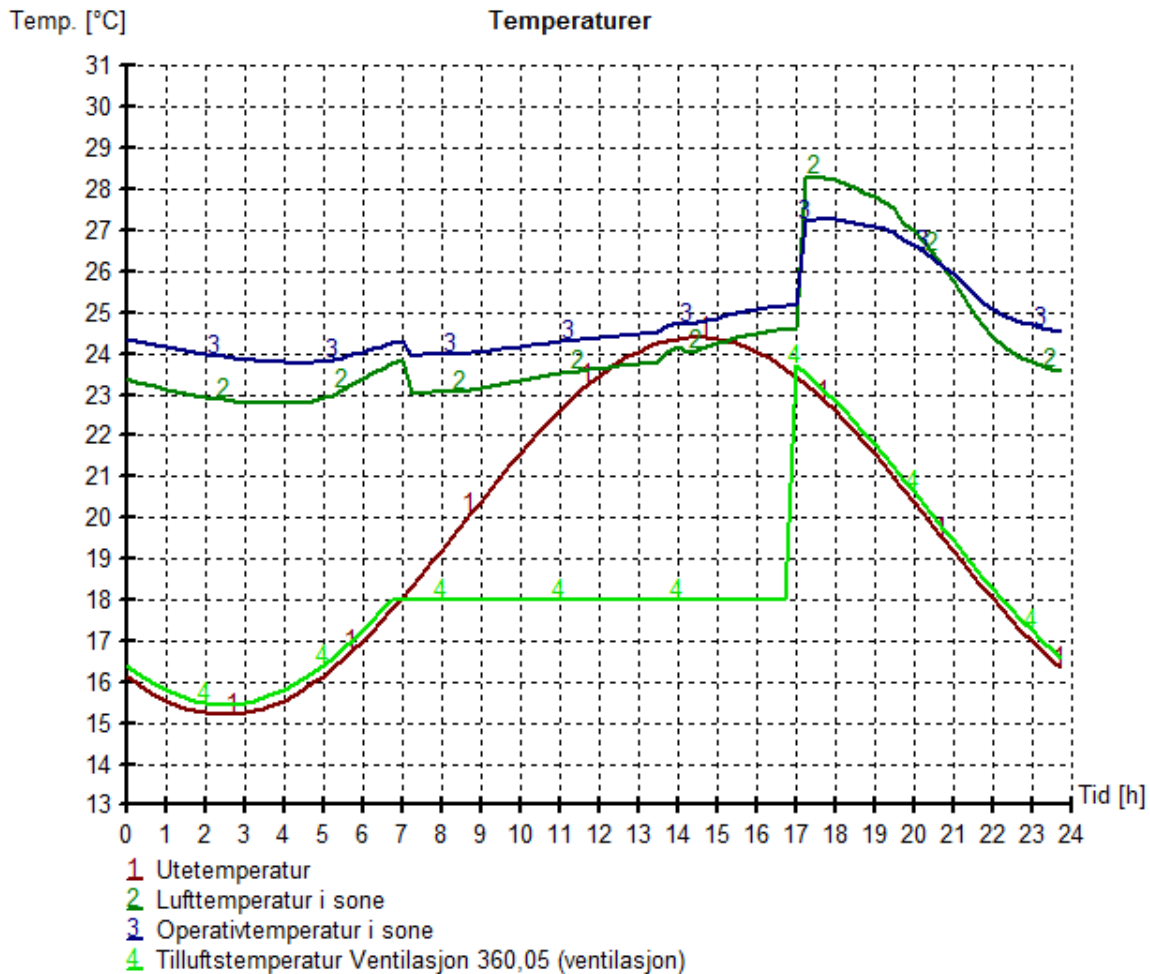
Tabell 5.33 viser også en oversikt over de installerte effektene til kjølebatteriende samt de nødvendige

effektene for de ulike systemene. Fra denne oversikten kommer det frem at den installerte effekten for kjølebatteriene i bygget er betydelig høyere enn den maksimale effekten brukt til simuleringene med henholdsvis 208,6- og 84,3kW. Dette kommer som følge av at ventilasjonssystemene er lagt inn i SIMIEN som CAV-systemer med gjennomsnittlige luftmengder. De maksimale luftmengdene er høyere, og vil bidra til å redusere den operative temperaturen. Simulering av ny sommerperiode med de maksimale luftmengdene for de ulike aggregatene med verdiene i tabell 5.10 ga resultatene vist i tabell 5.37.

Sone	Høyeste operativ temperatur [°C]	Maks installert samtidig effekt kjølebatteri [W/m^2]	Maks nødvendig samtidig effekt kjølebatteri [W/m^2]	Tidspunkt
Sør	25,7	63,6	27,0	16:45
Midt	25,8	68,2	35,6	14:15
Nord	25,5	50,2	24,5	14:15
Tilleggsone nord	22,7	18,8	10,5	17:00
Kantine	27,3	8,0	7,4	17:45
Totalt	27,3	208,8	105,0	-

Tabell 5.37: Utvalgte verdier ny sommersimulering

Fra denne tabellen kommer det frem at alle sonene med unntak av kantine overholder kravene til operative temperaturen i TEK17. Sommersimulering i SIMIEN gir også et detaljert temperaturforløp over den operative temperaturen i sonene. Temperaturforløpet for kantine ved maksimale luftmengder er gitt i figur 5.16.



Figur 5.16: Temperaturforløp kantine maksimale luftmengder

Fra figuren kommer det frem at den operative temperaturen ligger innenfor kravene til TEK17 i hele driftstiden for bygget, men ved 17:00 stiger temperaturen drastisk. Dette kommer som følge av at SIMIEN nå simulerer frikjøling ettersom dette er utenfor driftstid og tilfører bygget luft ved utetemperatur. Ved personbelastning i bygget vil systemene fortsette som normalt, og vil derfor ikke oppleve denne drastiske økningen i temperatur. Dermed vil kantine også ligge innenfor kravene til operativ temperatur.

Etttersom verdiene for det eksisterende oppvarmingssystemet i bygget er utilgjengelige kan ikke resultatene fra vintersimuleringen anvendes for å konkludere for inneklimate i Kongens gate 87. Resultatene fra tabell 5.34 vil likevel tyde på at den operative temperaturen vil ligge innenfor kravene i TEK17. Byggets totale oppvarmingskapasiteten for ventilasjonsaggregatene er høyere enn maksimal nødvendig effekt for oppvarming på henholdsvis 137,9- og 93,2kW. Den lave operative temperaturene i tabellen kommer som følge av driften til oppvarmingssystemet, og ved gjennomgang av temperaturforløpet for de ulike sonene kommer det frem at den operative temperaturen i driftstid vil være høyere.

5.8.3 Energieffektivitet

For å sammenligne energieffektiviteten til Kongens gate 87 mot kravene i TEK17 anvendes simulering ved standard driftsbetingelser. Det samlede netto energibehovet for bygget fra denne simuleringen vises i figur 5.17.

Energiramme (§14.2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	69,4 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	23,1 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	5,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	13,4 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	1,1 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	25,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	6,1 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov	177,6 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	115,0 kWh/m ²

Figur 5.17: Samlet netto energiforbruk ny løsning

Resultatene fra figuren viser tydelig at netto energibehov i bygget overskrider kravene i TEK17. Dermed vil Kongens gate 87 ikke overholde kravene for energibruk selv med de nye forbedringene.

5.8.4 Kjølemedium

De nye foreslåtte kjølesystemene anvender kjølemedium R410a. Dette skal i motsetning til kjølemediet i den eksisterende systemløsningen ikke fases ut. Dermed vil dette være en hensiktsmessig løsning for Kongens gate 87.

5.9 Energibruk

I dette delkapittelet vil effekten av tiltakene for den nye foreslåtte ventilasjonsløsningen med søkelys på energibruk vurderes. Dette gjøres for å sammenligne effekten av den nye foreslåtte systemløsningen for å vurdere om de er gunstige for bygget. Tabell 5.38 viser en oversikt over det simulerte energiforbruket for den eksisterende og nye systemløsningen i bygget.

	Energibruk eksisterende [kWh]	Energibruk ny [kWh]
Ventilasjonsvarme	263 752	130 012
Vifter	84 591	44 608
Ventilasjonskjøling	3 791	4533
Romoppvarming	346 978	361 616
Totalt for bygg	1 063 547	905 486
Levert til bygg	1 154 362	887 995

Tabell 5.38: Utvalgte verdier årssimulering sammenligning

5.9.1 Ventilasjonsvarme

Den leverte energien fra ventilasjonsvarme i bygget har blitt redusert med over 50% for den nye forslåtte løsningen. Dette kommer som en årsak av flere faktorer, hvor den viktigste er den forbedrede varmegjenvinningsgraden til ventilasjonsaggregatene. Ved å blant annet balansere luftmengdene i bygget, samt installere moderne aggregater med høy varmegjenvinningsgrad har den totale varmegjenvinningsgraden for bygget økt til 75,7% fra 49,6%. Dette vil innebære en drastisk reduksjon i energibehovet til ventilasjonsvarme.

Reduksjonen i ventilasjonsvarme vil også bli påvirket av den nye lavere tilluftstemperaturen. Ved å varme opp tilluften mindre, vil energibehovet for ventilasjonsvarme bli redusert, men energibehovet for romoppvarming øke. Dette kommer tydelig frem i tabell 5.38, og den totale reduksjonen for byggets energibehov vil ikke være like betydelig.

5.9.2 Vifter

Energibehovet for viftene har i likhet med ventilasjonsvarmen blitt redusert betydelig. Det nye energibehovet for viftene er redusert med 47% fra tidligere. Dette kommer som en konsekvens av de nye ventilasjonsaggregatene og den reduserte luftmengden i bygget som følge av behovsstyring. De nye ventilasjonsaggregatene innebærer mer effektive vifter som kan levere luft med lavere SFP_e enn tidligere. ved å implementere behovsstyring kan de gjennomsnittlig leverte luftmengdene i bygget reduseres. Dette innebærer videre at energibehovet til viftene vil reduseres som vist i kapittel 2.5.3.

5.9.3 Ventilasjonsskjøling

Fra tabell 5.38 kommer det frem at energibehovet for ventilasjonsskjøling har økt, selv om det installert nye kjølesystemer. Dette fordi det er lavere tilluftstemperaturer i bygget, samt installert kjøling for ventilasjonssystem 360.05. Dermed har dette tiltaket ikke bidratt til redusert energiforbruk, men derimot forbedret inneklimate som beskrevet i kapittel 5.8.

5.9.4 Levert energi til bygg

Verdiene fra simuleringene som vist i tabell 5.38 viser videre at den totalt leverte energimengden til bygget har blitt redusert med 266 367 kWh årlig, men det totale energiforbruket bare 158 061 kWh. Dette kommer hovedsakelig som en følge av de nye varmepumpene i bygningen som leverer mer varme enn de bruker i elektrisk energi. Varmepumpeteknologien bidrar derfor ikke til redusert energiforbruk i bygget, men reduserer nødvendig levert energi ved hjelp av miljøvennlig teknologi.

6 Gevinst

I dette kapittelet ble en økonomisk vurdering av resultatene for den nye foreslåtte løsningen fra kapittel 5 gjennomført. Estimerte kostnader for innkjøp og oppussingarbeid ble vurdert mot tiltakenes effekt for byggets energibruk.

6.1 Estimering av investering

6.1.1 Aggregat

En sentral del av oppgraderingen er utskifting av aggregatene til nye og mer moderne aggregater. Aggregatene anvendt er av typen Swegon Gold, og pris for de ulike aggregatene er gitt av Swegon AS tabell 6.1.

Aggregat	Modell	Pris [NOK]
360.01	RX/HC 050	572 000
360.02	RX/HC 050	556 000
Nord	RX/HC 050	551 000
360.05	PX 011	154 000

Tabell 6.1: Pris aggregat

En utskifting av anlegget krever at nåværende aggregat rives og at de nye blir montert, noe som også innebærer kostnader i tillegg til innkjøp. Dette er priser som er utfordrende å estimere nøyaktig, men erfaringstall gitt av COWI AS gir et godt estimat og benyttes som grunnlag for utregning. Totalpris per aggregat inkludert riving og montering blir da som vist i tabell 6.2. Aggregat 360.05 er ikke levert med integrert varme og kjølesystem som de andre aggregatene, og det kreves et eksternt system. Prisen for denne eksterne løsningen er også inkludert i erfaringstallene fra COWI AS.

Aggregat	Modell	Pris [NOK]
360.01	RX/HC 050	1 000 000
360.02	RX/HC 050	1 000 000
Nord	RX/HC 050	1 000 000
360.05	PX 011	800 000
SUM	-	3 800 000

Tabell 6.2: Pris aggregat inkl. riving og montering

6.1.2 Prisestimering DCV-komponenter

Komponentene brukt for estimering av pris for DCV-systemet leveres av TROX AS. Prislister for 2019 [36] benyttes for alle produkter. Komponenter som inngår for å estimere pris er LEO-spjeld, takmonterte bevegelsessensorer og kombinert CO₂/temperatur sensorer. Oversikt over enhetspriser for disse komponentene er gitt i tabell 6.3.

LEO-spjeld		Sensorer	
Dim.	Enhetspris [NOK]	Sensor type	Enhetspris [NOK]
ø125	2474	CO ₂ /temperatur	3005
ø160	2529	Bevegelse, tak	1020
ø200	2585		
ø250	2729		
ø315	2923		
ø400	3304		
ø500	3690		

Tabell 6.3: Enhetspris DCV-komponenter

Antall DCV-spjeld for behovsstyring på romnivå er bestemt ved hjelp av modell av kanalsystemet designet i Revit, som vist i appendiks kapittel A8. Denne ble også brukt for å plassere nødvendige DCV-spjeld for å gi tilfredsstillende styring på romnivå. Dette er ikke en detaljert prosjektering, og kan ikke brukes som bygg grunnlag, men er ment for å gi en representativ estimering av investering nødvendig for å gjennomføre løsningen. Antall DCV-spjeld av forskjellige størrelser gitt fra denne metoden, blir grunnlaget for estimeringen og gjengis i tabell 6.4.

Dim.	Antall	Pris (NOK)
ø125	23	56 902
ø160	159	402 111
ø200	40	103 400
ø250	63	171 927
ø315	15	43 845
ø400	2	6 608
ø500	2	7 380
Sum	304	792 173

Tabell 6.4: Kostnadsestimering VAV-spjeld

Kostnadsestimeringen for sensorer er beregnet i tabell 6.5. Antall sensorer er beregnet fra rombeskrivelse oversikten som finnes i appendiks kapittel A3. Det er gjort antagelsen at alle rom som har minst én person som forventet personbelastning, har behov for en bevegelsessensor.

Videre er det også antatt at dersom et rom har en forventet personbelastning på to eller mer, har det behov for både bevegelsessensor og CO₂/temperatur-sensorer. Disse antagelsene gir antallet i tabell 6.5, med tilhørende total pris for disse sensorene.

Sensor type	Antall	Pris (NOK)
CO ₂ /temperatur	98	294 490
Bevegelse, tak	132	134 640
Sum	-	429 130

Tabell 6.5: Kostnadsestimering DCV-sensorer

Montering av behovsstyring i bygget vil involverer betydelige monteringskostnader. Det vil også være behov for styringsenheter til hvert aggregatsystem, samt signalkabler for å knytte hele behovsstyringsanlegget sammen. Ved hjelp av erfaringstall kan kostnaden for en slik installasjon estimeres. I følge K. Følstad seksjonsleder VVS i COWI AS (2020 personlig meddelelse) kan kostnadene estimeres ved hjelp av prisene i tabell 6.6.

	Pris [NOK]
Montering VAV-spjeld par	6 000
El VAV-spjeld par	10 000

Tabell 6.6: Pris montering VAV-spjeld

Erfaringstall fra tabellen gir et estimat på ca. 16000 NOK for styring og montering av to stk VAV-spjeld inkludert el-kostnader. Med tilnærmingen av nødvendige spjeld i tabell 6.4, er det 152 par VAV-spjeld. Dette gir en pris for implementering av styring pluss montering: $152 \times 16000\text{NOK} = 2432000\text{NOK}$.

6.1.3 Total estimert investering

Total estimert investering for oppgradering av ventilasjonssystemet blir summen av kostnadene for nye ventilasjonsaggregater og VAV-spjeld gitt i tabell 6.7.

Delsum	Kostnad i NOK
Sum spjeldkostnader	792 173
Sum sensorkostnader	429 130
Sum montering behovsstyring	2432000
Sum innkjøp og installasjon aggregater	3 800 000
Total Investering	7453303

Tabell 6.7: Summering kostnadsestimeringer

Fra tabell 6.7 kommer det frem at den totale investeringen for ny foreslått løsning blir ca. 7,5 millioner NOK.

6.2 Utbytte

Den faktiske reduksjonen i energibruk kan ikke finnes før ny foreslått systemløsning er implementert i bygningen. Det kan derimot utarbeides et estimat for forventet reduksjon i energibruk ved hjelp av simulering for det forventede energibruket. I kapittel 5.9.4 kommer det frem en forventet reduksjon i den totale leverte energimengden til Kongens gate 87 på ca. 266 000 kWh. Dette innebærer en reduksjon i den leverte energimengden på 23,1%.

6.3 Økonomisk vurdering

For å vurdere lønnsomheten av den nye foreslåtte løsningen er det brukt tilbakebetalingsmetoden. Denne sammenligner investeringen mot årlig inntjening, som i denne sammenheng blir reduksjon i energibruk, og angir hvor mange år det vil ta før investeringen er inntjent. For beregninger av energikostnader antas et gjennomsnittstall for strømpris på 1 kr/kWh. Beregning for inntjeningstiden ser vekk fra driftskostnader for ventilasjonssystemet. Dette fordi driftskostnadene antas å være like for den eksisterende systemløsning og ny foreslått systemløsning. Dermed er driftskostnader ikke inkludert i den økonomiske analysen. Resultatet fra denne analysen er vist i tabell 6.9.

	Verdi
Redusert energibruk	266 367 kWh
Strømpris	1kr/kWh
Årlig besparelse	266 367 kr

Tabell 6.8: Årlig besparelse

	Verdi
Investering	7453303 kr
Årlig besparelse	266 367 kr
Tilbakebetalingstid	27,9 år

Tabell 6.9: Tilbakebetalingstid

Tilbakebetalingstiden blir som vist over på omtrent 28 år ved antatt strømpris. Den antatte levetiden for slike ventilasjonssystemer varierer fra system til system og avhenger både av hvordan det driftes, og hvordan det vedlikeholdes. Levetiden for ventilasjonsaggregater varierer typisk mellom 15-20år, og kanalanlegget mellom 15-30år [22]. Levetiden for den nye forslåtte

ventilasjonssystemets i KG87 vurderes derfor til 20 år grunnet de nye aggregatene. Det vil det dermed ikke være økonomisk gunstig å utføre den nye foreslåtte systemløsningen på bakgrunn av reduksjon i energibruk.

Ettersom levetiden vurderes til 20 år og inntjening fra reduksjon i energibruk er kjent, kan den maksimale investeringskostnaden utledes. Denne blir $20\text{år} \times 266367 \text{ NOK/år} = 5327340 \text{ NOK}$. Dermed måtte en ny systemløsning bidra til samme reduksjon i energibruk, men med en investeringskostnad på ca. 5,3 millioner NOK for å oppnå gevinst.

6.4 Andre gevinster

Selv om den økonomiske vurderingen ut fra energibruk tilsier at denne oppgraderingen ikke lønner seg, gir en ny løsning for ventilasjonssystemet flere fordeler enn dette. Noen av disse er vist under:

- Reduksjon i levert energi vil gjøre bygningen mer miljøvennlig.
- Resultatene fra den foreslåtte nye systemløsningen tilsier kravene i NR444 oppfylles.
- Resultatene fra den foreslåtte nye systemløsningen tilsier kravene til inneklima og helse i TEK17 vil oppfylles.
- Resultater fra simuleringer tyder på det termiske innemiljøet i bygget vil forbedres.
- Det eksisterende ventilasjonssystemet nærmer seg slutten av sin levetid, og bør uavhengig av ny systemløsning erstattes.
- Bedringen i ventilasjonssystemet vil gjøre bygningen mer attraktiv for leietakere.

Det er dermed flere grunner som tilsier at en oppgradering av ventilasjonssystemet kan være gunstig. Det er spesielt to grunner som er verdt å legge merke til ut fra et økonomisk standpunkt.

Den første er at det eksisterende ventilasjonssystemet nærmer seg slutten av sin levetid ettersom forrige renovasjon ble gjort i 2004. Levetiden for ventilasjonssystemer regnes å være på 20 år [22], og en oppgradering av systemet bør dermed vurderes uavhengig om ønsket forbedret energibruk. Dermed selv om resultatene fra oppgaven tyder på den nye foreslåtte systemløsningen ikke er økonomisk gunstig ut fra bedring i energibruk, kan løsningen sett i sammenheng med behov for oppgradering forsvares.

Den andre grunnen er at Kongens gate 87 i Trondheim blir brukt til utleie. Verdien for bygningen vil høyst sannsynlig øke ved oppgradering av ventilasjonssystemet. Dette kan videre overføres til prisen utleierne kan forvente for utleie av eiendommen. Resultatene tilsier også at den nye foreslåtte systemløsningen vil tilfredsstille kravene i NR444, og kravene til inneklima i TEK17. Dette vil igjen sannsynligvis øke verdien utleierne kan forvente å få for eiendommen. Dermed

kan en slik oppgradering også være økonomisk forsvarlig selv om reduksjonen i energibruk ikke tilbakebetaler ventilasjonssystemet innenfor levetiden.

7 Generalisering

7.1 Kongens gate 87

Det er mange faktorer som påvirker om resultatene fra Kongens gate 87 kan anvendes som et investeringsgrunnlag for andre bygninger. Den største faktoren vil være likheten mellom Kongens gate 87 og bygget som skal vurderes. Dette gjelder spesifikt faktorene:

- Tidsperiode bygget
- Størrelse bygg [m^2]
- Bruksområde for bygg
- Renovasjoner

Tidsperioden bygningen ble oppført har stor betydning for energibruket til ventilasjonssystemene i bygningen samt isolasjonsevnen til bygningskroppen. Bygg som er oppført ved andre tidsperioder kan dermed avvike betydelig i energibruk og nye tiltak i bygget vil ikke nødvendigvis ha lignende effekt. Dette gjelder også eventuelle renovasjoner som kan ha effekt for energibruket i bygninger. Størrelsen på bygget vil også ha innvirkning for effekten av mulige tiltak ettersom de tekniske systemenes oppbygging vil variere. Det vil eksempelvis være ønskelig med små investeringskostnader for mindre installasjoner ettersom energibespareningene kan være minimale. Bruksmåten til de ulike bygningene vil også ha stor innvirkning på effekten av nye tiltak.

Kongens gate 87 er dermed representativt for bygninger bygget i perioden 1969-1985. Dette fordi bygninger fra denne perioden følger samme byggeforskrift, som vil ha stor innvirkning for energibehovet til bygget. Bygget har derimot hatt betydelige inngrep i bygningskroppen og nye ventilasjonssystemer har blitt installert i perioden 1995-2004. Energibruket for den eksisterende løsningen i Kongens gate 87 kan dermed være bedre enn for bygg oppført i samme tidsperiode. Bruksarealet i bygget er estimert fra tegninger på $7010m^2$, og resultatene vil dermed være gjeldende for bygninger i samme størrelsesområde. Dette settes til 5000-10000 m^2 . KG87 blir som nevnt tidligere brukt som kontorbygg, og vil dermed være representative for bygninger med samme bruksmønster.

Resultatene fra Kongens gate 87 kan dermed ha mulighet for å være representative for følgende:

- Bygninger oppført i perioden 1969-1985 med omfattende renovasjoner
- BRA 5000-10000 [m^2]
- Kontorbygg

7.2 Resultater

Fra oppgaven kommer det frem at det årlige energibruket til Kongens gate 87 kan potensielt reduseres med 23,1% med en investering på ca. 7,5 millioner NOK. Dette utgjør en kostnad på omtrent $1060kr/m^2$ med BRA i bygget.

7.3 Bruk av erfaringer

Mulighetsstudiet i Kongens gate 87 gir et godt estimat for energibesparingen som kan forventes for en ny mulig løsning i bygget. Likevel kan det ikke trekkes konklusjoner for andre bygninger ut fra dette resultatet. Hvis en slik generalisering skal være mulig bør det gjøres flere mulighetsstudier på flere lignende bygg for å finne trender ved resultatene. Det er først når slike trender er blitt kartlagt at det blir mulig å trekke konklusjoner for andre bygninger i samme kategori.

8 Konklusjon

Målinger av eksisterende ventilasjonssystem i Kongens gate 87 dokumenterer at bygget ikke tilfredsstiller krav og forskrifter i TEK17 og NR444. Dette kommer frem fra SIMIEN-simulering av byggets energibruk basert på fysiske målinger gjort på anlegget og resultatene fra kartlegging av systemet. Systemet inneholder en rekke komponenter som ikke er energieffektive i forhold til dagens standard. Eksempelvis bruk av væskebårne varmegjenvinningsbatterier med lav virkningsgrad og elektriske varmebatterier. Den eksisterende løsningen driftes som CAV-system med styring etter utetemperatur, noe som fører til unødvendig ventilering i forhold til byggets faktiske behov. Det er derfor mulig å forbedre systemets energibehov ved en oppgradering av systemets aggregater og implementering av behovsstyring i bygget.

Ved utarbeidelse av ny systemløsning er det flere ulike ventilasjonsløsninger som kan brukes, men for Kongens gate 87 vurderes sentralisert ventilasjonsanlegg som det gunstigste. Dette bygger videre på eksisterende løsning hvor alle aggregat er plassert i samme tekniske etasje. Implementering av behovsstyring i anlegget gjør det mulig å ventilere etter byggets behov og vil derfor spare energi ved å unngå unødvendig ventilering. Den nye foreslåtte systemløsningen i Kongens gate 87 anvender aggregatserien av typen Swegon Gold som referanseaggregater. Disse har nye og mer effektive varmegjenvinnere, samt varme og kjøling med reversibel varmepumpe som energikilde sikrer økt energieffektivitet og lavere energibruk. Virkningen av tiltakene i Kongens gate 87 er simulert ved hjelp av SIMIEN basert på samme grunnmodell som ved simulering av eksisterende løsning. Resultatene fra simulering og gjennomgang av ny løsning tyder på tilfredstilte krav gitt i NR444 og kravene til inneklime og helse i TEK17.

En sammenligning av resultatene fra SIMIEN tilsier at tiltakene vil føre til en årlig energibesparelse på ca 266 000 kWh, som tilsvarer en reduksjon på 23,1%. Kostnaden for en slik utbedringen blir på ca 7,5 millioner kr, og tilbakebetalingstiden blir dermed på ca. 28 år. Levetiden for det nye foreslåtte ventilasjonssystemet antas å være på 20 år [22]. Konklusjonen blir derfor at en utbedring ved hjelp av den nye foreslåtte systemløsningen ikke vil være økonomisk forsvarlig ut fra reduksjon i energibruk alene. Oppgradering av ventilasjonssystemet kan derimot også bidra til økte leieinntekter for eierne av bygningen, og tiltaket kan derfor bli økonomisk lønnsomt. Andre fordeler ved oppgradering av ventilasjonssystemet er bedret inneklime og et mer miljøvennlig bygg.

Den nye foreslåtte systemløsningen er en av flere mulige. Det kan derfor forekomme andre resultater ved å foreta en annen type utbedring i bygget.

Mulighetsstudiet i Kongens gate 87 gir et godt estimat for energibesparingen som kan forventes for

en ny mulig løsning i bygget. Om flere studier blir foretatt på bygg med lignende forutsetninger, kan det være mulig å lage en generalisering for utbedringer av eldre ventilasjonsanlegg. Ofte nærmer eldre ventilasjonsanlegg seg slutten av sin levetid og må uansett byttes, det kan bli en god mulighet for installering av miljøvennlige og energieffektive utbedringer i bytte mot noe ekstra investering.

Videre arbeid

Denne oppgaven har tatt for seg energibruken til Kongens gate 87 med hovedfokus på byggets ventilasjonssystem. Arbeidsomfanget oppgaven tar for seg er begrenset av både tiden til rådighet for oppgaven og selve bygget som blir undersøkt. Gjennom arbeidsforløpet ble det derfor oppdaget flere ting som kan undersøkes nærmere. Disse er gitt i punktene nedenfor.

- Gjennomføre grundigere målinger over en lengre tidsperiode for ventilasjonssystemet i bygget, for derved å øke presisjonen i energianalysen.
- Gjennomføre målinger av bygningskroppen for å kartlegge de faktiske U-verdiene og lekkasjetallet for å få å øke presisjonen til energiberegningene.
- Etter en eventuell oppgradering vil det være viktig å gjennomføre nye målinger for å sjekke at praksis ble slik som teorien tilså. Ved gode resultater kan dette bygget bli en god analog for andre eldre systemer.
- Undersøke flere mulige systemløsninger som kan redusere energibruken til bygget for lavere investeringer. Resultatet fra oppgaven er for en mulig systemløsning, men det er mange muligheter for å redusere energibruken.
- Det er mange faktorer som påvirker energibruken til et bygg, ventilasjonssystemet er en av mange. Videre arbeid kan dermed være å undersøke flere fagområder for å bedre energibruken.
- For å kunne generalisere resultatene fra denne oppgaven slik de kan brukes som et investeringsgrunnlag for lignende bygninger, må flere mulighetsstudier gjennomføres. Ved å analysere trendene for flere bygninger i samme kategori kan det dannes et grunnlag for andre bygninger.

Referanser

- [1] Haugen H, Mysen M. 379.310: Plassbehov og plassering av tekniske rom for ventilasjonsanlegg. In: Byggforskserien. © SINTEF Byggforsk; 2001. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3003/plassbehov_og_plassering_av_tekniske_rom_for_ventilasjonsanlegg.
- [2] Statkraft. Statkraft Fjernvarmekart, Trondheim; 2020. Online: Hentet 5. mai 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.statkraftvarme.no/om-statkraftvarme/vare-anlegg/norge/trondheim/>.
- [3] Stene J. 4.7: Varmepumper - Grunnlag. In: Prenøk. Skarland Press AS; 2016. .
- [4] Direktoratet for byggkvalitet. Byggteknisk forskrift (TEK17). 2017; Online: Hentet 20. februar 2020. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [5] BYGGEFORSKRIFTER av 1. august 1969 utferdiget i henhold til § 6 i bygningsloven av 18. juni 1965. 1969; Online: Hentet 17 mars 2020. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/9dcd44af30c744ea999f0d122fdc1c3c/byggforsk_010869.pdf.
- [6] Byggforskrift 1987. 1987; Online: Hentet 18 mars 2020. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/pro/#document/SFO/forskrift/1987-05-27-458/KAPITTEL_5-3-1.
- [7] Rett og slett en veiledning til Byggforskrift 1987. 1987; Online: Hentet 18 mars 2020. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/rett-og-slett.-veiledning-til-byggforskrift-1987_illustrert.pdf.
- [8] Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK) Fastsett av Kommunal- og regionaldepartementet 22. januar 1997 nr. 33, med ikrafttreden 1. juli 1997. 1997; Online: Hentet 18 mars 2020. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/pro/#document/SFO/forskrift/1997-01-22-33>.
- [9] Teknisk forskrifter til plan. og bygningsloven 1997, Ajourført med endringer senest ved forskrift 26.januar 2007 nr.96. 2007; Online: Hentet 18 mars 2020. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/tekniske_forskrifter_2007.pdf.
- [10] Ingebrigtsen S. Ventilasjonsteknikk - Del 1. Skarland press AS; 2019.
- [11] Entra. Kongens Gate 87; 2020. Online; hentet 14. februar 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.entra.no/properties/kongens-gate-87/114>.
- [12] Standard Norge. SN/TS 3031:2016. Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning. 2016; Online: Hentet 27 mars 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=859500>.
- [13] Swegon. Sizing, Installation, Dimensions and Weights. 2020; Online: Hentet 13. mars 2020. Tilgjengelig fra: http://www1.swegon.com/Global/PDFs/Air%20handling%20units/GOLD%20version%20F/General/_en/GOLD_RX_F_dimensioning.pdf.
- [14] Rolstadås A, Olsson N, Johansen A, Langlo JA. Praktisk prosjektledelse. Fagbokforlaget; 2016.
- [15] Asphaug SK. 473.003: Energieffektive bygninger. In: Byggforskserien. © SINTEF Byggforsk; 2015. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4153/energieffektive_bygninger_begreper_og_definisjoner.
- [16] Arbeidstilsynet. Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. 2016; Online; hentet 20. februar 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/3f86f6d2038348d18540404144f76a22/luftkvalitet-pa-arbeidsplassen.pdf>.
- [17] Mysen M, Schild PG. Behovsstyrt ventilasjon, DCV - krav og overlevering. SINTEF akademisk forlag; 2013.

- [18] Mysen M, Schild PG. Behovsstyrt ventilasjon, DCV - forutsetninger og utforming. SINTEF akademisk forlag; 2014.
- [19] Maripuu ML. Demand controlled Ventilation (DCV) Systems in Commercial Buildings: Functional requirements on Systems and Components. Chalmers University of Technology. SE-412 96 Göteborg, Sverige; 2009.
- [20] Thunshelle K, Segtnan IL. 552.323: Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper. In: Byggforskserien. © SINTEF Byggforsk; 2016. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt_ventilasjon_dcv_prinsipper#.
- [21] Ingebrigtsen S. Ventilasjonsteknikk - Del 2. Skarland press AS; 2019.
- [22] Johansen BS, Polak K, Ingebrigtsen S, Olsen T, Øvergaard T, Retterstøl EB. In: Ventøk. Skarland Press AS; 2019. .
- [23] Olsen S. Motorens merkeskilt; 2017. Online: Hentet 12. mars 2020. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/subjects/subject:16/topic:1:140012/topic:1:194156/resource:1:142175>.
- [24] Swegon. AHU Design; 2020. Online: Hentet 08. mai 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.swegon.com/no/support/software/ahu-design/>.
- [25] Programbyggerne. SIMIEN Wiki. 2020; Online: Hentet 27. mars 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/>.
- [26] Programbyggerne. Simien. 2020; Online: Hentet 27. mars 2020. Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/>.
- [27] Stensaas LI. Ventilasjonsteknikk. Gyldendal yrkesopplæring; 2001.
- [28] Bøhn TI. Energirammer bygningskategorier; 2015. Online: Hentet 16. april 2020. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/energi/beregningsgrunnlag-for-nye-energirammer-i-tek-2015.pdf>.
- [29] KLIMASERVISESENTER N. NORSK KLIMASERVISESENTER. 2020 April; Online: Hentet 17. april 2020. Tilgjengelig fra: <https://seklima.met.no/observations/>.
- [30] Standard Norge. NS 3031:2014. Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning. 2014; Online: Hentet 27 mars 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386>.
- [31] VVSForum. Fire år igjen for R404A; 2016. Online: Hentet 28. april 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.vvsforum.no/2016/fire-ar-igjen-for-r404a/>.
- [32] Mysen M, Segtnan IL. 552.324: Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Krav ved innkjøp og kontroll ved overlevering. In: Byggforskserien. © SINTEF Byggforsk; 2016. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/5163/behovsstyrt_ventilasjon_dcv_krav_ved_innkjoep_og_kontroll_ved_overlevering.
- [33] Lund H. 4.15: Kompressorer i kulde- og varmeanlegg. In: Prenøk. Skarland Press AS; 2015. .
- [34] Novema Kulde AS. Isvann eller DX kjøling?; 2020. Online: Hentet 7. mai 2020. Tilgjengelig fra: <http://www.novemakulde.no/>.
- [35] Swegon. GOLD RX/HC, The air handling unit with a revirsible heat pump; 2020. Online: Hentet 11.mai 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.swegon.com/>.
- [36] TROX Auranor Norge. TROX Auranor Prislister 2020. 2020; Online: Hentet 13. mai 2020. Tilgjengelig fra: https://www.trox.no/downloads/e951da9fffae129e/Prislister_NO_2020-Rev-10-web.pdf.

-
- [37] ROTRONIC Instruments. ROTRONIC CP11 Technical Information. 2020; Online: Hentet 20. februar 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.rotronic.com/en/humidity-measurement-feuchtemessung-temperaturmessung/co2/handheld-instruments/cp11.html>.
- [38] HIOKI EE Corporation. MEMORY HiLOGGER 8430-20. 2009; Online: Hentet 19. februar 2020. Tilgjengelig fra: <http://www.hioki.cn/product/pdf/8430-20E6-99E-02KRs.pdf>.
- [39] VWR. Kontakttermometer elektronisk VT-5. 2020; Online: Hentet 19. februar 2020. Tilgjengelig fra: <https://no.vwr.com/store/product/597749/kontakttermometer-elektronisk-vt-5>.
- [40] TSI Incorporated. VELOCICALC® Multi-Function Ventilation Meter. 2020; Online: Hentet 30. april 2020. Tilgjengelig fra: [https://www.rental.no/content/mma/publish/00/33/3337/TSI+9565+Datasheet\(EN\).pdf](https://www.rental.no/content/mma/publish/00/33/3337/TSI+9565+Datasheet(EN).pdf).
- [41] Comefri. Radial Fans Double Inlet. 2008; Online: Hentet 13. april 2020. Tilgjengelig fra: https://www.comefri.com/sitoweb/images/catalogues/C-0024_TLZ-THLZ_04-08.pdf.

Appendiks

A1 Digitale vedlegg

A1.1 Arbeidsgrunnlag

Tabell A1.1 viser en oversikt over filer i digitalt vedlagte dokumenter som ble gjort tilgjengelig fra byggherren Entra ASA for å muliggjøre denne oppgaven.

Beskrivelse/tittel	Filnavn
Brannteknisk tegning plan kjeller	Br100.dwg
Brannteknisk tegning plan 1.etasje	Br101.dwg
Brannteknisk tegning plan 2.etasje	Br102.dwg
Brannteknisk tegning plan 3.etasje	Br103.dwg
Brannteknisk tegning plan 4.etasje	Br104.dwg
Brannteknisk tegning plan 5.etasje	Br105.dwg
Brannteknisk tegning plan 6.etasje	Br106.dwg
Som bygget tegning 1.etasje	Plan 1. Etasje_som bygget.dwg
Som bygget tegning 2.etasje	Plan 2. Etasje_som bygget.dwg
Som bygget tegning 3.etasje	Plan 3. Etasje_som bygget.dwg
Som bygget tegning 4.etasje	Plan 4. Etasje_som bygget.dwg
Som bygget tegning 5.etasje	Plan 5. Etasje_som bygget.dwg
Som bygget tegning 6.etasje	Plan 6. Etasje_som bygget.dwg
Som bygget tegning kjeller	Plan U. Etasje_som bygget.dwg
Ventilasjonsanlegg 1. etasje	V101_07.10.2016.pdf
Ventilasjonsanlegg 2. etasje	V102_07.10.2016.pdf
Ventilasjonsanlegg 3. etasje	V103_07.10.2016.pdf
Ventilasjonsanlegg 4. etasje	V104_07.10.2016.pdf
Ventilasjonsanlegg 5. etasje	V105_07.10.2016.pdf
Ventilasjonsanlegg 6. etasje	V106_07.10.2016.pdf

Tabell A1.1: Oversikt av filer tilgjengelig som arbeidsgrunnlag

A1.2 Utarbeide filer

Tabell A1.2 viser vedlagte filer som er utarbeidet gjennom oppgavens forløp.

Beskrivelse/tittel	Filnavn
Revit modell	KG87 VAV ROM.rvt
Simuleringsmodell eksisterende løsning	Kongens gate 87 Endelig eksisterende løsning.smi
Simuleringsmodell ny løsning felles nord	Kongens gate 87 felles nord.smi
Simuleringsmodell ny løsning separat nord	Kongens gate 87 separat nord.smi
Evaluering byggforskrifter eksisterende løsning	Evaluering eksisterende.pdf
Vintersimulering eksisterende løsning	Vintersimulering eksisterende.pdf
Sommersimulering eksisterende løsning	Sommersimulering eksisterende.pdf
Årssimulering eksisterende løsning	Årssimulering eksisterende.pdf
Evaluering byggforskrifter ny løsning	Evaluering felles nord.pdf
Vintersimulering ny løsning	Vintersimulering felles nord.pdf
Sommersimulering ny løsning	Sommersimulering felles nord.pdf
Årssimulering ny løsning	Årssimulering felles nord.pdf

Tabell A1.2: Oversikt av utarbeidede filer

A2 Utstyr

A2.1 Rotronic CP11

Rotronic CP11 er en håndholdt datalogger som kan vise relativ fuktighet, temperatur CO₂. Den kan også regne ut duggpunktet fortløpende. Apparatet kan måle CO₂ mellom [0 ppm, 5000 ppm] med en usikkerhet på: $\pm 30 \text{ ppm} \pm 5\%$ av målt verdi, RF (relativ fuktighet) mellom [0.1%, 99.95%] med en usikkerhet på: $\pm 3\%$, og temperatur mellom [-20°C , 60°C] med en usikkerhet på: 0.3 K. Alle usikkerhetene er gitt ved $23^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ K}$. [37]



Figur A2.1: ROTRONIC CP11, Håndholdt datalogger

A2.2 MEMORY HiLOGGER 8430-20

Hioki Memory HiLOGGER er en personlig datalogger, og kan bruke termoelement (to tynne ledninger laget av to forskjellige metall) for å måle temperatur. Disse ledningene har en spesifikk elektrisk resistans. Ved ulike temperaturer endres ledeevnen til metallet i ledningene. Apparatet utnytter dette ved å sende en elektrisk ladning gjennom lederen. Signalendringen i ladningen brukes deretter til å estimere temperaturen til omgivelsene rundt lederen. Apparatet har ti isolerte kanaler som kan brukes til å estimere temperaturen [38]. Dette gjør det mulig å simultant måle temperaturer i flere deler av en prosess, noe som er viktig for å estimere effektiviteten til en varmegjenvinner. Se figur A2.2.



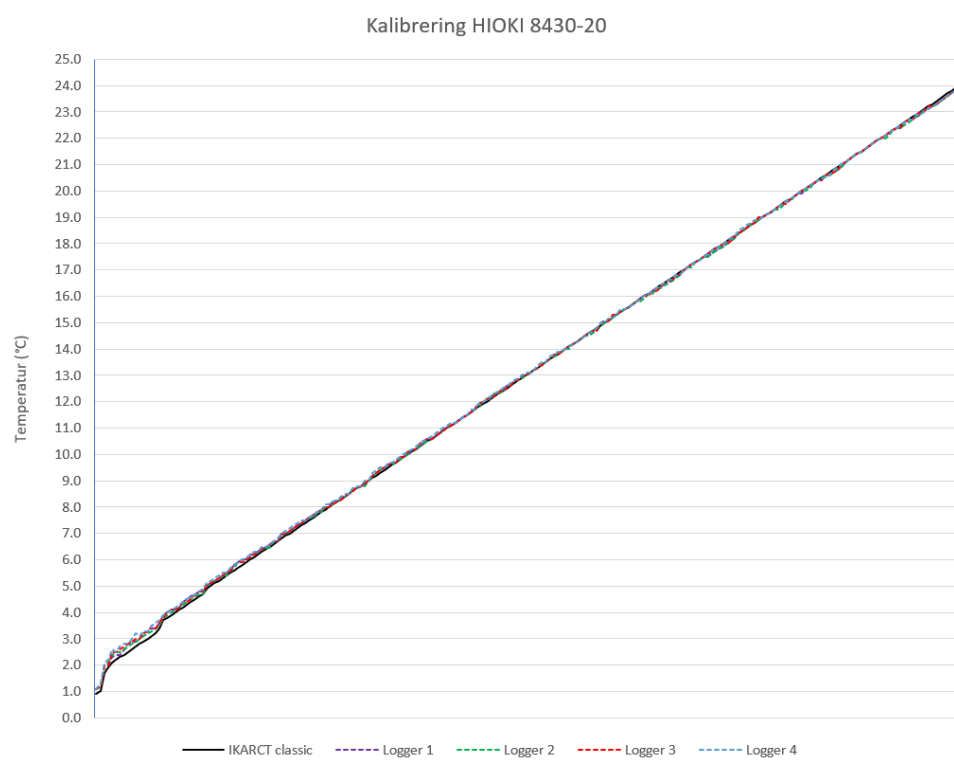
Figur A2.2: Hioki MEMORY HiLOGGER 8430-20

Måleusikkerheten for et slikt apparat er oppgitt på $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ved et temperaturområde mellom $[-200^{\circ}\text{C}, 2000^{\circ}\text{C}]$ [38]. Usikkerheten er gitt over et stort temperaturområde og usikkerheten vil reduseres betydelig ved kalibrering over et mindre temperaturdifferanse. En velger derfor å kalibrere måleapparatet mellom $[1^{\circ}\text{C}, 24^{\circ}\text{C}]$. Dette er omtrent de forventede verdiene temperaturen i en varmegjenvinner kan ligge mellom.

Kalibreringen gjennomføres ved å bruke et vannbad som blir oppvarmet ved hjelp av en varmeplate med magnetrører. I dette tilfellet ble en "IKA RCT classic" varmeplate anvendt. I vannbadet plasseres et termometer sammen med de elektriske lederene fra loggerne en ønsker å kalibrere i apparatet. Se figur A2.3. Termometeret brukt er av type "VWR VT-5" med nøyaktighet på 0,1K og målenøyaktighet på 0,2K [39]. Prosessen begynner med å fylle vannbadet med is for å senke temperaturen til ønsket starttemperatur på 1°C . Deretter tilføres vannbadet varme gjennom varmeplaten for å øke temperaturen til ønsket verdi på 24°C . Gjennom denne prosessen noteres verdiene fra de fire loggerne og det digitale termometeret. Verdiene noteres for hver temperaturøkning på $0,1^{\circ}\text{C}$.



Figur A2.3: Kalibrering ved hjelp av isbad



Figur A2.4: Kalibrering: Temperaturvariasjoner

Logger nr.	Avvik ($^{\circ}C$)
1	0.035
2	0.014
3	0.043
4	0.080

Tabell A2.1: Gjennomsnittlig avvik fra referansetermometeret.

Slik som vist i oversikten i figur A2.4 er måleavviket mellom de fire loggerene og referansetermometeret minimalt. Gjennomsnittsavviket mellom de ulike vises i tabell A2.1. Her kan en se at det største avviket er for logger 4 på $0,08^{\circ}C$. Til denne oppgavens formål er dette et veldig lite avvik, og det vil ikke kreve noen form for justering av apparat før målinger kan gjennomføres.

A2.3 TSI VELOCICALC 9565

TSI VELOCICALC er et håndholdt multiverktøy for ventilasjonstesting som måler blant annet lufthastighet, temperatur, fuktighet og differansetrykk. Målingen gjøres ved en 964 sonde som kobles til loggeren. Usikkerheten til denne sonden er på $\pm 3\%$ av avlest verdi eller som gitt i tabell A2.2. Ved målinger av trykk benyttes to slanger som kobles på verktøyet i den ene enden, og til nippel i kanalen i motsatt ende. En kan dermed måle differansetrykk i kanalen eller det statiske trykket.

Måling	Rekkevidde	Usikkerhet	Enhet
Lufthastighet	0 - 50	± 0.015	m/s
Luftfuktighet	5 - 95	± 3	% RH
Temperatur	-10 - 60	± 0.3	$^{\circ}C$

Tabell A2.2: TSI Probe 964 verdier [40]

Måling	Rekkevidde	Usikkerhet	Enhet
Trykk	-3735 - 3735	± 1	Pa

Tabell A2.3: Måleusikkerhet trykk [40]



Figur A2.5: TSI VELOCICALC 9565 med 964 sonde

A3 Romoversikt

Romnummer	Rombeskrivelse	Systemkode	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav(m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A-001	Trapperom	360.002	13,3	0	33,25	47,88	95,76	1750	0
A-002	Trapperom	360.002	28,6	0	71,50	102,96	205,92	500	0
A-003	Trapperom	360.002	11,3	0	28,25	40,68	81,36	600	0
A-004	Toalett	360.004	5,5	0	13,75	19,80	39,60	0	0
A-005	WC	360.003 WC	1,1	0	36	36	36	0	75
A-006	WC	360.003 WC	1,1	0	36	36	36	0	75
A-007	WC	360.003 WC	1,1	0	36	36	36	0	75
A-008	WC	360.003 WC	1,1	0	36	36	36	0	75
A-009	Disp	360.004	18,9	0	47,25	68,04	136,08	0	50
A-010	Disp	360.004	3,7	0	9,25	13,32	26,64	0	50
A-011	Gang	360.004	7,1	0	17,75	25,56	51,12	0	0
A-012	Toalett	360.004	3,4	0	8,50	12,24	24,48	0	75
A-013	WC	360.003 WC	1,1	0	36	36	36	0	75
A-014	WC	360.003 WC	1,1	0	36	36	36	0	75
A-015	Disp	360.002	4,4	0	11,00	15,84	31,68	0	0
A-016	Badstu	360.002	9,15	0	22,88	32,94	65,88	0	0
A-017	Dusj	360.002	8,9	0	216	32,04	216	0	200
A-018	Toalett	360.002	4,7	0	11,75	16,92	33,84	0	0
A-019	WC	360.002	1,2	0	36	36	36	0	100
A-020	WC	360.002	1,2	0	36	36	36	0	100
A-021	Disp	360.002	28,5	0	71,25	102,60	205,20	0	150
A-022	Pumperom	360.002	5,2	0	13,00	18,72	37,44	0	50
A-023	Disp	360.002	7,3	0	18,25	26,28	52,56	0	0
A-024	Disp	360.002	4,9	0	12,25	17,64	35,28	0	50
A-025	Toalett	360.002	6,1	0	15,25	21,96	43,92	0	0
A-026	WC	360.002	1,8	0	72	72	72	0	50
A-027	WC	360.002	1	0	36	36	36	0	50
A-028	WC	360.002	1	0	36	36	36	0	50
A-029	Teknisk rom	360.002	10	0	25,00	36,00	72,00	0	0
A-030	Ventilasjonsrom	360.002	11	0	27,50	39,60	79,20	0	0
A-031	Korridor	360.002	17,4	0	43,50	62,64	125,28	0	0
A-032	Verksted	360.002	48	0	120,00	172,80	345,60	0	200
A-032a	Arkiv	360.002	15,4	0	38,50	55,44	110,88	0	75
A-033	Næringsarkivet	360.002	41,4	0	103,50	149,04	298,08	0	75
A-034	Arkiv	360.002	11,6	0	29,00	41,76	83,52	0	75
A-035	x	360.002	6,2	0	15,50	22,32	44,64	0	25
A-036	x	360.002	5,6	0	14,00	20,16	40,32	0	25
A-037	Telefonrom	360.002	15,1	0	37,75	54,36	108,72	0	50
A-038	Batterierom	360.004	3,6	0	9,00	12,96	25,92	0	0
A-039	Batterierom	360.004	1,6	0	4,00	5,76	11,52	0	0
A-040	Teknisk rom	360.004	18,7	0	46,75	67,32	134,64	0	0
A-041	Tavlerom	360.004	23,6	0	59,00	84,96	169,92	0	0
A-042	Trafo	360.004	21,1	0	52,75	75,96	151,92	0	0
A-043	Arkiv	360.002	19,6	0	49,00	70,56	141,12	200	0
A-044	Korridor	360.002	113,6	0	284,00	408,96	817,92	350	0
A-046	Arkiv	360.002	21,4	0	53,50	77,04	154,08	550	0
A-047	Arkiv	360.002	77,9	0	194,75	280,44	560,88	700	0
A-047a	Smårom	360.002	4,2	0	10,50	15,12	30,24	0	100
A-047b	Smårom	360.002	3,3	0	8,25	11,88	23,76	0	100
A-047c	Smårom	360.002	3,3	0	8,25	11,88	23,76	0	100
A-048a	Smårom	360.002	3,3	0	8,25	11,88	23,76	0	150
A-048b	Smårom	360.002	3,3	0	8,25	11,88	23,76	0	100
A-048c	Smårom	360.002	4,5	0	11,25	16,20	32,40	0	150
A-049	Gymsal/tribune	360.004	124,8	123	3510,00	3647,28	4096,56	7200	5310
A-050	Korridor	360.004	28,5	0	71,25	102,60	205,20	0	3000
A-051	Garderobes	360.004	12	0	30,00	43,20	86,40	0	200
A-052	Garderobes	360.004	17	0	42,50	61,20	122,40	750	0
A-053	Bastu	360.004	4,1	0	10,25	14,76	29,52	0	0
A-054	x	360.004	3	0	7,50	10,80	21,60	0	0
A-055	x	360.004	3,6	0	9,00	12,96	25,92	0	0
A-056	Dusj	360.003 WC	7,1	0	324	324	324	0	600
A-057	Garderobes	360.004	12,6	0	31,50	45,36	90,72	200	200
A-058	Gard, kord	360.004	98,8	0	247,00	355,68	711,36	350	0
Totalt	-	-	999,95	123	5841,88	6726,18	10406,28	13150	11960

Figur A3.1: Luftmengde U.Etasje

Romnummer	Rombeskrivelse	Systemkode	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav(m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A-101	Trapperom	360.002	13,3	0	33,25	47,88	95,76	0	0
A-102	Trapperom	360.003	28,6	0	71,5	102,96	205,92	0	0
A-103	Trapperom	360.003	11,3	0	28,25	40,68	81,36	0	0
A-104	WC	360.003 WC	2,1	0	36	36	36	0	100
A-105	WC	360.003 WC	2,1	0	36	36	36	0	100
A-106	RWC Publikum	360.003 WC	7	0	36	36	36	0	100
A-106a	BK	360.003 WC	4,2	0	10,5	15,12	30,24	0	70
A-107	Møte/spiller	320.003	14,6	6	192,5	208,56	261,12	200	240
A-108	Info	320.003	16,8	2	94	112,48	172,96	0	360
A-109	Kjøkkenkrok	320.001	5,5	4	117,75	123,8	143,6	0	100
A-109a	El-tavle	360.001 EL	4,4	0	11	15,84	31,68	0	50
A-110	WC	320.001	2,3	0	36	36	36	0	100
A-111	HWC	320.001	5,4	0	36	36	36	0	100
A-112	WC	320.001	2,3	0	36	36	36	0	100
A-113	Arkiv	320.001	13	0	32,5	46,8	93,6	0	120
A-114	Kopi,print,lager	320.001	12,2	0	30,5	43,92	87,84	0	240
A-115	Arkiv	320.001	5,1	0	12,75	18,36	36,72	0	100
A-116	Arkiv	320.002	19	0	47,5	68,4	136,8	0	150
A-116a	Lager/BK	360.002 WC	2,2	0	5,5	7,92	15,84	0	50
A-117	Postmøterom	320.002/360.002 WC	17	5	172,5	191,2	252,4	0	928
A-118	Arkivrom 2	320.002	14,6	0	36,5	52,56	105,12	0	120
A-119	Arkiv	320.002	6	0	15	21,6	43,2	65	0
A-120	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-121	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-122	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-123	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-124	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-125	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-126	Arkiv	320.002	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-127	Arkiv	320.001	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-128	Arkiv	320.001	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-129	Arkiv	320.001	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-130	Arkiv	320.001	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-131	Arkiv	320.001	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-132	Rekvisita lager	320.001	6,3	0	15,75	22,68	45,36	65	0
A-133	Trykkeri/kopiering	320.001	14,5	1	62,25	78,2	130,4	240	0
A-134	Postbehandling	320.001	19	3	125,5	146,4	214,8	240	0
A-135	Kontor	320.001	8,5	1	47,25	56,6	87,2	120	0
A-136	Sentralbord	320.001	12,7	2	83,75	97,72	143,44	120	0
A-137	Ekspedisjon	320.003	146,5	12	678,25	839,4	1366,8	1060	1100
A-138	Inngang	320.001	18	0	45	64,8	129,6	120	0
A-140	Postmottak	320.001	46	0	115	165,6	331,2	0	620
A-141	Korridor	320.002	60	0	150	216	432	0	700
A-142	Arkivrom 1	320.002	27	0	67,5	97,2	194,4	120	0
A-143	Scann/Kopi	320.002	5	0	12,5	18	36	120	0
A-145	Post/Arkiv	320.002	45	6	268,5	318	480	480	0
A-146	Inngang	320.002	25,5	0	63,75	91,8	183,6	120	0
A-147	Samtale	320.001	6,6	1	42,5	49,76	73,52	120	0
A-148	Kontor	320.002	15,4	3	116,5	133,44	188,88	240	0
A-149	Kontor	320.001	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A-150	Kontor	320.001	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A-151	Kontor	320.001	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A-152	Kontor	320.001	24,5	3	139,25	166,2	254,4	120	0
A-153	Skatteetatens bruk	320.001	72	16	596	675,2	934,4	120	620
A-154	Kontor	320.001	58	8	353	416,8	625,6	720	620
A-155	Publikumsareal	320.003	112	30	1060	1183,2	1586,4	840	860
A-156	Kundebehandlingsrom	320.003	10,8	4	131	142,88	181,76	120	0
A156a	Vindfag	-	-	0	0	0	0	0	0
A-157	Kundebehandlingsrom	320.003	6	3	93	99,6	121,2	120	0
A-158	Kundebehandlingsrom	320.003	6	3	93	99,6	121,2	100	0
Totalt	-	-	1052,4	116	5594	6728,82	10440,64	6710	7648

Figur A3.2: Luftmengde 1.Etasje

Romnummer	Rombeskrivelse	Systemkode	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav(m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A201	Trapperom	360.02	13,3	0	33,25	47,88	95,76	0	0
A202	Trapperom	360.03	28,6	0	71,5	102,96	205,92	0	0
A203	Trapperom	360.03	11,3	0	28,25	40,68	81,36	0	0
A204	WC	360.003 WC	4,3	0	36	36	36	0	0
A205	WC	360.003 WC	4,3	0	36	36	36	0	75
A206	H WC	360.003 WC	7	0	36	36	36	0	100
A206-a	Tekjokken	360.003 WC	4,4	0	11	15,84	31,68	0	70
A207	Kontor	320.003	14,6	2	88,5	104,56	157,12	260	260
A208	Lager	320.003	7,8	0	19,5	28,08	56,16	0	120
A209	Arkiv/kopi	320.003	7,8	0	19,5	28,08	56,16	0	240
A210	Skriver/kopi	320.001	6,8	0	17	24,48	48,96	0	120
A210a	El-tavle	360.001 EL	4,4	0	11	15,84	31,68	0	50
A211	Arkiv	320.001	20,8	0	52	74,88	149,76	0	200
A212	Mellomlager	320.001	10	0	25	36	72	0	200
A213	Datarom	320.001/2	27,6	1	95	125,36	224,72	240	240
A213a	BK	360.002 WC	4,3	0	10,75	15,48	30,96	0	50
A214	D-Toalett	360.02	3,9	0	9,75	14,04	28,08	0	0
A215	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A216	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A217	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A218	H-Toalett	360.02	1,9	0	4,75	6,84	13,68	0	0
A219	Kontor	320.002	14,6	1	62,5	78,56	131,12	250	250
A220	Personbeskatningsavdeling	320.001/2	175	27	1139,5	1332	1962	1200	1800
A221	Kontor	320.002	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A222	Kontor	320.002	9,8	1	50,5	61,28	96,56	120	0
A223	Stillerom	320.001	6,1	2	67,25	73,96	95,92	120	0
A224	Kopi	320.001	3,4	1	34,5	38,24	50,48	120	0
A225	Møterom	320.001	24	9	294	320,4	406,8	480	0
A226	Kjøkken	320.001	9,3	3	101,25	111,48	144,96	120	0
A227	Samtale	320.001	9,3	4	127,25	137,48	170,96	120	0
A228	Entré	320.001	9,4	0	23,5	33,84	67,68	120	0
A229	Kontor	320.001	9,3	3	101,25	111,48	144,96	120	0
A230	Kontor	320.001	9,3	1	49,25	59,48	92,96	120	0
A231	Kontor	320.003	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A232	Team utland	320.003	98,7	19	740,75	849,32	1204,64	840	840
A233	Kontor	320.002	6,6	1	42,5	49,76	73,52	120	0
A234	IT-avdeling	320.002	84	12	522	614,4	916,8	720	960
A235	Vaktrom	320.002	12	2	82	95,2	138,4	120	0
A236	"Call"-senter	320.001/2	61,2	5	283	350,32	570,64	600	0
A237	Kontor	320.001	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A238	Kontor	320.001	7,5	1	44,75	53	80	120	0
A239	Fellesareal	320.001	67,3	2	220,25	294,28	536,56	0	1440
A240	Samtale	320.001	6	2	67	73,6	95,2	120	0
A241	Møterom	320.001	16,1	6	196,25	213,96	271,92	240	0
A242	Lederteam	320.001	32,6	3	159,5	195,36	312,72	360	0
A244	Team Folkeregister	320.001/3	126	22	887	1025,6	1479,2	840	1200
A245	Kontor	320.001	7,8	1	45,5	54,08	82,16	120	0
A246	Kontor	320.001	7,8	1	45,5	54,08	82,16	120	0
A247	Kontor	320.001	7,8	1	45,5	54,08	82,16	120	0
Totalt	-	-	1031,3	136	6063,25	7175,24	10814,48	8190	8440

Figur A3.3: Luftmengde 2.Etasje

Romnummer	Rombeskrivelse	Systemkode	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav(m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A-301	Trapperom	360.02	13,3	0	33,25	47,88	95,76	0	0
A-302	Trapperom	360.03	28,6	0	71,5	102,96	205,92	0	0
A-303	Trapperom	360.03	11,3	0	28,25	40,68	81,36	0	0
A-304	WC	360.003 WC	4	0	36	36	36	0	0
A-305	WC	360.003 WC	4,3	0	36	36	36	0	75
A-306	RWC	360.003 WC	7	0	36	36	36	0	100
A-306a	Kopi	360.003 WC	4,3	0	10,75	15,48	30,96	0	70
A-307	Møterom	320.003	14,6	8	244,5	260,56	313,12	260	260
A-308	Tekjokken	320.003	7,2	0	18	25,92	51,84	0	120
A-309	Datarom	320.003	9	3	100,5	110,4	142,8	0	240
A-309a	El-Tavle	360.001 EL	4,4	0	11	15,84	31,68	0	50
A-310	Skriver/kopi	320.001	8,2	0	20,5	29,52	59,04	0	240
A-311	Lager	320.001	5,8	0	14,5	20,88	41,76	0	0
A-312	Oppholdsrom/stue	320.001	16	4	144	161,6	219,2	200	200
A-313	Møterom	320.001	27	14	431,5	461,2	558,4	450	452
A-314	Skriver/kopi	320.002	9,1	0	22,75	32,76	65,52	0	360
A-315	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-316	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-317	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-318	H-toalett	360.02	1,9	0	4,75	6,84	13,68	0	0
A-318a	Lager/BK	360.002 WC	4,2	0	10,5	15,12	30,24	0	50
A-319	D-toalett	320.002	3,9	0	9,75	14,04	28,08	0	0
A-320	Tekjokken	320.002	5,8	0	14,5	20,88	41,76	0	200
A-321	Møterom	320.002	8,4	4	125	134,24	164,48	200	0
A-322	Kontrollseksjon	320.002	47	6	273,5	325,2	494,4	480	500
A-323	Økokrim	320.001/2	45	6	268,5	318	480	600	0
A-324	Samtale	320..001	9	3	100,5	110,4	142,8	120	0
A-325	Bygg/anlegg	320.001	50	5	255	310	490	600	0
A-326	Samtale	320.001	5,1	3	90,75	96,36	114,72	120	0
A-327	Kontrollgruppe	320.001/3	66	9	399	471,6	709,2	720	0
A-328	Samtale	320.003	5,1	2	64,75	70,36	88,72	120	0
A-329	Kontrollgruppe	320.003	70,4	10	436	513,44	766,88	720	1170
A-330	Kontroll felles	320.001	33,4	0	83,5	120,24	240,48	0	900
A-331	Korridor felles	320.001	44	0	110	158,4	316,8	0	840
A-332	Samtale	320.002	4,5	2	63,25	68,2	84,4	120	0
A-333	Saksbehandlere	320.002	81,5	13	541,75	631,4	924,8	960	0
A-334	IT-avd felles	320.002	29	6	228,5	260,4	364,8	0	900
A-335	Korridor/felles	320.001	42,4	2	158	204,64	357,28	0	900
A-336	Klara	320.001	37,5	4	197,75	239	374	360	0
A-337	Samtale	320.001	12,7	3	109,75	123,72	169,44	120	0
A-338	Klara	320.001	37,5	4	197,75	239	374	480	0
A-339	Fastsetting	320.001	48,7	6	277,75	331,32	506,64	0	900
A-340	Juridisk	320.001	72,6	8	389,5	469,36	730,72	720	0
A-341	Samtale	320.003	5,8	3	92,5	98,88	119,76	120	0
A-342	Vaktrom	320.003	6,5	3	94,25	101,4	124,8	120	0
A-343	Kontrollgruppe	320.003	73,2	13	521	601,52	865,04	720	540
Totalt	-	-	1030	144	6268,75	7379,64	11015,28	8310	9292

Figur A3.4: Luftmengde 3.Etasje

Romnummer	Rombeskrivelse	Systemkode	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav(m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A-401	Trapperom	360.02	13,3	0	33,25	47,88	95,76	0	0
A-402	Trapperom	360.03	28,6	0	71,5	102,96	205,92	0	0
A-403	Trapperom	360.03	11,3	0	28,25	40,68	81,36	0	0
A-404	WC	360.003 WC	4,3	0	10,75	15,48	30,96	0	0
A-405	WC	360.003 WC	4,3	0	36	36	36	0	75
A-406	RWC	360.003 WC	7	0	36	36	36	0	100
A-406a	Disp.	360.003 WC	4,3	0	10,75	15,48	30,96	0	70
A-407	Møterom	320.003	14,6	6	192,5	208,56	261,12	260	260
A-408	Tekjokken	320.003	8,8	4	126	135,68	167,36	0	120
A-409	Lager	320.003	7,4	0	18,5	26,64	53,28	0	240
A-410	Skriver/kopi	360.01	6,5	0	16,25	23,4	46,8	0	0
A-410a	El-tavle	360.001 EL	4,4	0	11	15,84	31,68	0	50
A-411	Minikjøkken	320.001	7,6	0	19	27,36	54,72	0	120
A-412	Bibliotek	320.001	13,5	0	33,75	48,6	97,2	200	240
A-413A	Møterom	320.001	14	6	191	206,4	256,8	250	240
A-413B	Møterom	320.001	13,3	4	137,25	151,88	199,76	200	240
A-414	Kopi/skriver	320.002	8,7	0	21,75	31,32	62,64	0	300
A-415	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-416	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-417	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-418a	Lager/BK	360.002 WC	4,2	0	10,5	15,12	30,24	0	50
A-418	H-toalett	320.002	1,9	0	4,75	6,84	13,68	0	0
A-419	D-toalett	320.002	3,9	0	9,75	14,04	28,08	0	0
A-420	Møterom	320.002	14,6	6	192,5	208,56	261,12	250	240
A-421	Deling	320.002	47,8	6	275,5	328,08	500,16	480	600
A-422	Samtale	320.002	5	2	64,5	70	88	120	0
A-423	Kontor	320.002	10,5	2	78,25	89,8	127,6	120	0
A-424	Oppgaveseksjon	320.001/2	72	8	388	467,2	726,4	840	0
A-425	Mannfall	320.001	36,4	5	221	261,04	392,08	480	0
A-426	Samtale/konf	320.001	8,8	4	126	135,68	167,36	120	0
A-427	Saksbehandlere	320.001/3	66,2	10	425,5	498,32	736,64	720	0
A-428	Forvaltning	320.003	10,6	1	52,5	64,16	102,32	120	0
A-429	Kontor	320.003	10,6	1	52,5	64,16	102,32	120	0
A-430	TLK næringsleder	320.003	34,8	4	191	229,28	354,56	360	480
A-431	Næringscenteret	320.001/3	73,4	4	287,5	368,24	632,48	0	1860
A-432	Endring	320.002	82,6	14	570,5	661,36	958,72	600	480
A-433	Kontor	320.002	12,2	2	82,5	95,92	139,84	120	0
A-434	Kontor	320.001/2	70	14	539	616	868	1080	0
A-435	Korridor	320.001/2	70	10	435	512	764	0	1320
A-436	Samtale	320.001	9	3	100,5	110,4	142,8	120	0
A-437	Kontor	320.001/3	46,6	6	272,5	323,76	491,52	600	0
A-438	Samtale	320.001	7	3	95,5	103,2	128,4	120	0
A-439	Korridor	320.001	35	0	87,5	126	252	0	600
A-440	Disp	320.003	12,6	2	83,5	97,36	142,72	120	0
A-441	Disp	320.003	64	0	160	230,4	460,8	480	470
Totalt	-	-	986,4	127	5727,75	6795,08	10288,16	7880	8380

Figur A3.5: Luftmengde 4.Etasje

Romnummer	Rombeskrivelse	Systemkode	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav(m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A-501	Trapperom	360.002	13,3	0	33,25	47,88	95,76	0	0
A-502	Trapperom	360.003	28,6	0	71,5	102,96	205,92	0	0
A-503	Trapperom	360.003	11,3	0	28,25	40,68	81,36	0	0
A-504	WC	360.003 WC	4,3	0	36	36	36	0	0
A-504a	BK	360.003 WC	4,3	0	10,75	15,48	30,96	0	70
A-505	WC	360.003 WC	4,3	0	36	36	36	0	100
A-506	RWC	360.005/360.003 WC	7	0	36	36	36	100	100
A-508	Arkiv	320.003	9,7	0	24,25	34,92	69,84	0	450
A-509	Kopi	360.003	4	0	10	14,4	28,8	0	0
A-510	Møterom	320.001	14,7	4	140,75	156,92	209,84	200	220
A-510a	El. Tavle	360.001 EL	4,4	0	11	15,84	31,68	0	50
A-511	Skriver/kopi	320.001	7	0	17,5	25,2	50,4	0	120
A-512	Kjøkken	320.001	9,1	2	74,75	84,76	117,52	0	120
A-513	Kopi/lager	320.001	8	0	20	28,8	57,6	0	450
A-514	Møterom	320.001	17	8	250,5	269,2	330,4	320	0
A-514a	Tekjøkken	360.002 WC	4,2	0	10,5	15,12	30,24	0	50
A-515	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-516	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-517	WC	360.002 WC	1,6	0	36	36	36	0	75
A-518	H-toalett	360.002	1,9	0	4,75	6,84	13,68	0	0
A-519	D-toalett	360.002	3,9	0	9,75	14,04	28,08	0	0
A-520	Bibliotek	320.002	14,6	1	62,5	78,56	131,12	120	0
A-521	Skattefood	320.002	21,7	5	184,25	208,12	286,24	240	0
A-522	Kontorleder	320.002	15	3	115,5	132	186	240	0
A-523	Kontor	320.002	8	1	46	54,8	83,6	120	0
A-524	Kontor	320.002	8	1	46	54,8	83,6	120	0
A-525	Kontor	320.002	12,3	2	82,75	96,28	140,56	120	0
A-526	Kontor	320.002	12,3	1	56,75	70,28	114,56	120	0
A-527	Kontor	320.001	12,3	2	82,75	96,28	140,56	120	0
A-528	Kontor	320.001	12,3	2	82,75	96,28	140,56	120	0
A-529	FF FS	320.002	41,3	0	103,25	148,68	297,36	0	906
A-530	Likningskontorsjef	320.001	21,3	5	183,25	206,68	283,36	120	0
A-531	Likningskontoret	320.001	21,5	9	287,75	311,4	388,8	480	840
A-532	Kontor	320.001	32	3	158	193,2	308,4	358	0
A-533	Felles	360.001	11,5	0	28,75	41,4	82,8	0	0
A-534	Fylkesskattekontor	320.003	98,2	20	765,5	873,52	1227,04	840	1460
A-535	Møterom	320.003	20	10	310	332	404	480	0
A-536	Stillerom	320.003	8	3	98	106,8	135,6	120	0
A-537	Skattefogden	320.001/3	152,8	16	798	966,08	1516,16	720	1866
A-538	Kontor	320.002	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-539	Kontor	320.002	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-540	Kontor	320.002	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-541	Kontor	320.001	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-542	Kontor	320.001	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-543	Kontor	320.001	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-544	Kontor	320.001	9	1	48,5	58,4	90,8	120	0
A-545	Kontor	320.001	16,5	3	119,25	137,4	196,8	120	0
A-546	Kontor	320.001	10,8	1	53	64,88	103,76	120	0
A-547	Kontor	320.001	10,8	1	53	64,88	103,76	120	0
A-548	Korridor	360.005	14,3	0	35,75	51,48	102,96	0	0
A-549	Møterom	320.005	37,6	13	432	473,36	608,72	650	0
A-550	Kantine	320.005	132,4	76	2307	2452,64	2929,28	1820	2280
A-552	Oppvask/smørerom	320.005	24,3	0	60,75	87,48	174,96	574	870
Totalt	-	-	994,6	199	7609,5	8661,12	12168,24	9302	10177

Figur A3.6: Luftmengde 5.Etasje

Romnummer	Rombeskrivelse	Areal(m ²)	Personbelastning	NDV lav (m ³ /h)	NDV lav/mid(m ³ /h)	NDV mid(m ³ /h)	Faktisk tilluft(m ³ /h)	Faktisk avtrekk(m ³ /h)
A601	Teknisk rom	6,1	0	15,3	22	42,7	0	0
A602	Trapperom	0,0	0	0,0	0	0	0	0
A603	Heismaskinrom	16,1	0	40,3	-	-	0	0
A604	Teknisk rom	74,2	0	185,5	267	519,4	0	0
A605	Teknisk rom	8,1	0	20,3	29	56,7	0	0
A606	Teknisk rom	10	0	25,0	36	70	0	0
A607	Div.	4,5	0	11,3	16	31,5	0	0
A608	Teknisk rom	13,4	0	33,5	48	93,8	0	0
A609	Div.	6,4	0	16,0	23	44,8	0	0
A610	Teknisk rom	11	0	27,5	40	77	0	0
A611	Div.	10,7	0	26,8	39	74,9	0	0
A612	Teknisk rom	36,8	0	92,0	132	257,6	0	0
A613	Gang	40,6	0	101,5	146	284,2	0	0
Totalt	-	237,9	0	594,75	798	1552,6	0	0

Figur A3.7: Luftmengde 6.Etasje

A4 Målinger

A4.1 Normal drift

Temperaturvirkningsgrad

Anlegg	T1 [C°]	T2 [C°]	T3 [C°]	T4 [C°]	Temperaturvirkningsgrad [%]
360.01	-8,9	13,4	21,7	4,4	74,9
360.02	-1,4	14,7	22,9	2,6	99,8
360.03	-0,4	17,3	23,3	6,6	74,7
360.04	1,2	10,8	19,9	12,0	55,9
360.05	-0,2	11,9	21,9	16,4	54,8

Tabell A4.1: Temperaturer ved normal drift

Luftmengde

System 360.01

500mm		500mm	
Målepunkt	Hastighet [<i>m/s</i>]	Målepunkt	Hastighet [<i>m/s</i>]
1	4,75	1	7,2
2	4,7	2	7,1
3	4,8	3	7,15
4	4,6	4	7,2
5	4,4	5	7,1
6	4,75	6	6,8
7	5,05	7	6,9
8	5,05	8	7,2

500mm	
Målepunkt	Hastighet [<i>m/s</i>]
1	6,5
2	6,6
3	6,7
4	6,5
5	6,8
6	7,2
7	6,8
8	6,8

Tabell A4.2: Tilluft 360.01

2020mm*860mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	2,1	10	1,45
2	2,7	11	2,2
3	2,3	12	2,15
4	1,4	13	2,9
5	2	14	2,3
6	2,5	15	2,2
7	2,2	16	4
8	2,2	17	2,8
9	1,5	18	1,7

Tabell A4.3: Avtrekk 360.01**System 360.02**

800mm*1000mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5	7	3,35
2	5,1	8	3,5
3	5,3	9	3,9
4	6	10	4,35
5	5,5	11	5,4
6	2,5	12	2

Tabell A4.4: Tilluft 360.02

400mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3,7
2	4,2
3	4,1
4	3,8
5	3,8

400mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3,6
2	3,7
3	3,9
4	3,7
5	3,8

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	2,6
2	2,55
3	3,4
4	3,6
5	2,7
6	2,7
7	3,4
8	3,1

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3,4
2	3,6
3	3,5
4	3,4
5	3,7
6	3,4
7	3,7
8	3,55

Tabell A4.5: Avtrekk 360.02

System 360.03

500mm*1000mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3,05	7	3
2	3	8	3,2
3	3,2	9	3,45
4	3,2	10	3,45
5	3,25	11	3,5
6	3,45	12	3,4

Tabell A4.6: Tilluft 360.03

500mm*1000mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	2,5	7	2,6
2	2,9	8	3,05
3	3,15	9	3,6
4	3,4	10	3,85
5	3,65	11	3,95
6	3,6	12	3,7

Tabell A4.7: Avtrekk 360.03

System 360.04

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	12,2
2	12,6
3	12,4
4	12,45
5	11,7
6	8,2
7	11,4
8	9,4

Tabell A4.8: Tilluft 360.04

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	10
2	11,25
3	10,95
4	4,3
5	11,2
6	12,4
7	11,3
8	11,9

Tabell A4.9: Avtrekk 360.04

System 360.05

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3,2
2	3,45
3	3,15
4	3,35
5	4,35

Tabell A4.10: Tilluft 360.05

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3
2	4,5
3	3,35
4	3,6
5	3,5

Tabell A4.11: Avtrekk 360.05

A4.2 Full drift

Temperaturvirkningsgrad

Anlegg	T1 [C°]	T2 [C°]	T3 [C°]	T4 [C°]	Temperaturvirkningsgrad [%]
360.01	6,8	13,5	18,8	11,2	57,6
360.02	4,5	11,7	18,6	7,5	72,1
360.03	4,7	12,9	17,8	9,4	65,0
360.04	1,2	10,8	19,9	12,0	55,9
360.05	2,2	8,5	17,0	15,3	42,9

Tabell A4.12: Temperaturer ved full drift

Luftmengde

Aggregat 360.01

500mm		500mm	
Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	9,0	1	9,8
2	10,0	2	10,5
3	9,9	3	10,6
4	9,6	4	10,6
5	9,0	5	10,2
6	9,6	6	11,0
7	10,0	7	10,5
8	10,0	8	10,1

500mm	
Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,8
2	6,5
3	6,9
4	6,9
5	6,7
6	7,0
7	7,3
8	7,4

Tabell A4.13: Tilluft 360.01

2020mm*860mm			
Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,6	10	1,5
2	5,3	11	2,6
3	3,6	12	2,7
4	1,6	13	1,9
5	3,5	14	3,0
6	2,8	15	3,2
7	3,0	16	3,5
8	2,7	17	3,9
9	1,6	18	3,2

Tabell A4.14: Avtrekk 360.01

Aggregat 360.02

800mm*1000mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	7,8	7	6,0
2	8,6	8	6,0
3	9,5	9	6,2
4	9,5	10	6,5
5	9,0	11	8,8
6	5,0	12	3,2

Tabell A4.15: Tilluft 360.02

400mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,6
2	6,4
3	6,2
4	5,8
5	5,8

400mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,5
2	5,9
3	5,7
4	5,6
5	5,7

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	4,0
2	3,8
3	5,0
4	5,8
5	4,8
6	4,4
7	4,9
8	5,8

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,6
2	5,8
3	5,5
4	5,2
5	5,6
6	5,2
7	5,7
8	5,7

Tabell A4.16: Avtrekk 360.02

Aggregat 360.03

500mm*1000mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,0	7	5,4
2	5,2	8	5,6
3	5,3	9	5,7
4	5,2	10	5,8
5	5,3	11	5,7
6	5,2	12	5,5

Tabell A4.17: Tilluft 360.03

500mm*1000mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]	Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	3,8	7	3,8
2	5,1	8	4,7
3	5,7	9	5,0
4	6,0	10	5,3
5	6,2	11	5,7
6	6,2	12	5,5

Tabell A4.18: Avtrekk 360.03**Aggregat 360.04**

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	12,2
2	12,6
3	12,4
4	12,45
5	11,7
6	8,2
7	11,4
8	9,4

Tabell A4.19: Tilluft 360.04

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	10
2	11,25
3	10,95
4	4,3
5	11,2
6	12,4
7	11,3
8	11,9

Tabell A4.20: Avtrekk 360.04**Aggregat 360.05**

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,6
2	6,0
3	7,2
4	4,7
5	6,7

Tabell A4.21: Tilluft 360.05

500mm

Målepunkt	Hastighet [m/s]
1	5,5
2	5,8
3	6,2
4	7,7
5	6,2

Tabell A4.22: Avtrekk 360.05

A5 Beregninger

A5.1 SFP

System 360.01



Figur A5.1: Merkeskilt viftemotor tilluftsvifte 360.01

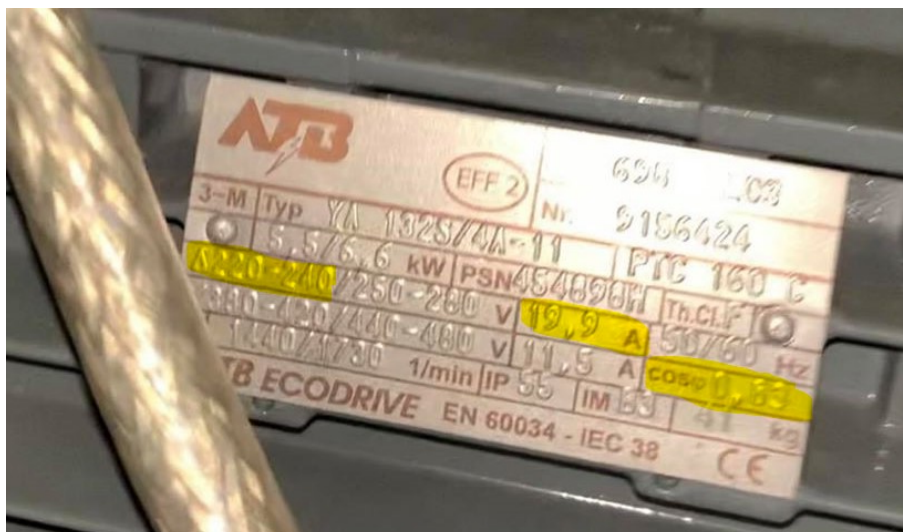


Figur A5.2: Merkeskilt viftemotor avtrekkvifte 360.01

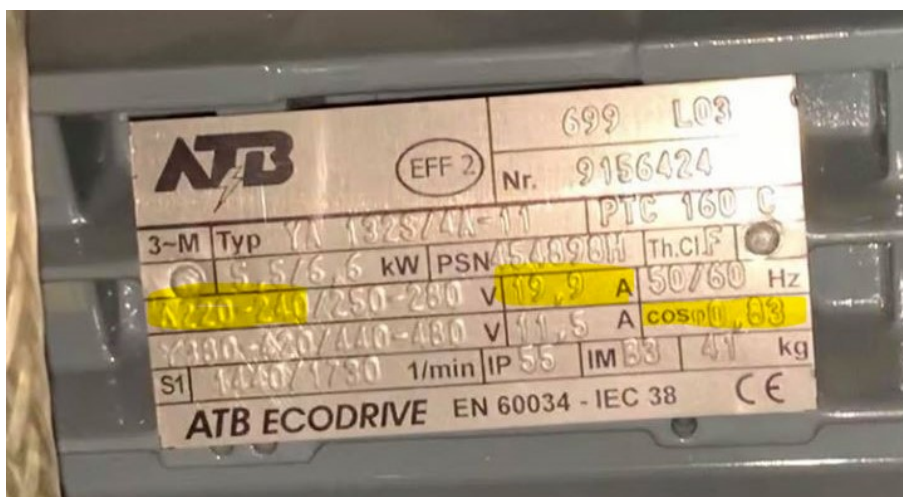
	Spenning	Strøm	$\cos \phi$	Tilført effekt
Tilluft 100%	230 V	49 A	0.85	19.52 kW
Avtrekk 100%	230 V	38 A	0.80	15.14 kW
Sum	-	-	-	34.7 kW

Tabell A5.1: Tilført effekt viftemotorer 360.01

System 360.02



Figur A5.3: Merkeskilt viftemotor tilluftsvifte 360.02



Figur A5.4: Merkeskilt viftemotor avtrekkvifte 360.02

	Tilluft		Fraluft	
Luftmængde	15000.00	m3/h	15000.00	m3/h
Luft hastighed i aggregat	2.14	m/s	2.14	m/s
Eksternt tryktab	300	Pa	300	Pa
Filter	F7		F7	
Ventilator	73	%	72	%
	1497	o/min	1487	o/min
Motor	5.50	kW	5.50	kW
	3x230	V	3x230	V
	18.44	A	18.44	A
Varmeveksler	72.4	%		
Varmebatteri, elektrisk			56.59 kW - Luft 9.2/20.0°C - 3x230 V	
SFP, rene filtre	2.04 kW/(m³/s)			

Figur A5.5: Generell aggregatinfo 360.02 fra produktblad

Ventilator, Kammer		DVE-50-1-1-0-1-1-1-5.5	
Direkte drift			
Luftmængde	15000	m3/h	
Statisk tryk, ventilator	658	Pa	
Eksternt tryktab	300	Pa	
Totaltryk	734	Pa	
Omdrejningstal	1497	o/min	
Ventilatorvirkningsgrad	73	%	
Aksel effekt	4.21	kW	
Maximum omdrejningstal	2055	o/min	
Operational frequency	52	Hz	
Max frequency	67	Hz	
Motor		M-10-3-230-1-0-4-0-5.50-0	
Motor type		Integreret i ventilator	
Termosikring		Termistor	
Effekt	5.50	kW	
Omdrejninger (Nominel)	1450	o/min	
Strøm, Amp.	18.44	A	
Virkningsgrad	89	%	
Spænding	3x230	V	
Ventilator, Kammer		DVE-50-2-3-0-1-1-1-5.5	
Direkte drift			
Luftmængde	15000	m3/h	
Statisk tryk, ventilator	636	Pa	
Eksternt tryktab	300	Pa	
Totaltryk	712	Pa	
Omdrejningstal	1487	o/min	
Ventilatorvirkningsgrad	72	%	
Aksel effekt	4.10	kW	
Maximum omdrejningstal	2055	o/min	
Operational frequency	51	Hz	
Max frequency	67	Hz	
Motor		M-10-3-230-1-0-4-0-5.50-0	
Motor type		Integreret i ventilator	
Termosikring		Termistor	
Effekt	5.50	kW	
Omdrejninger (Nominel)	1450	o/min	
Strøm, Amp.	18.44	A	
Virkningsgrad	89	%	
Spænding	3x230	V	

Figur A5.6: Produktblad info tilluft- (øverst) og avtrekksvifte (nederst) for 360.02

	Total virkningsgrad, η_{tot}	Tilført effekt
Tilluft 100%	0.54	5.82 kW
Avtrekk 100%	0.53	3.91 kW
Sum	-	9.74 kW

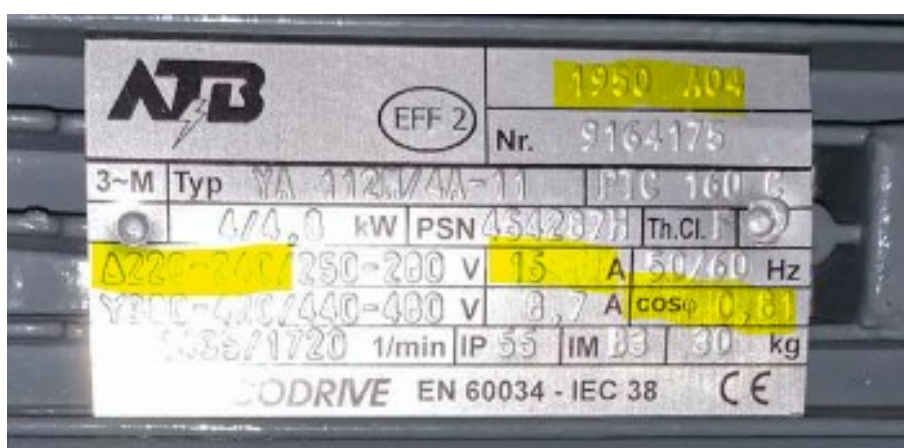
Tabell A5.2: Tilført effekt viftemotorer 360.02

Tilført effekt for aggregat 360.02 er beregnet annerledes enn for de andre aggregatene. Beregningene er gjort med utgangspunkt i målt trykkøkning over viftene, og prosjekterte luftmengder for tilluft og avtrekk. Dette skyldes at dette aggregatet har en betydelig forskjell i luftmengde på tilluft og avtrekk. Det kan derfor ikke antas at avtrekksvifta kjører ved 100% pådrag, da både tilluft- og avtrekksviftene er samme modell og størrelse.

System 360.03



Figur A5.7: Merkeskilt viftemotor tilluftvifte 360.03

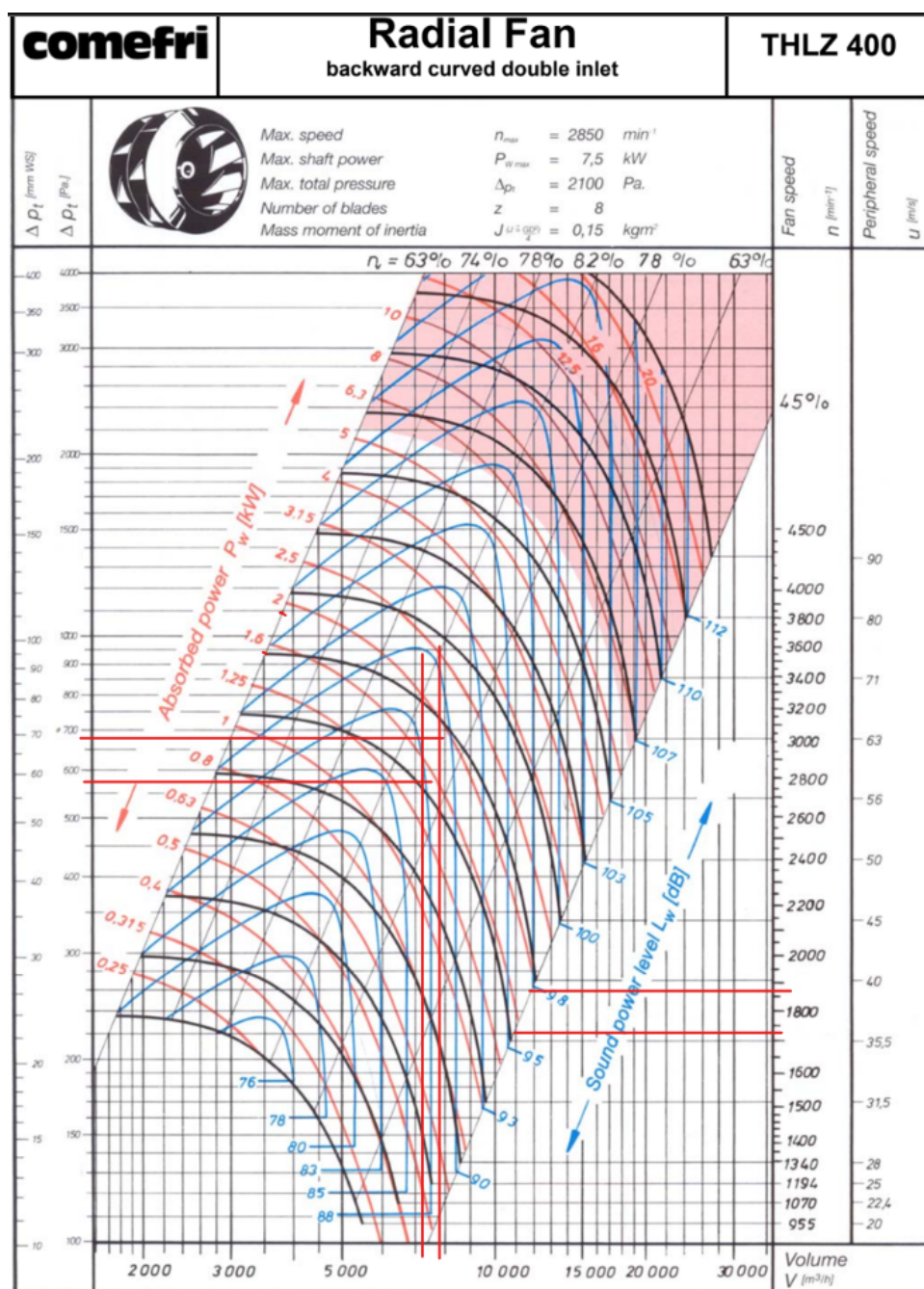


Figur A5.8: Merkeskilt viftemotor avtrekkvifte 360.03

	Total virkningsgrad, η_{tot}	Tilført effekt
Tilluft 100%	0.53	4.11 kW
Avtrekk 100%	0.53	3.67 kW
Sum	-	7.78 kW

Tabell A5.3: Tilført effekt viftemotorer 360.03

System 360.04

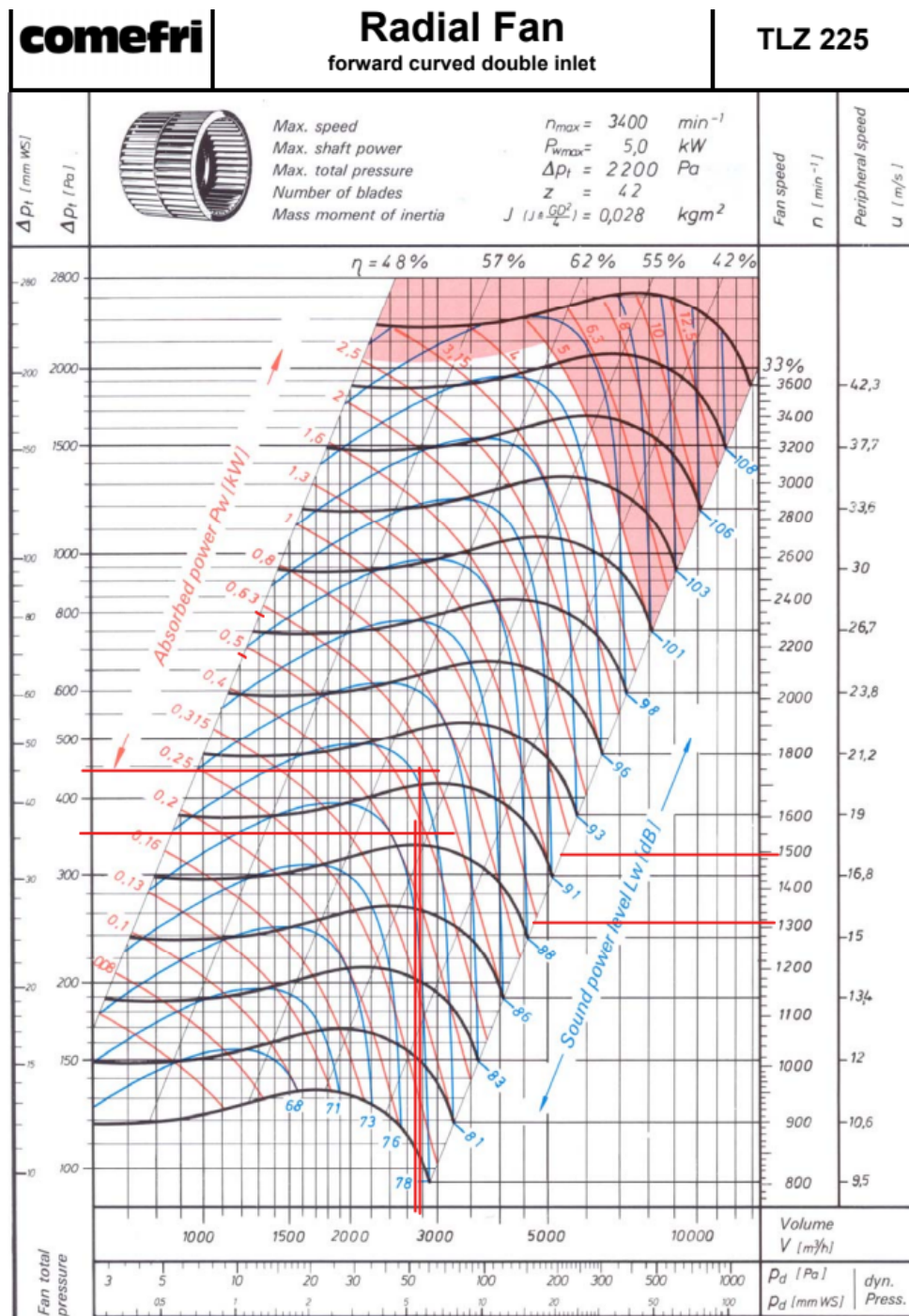


Figur A5.9: Viftediagram for uttak av effektforbruk aggregat 360.04 [41]

	Viftemodell	Tilført effekt
Tilluft 100%	THLZ 400	1.9 kW
Avtrekk 100%	THLZ 400	1.5 kW
Sum	-	3.4 kW

Tabell A5.4: Tilført effekt viftemotorer 360.04

System 360.05



Figur A5.10: Viftediagram for uttak av effektforbruk aggregat 360.05 [41]

	Viftemodell	Tilført effekt
Tilluft 100%	TLZ 225	0.48 kW
Avtrekk 100%	TLZ 225	0.61 kW
Sum	-	1.09 kW

Tabell A5.5: Tilført effekt viftemotorer 360.05

A5.2 Usikkerhet grunnmodell

Usikkerheten ved å splitte ventilasjonssystemet til to mindre ventilasjonsaggregater estimeres ved å splitte ventilasjonssystemet for sone sør i simulering for modell “Kongens gate 87 felles nord”. Ved å splitte dette aggregatet til to mindre aggregater med samme totale luftmengde, varme- og kjølekapasitet og ved gjennomføring av en årssimulering kan usikkerheten estimeres. De nye verdiene for aggregatene blir dermed som vist i modell A5.6 med samme verdier for SFP_e , varmegjenvinningsgrad og driftsbetingelser.

	Verdi
Tilluft drift	4989,5 m^3/h
Avtrekk drift	4556 m^3/h
Tilluft utenfor drift	1479,5 m^3/h
Avtrekk utenfor drift	1350 m^3/h
Tilluft nattkjøling	3796,5 m^3/h
Avtrekk nattkjøling	3289,5 m^3/h
Kapasitet varmebatteri	18,5kW
Kapasitet kjølebatteri	31,75kW

Tabell A5.6: Halverte verdier ventilasjonssystem sone sør

Figur A5.11 viser resultatet fra årssimuleringen med to mindre aggregater med samme totale kapasitet.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	842908 kWh	120,2 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	44921 kWh	6,4 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	887829 kWh	126,6 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	887829 kWh	126,6 kWh/m ²

Figur A5.11: Årssimulering splittet sør

Netto levert energi til bygningen blir dermed 887829 kWh imotsetning til 887995 kWh som simulert ved ett ventilasjonssystem for sone sør. De to verdiene skilles med mindre enn 166kWh som er mindre enn 1‰ av netto levert energi ved simulering av “Kongens gate 87 felles nord”. Dermed vil å splitte ett aggregat til flere mindre innebære lite til ingen usikkerhet.

A5.3 Usikkerhet virkningsgrader

Fra kapittel 5.4 kommer det frem at årsvirkningsgraden for varmepumper ligger mellom 2-5. Det er estimert at varmepumpene i Kongens gate 87 har en årsgjennomsnittlig virkningsgrad på 3, og kjølepumpene 2,6. Dette innebærer usikkerhet ettersom de faktiske virkningsgradene er ukjente. Utfallet dette kan ha for resultat finnes ved å simulere modell “Kongens gate 87 felles nord” med de forskjellige årsvirkningsgradene gitt i tabell A5.7.

	Årsgjennomsnittlige virkningsgrad varme	Årsgjennomsnittlige virkningsgrad kjøling
Laveste	2	2
Høyeste	5	5

Tabell A5.7: Årsgjennomsnittlige virkningsgrader

Resultatene fra disse simuleringene vises i figur A5.12 og A5.13

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	842910 kWh	120,2 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	67272 kWh	9,6 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	910182 kWh	129,8 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	910182 kWh	129,8 kWh/m ²

Figur A5.12: Årssimulering laveste årsgjennomsnittlige virkningsgrad

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	842910 kWh	120,2 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	26909 kWh	3,8 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	869818 kWh	124,1 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	869818 kWh	124,1 kWh/m ²

Figur A5.13: Årssimulering høyeste årsgjennomsnittlige virkningsgrad

Fra figurene kommer det frem at netto levert energi for bygningen varierer mellom 919182 og 869818 kWh for henholdsvis laveste og høyeste årsgjennomsnittlige virkningsgrad. Dette innebærer en maksimal feil på 31192kWh, som er 3,5% av årlig estimert energiforbruk ved antatte virkningsgrader.

A6 Aggregatinfo for eksisterende system

System 360.03



Produktvalg
Placering 2004.3.2

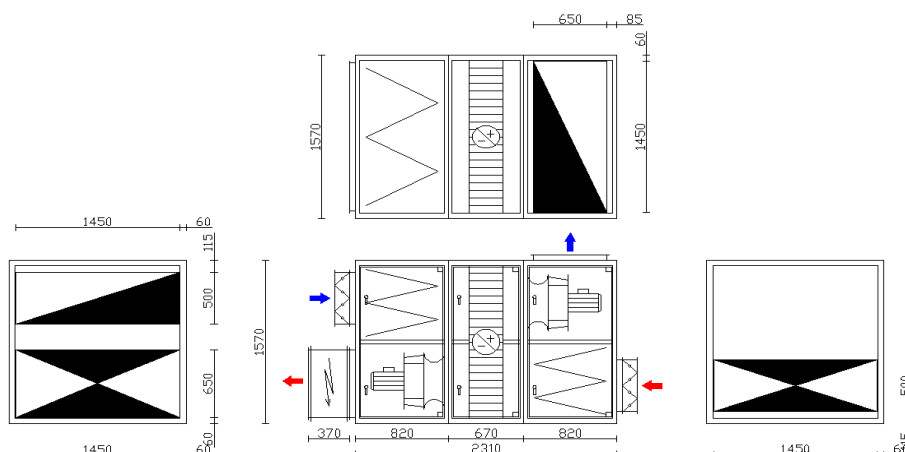
26.04.2004
Side 6

Projekt: Kongensgt. 87 - P-213

Aggregat: DV 30N
Anlæg: 0531294

Oversigt for aggregat nr. 2

Aggregatstørrelse 30
Aggregatbredde 1570 mm
Vægt 892 kg



	Tilluft		Fraluft							
Luftmængde	10000.00	m ³ /h	10000.00	m ³ /h						
Lufthastighed i aggregat	2.39	m/s	2.39	m/s						
Eksternt tryktab	300	Pa	300	Pa						
Filter	F7		F7							
Ventilator	73	%	73	%						
	1962	o/min	1944	o/min						
Motor	4.00	kW	4.00	kW						
	3x230	V	3x230	V						
	14.96	A	14.96	A						
Varmeveksler	71.7	%								
Varmebatteri, elektrisk	38.56 kW - Luft 9.0/20.0°C - 3x230 V									
SFP, rene filtre	2.20	kW/(m ³ /s)								
Lydeffektniveau	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz	Total
Tilluft, indblæsning	70	71	91	83	76	74	71	72	dB	85 dB(A)
Tilluft, indtag	64	65	85	74	64	57	51	48	dB	77 dB(A)
Fraluft, afkast	69	70	90	82	75	73	70	71	dB	85 dB(A)
Fraluft, udsugning	63	64	84	73	63	56	50	47	dB	77 dB(A)
Omgivelser	62	62	71	59	51	47	43	43	dB	63 dB(A)

Tolerance: +/- 3 dB

Systemair as
Industriveien
2072 Dal

Telefon : 6392 3650
Fax : 6392 3699

www.systemair.no

Selskabsnummer
MOMSnummer



Produktvalg 26.04.2004
Placering 2004.3.2 Side 7

Projekt: Kongensgt. 87 - P-213

Aggregat: DV 30N
Anlæg: 0531294

Kommentar

Teknisk specifikation

Tilluftaggregat består af

Spjæld	DVA-30-2-1-1-1-1			
Tryktab Spjældblade		7 Standard	Pa	
Inspektionsdel	DVI-30-2-150-1-1			
Tryktab Længde		4 150	Pa mm	
Filter	DVF-30-2-0-1-1-7			
Tryktab, dimensionerende		189	Pa	
Tryktab, start/Tryktab, slut		130/248	Pa	
Lufthastighed, frontareal		3.43	m/s	
Lufthastighed, Filterareal		0.23	m/s	
Filterklasse		F7		
Filterstørrelse	1x[592x592]+ 1x[490x592] + 1x[287x592]			
Tomdel	DVO-30-2-150-1-1			
Tryktab Længde		4 150	Pa mm	
Roterende veksler	DVC-30-2-0-1-2-1-1			
		<u>Tilluftaggregat</u>	<u>Fraluftaggregat</u>	
Luftmængde		10000	10000	m ³ /h
Tryktab		171	171	Pa
Lufttemperatur, vinter før/efter		-19.0/9.0	20.0/-3.9	°C
Relativ luftfugtighed, vinter før/efter		90/33	30/100	%
Effekt		108.60		kW
Virkningsgrad		71.7		%
Varmeveksler			Standard	
Drivsystem			Konstant drift	
Electrical data			3x230/400V, 1.2/0.7Amp	
Tomdel	DVO-30-2-150-1-1			
Tryktab Længde		4 150	Pa mm	

Systemair as
Industriveien
2072 Dal

Telefon : 6392 3650
Fax : 6392 3699

www.systemair.no

Selskabsnummer
MOMSnummer



Produktvalg

26.04.2004

Placering 2004.3.2

Side 8

Ventilator, Kammer

DVE-30-2-1-0-1-1-1-4.0

Direkte drift			
Luftmængde	10000	m3/h	
Statisk tryk, ventilator	710	Pa	
Ekstern tryktab	300	Pa	
Totaltryk	795	Pa	
Omdrejningstal	1962	o/min	
Ventilatorvirkningsgrad	73	%	
Aksel effekt	3.03	kW	
Maximum omdrejningstal	2700	o/min	
Operational frequency	68	Hz	
Max frequency	88	Hz	

Motor

M-10-3-230-1-0-4-0-4.00-0

Motor type	Integreret i ventilator	
Termosikring	Termistor	
Effekt	4.00	kW
Omdrejninger (Nominel)	1435	o/min
Strøm, Amp.	14.96	A
Virkningsgrad	89	%
Spænding	3x230	V

Varmebatteri

DVH-30-2-2-1-1-40

Luftmængde	10000	m3/h			
Tryktab	32	Pa			
Lufttemperatur ind/ud	9.0/20.0	°C			
Effekt	38.56	kW			
Antal trin	4				
Trin	1	2	3	4	
Opdeling	1	2	4	8	
Effekt	2.6	5.1	10.3	20.6	kW
Spænding	3x230	3x230	3x230	3x230	V
Strøm, Amp.	6.5	12.9	25.8	51.6	A

Fraluftaggregat består af**Spjæld**

DVA-30-1-1-1-1-1

Tryktab	7	Pa
Spjældblade	Standard	

Inspektionsdel

DVI-30-1-150-1-1

Tryktab	4	Pa
Længde	150	mm

Systemair as
Industriveien
2072 DalTelefon : 6392 3650
Fax : 6392 3699

www.systemair.no

Selskabsnummer
MOMSnummer



Produktvalg 26.04.2004
Placering 2004.3.2 Side 9

Filter	DVF-30-1-0-1-1-7		
Tryktab, dimensionerende		189	Pa
Tryktab, start/Tryktab, slut		130/248	Pa
Lufthastighed, frontareal		3.43	m/s
Lufthastighed, Filterareal		0.23	m/s
Filterklasse		F7	
Filterstørrelse	1x[592x592]+ 1x[490x592] + 1x[287x592]		
Tomdel	DVO-30-1-150-1-1		
Tryktab		4	Pa
Længde		150	mm
Roterende veksler	DVC-30-2-0-1-2-1-1		
	Data vises på tilluft.		
Tomdel	DVO-30-1-150-1-1		
Tryktab		4	Pa
Længde		150	mm
Ventilator, Kammer	DVE-30-1-3-0-1-1-1-4.0		
Direkte drift			
Luftmængde		10000	m3/h
Statisk tryk, ventilator		678	Pa
Eksternt tryktab		300	Pa
Totaltryk		764	Pa
Omdrejningstal		1944	o/min
Ventilatorvirkningsgrad		73	%
Aksel effekt		2.92	kW
Maximum omdrejningstal		2700	o/min
Operational frequency		68	Hz
Max frequency		88	Hz
Motor	M-10-3-230-1-0-4-0-4.00-0		
Motor type	Integreret i ventilator		
Termosikring	Termistor		
Effekt	4.00		kW
Omdrejninger (Nominel)	1435		o/min
Strøm, Amp.	14.96		A
Virkningsgrad	89		%
Spænding	3x230		V

Andre komponenter

Sektion CS-30-670-1-2

Systemair as
Industriveien
2072 Dal

Telefon : 6392 3650
Fax : 6392 3699

www.systemair.no

Selskabsnummer
MOMSnummer




Produktvalg
Placering 2004.3.2

26.04.2004

Side 10

	Dimensioner (Bredde x højde x længde)	1570 x 1570 x 820	mm
	Vægt	107	kg
Sektion		CS-30-820-1-2	
	Dimensioner (Bredde x højde x længde)	1570 x 1570 x 670	mm
	Vægt	167	kg
Sektion		CS-30-820-1-2	
	Dimensioner (Bredde x højde x længde)	1570 x 1570 x 820	mm
	Vægt	167	kg
Sektion		CS-30-370-1-1	
	Dimensioner (Bredde x højde x længde)	1570 x 820 x 370	mm
	Vægt	50	kg
Fast forbindelse, 20 mm LS profil		DVT-30-1-2	
Fast forbindelse, 20 mm LS profil		DVT-30-1-5	
Fast forbindelse, 20 mm LS profil		DVT-30-1-2	
Fast forbindelse, 20 mm LS profil		DVT-30-1-5	

System 360.04

Lüftungs- u. Klimatechnik Oberflächentechnik Landtechnik		Stahlbau GmbH & Co KG 85290 Geisenfeld Tel. (08452) 99-0 Fax (08452) 8410 FS 55607
Wolf Stahlbau · Münchener Straße 54 · 85290 Geisenfeld		
TEKNOLINK NORD AS GILDHEIMSVEIEN 8 N-7044 TRONDHEIM NORWEGEN	L I E F E R S C H E I N (M)	***** DATUM BLATT **NUMMER ** 11.01.95 1 **WK-20917 ** **KUNDE: 18077 ** ***** VERTR. 3600 Bitte immer angeben
AUFTRAGS-NR: WK-55138 IHRE BEST.: 22.11.94 D. TELEFAX VERSANDART: SPEDITION LIEF-BED.: FREI DEUTSCHE GRENZE ABLUFTGERAET TYP WK-101		SACHBEARBEITER H.KASTL TEL.08452/99-61 KOMM.: POLITIKAMMER 2B VERPACKUNG: *AUSLIEFERTERMIN IST EIN CA.-TERMIN*


Pos Art-Nr / Bezeichnung Menge ME		

1	9-101-100-10	1 ST
VENTI-LEERTEIL MIT SCHWINGRAHMEN GEWICHT: kg 185		
2	9-101-102-10	1 ST
VENTILATOR HD RUECKWAERTS GEKR. THLZ 400 LUFTLEISTUNG: cbm/h 7450 EXT.PRESSUNG: Pa 524 GES.PRESSUNG: Pa 806 VENTI-DREHZ.: U/min 1950 KRAFTBED.A.D.W.: kW 2,1 LW dB 82/250 Hz LW AUSSEN dB 63/250 Hz LPA 1m SEITLICH dB 48/250 Hz LPA 1m SEITL.SUMMENP.dB 56 SCHALLANGABEN BEZOGEN AUF SCHALLTOTEN RAUM GEWICHT: kg 40		
3	9-101-109-10	1 ST
MOTORSCHIEBE: 125/2/SPZ MIT BUCHSE BG.d 28 mm VENTISCHIEBE: 90/2/SPZ MIT BUCHSE BG.d 30 mm MOTOR WIRD BEIGESTELLT		
4	9-101-256-10	1 ST
LEERTEIL, 500 mm lg. GEWICHT: kg 60		
5	9-101-400-31	1 ST
FILTER-LEERTEIL TL MIT FAR Uebertrag		

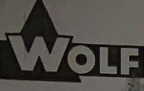
Bitte beachten Sie unsere umsichtigen Verkaufs-, Liefer- und Zahlungsbedingungen		
Sitz der Gesellschaft: Geisenfeld Registergericht: Amtsgericht Neuburg/Donau, HRA 43616 Komplementär: WOLF & Co GmbH Amtsgericht Neuburg, HRB 43189 Geschäftsführung beim Komplementär: Erich Deml, Josef Richtsfeld		
Hypobank Geisenfeld 6370127614 (BLZ 72120207) Deutsche Bank Ingolstadt 24/44370 (BLZ 72170007) Sparkasse Geisenfeld 22640 (BLZ 72151650) Raiffeisenbank Geisenfeld 3309436 (BLZ 72191600) Post giro München 183922-806 (BLZ 70010080)		

Figur A6.1: Trykkverdi 360.04

System 360.05

 Wolf Stahlbau GmbH & Co KG · D-85290 Geisenfeld Tel. 08452/09-0 · Fax 08452/8410					
Lüftungsgerät					
Typ type	Baujahr year of manufacture année de construction		Fabr. Nr. serial No. numéro de série		
WK-41	1995		WK-55139		
Ventilator fan ventilateur	<input checked="" type="checkbox"/> XXX	Zuluft inlet air entrée d'air	<input type="checkbox"/>	Fortluft oulet air sortie d'air	
Volumenstrom volume stream courant de volume	V_2 [20°C]	0,87	m ³ /s	Förderdruck extern delivery pressure ext. pression d'extraction ext.	ext. Δp stat. 528 Pa
Förderdruck gesamt delivery pressure total pression d'extraction total	ges. Δp stat.	860	Pa	Ventilatorzahl fan rotational speed nombre de tours du ventilateur	n_V 2112 min ⁻¹
Motornennleistung motor nominal capacity capacité nominale du moteur	P_N		kW	Motordrehzahl motor rotational speed nombre de tours du moteur	n_M min ⁻¹
Motornennstrom motor nominal current courant nominal du moteur	I_M		A	Nennspannung nominal voltage voltage nominal	U_N V/Hz
Schalleistungspegel am Ventilatoraustritt sound performance level at the fan exit niveau du débit de son à la sortie du ventilateur	L_w	78	dB	Schallleistungspegel 1 m neben Gerät sound pressure level beside the machinery niveau de la pression de son à côté de la machine	L_{pA} 52 dB
Erhitzer heater réchauffeur					
Nennwärmeleistung nominal heating capacity capacité calorifique nominale			kW	Lufttemperatur air temperature température d'air	$t_{E/LA}$ °C
Heizmedium heating medium combustible				Durchsatz max. throughput max. débit max.	
Heizmedium heating medium combustible			°C/bar	Max. Betriebszustand max. working condition max. état d'opération	°C/bar
Kühler cooler refroidisseur					
Kühlernennleistung cooler nominal capacity capacité nominale du refroidisseur			kW	Lufttemperatur air temperature température d'air	t_{LE} °C/% r.F.
Kühlmedium coolant réfrigérant				Lufttemperatur air temperature température d'air	t_{LA} °C/% r.F.
Kühlmedium coolant réfrigérant			°C/bar	Max. Betriebszustand max. working condition max. état d'opération	°C/bar
Filter filter filtre	<input checked="" type="checkbox"/>	Vorfilter prefilter préfiltre	<input type="checkbox"/>	Nachfilter subsequent filter filtre subséquent	
Güteklasse EU grade EU classe de qualité EU				Güteklasse EU grade EU classe de qualité EU	
Endwiderstand final resistance résistance finale			350	Endwiderstand, final resistance résistance finale	Pa
Wärmerückgewinnung heat recovery récupération de chaleur					
Rückwärmezahl return heat number nombre de chaleur retournante	ϕ_2	trocken dry sèch		Rückwärmezahl return heat number nomb. de chaleur retournante	ϕ_2 feucht humid humide

Figur A6.2: Trykkverdi 360.05 tilluft

 Wolf Stahlbau GmbH & Co KG · D-85290 Geisenfeld Tel. 08452/99-0 · Fax 08452/8410					
Lueftungsgeraet					
Typ type type	WK-41	Baujahr year of manufacture année de construction	1995	Fabr. Nr. serial No. numéro de série	WK-55140
Ventilator fan ventilateur	<input type="checkbox"/>	Zuluft inlet air entrée d'air	<input checked="" type="checkbox"/> XXX	Fortluft outlet air sortie d'air	
Volumenstrom volume stream courant de volume	$V_2 [20^\circ\text{C}]$	0,87	m ³ /s	Förderdruck extern delivery pressure ext. pression d'extraction ext.	ext. Δp stat. 451 Pa
Förderdruck gesamt delivery pressure total pression d'extraction total	ges. Δp stat.	783	Pa	Ventilatorrehzahl fan rotational speed nombre de tours du ventilateur	n_V 2005 min ⁻¹
Motormennleistung motor nominal capacity capacité nominale du moteur	P_N		kW	Motordrehzahl motor rotational speed nombre de tours du moteur	n_M min ⁻¹
Motormennstrom motor nominal current courant nominal du moteur	I_M		A	Nennspannung nominal voltage voltage nominal	U_N V/Hz
Schalleistungspegel am Ventilatoraustritt sound performance level at the fan exit niveau du débit de son à la sortie du ventilateur	L_w	77	dB	Schalldruckpegel 1 m neben Gerät sound pressure level beside the machinery niveau de la pression de son à côté de la machine	L_{pA} 52 dB
Erhitzer heater réchauffeur					
Nennwärmeleistung nominal heating capacity capacité calorifique nominale			kW	Lufttemperatur air temperature température d'air	t_{LE}/t_{LA} °C
Heizmedium heating medium combustible				Durchsatz max. throughput max. débit max.	
Heizmedium heating medium combustible			°C/bar	Max. Betriebszustand max. working condition max. état d'opération	°C/bar
Kühler cooler refroidisseur					
Kühlemennleistung cooler nominal capacity capacité nominale du refroidisseur			kW	Lufttemperatur air temperature température d'air	t_{LE} °C/% r.F.
Kühlmedium coolant réfrigérantif				Lufttemperatur air temperature température d'air	t_{LA} °C/% r.F.
Kühlmedium coolant réfrigérantif			°C/bar	Max. Betriebszustand max. working condition max. état d'opération	°C/bar
Filter filter filtre	<input checked="" type="checkbox"/> XXX	Vorfilter prefilter préfiltre	<input type="checkbox"/>	Nachfilter subsequent filter filtre subséquent	
Güteklasse EU grade EU classe de qualité EU		7		Güteklasse EU grade EU classe de qualité EU	
Endwiderstand final resistance résistance finale		350	Pa	Endwiderstand, final resistance résistance finale	Pa
Wärmerückgewinnung heat recovery récupération de chaleur					
Rückwärmezahl return heat number nombre de chaleur retournante	Φ_z	trocken dry sec		Rückwärmezahl return heat number nombre de chaleur retournante	Φ_z feucht humid humide

Figur A6.3: Trykkverdier 360.05 avtrekk

A7 Swegon AHU Design

360.01 - RX 050

Percent	Airflow			External presure					
	Supply air	Extract air	Outdoor air	Supply air	Extract air	Exhaust air	SFPe	SFPv	EtaT
	m ³ /h	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	kW/(m ² /s)	kW/(m ² /s)	%
100	14,720	14,440	65	160	308	473	2.68	2.55	82.4
80	11,770	11,550	42	120	215	303	1.85	1.75	84.1
60	8,827	8,665	23	90	143	170	1.21	1.13	85.3
40	5,886	5,774	10	68	91	76	0.79	0.73	85.5
20	2,943	2,888	3	54	60	19	0.57	0.54	82.8

Figur A7.1: Aggregatdata 360.01

360.02 - RX 050

Percent	Airflow			External presure					
	Supply air	Extract air	Outdoor air	Supply air	Extract air	Exhaust air	SFPe	SFPv	EtaT
	m ³ /h	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	kW/(m ² /s)	kW/(m ² /s)	%
100	11,570	10,560	51	133	294	48	1.51	1.40	80.9
80	9,256	8,446	33	103	206	31	1.11	1.02	81.7
60	6,941	6,332	18	80	138	17	0.80	0.73	81.8
40	4,630	4,223	8	63	89	8	0.59	0.54	80.9
20	2,314	2,111	2	53	60	2	0.51	0.48	72.0

Figur A7.2: Aggregatdata 360.02

360.03 - RX 040

Percent	Airflow			External presure					
	Supply air	Extract air	Outdoor air	Supply air	Extract air	Exhaust air	SFPe	SFPv	EtaT
	m ³ /h	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	kW/(m ² /s)	kW/(m ² /s)	%
100	10,250	12,140	151	181	398	125	2.39	2.24	89.2
80	8,201	9,713	97	134	273	80	1.66	1.54	90.6
60	6,152	7,283	54	97	175	45	1.12	1.03	91.4
40	4,100	4,856	24	71	106	20	0.74	0.67	91.0
20	2,051	2,428	6	55	64	5	0.56	0.53	87.1

Figur A7.3: Aggregatdata 360.03

360.04 - RX 020

Percent	Airflow			External presure					
	Supply air	Extract air	Outdoor air	Supply air	Extract air	Exhaust air	SFPe	SFPv	EtaT
	m ³ /h	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	kW/(m ³ /s)	kW/(m ³ /s)	%
100	4,680	4,079	116	78	112	12	1.56	1.43	78.1
80	3,744	3,263	74	68	90	8	1.13	1.03	79.0
60	2,807	2,447	42	60	72	4	0.82	0.75	79.2
40	1,872	1,632	19	54	60	2	0.65	0.58	78.4
20	936	816	5	51	52	0	0.59	0.55	74.6

Figur A7.4: Aggregatdata 360.04**360.05 - PX 011**

Percent	Airflow			External presure					
	Supply air	Extract air	Outdoor air	Supply air	Extract air	Exhaust air	SFPe	SFPv	EtaT
	m ³ /h	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	kW/(m ³ /s)	kW/(m ³ /s)	%
100	3,065	3,065	107	108	81	52	1.82	1.67	83.6
80	2,452	2,452	68	87	70	33	1.33	1.22	84.8
60	1,839	1,839	39	71	61	19	0.97	0.89	86.2
40	1,226	1,226	17	59	55	8	0.75	0.69	87.9
20	613	613	4	52	51	2	0.67	0.62	90.9

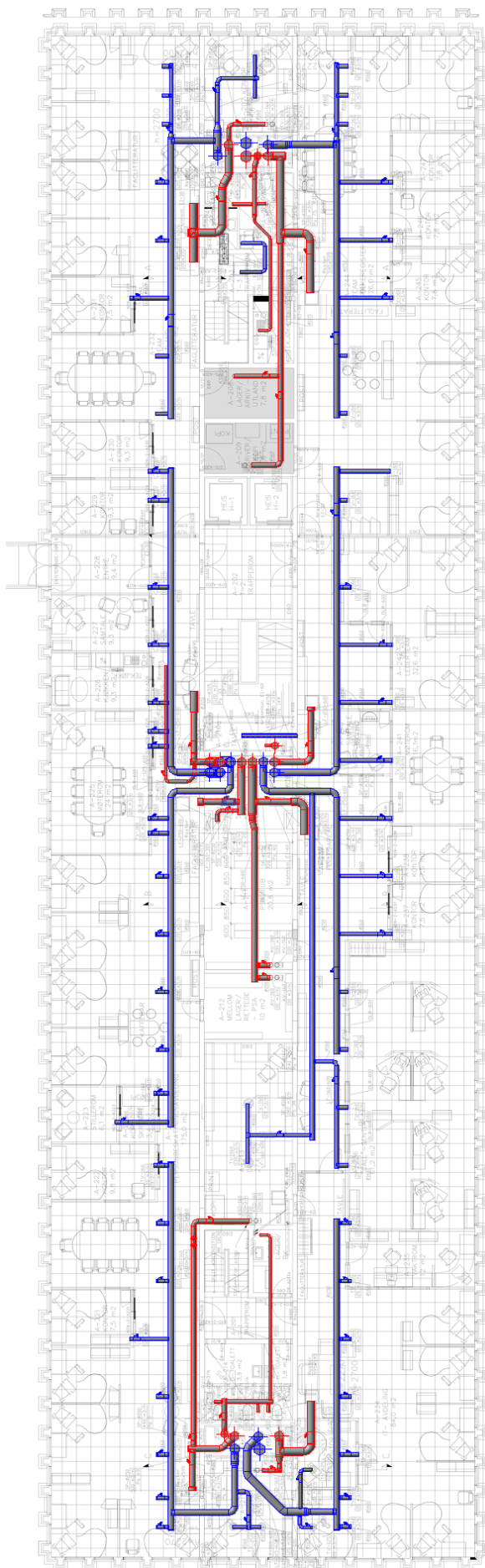
Figur A7.5: Aggregatdata 360.05**Nord - RX 050**

Percent	Airflow			External presure					
	Supply air	Extract air	Outdoor air	Supply air	Extract air	Exhaust air	SFPe	SFPv	EtaT
	m ³ /h	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	kW/(m ³ /s)	kW/(m ³ /s)	%
100	14,930	16,220	193	132	258	81	2.40	2.26	85.7
80	11,940	12,970	124	103	183	52	1.64	1.54	87.6
60	8,960	9,731	69	80	125	29	1.08	1.00	89.0
40	5,972	6,487	31	63	83	13	0.69	0.64	89.3
20	2,987	3,244	8	53	58	3	0.47	0.44	86.5

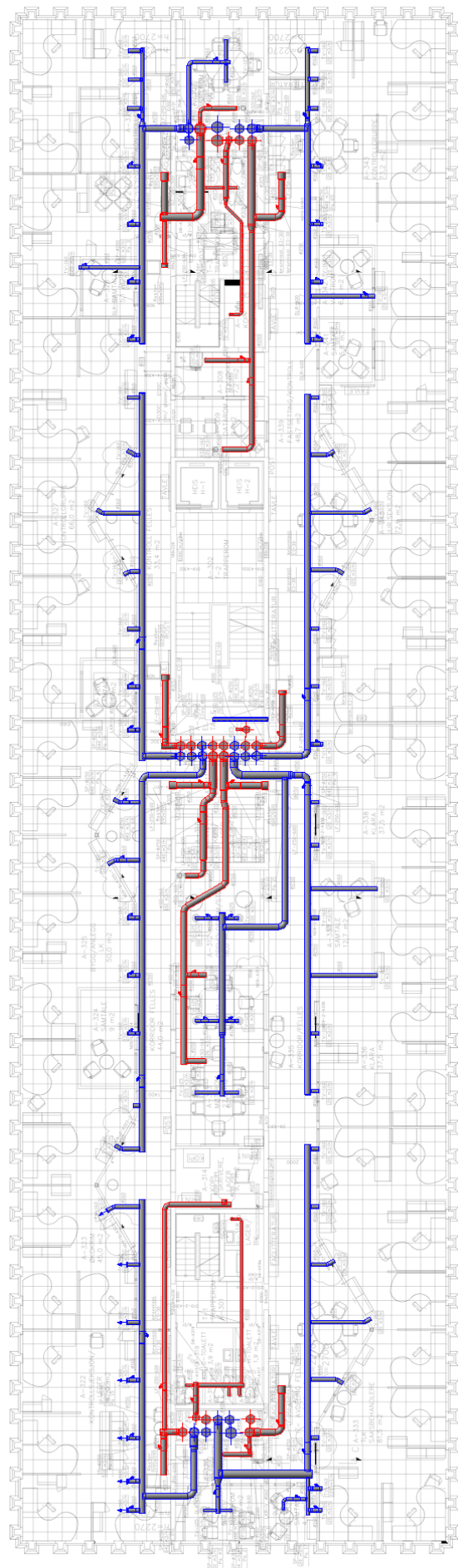
Figur A7.6: Aggregatdata nord

A8 Revit

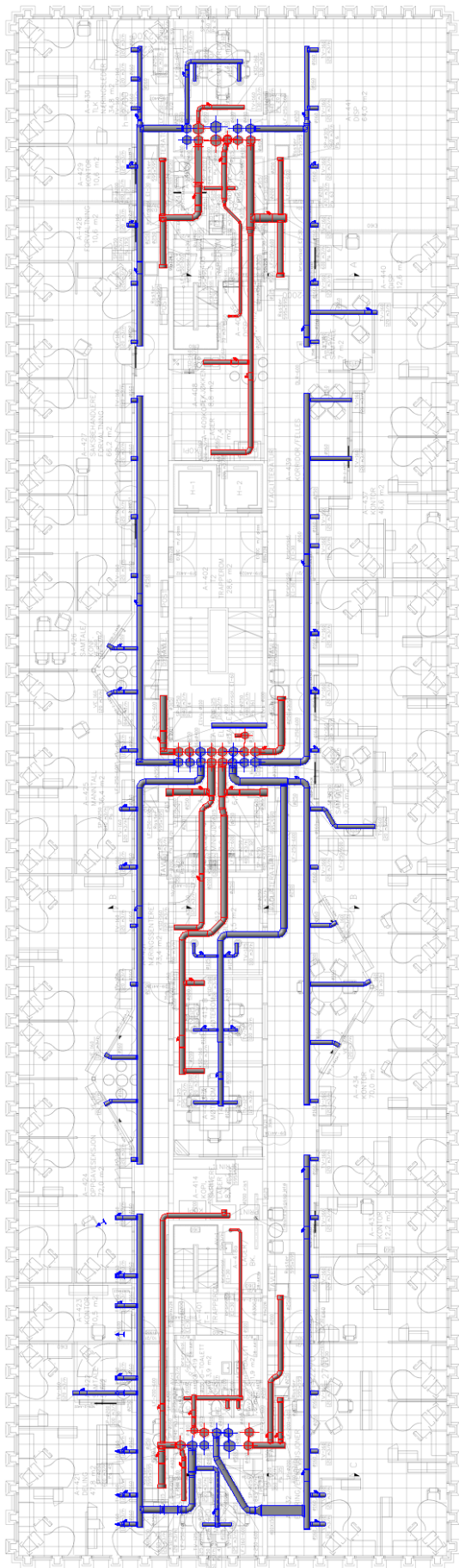
Tegningene i figur A8.1 ,til og med figur A8.8 viser systemet designet i Revit. Tegningene for kjeller (figur A8.1) er utarbeidet til beste evne fra originaltegninger for bygget fra 1973, da dette var det eneste som var gjort tilgjengelig for denne etasjen. 1.etasje til og med 5.etasje er tegnet ut fra digitale PDF-filer fra 2004, se vedlegg. Tegning av 6.etasje (figur A8.7) er ikke slik eksisterende løsning (mars 2020) er oppbygd, men er et forslag til nytt kanalnett for teknisk etasje med nye ventilasjonaggregater. Til slutt viser figur A8.8 en oversikt av hele ventilasjonssystemet i 3D-perspektiv.



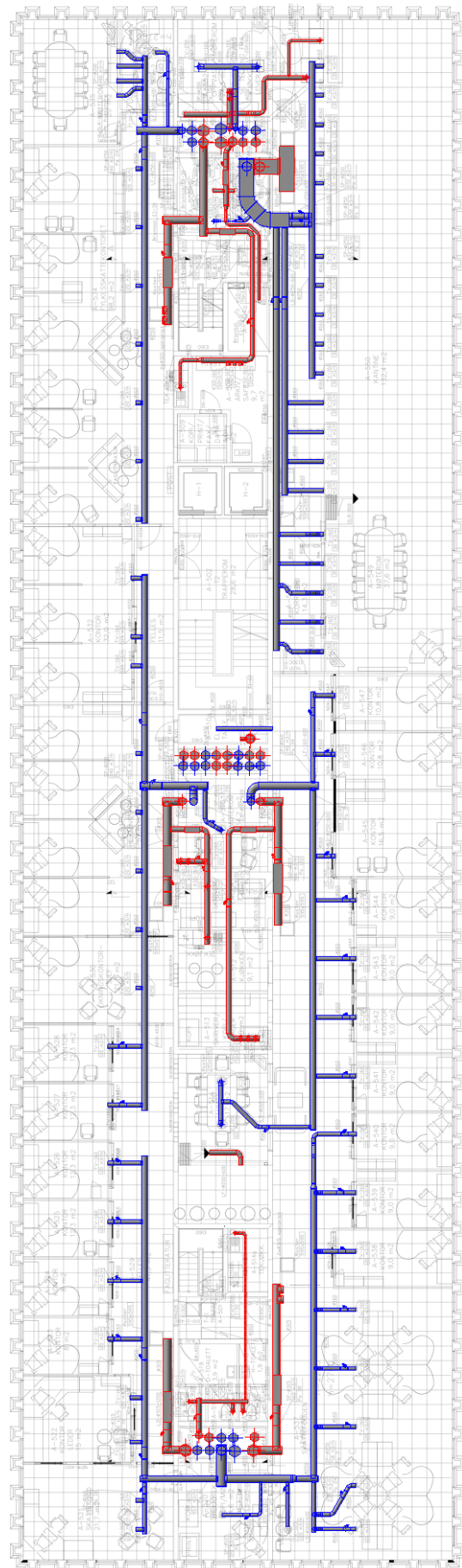
Figur A8.3: 2.etasje



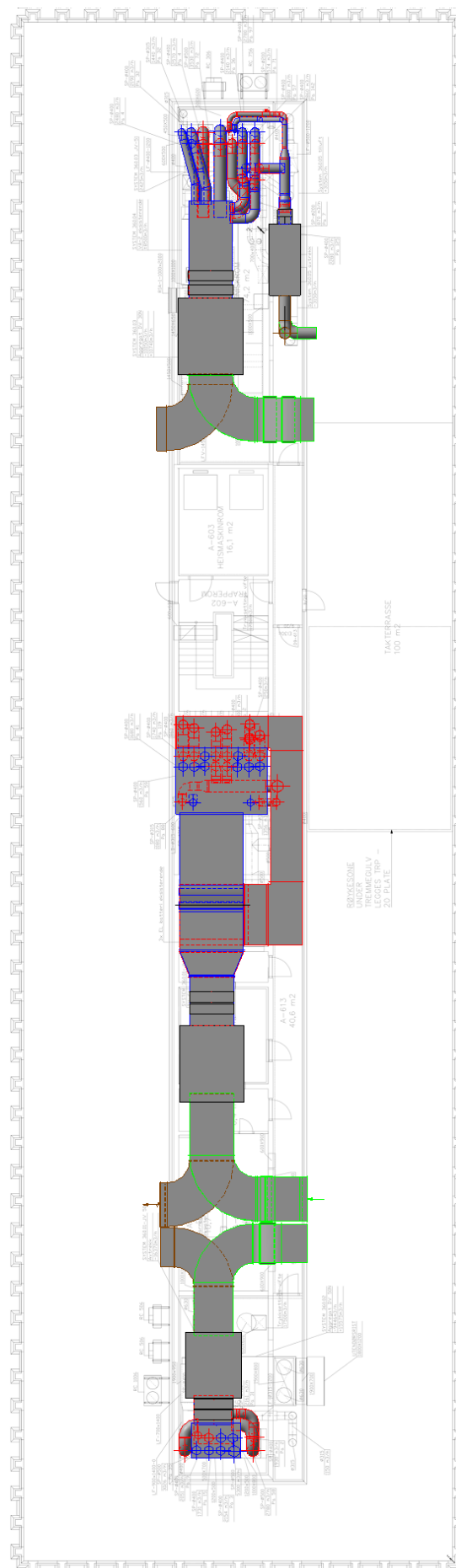
Figur A8.4: 3.etasje



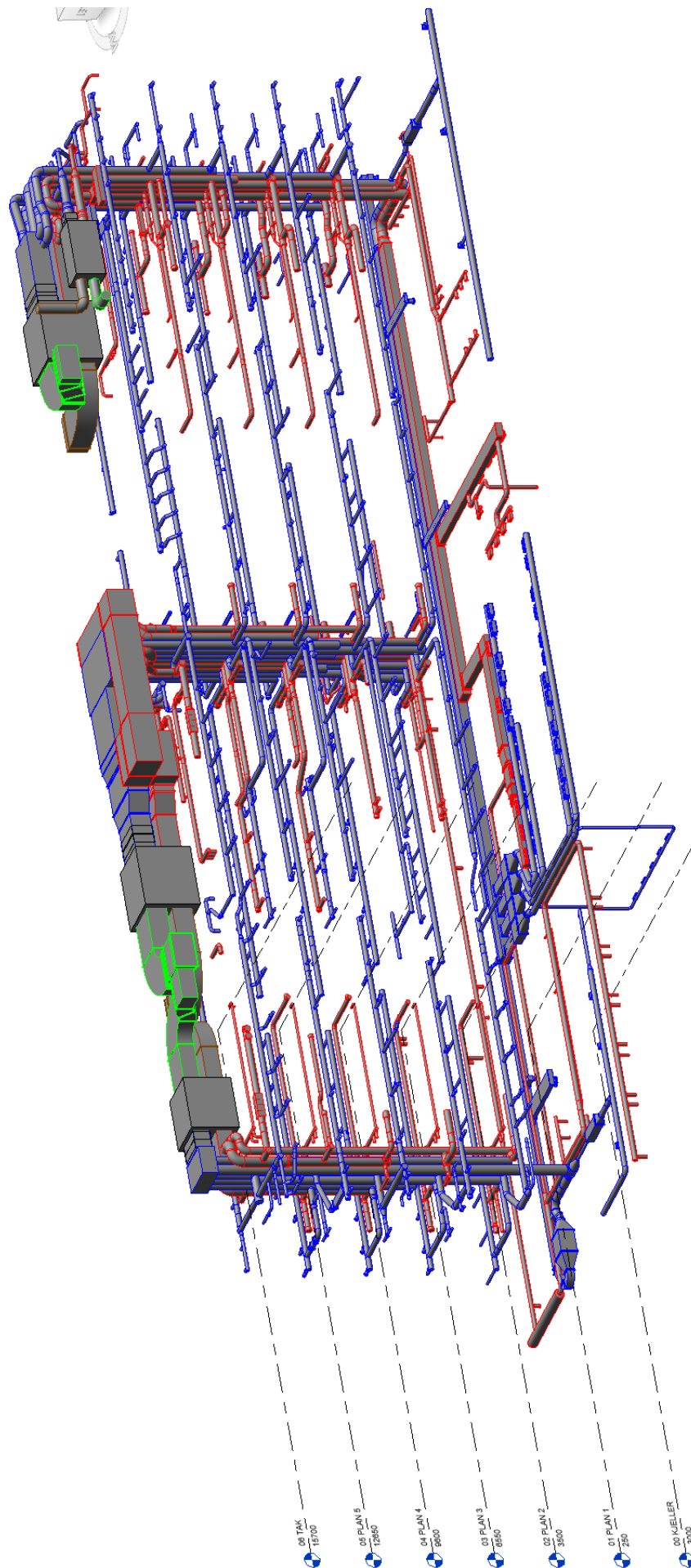
Figur A8.5: 4.etasje



Figur A8.6: 5.etasje



Figur A8.7: 6.etasje, mulig ny teknisk etasje



Figur A8.8: 3D oversikt

