Optimering af tekniske installationer i erhvervsejendom

Bachelorprojekt
Jesper Eriksen
Indeklima og Energi
Aalborg Universitet
Januar 2025

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Fjerde Studieår v/ Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet
Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23, 9220 Aalborg Øst
9000 Aalborg

Titel:

Optimering af tekniske installationer i erhvervsejendom

Periode:

Oktober 2024 - januar 2025

Studerende:

Jesper Eriksen

Vejleder:

Per Kvols Heiselberg

Sidetal: 57
Sidetal med bilag: 81
Afsluttet: 9. januar 2025

Synopsis:

Denne rapport omhandler optimering af tekniske installationer i eksisterende byggeri. Optimeringen har til formål at reducere bygningens energiforbrug. Rapporten behandler energimæssige optimering af klimaskærm og tekniske installationer med inddragelse af social og økonomisk bæredygtighed.
Muligheder for energibesparende tiltag bliver analyseret og vurderet ud fra deres rentabilitet og egnethed i forhold til bygningens funktion og anvendelse. De udvalgte tiltag dimensioneres og projekteres specifikt til bygningen.
Afslutningsvis udføres en energiberegning for at vurdere de valgte tiltags indvirkning på bygningens estimerede energiforbrug.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Abstract

This project is made as the final project of the *"Bachelor of Engineering in Civil Engineering with specialisation in Indoor Environmental and Energy Engineering"*.

The project is based on a due diligence assignment carried out during the mandatory internship, which is a component of the educational program. The assignment led to an increased interest in energy optimization of the building, driven by the condition of its technical installations.

The project examines potential energy-saving measures for the building envelope and technical installations. The measures will be chosen for the final optimizations based on their cost-efficiency and suitability for the building's intended use.

The chosen measures will be designed and dimensioned for the building, including considerations for their operation and control. The dimensioned measures include radiant heating, ventilation system, and domestic hot water heat exchanger.

The building is simulated with optimized installations to verify that they meet the requirements for indoor climate. Lastly, an energy calculation in the programme Energy10 will be made for the combined measures to assess their impact on the building's energy consumption.

In conclusion the optimization results in a slight improvement of the energy consumption of the building.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Jesper Eriksen som diplomingeniørprojekt fra Byggeri og Anlæg's Indeklima & Energi studieretning ved Aalborg Universitet. Rapporten omhandler energioptimering af tekniske installationer i eksisterende byggeri.

Læsevejledning

Kildehenvisningerne i dette projekt er lavet efter Vancouver-metoden, således kilderne fremstår med tal [x]. Kildehenvisninger til hele afsnit fremgår efter punktum, mens henvisninger før punktum vil referere til den enkelte sætning.

Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitlet, hvori de fremgår. Figur 2.3 vil således være den tredje figur i kapitel 2. Refereres der til tabeller eller figurer i bilagsafsnittet, vil referencen bestå af et bogstav, hvor bogstavet angiver hvilket bilag tabellen eller figuren fremgår af. Der er vedhæftet eksterne bilag som henvises til filnavn af bilagslisten.

Jesper Eriksen

Jesper Eriksen

Bilagsliste

Filliste

- Energiberegning Administration efter tiltag
- Energiberegning Administration Eksisterende
- Energiberegning Terminal efter tiltag
- Energiberegning Terminal Eksisterende
- Ventilation 1.sal
- Ventilation stue

Indholdsfortegnelse

1 Bæredygtige bygninger **1**

2 Projektbygningen **3**

2.1 Teknikrum 4

2.2 Tekniske installationer 5

2.3 Energimærke 5

2.4 Indeklima 6

3 Problembeskrivelse **8**

3.1 Teknisk due diligence 8

3.2 Projektbeskrivelse 10

I Forslag **11**

4 Klimaskærm **12**

4.1 Ydervægge 12

4.1.1 Indvendig isolering 12

4.1.2 Udvendig isolering 12

4.2 Terrændæk 13

4.3 Tagkonstruktion 13

4.4 Vinduer & døre 14

4.5 Valg af løsninger 14

5 Varme **16**

5.1 Radiatorer 16

5.2 Strålevarme 16

5.3 Kaloriferer 17

5.4 Ventilationsvarme 17

5.5 Valg varmeinstallationer 18

6 Ventilation **19**

6.1 Naturlig ventilation 19

6.2 Mekanisk ventilation 19

6.3 Hybrid ventilation 20

6.4 Decentral ventilation 20
6.5 Valg af ventilation 21

II Løsning **22**

7 Varme **23**
7.1 Terminalen 23
7.1.1 Rørføring 25
7.1.2 Regulering 27
7.1.3 Drift 28
7.2 Administrationsbygningen 30

8 Ventilation **31**
8.1 Terminalen 31
8.2 Administrationsbygningen 31
8.2.1 Aggregat 32
8.2.2 Kanaler 34
8.2.3 Armaturer 35

9 Teknikrum **40**
9.1 Pumper 40
9.2 Brugsvandsveksler 41

10 Indeklima **42**
10.1 Simulering af terminalen 42
10.1.1 Resultater 43
10.2 Simulering af kantine 47
10.2.1 Resultater 49

11 Energiforbrug **53**
11.1 Terminal 53
11.2 Administrationsbygning 53

12 Diskussion **55**

13 Konklusion **57**

Litteratur **58**

Bilag A Klimaskærm **62**

Bilag B Strålevarme **64**

Bilag C Rørdimensionering **68**

Bilag D Radiator beregningseksempel **71**

Bilag E Ventilation **73**

E.1 Kanaler 75

E.2 Armatur 80

Bilag F Brugsvandsveksler **81**

Bæredygtige bygninger 1

Klimaudfordringerne har i de seneste årtier fået større opmærksomhed, både globalt og lokalt. Forskere, politikere og borgere erkender i stigende grad nødvendigheden af at forebygge de negative konsekvenser af klimaforandringer. Heraf ses et øget fokus på miljømæssig bæredygtighed, hvilket blandt andet afspejles i krav og lovgivning fra både FN og EU. Parisaftalen fra 2015 fastsætter et overordnet mål om at reducere udledningen af drivhusgasser med 40% globalt sammenlignet med niveauet i 1990[1]. En væsentlig del af de udledte drivhusgasser består af CO_2, som primært kommer fra menneskelige aktiviteter. [2]

I Danmark er bygninger ansvarlige for cirka 30 % af landets samlede CO_2-udledninger. Dette inkluderer udledninger i forbindelse med opførelse, renovering, produktion af byggematerialer og driften af bygninger. [3]
Siden vedtagelsen af Parisaftalen er der udviklet europæiske klimastrategier, som blandt andet stiller krav til både eksisterende bygninger og nybyggeri. Den europæiske grønne pagt skærper disse krav og fokuserer på at gøre bygninger mere energieffektive gennem bæredygtig opførelse og renovering. Det er fastlagt, at alle nye bygninger skal være klimaneutrale inden 2030, mens eksisterende bygninger skal opnå klimaneutralitet senest i 2050. [4]
Selvom standarder og byggeskik stiller krav til udførelsen af byggeri og den efterfølgende drift af bygningerne, ses det fortsat, at bygninger anvender op til 50% mere energi end nødvendigt. Derfor er energieffektivisering og vedvarende energi essentielt i forhold til at opnå mål om nulemissionsbygninger inden 2050.[5]

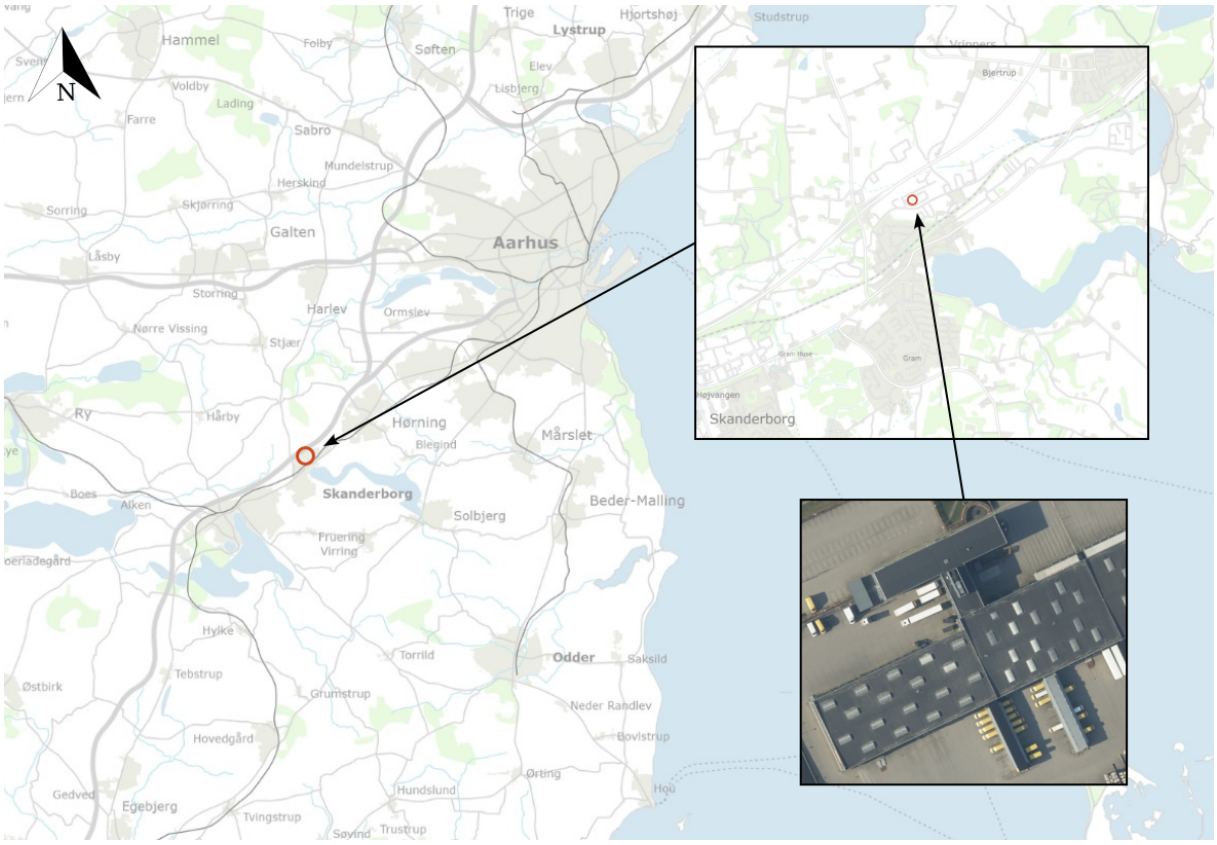
For at sikre en bæredygtig fremtid kræves en helhedsorienteret tilgang, hvor energieffektivitet kombineres med ambitionen om at skabe bygninger, der fremmer sundhed og trivsel. Dette indebærer ikke kun at reducere energiforbruget, men også at prioritere faktorer som indeklima, komfort og livskvalitet for dem, der opholder sig i bygningerne.[6]
Inddragelse af social bæredygtighed i byggeri er til gavn for både den offentlige sektor og i det private ejendomsmarked. I den offentlige sektor er indeklima i stigende grad et fokuspunkt i bygninger, da det kan være med til at give samfundsøkonomisk gevinst. Konsekvenser ved dårligt indeklima kan være årsag til dårligt psykisk og fysisk helbred,

hvilket kan have betydelige omkostninger til sundhedssystemet. Derudover påvirker dårligt indeklima direkte koncentrationsevnen og effektiviteten både på arbejdspladsen og i skoler. På arbejdspladsen kan dette sænke produktiviteten og have en negativ påvirkning på virksomhedens omsætning. For det private ejendomsmarked kan investeringer i social bæredygtighed desuden medføre gevinst i forbindelse med udlejning af bygning eller salgsværdi heraf. [7]

Ved investering i social og miljømæssig bæredygtighed er det derfor vigtigt at inddrage økonomisk bæredygtighed. Herved sikres langsigtet rentabilitet og værdiskabelse gennem effektive investeringer, driftsoptimering og reduktion af omkostninger. Økonomisk bæredygtighed handler om at skabe en balance mellem udgifter og bygningernes kvalitet, så ressourcer anvendes effektivt uden at gå på kompromis med bygningens funktionalitet. Ved at anvende energieffektive løsninger, holdbare materialer og reducere driftsomkostninger, vil bygninger både opnå økonomiske besparelser og en højere værdi på markedet.[6]

Projektbygningen 2

Projektet tager udgangspunkt i en bygning på adressen Niels Bohrs Vej 37 , 8660 Skanderborg. Bygningen er opført i 2002 og anvendes på nuværende tidspunkt som distributions- og logistikcenter for DHL. På figur 2.1 ses lokationen for projektbygningen.



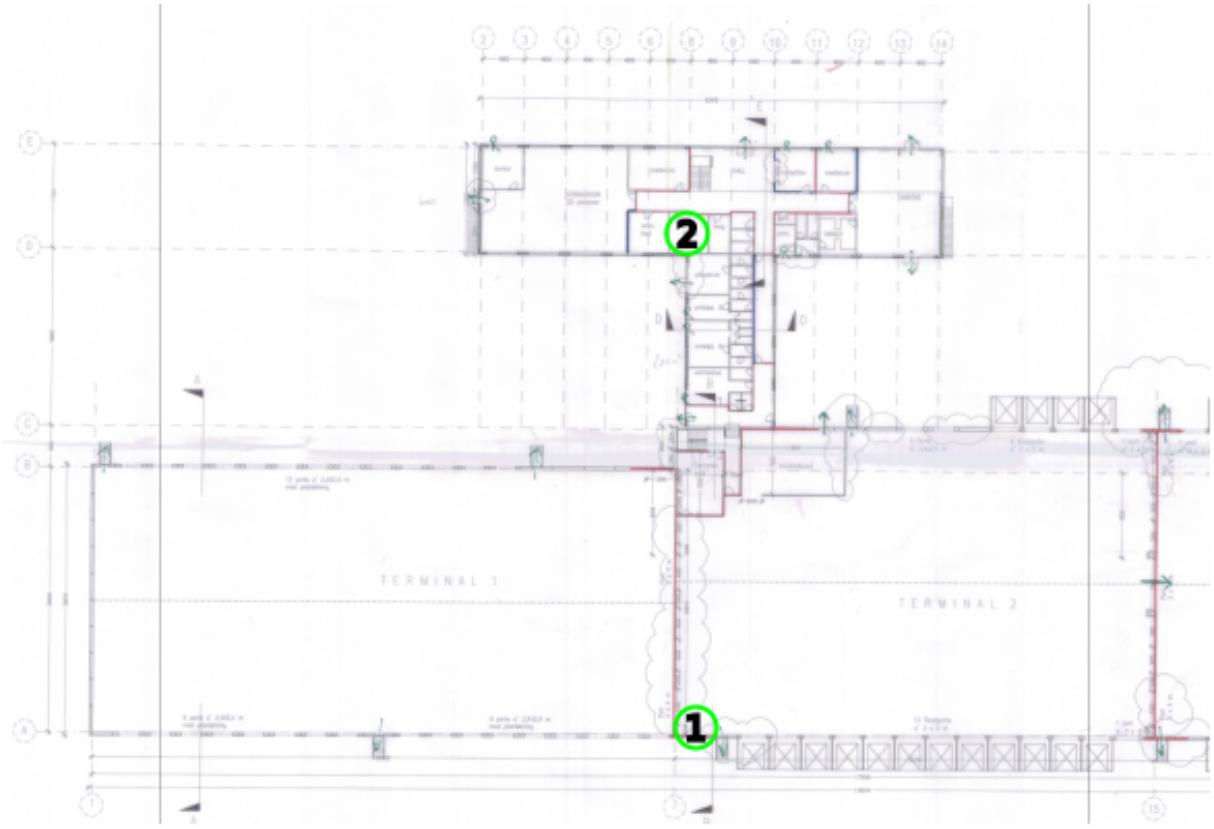
Figur 2.1 Lokation af projektbygningen.

Projektbygningen er en erhvervsejendom til udlejning bestående af en terminalbygning og en administrationsbygning. Der er henholdsvis 3914 m2 terminal og 1630 m2 administrationsbygning. På figur 2.2 ses et oversigtsbillede med afgrænsning af projektbygningen.

Figur 2.2 Afgrænsning af projektbygningen med administrationsbygningen(1) markeret med grøn og terminalen(2) markeret med blå.

2.1 Teknikrum

I bygningen befinder der sig to teknikrum. Lokationerne ses af plantegningen på figur 2.3 markeret som teknikrum 1 og teknikrum 2.



Figur 2.3 Placering af teknikrum 1 og teknikrum 2.

Teknikrum 1 er placeret i terminalen og forsyner både terminalen og administrationsbygningen med fjernvarme. Teknikrummet er derfor udstyret med to fjernvarmemålere til at aflæse forbruget. Til varmeinstallationerne i terminalen er monteret en blandesløjfe med en automatisk modulerende cirkulationspumpe.
I teknikrum 2 findes installationer til opvarmning af lokaler og brugsvand i administrationsbygningen. Der er i teknikrummet placeret en brugsvandsveksler til opvarmning af brugsvand. Der er installeret fordelerrør til at forsyne tappesteder med koldt og varmt brugsvand samt varmeinstallationer med fjernvarme. Herudover er der tre cirkulationspumper til brugsvand, varmeinstallationer og ventilationsanlæggets varmeflade.

2.2 Tekniske installationer

I administrationsbygningen er der tekniske installationer til brugsvand og opvarmning. Tappestederne i bygningen er 16 håndvaske, 3 køkkenvaske, 7 brusere og 12 toiletter. I forhold til opvarmning er der hovedsageligt anvendt radiatorer i bygningen, på nær i omklædningsrum og baderum, hvor der er gulvvarme. Der er mekanisk ventilation i alle lokaler i administrationsbygningen. Ventilationsaggregatet er placeret på taget over teknikrum 2. Aggregatet er et CAV-anlæg med roterende varmeveksler og en varmeflade. I terminalen er der ét tappested til brugsvand, som forsynes af en elvandvarmer. Opvarmning af terminalen består udelukkende af kaloriferer i loftet, som forsynes med fjernvarme fra teknikrum 1. Bygningen ventileres ved naturlig ventilation gennem oplukkelige døre og porte.

2.3 Energimærke

Der er for administrationsbygningen og terminalen et eksisterende energimærke, som oplyser det estimerede energiforbrug. Af den vedhæftede bilagsmappe ses data til beregning af energiforbrug i filerne *"Energiberegning Administraion Eksisterende.pdf"* og *"Energiberegning Terminal Eksisterende.pdf"*.
Bygningerne har separate energimærker, og derfor er det estimerede energiforbrug forskelligt. Energimærket for terminalen indeholder tilhørende bygninger, som ikke medtages i dette projekt. Derfor laves en ny energiberegning for terminalen, mens energiforbruget for administrationsbygningen antages ud fra bygningens energimærke. Beregningsgrundlaget for bygningerne er det gældende Bygningsreglement, og beregningen foretages i Energy10. Af nedenstående tabel 2.1 ses de mest væsentlige oplysninger, som anvendes til beregning af bygningernes energiforbrug.

	Administration	**Terminal**
	Forbrug	
Fjernvarme [kWh]	74.480	142.240
Elektricitet til brugsvand [kWh]	-	2.531
Elektricitet til andet [kWh]	44.761	128.368
Forbrug i alt [kWh]	119.241	144.771
	Resultater	
Energibehov [kWh/m^2]	94,0	106,9
Energimærke	B	C

Tabel 2.1 Tabel over bygningens forventede forbrug i energiberegningen.

I energimærket for terminalen er der antaget et forbrug på 100 liter brugsvand pr. m^2 pr. år. Dette er højt taget i betragtning, at der kun er et tappested, og det med stor sandsynlighed ikke anvendes dagligt. Derfor antages det, at 10 liter pr. m^2 pr. år er tilstrækkeligt til bygningens anvendelse. Desuden er der en høj u-værdi for terrændæk, som overstiger den tilladelige værdi for det gældende Bygningsreglement i 2002. Denne værdi er anvendt i det eksisterende energimærke, og derfor antages den for at være korrekt.

2.4 Indeklima

Bygningerne har forskellig anvendelse og vil derfor også have forskellige krav til indeklima. Administrationsbygningen er en kontorbygning, hvor brugerne opholder sig i længere perioder ad gangen. Terminalen anses som en lagerhal. I Bygningsreglementet stilles krav til det termiske indeklima i bygninger til erhverv. Kravet omhandler antallet af timer med overtemperatur, og det kan bestemmes af bygherre. Da bygherre ikke har krav hertil, anvendes de anbefalede værdier til kontorbygninger beskrevet i Bygningsreglementet.[8]
I DS 447 [9] og DS 16798-1-3 [10] omtales indeklima kategorier fra I til IV. Kategorierne relaterer til det forventede indeklima i bygningen og beskriver designkriterier til hver kategori. Designkriterierne omfatter interne belastninger af det termiske og atmosfæriske indeklima i relation til rummenes anvendelse. Disse indeklimakategorier anvendes til at eftervise krav til de to bygningers indeklima i overensstemmelse med deres anvendelse. Bygherre har et specifikt ønske om, at terminalen ikke opvarmes til mere end 18 °C, hvilket inddrages i kravene.[11]
Kravene der skal overholdes fra bygherre, Bygningsreglementet og Dansk Standard ses opstillet i tabel 2.2.

	Administration	**Terminal**
Indeklimakategori	II	II
Minimum operativ temperatur [°C]	20	18
Operativ temperatur over 26°C [timer]	100	100
Operativ temperatur over 27°C [timer]	25	25
CO_2-koncentration grænse [ppm]	1000	1000

Tabel 2.2 Opsummering af indeklimakrav til de to bygninger.

Problembeskrivelse 3

Den følgende beskrivelse identificerer de væsentligste problemer, der er observeret i bygningen under den tekniske due diligence. Denne beskrivelse udgør grundlaget for projektbeskrivelsen og definerer nogle af de problemstillinger, der vil blive undersøgt i projektet.

3.1 Teknisk due diligence

Den 21. august 2024 er der udført teknisk due diligence projektbygningen, med henblik på en tilstandsrapport af bygningens tekniske installationer. Ved teknisk gennemgang af bygningen er der observeret flere forhold, hvor der er mulighed for forbedringer til bygningens energiforbrug. I begge bygninger er der observeret manglende isolering af rør og komponenter i teknikken samt varmerør til kalorifererne i terminalen. På trods af disse befinder sig inde i bygningen, bør de isoleres for at sikre, at varmen går til de tiltænkte installationer og ikke bruges tilfældigt i bygningen.

Radiatorer

Radiatorerne i administrationsbygningen er monteret med ventiler uden forindstilling. Dette medfører, at nogle radiatorer ikke udnytter varmen optimalt. På figur 3.1 ses en termografering af en eksisterende radiator fra bygningen.

Figur 3.1 Termografering af eksisterende radiator med dårlig afkøling.

Brugsvand

Der er foretaget test af brugsvandsveksleren i administrationsbygningen, som viser at veksleren ikke udnytter varmen optimalt. Fremløbstemperaturen til tappesteder er målt til 45 °C, hvilket samtidig øger risikoen for legionella i brugsvandet. Testen er foretaget ved belastning fra ét tappested, og temperaturen bør derfor kunne måles til omkring 60 grader for at bekæmpe bakterier. Af hovedmåleren i teknikrum 1 er det observeret, at bygningerne har en gennemsnitlig returtemperatur til fjernvarmen på 36°C, hvilket ikke medfører strafafgift fra fjernvarmeselskabet. Det er dog observeret, at den aktuelle returtemperatur ved gennemgang er 44 °C, hvilket indikerer, at der er lav afkøling i sommermånederne. Da varmeinstallationerne ikke er aktive i sommermånederne, må den høje returtemperatur antages at være fra brugsvandsveksleren.

Ventilationsaggregat

Ventilationsaggregatet er blevet visuelt inspiceret, og her var tegn på slid af specielt den roterende varmeveksler og ventilator. Komponenterne fungerer, men det er uvist, hvornår der sidst er udført service på det. Ventilationsaggregater har en forventet levetid på omkring 20 år, hvilket nu er overskredet. Af figur 3.2 ses et eksempel på slidtage af ventilationsaggregatet.

Figur 3.2 Slidtage af ventilationsaggregatet.

Kaloriferer

I terminalen er det observeret, at kalorifererne og tilhørende koblingsrør er løbende blevet udskiftet. Størstedelen af kalorifererne er fra bygningens opførelse i 2002, mens andre er udskiftet efter defekt. Af figur 3.3 ses koblingsrør til en kalorifere, der er skiftet fra sort rør til rustfrit stål.

Figur 3.3 Udskiftede koblingsrør til kalorifere.

3.2 Projektbeskrivelse

Dette projekt undersøger mulighederne for at optimere en eksisterende bygning. Fokus er på erhvervsejendommen på Niels Bohrs Vej 37, hvor målet er at reducere energiforbruget gennem energibesparende tiltag.
Projektet omfatter forslag til optimering af bygningens klimaskærm og tekniske installationer. Disse forslag vil blive vurderet på baggrund af deres rentabilitet og gennemførlighed for at identificere den mest optimale løsning til bygningen. Bygningens energimærke anvendes som en indikator for den forventede reduktion i det årlige energiforbrug.
Når de relevante energibesparende tiltag er udvalgt, vil de blive projekteret og dimensioneret med hensyn til bygningens funktion og anvendelse. Løsningerne vil analyseres for deres påvirkning af bygningens indeklima, for at sikre overholdelse af gældende krav.

Del I

Forslag

Klimaskærm 4

Kapitlet vil beskrive forslag til renovering af bygningens klimaskærm med henblik på at reducere varmetabet. Der vil foretages en vurdering af forslagene ud fra deres rentabilitet, med udgangspunkt i omkostninger og årlig besparelse i energiberegningen.

4.1 Ydervægge

Bygningernes eksisterende ydervægge er sandwichelementer bestående af 70 mm forplade, 200 mm isolering og 50-100 mm bagplade. For at forbedre konstruktionens U-værdi undersøges muligheder for indvendig og udvendig efterisolering.

4.1.1 Indvendig isolering

Ved indvendig efterisolering påføres et ekstra lag isolering på indvendig side af konstruktionen. Til opgaven anvendes ofte forsatsvægge, men det er også muligt at finde alternative pladsbesparende løsninger for at bevare det indvendige etageareal. Der kan anvendes varmvægsplader af gips eller et tyndt reflektivt isoleringsmateriale som alternativ til forsatsvæggen.

4.1.2 Udvendig isolering

For at undgå en reduktion af det indvendige etageareal, kan bygningen isoleres udvendigt. Her påføres isoleringsplader direkte på facaden og afsluttes med udvendig beklædning eller puds. Foruden isoleringsplader kan der også udvendigt opbygges forsatsvæg med isolering til at forbedre konstruktionens isoleringsevne. Tabel 4.1 sammenligner U-værdier fra de forskellige muligheder for efterisolering. Beregningen af U-værdierne ses af bilag A.

Forslag	U-værdi $[W/m^2K]$
Indvendig forsatsvæg	0,114
Varmvægsgips	0,192
Refleksiv isolering	0,188
Udvendig forsatsvæg	0,111
Udvendig isolering	0,095

Tabel 4.1 Resultater for beregning af U-værdier til forslag for bygningernes klimaskærm.

4.2 Terrændæk

Det eksisterende terrændæk i terminalen består udelukkende af beton og slidlag, vil det være positivt for energiberegningen at tilføje isolering. For at tilføje isolering vil det være nødvendigt at foretage en gennemgående renovering af terrændækket. Dette omfatter en ny opbygning med isolering under beton og slidlag, da der ikke findes isolerende materialer, der forsvarligt kan monteres ovenpå terrændæk i bygninger med denne anvendelse. Trykfast isolering vil ikke være tilstrækkeligt til at modstå brug af lift eller lignende i terminalen. Ved total renovering af terrændækket vil det være muligt at sænke U-værdien fra 0,54 W/m^{2}K til 0,096 W/m^{2}K.

I administrationsbygningen består terrændækket af 150 mm isolering under beton og slidlag. For at efterisolere dette terrændæk kan anvendes isoleringsplader ovenpå det eksisterende betondæk. Til isolering er det fordelagtigt at anvende de tyndeste plader, som har den højeste isoleringsevne for at bibeholde så meget af rumhøjden som muligt. Samtidig kan etableres isoleringsplader med indbygget gulvvarme, hvis dette ønskes i bygningen. Ved efterisolering af terrændækket i administrationsbygningen med gulvvarmeplader, vil det være muligt at sænke konstruktionens U-værdi fra 0,17 W/m^{2}K til 0,108 W/m^{2}K.

4.3 Tagkonstruktion

Bygningernes tagkonstruktioner er flade tage med varierende tykkelser af isolering. Konstruktionen består af beton huldæk og 150-200 mm isolering under tagpap. De to bygninger kan efterisoleres for at mindske varmetabet, og mulighederne vil være tilnærmelsesvis ens for de to bygninger. Administrationsbygningen har dog mindre plads på indvendig side af bygningen, eftersom der skal være plads til ventilationskanaler og lignende i det nedhængte loft. En indvendig isolering af tagkonstruktionen vil derfor sænke lofthøjden i rummene på 1. sal. Bygningerne kan med fordel isoleres udvendigt med tagisolering med ekstra kompressionsstyrke til at bære eventuelle tekniske installationer på taget eller

gangtrafik. Ved udvendig efterisolering af taget med 200 mm trykfast mineraluld vil det være muligt at halvere U-værdien for tagkonstruktionen på begge bygninger.

4.4 Vinduer & døre

De eksisterende yderdøre og ovenlys har en U-værdi, som overstiger kravet fra det nuværende Bygningsreglement. Derfor bør det overvejes at udskifte disse til lavenergi produkter. Bygningernes vinduer overstiger ikke kravene fra Bygningsreglementet, men det er stadig muligt at finde tilsvarende produkter med lavere varmetab. Følgende tabel 4.2 viser potentielle optimeringer til energiberegningen, som kan foretages på bygningernes vinduer og døre.

Type	U-værdi	Ny U-værdi
Vinduer	1,1	0,78
Yderdøre	1,1-1,2	0,76
Ovenlys	1,8	1,2

Tabel 4.2 Sammenligning af potentielle nye U-værdier for vinduer og yderdøre.[12][13][14]

4.5 Valg af løsninger

Til at vurdere forslagene til bygningen tages udgangspunkt i deres rentabilitet. Beregning af rentabiliteten kan ses i bilag A Af tabel 4.3 og 4.4 ses resultater fra beregning af rentabiliteten på forslagene til efterisolering og udskiftning af vinduer for de to bygninger.

	Administrationsbygningen			
Forslag	Besparelse [kr. pr. år]	Omkostninger [kr.]	Levetid [år]	Rentabilitet [−]
Indvendig forsatsvæg	2.465	1.219.107	40	0,08
Varmvægsgips	233	1.192.665	40	0,01
Refleksiv isolering	350	1.219.107	40	0,01
Udvendig forsatsvæg	2.549	1.685.013	40	0,06
Udvendig isolering	2.996	1.516.004	40	0,08
Terrændæk	1.333	1.123.739	40	0,05
Efterisolering tag	3.337	1.344.215	40	0,10
Udskiftning af vinduer	4.548	1.362.370	50	0,17

Tabel 4.3 Resultater for rentabilitetsberegning af forslag til administrationsbygningen.

	Terminal			
Forslag	Besparelse [kr. pr. år]	Omkostninger [kr.]	Levetid [år]	Rentabilitet [−]
Indvendig forsatsvæg	3.914	3.326.611	40	0,05
Varmvægsgips	368	3.287.181	40	0,00
Refleksiv isolering	550	3.326.611	40	0,01
Udvendig forsatsvæg	4.073	4.600.216	40	0,04
Udvendig isolering	4.772	4.342.699	40	0,04
Terrændæk	29.050	15.778.125	40	0,07
Efterisolering tag	122.198	5.151.425	40	0,09
Udskiftning af vinduer	6.142	731.935	50	0,42

Tabel 4.4 Resultater for rentabilitetsberegning af forslag til terminalen.

Ingen af forslagene overholder krav til rentabilitet på 1,3, hvorfor det ikke vil gavne bygherre økonomisk at etablere nogle af forslagene. Derfor vælges det ikke at indføre nogle af tiltagene til bygningernes klimaskærme. Det bør dog nævnes, at beregningen er et groft overslag, og det er muligt at indhente reelle tilbud, som kan anvendes til en ny beregning. Ofte vil der dog først være tale om rentable forslag til klimaskærm i forbindelse med en nødvendig konstruktionsmæssig renovering.

Varme 5

Følgende kapitel omhandler forslag til varmeinstallationer i de to bygninger. Forslagene vil blive udvalgt til den endelige løsning ud fra deres tilbagebetalingstid, bygbarhed og relevans i forhold til bygningernes anvendelse.

5.1 Radiatorer

En radiator er en varmeenhed, der afgiver varme til et rum ved at cirkulere varmt vand gennem dens indre. Den fordeler varmen via konvektion og stråling og bruges i mange typer varmesystemer. De nuværende radiatorer i administrationsbygningen er fra bygningens opførelse i 2002, og har derfor ikke overskredet deres funktionelle levetid.[15]
Det foreslås derfor, at beholde de eksisterende radiatorer og udelukkende udskifte ventilerne. Der monteres ventiler med forindstilling, som skal sikre en tilpas afkøling på radiatorerne. Dette gør, at varmen bliver udnyttet efter hensigten, og mindsker risikoen for at sende for høj returtemperatur til forsyningen. Udskiftningen af ventilerne kunne reducere varmeforbruget med op til 15% [16].

5.2 Strålevarme

Strålevarme er en opvarmningsform, hvor varme overføres direkte til overflader og genstande via infrarød stråling uden at opvarme luften først. Det skaber en behagelig varme, der minder om solens stråler, og kan bruges i gulvvarme, væg- eller loftpaneler. Strålevarme giver desuden en mere jævn fordeling af varme i opholdszonen sammenlignet med konvektion. Af figur 5.1 ses en principskitse af strålevarme sammenlignet med radiatorer.

Figur 5.1 Principskitser af strålevarme med loftspaneler(venstre) og konvektion(højre).[17]

Strålevarmen giver en bedre oplevelse af den operationelle temperatur i rummet og et mere komfortabelt termisk indeklima. Foruden komfort ses også en forbindelse mellem reduktion af driftomkostninger og udskiftning til strålevarme. Ved udskiftning til strålevarme fra traditionelle konvektionsmetoder ses ofte en energibesparelse på op til 35%[18]. Eftersom forslaget om efterisolering i terrændæk i afsnit 4.2 ikke indføres, vil muligheden for gulvvarme i bygningerne ikke være relevant. Der undersøges i stedet muligheder for strålevarmepaneler i loftet til administrationsbygningen og terminalen. Strålevarme i loftet anvendes ofte i rum med højt til loftet, som lagerbygninger og sportshaller, men kan også anvendes i mindre lokaler som kontor og møderum.[19]

5.3 Kaloriferer

Kaloriferer anvender en kombination af luft og varme til at opvarme rum hurtigt og effektivt. Der tilføres ikke ny luft til bygningen, som ved ventilationsvarme, men luften i bygningen cirkuleres og opvarmes konstant under drift. Kalorifererne kan reagere hurtigt på ændringer i lufttemperatur i bygningen. De er derfor ideelle til bygninger, hvor der ønskes en hurtig regulering af rummets lufttemperatur. Eksempelvis vil kalorifererne kunne levere en masse varm luft når portene åbnes og der trænger kold luft ind. Samtidig kan de installeres under loftet i en højde, hvor de ikke er til gene for personer. Kaloriferer har dog ofte et højere energiforbrug end andre alternativer, eftersom de udelukkende opvarmer luften i rummet, og energien i luften kan hurtigt "gå tabt". Det foreslås at foretage en udskiftning af de eksisterende kaloriferer i terminalen til mere energibesparende enheder. Ved at udskifte de eksisterende kalorifere kan opnås en årlig besparelse på op til 30 % af forbruget af fjernvarme[20].

5.4 Ventilationsvarme

I administrationsbygningen er der på nuværende tidspunkt mekanisk ventilation med varmegenvinding og varmeflade i aggregatet. I terminalen er der udelukkende naturlig ven-

tilation. Varmegenvinding kan i dag stå for op til 96% af den varme, der skal tilføres den friske luft i ventilationsanlægget.[21]
Hermed kan varmetabet til ventilation begrænses markant ved at genanvende varmen i udblæsningsluften, inden den går tabt. En varmeflade vil efter varmegenvinding opvarme indblæsningsluften til den ønskede temperatur, hvis det er nødvendigt. Ventilationsvarme kan dog sjældent opvarme en hel bygning alene. Atmosfærisk luft indeholder ikke meget energi, og det vil derfor kræve høje temperaturer på indblæsningsluften eller et højt luftskifte for at opretholde en komfortabel rumtemperatur. Dette kan medføre diskomfort i form af træk eller høje temperatursvingninger. Derfor foreslås det at anvende ventilationsvarme som supplerende varmegiver til den primære varmeinstallation i begge bygninger.

5.5 Valg varmeinstallationer

Til vurdering af forslagene tages udgangspunkt i tilbagebetalingstiden for radiatorer, strålevarmepaneler og kaloriferer. Ved beregning af omkostninger er medtaget priser på enheder, rør og montering. Omkostninger tager udgangspunkt i priskalkulationer fra Molio Sigma Browser. Besparelserne er beregnet gennem de procentvise besparelser, der kan opnås ved forslagene, og det estimerede energiforbrug fra energiberegningen. Resultater af besparelse, omkostninger og tilbagebetalingstid ses af tabel 5.1.

	Terminal		
Forslag	Besparelse [kr. pr. år]	Omkostninger [kr.]	Rentabilitet [år]
Radiatorventiler	3.418	49.278	14,4
Strålevarmepaneler	23.199	458.933	19,8
Kaloriferer	19.885	112.862	5,68

Tabel 5.1 Resultater for beregning af besparelse, omkostninger og tilbagebetalingstid ved de tre forslag til varmeinstallationer.

Det vurderes, at den bedste løsning til administrationsbygningen er at anvende de eksisterende radiatorer og blot udskifte ventilerne til en med forindstilling. De manuelle termostater udskiftes samtidig til termostater med elektronisk automatik til fjernstyring. Til terminalen vælges det at etablere strålevarmepaneler i loftet. På trods af den lange tilbagebetalingstid vurderes det, at forslaget vil gavne indeklimaet i bygningen. Samtidig forventes det, at skiftet fra konvektion til strålevarme vil mindske varmetabet og termisk diskomfort ved åbning af porte. Desuden har strålevarme en effektiv varmeoverførsel direkte til personer og genstande, hvilket sikrer en mere jævn og behagelig oplevelse af varmen. Der vælges at anvende ventilationsvarme til administrationsbygningen for at opretholde en acceptabel indblæsningstemperatur og genanvende energien i fraluften.

Ventilation 6

Dette kapitel omhandler ventilationsmuligheder for de to bygninger. Der vil blive foreslået ventilationsmuligheder, som både passer til kontorlokaler og større haller. Forslagene vil efterfølgende blive vurderet i forhold til deres potentiale for de to bygninger.

6.1 Naturlig ventilation

Naturlig ventilation er en ventilationsmetode, der udnytter naturlige luftstrømme til at regulere indeklimaet i bygninger. Metoden anvendes i både terminalen og administrationsbygningen. I terminalen er det den ventilationsstrategi, mens der i administrationsbygningen også er installeret mekanisk ventilation. Den naturlige ventilation i de to bygninger foregår gennem vinduer, yderdøre og porte. Det er muligt at tilføje styring af disse åbninger, for ikke manuelt at skulle lufte ud. I terminalen foreslås der at tilføje automatisk styring af ovenlysene. De reguleres efter en given temperatur, luftfugtighed eller CO_2, hvor det ønskes, at der skal ventileres. Eftersom naturlig ventilation kan være meget utilregnelig, da det er afhængigt af vejrforhold, kan det være nødvendigt at tilføje andre typer ventilation. I administrationsbygningen er det ikke alle rum, der har mulighed for naturlig ventilation grundet mangel på vinduer i centrale rum, som eksempelvis toiletterne. Derfor er det nødvendigt med andre løsninger til at sørge for ventilering af disse.

6.2 Mekanisk ventilation

Mekanisk ventilation er en metode til at udskifte og regulere luft i bygninger ved hjælp af ventilatorer og kanalsystemer. Administrationsbygningen har et mekanisk ventilationsanlæg, der tilfører en konstant luftmængde(CAV) til bygningen. Samtidig sørger anlægget for tilsvarende udsugning af bygningens rum. Anlægget har varmegenvinding og varmeflade til genanvendelse samt opvarmning af indblæsningsluften. Anlægget er fra 2002, hvilket betyder at der er mulighed for optimering af anlæggets energimæssige ydeevne. Samtidig kan der med fordel etableres styring i form af variabel(VAV) eller behovstyret(DCV) ventilation, for at kunne dirigere luften ind i de rum, der har behov for ventilering. Det foreslås derfor at etablere et nyt anlæg til at dække behovet for administrationsbygningen. I forbindelse med et nyt anlæg bør muligheden for at dække begge bygninger med

ét anlæg undersøges. Tilføjelse af mekanisk ventilation i terminalen vil kunne mindske varmetabet ved at dække ventilationsbehovet uden brug af naturlig ventilation.

6.3 Hybrid ventilation

Hybrid ventilation er en kombination af naturlig og mekanisk ventilation, der udnytter det bedste fra begge metoder til at skabe et energieffektivt og komfortabelt indeklima. Ved hovedsageligt at anvende mekanisk ventilation om vinteren kan varmegenvindingen udnyttes til at mindske varmetabet. Om sommeren kan den mekaniske ventilation reduceres eller slukkes for at gøre brug af naturlig ventilation, når der er de optimale vejrforhold. De to typer ventilation kan kombineres i styringen for at undgå at anvende begge typer samtidig. Dermed vil det stadig være muligt at gøre brug af mekanisk ventilation om sommeren, når vejrforholdene ikke er optimale til naturlig ventilation. På den måde vil de to metoder supplere hinanden og garantere et komfortabelt indeklima.

6.4 Decentral ventilation

Decentral ventilation er en ventilationsmetode, hvor individuelle enheder placeres lokalt i hvert rum eller område i stedet for at bruge et centralt system med kanaler. Disse enheder fungerer ofte som både indblæsnings- og udsugningsenheder, der kan være udstyret med varmevekslere for at genvinde varme fra den udsugede luft. Det foreslås at etablere decentral ventilation i terminalen, som alternativ til naturlig ventilation om vinteren. Det er uvist, hvor ofte bygningens porte åbnes for at ventilere bygningen. Derfor kan det sikres at bygningens luftskifte er tilstrækkeligt ved at installere decentrale ventilationsanlæg på bygningens ydervægge eller tag. Et eksempel på decentrale ventilationsenheder, der kan anvendes er Microvent fra Inventilate. På figur 6.1 ses den decentrale ventilationsenhed.

Figur 6.1 Microvent MV8x2 der kan anvendes som decentral ventilation med varmegenvinding

Den maksimale luftmængde, som kan opnås ved at anvende dette produkt er 397m^3/h. I terminalen vil denne løsning skulle fungerer som et alternativ til automatisk styret naturlig ventilation. Derfor skal de jf. SBi 213 kunne levere 1,8 l/s pr. m^2. Dette svarer

til 25.873 m^3/h. For at kunne levere denne luftmængde skal der installeres minimum 66 enheder i terminalen.

6.5 Valg af ventilation

Det vurderes, at hybrid ventilation vil være en ideel løsning til administrationsbygningen. Dette muliggør at kombinere de bedste egenskaber fra mekanisk og naturlig ventilation. Den mekaniske ventilation vil ændres til VAV/DCV-styring for at undgå unødvendig ventilation af rum, der ikke er i brug. Til terminalen anvendes udelukkende naturlig ventilation gennem ovenlys og porte, eftersom bygningen har mange åbninger med potentiale for naturlig ventilation. Det vurderes, at decentrale ventilationsenheder ikke er ideelle til dette, da de ikke findes i en passende størrelse til denne bygning. Det vil desuden være uhensigtsmæssigt at installere 66 enheder til ventilation, og ikke gøre brug af de mange eksisterende åbninger som porte og ovenlys i terminalen. Der indføres derfor automatisk regulerende naturlig ventilation i terminalen, som skal sikre et tilfredsstillende indeklima i bygningen.

Del II

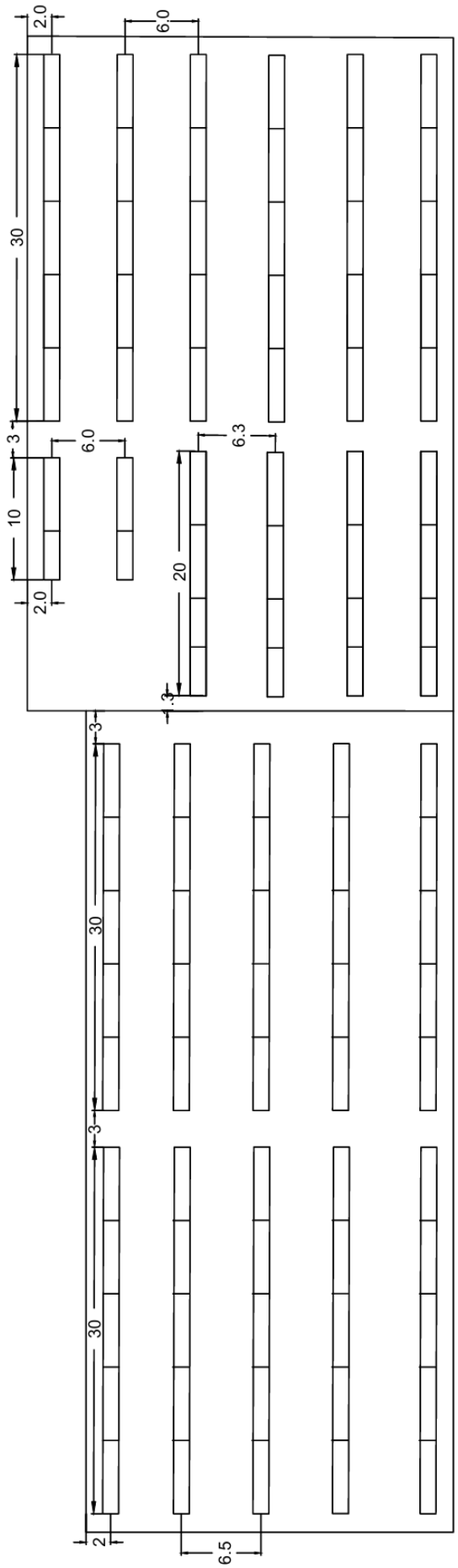
Løsning

Varme 7

I dette kapitel vil løsningerne til bygningernes varmeinstallationer beskrives. Beskrivelsen omfatter resultater fra dimensionering og projektering samt valg af produkter. Yderligere findes en beskrivelse af styring og drift af varmesystemerne.

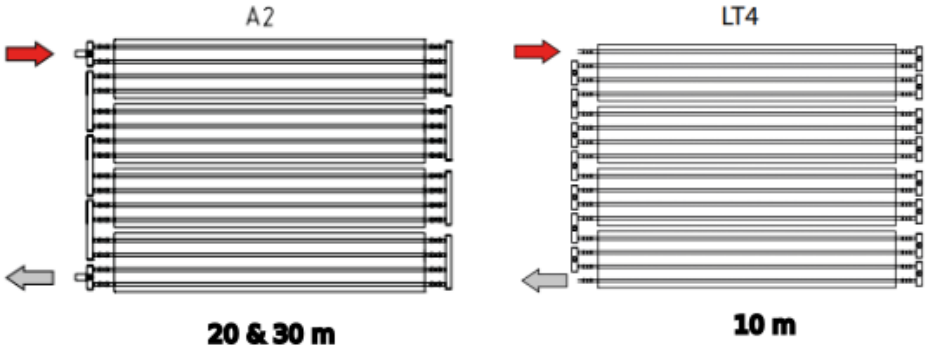
7.1 Terminalen

Til terminalen er der valgt at udskifte kalorifererne med strålevarmepaneler monteret under tagkontruktionen. Dimensionering af varmepanelerne ses af bilag B. Til terminalen vælges Aquaztrip Basic strålevarmepaneler fra Frico.[22].
Der etableres 4 systemer i terminalen for, at kunne dække bygningens længde uden at overskride producentens anbefalinger. Panelerne er dimensioneret til at dække varmebehovet i den pågældende zone, hvor de befinder sig. Derfor kan afstanden mellem sektionerne variere fra zone til zone, men der er forsøgt at opretholde en vis symmetri i deres placering af æstetiske årsager. Panelerne leveres i længder på 4 eller 6 meter og kan sammensættes i op til 40 meter. Til terminalen sammensættes panelerne i sektioner på 30, 20 og 10 meter. Af figur 7.1 ses en principskitse af panelernes placering i bygningen. Der vil ikke blive placeret paneler over fjernarkiv centralt i bygningen.



Figur 7.1 Principskitse af panelernes placering i terminalen.

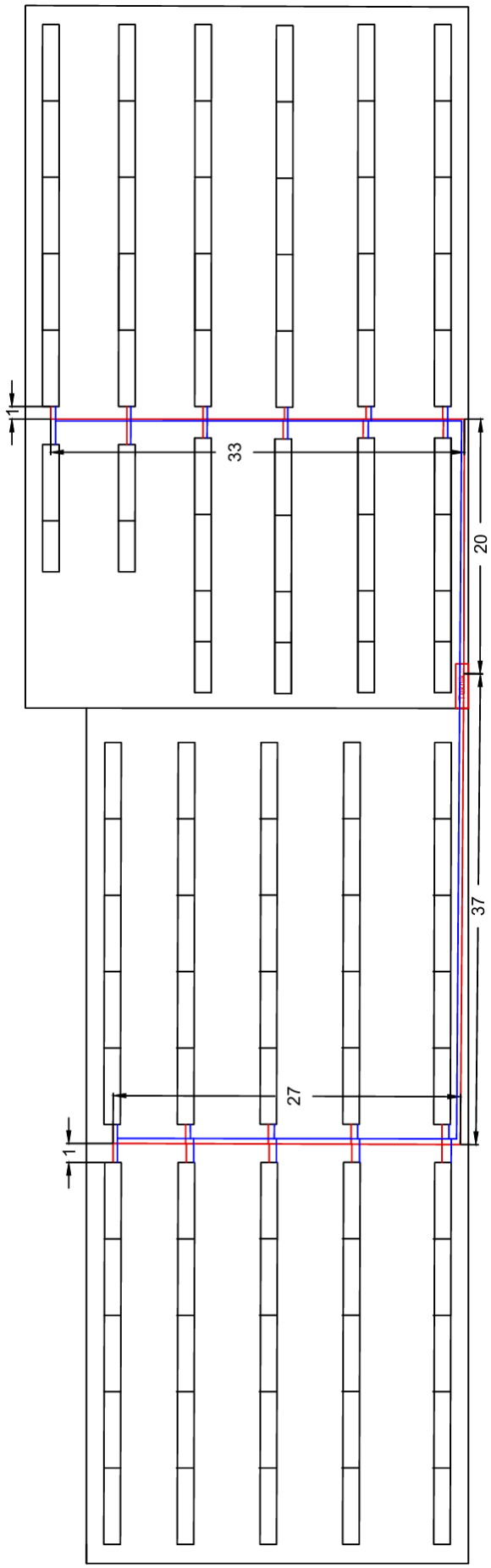
Varmepanelerne vælges at have temperatursæt på 60/32, for at sikre lav returtemperatur til fjernvarmen. Ved dette temperatursæt sikres samtidig, at der ikke forekommer strålingsasymmetri på over 5°C. Til terminalen er valgt to forskellige typer af paneler. Eftersom panelerne er dimensioneret med forskellige længder, er det nødvendigt at vælge en anden type til de korte sektioner end til de lange sektioner. De to typer af paneler er valgt med henblik på at overholde en turbulent strømning i panelet, der øger effektiviteten af panelet. De to valgte typer ses af figur 7.2.



Figur 7.2 Skitse af de to typer paneler til terminalen.[23]

7.1.1 Rørføring

Til at forsyne strålevarmepanelerne dimensioneres fordelingsledninger fra fjernvarmen i teknikrummet. Dimensionering af rørene ses af bilag C. Der etableres to sæt fordelingsledninger i bygningen, som hver skal forsyne to systemer i terminalen. Fordelingsledningerne består af et rør til fremløb og et til retur. Der ses på figur 7.3 en principskitse af fordelingsledningerne i terminalen.



Figur 7.3 Principskitse fordelingsledningerne til varmepanelerne.

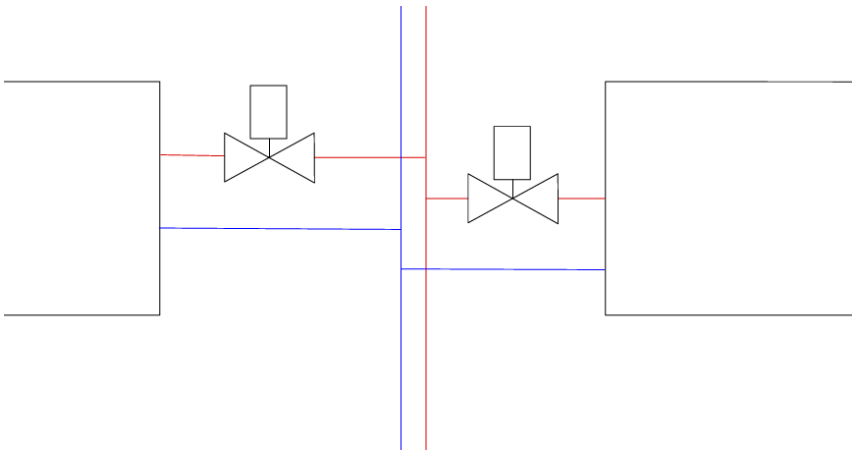
Rørene har dimensioner fra DN15 til DN40 og isoleres efter isoleringsklasse 3, eftersom de kun forventes at være varme i opvarmningssæsonen jf. DS 452[24]. Fordelingsledningerne føres desuden i isolerede rørbæringer under tagkonstruktionen. Koblingsledningerne udføres i dimension DN15 og har ikke krav til isolering. Af tabel 7.1 ses en oversigt over den samlede længde af rør og deres dimension.

Rørdimension	Længde [m]
DN15	152
DN20	39
DN25	52
DN32	131
DN40	10

Tabel 7.1 Oversigt over dimensioner og rørlængder til fordelings- og koblingsledninger til strålevarmepanelerne.

7.1.2 Regulering

Systemet skal indreguleres for at sikre, at alle panelerne får varme. Dette gøres ved at montere ventiler til strengregulering, som sørger for en jævn fordeling af varme til alle paneler. Ventilerne monteres på koblingsledninger til fremløb, som set på figur 7.4.



Figur 7.4 Principskitse af strengregulering af varmepaneler.

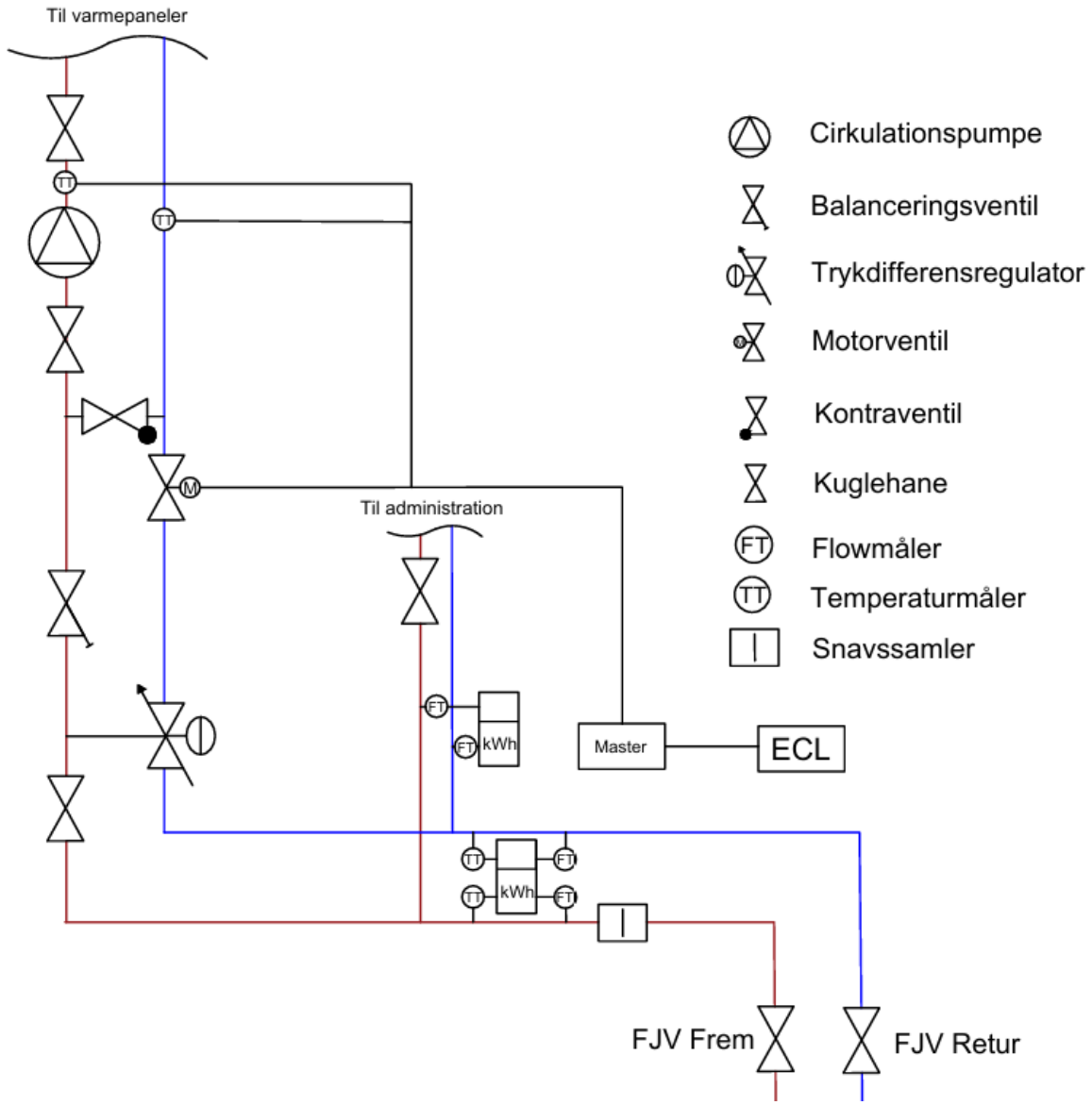
Til systemet vælges dynamiske ventiler af typen FRESE OPTIMA compact DN15 low 2,5 mm. Ventilernes forindstilling afhænger af det dimensionsgivende flow til panelet, som den er tilkoblet. Forindstillingen aflæses ud fra graf eller tabel i producentens datablad.[25]
Der skal som minimum være én ventil med målenipler på den fjerneste streng i hvert system, for at kunne kontrollere, at pumpen leverer et tilstrækkeligt tryk. Af tabel 7.2 ses en oversigt over forindstilling til ventilerne ud fra, hvilket panel den skal regulere.

Panellængde [m]	Flow [l/h]	Forindstilling
30	165	3,2
20	110	2,2
10	110	2,2

Tabel 7.2 Forindstilling af strengreguleringsventiler til varmepanelerne.[25]

7.1.3 Drift

På ventilerne monteres en elektrisk aktuator, som åbner og lukker for forsyningen af varme til panelet. Aktuatorerne har fjernføling og er tilkoblet en rumtermostat i opholdszonen, der konstant måler rumtemperaturen og sørger for, at der opretholdes minimum 18°C. Bygningen opdeles i to zoner, med én rumtermostat i hver. Rumtermostaterne er tilkoblet en master i teknikrummet. Masteren kan indstilles, så strålevarmepanelerne kun er aktive i opvarmningssæsonen. I teknikken etableres en blandesløjfe til varmepanelerne, som sikrer, at returvandet til fjernvarmen ikke overstiger 32°C. Blandesløjfen er ligeledes forbundet til ECL vejrkompensering, for at sikre, at den ikke kører, når der ikke er varmebehov. Vejrkompenseringen sørger desuden for, at varmeinstallationernes fremløbstemperatur følger udetemperaturen og regulerer fremløbstemperaturen herefter. Af figur 7.5 ses et PI-diagram af teknikrummet i terminalen.



Figur 7.5 PI-diagram af teknikrummet i terminalen.

Til blandesløjfen dimensioneres komponenterne ud fra det samlede tryktab og det maksimale flow i systemet. Af tabel 7.3 ses de valgte komponenter til blandesløjfen. Teknikrummets rør og komponenter isoleres efter isoleringsklasse 3 fra DS 452 [24].

Komponent	Type
Cirkulationspumpe	Magna3 40-120 F
Balanceringsventil	STAD 40
Trykdifferensregulator	STAP 40
Motorventil	IMI TA-Modulator 40

Tabel 7.3 Oversigt over komponenter i blandesløjfen til varmefladen

STAD 40 ventilen indstilles med forindstilling 3,94 for, at sikre at det maksimale flow ikke overstiges.

7.2 Administrationsbygningen

Til administrationsbygningen er valgt at anvende de eksisterende radiatorer. Radiatorernes ventiler udskiftes til nyere versioner med forindstilling. De valgte ventiler til formålet er af typen RA-N 10-15 fra Danfoss [26]. På ventilerne monteres termostater, som kan tilkobles styring i teknikrummet. Ydelsen på bygningens radiatorer er ukendt, og de vil derfor blive estimeret ud fra et produktkatalog af panelradiatorer fra Purmo [27]. Radiatorerne i kantine og køkken er angivet som Hudevad søjleradiatorer i bygningsdelsbeskrivelsen, og vil blive estimeret ud fra denne producent[28].
Størrelsen af radiatorerne samt antal af ribber og paneler er estimeret ud fra billedmateriale fra teknisk due diligence af bygningen. Af tabel 7.4 ses en oversigt over de forskellige typer af radiatorer i administrationsbygningen, og hvor de er placeret.

Placering	Radiator model	Længde [mm]	Højde [mm]	Dybde [mm]	Ydelse [W]
Toiletter	Purmo Hygiene 10	300	400	47	45
Møderum Kontorer Storkontorer Gangarealer	Purmo Compact 22.1	2000	400	102	810
Kantine	Purmo Compact 22.2	2000	300	106	642
Hall	Hudevad søjle 1	1500	400	102	584
Hall/kantine	Hudevad søjle 2	4000	400	1102	1556
Kantine	Hudevad søjle 3	3000	400	102	1167

Tabel 7.4 Estimering af dimensioner og ydelse på de eksisterende radiatorer i administrationsbygningen.

Til bestemmelse af forindstilling til hver radiator beregnes flowet ved maksimal ydelse på radiatorerne. Flowet beregnes ud fra et temperatursæt på 60/30. Til beregning af kv-værdien til ventilens forindstilling forventes et differenstryk på 0,1 bar. I bilag D ses et beregningseksempel af forindstilling til radiatorerne. Af tabel 7.5 ses det beregnede flow, kv-værdi og forindstilling til ventilerne for hver type radiator.

Radiator	Flow $[m^3/h]$	Kv-værdi $[-]$	Forindstilling $[-]$
Purmo Hygiene 10	0,001	0,004	1
Purmo Compact 22.1	0,024	0,08	2
Purmo Compact 22.2	0,019	0,06	2
Hudevad søjle 1	0,017	0,05	2
Hudevad søjle 2	0,046	0,14	4
Hudevad søjle 3	0,034	0,11	3

Tabel 7.5 Resultat fra beregning af flow, kv-værdi og forindstillling til radiatorventilerne.

Ventilation 8

Følgende kapitel vil beskrive de valgte løsninger til bygningernes ventilation. For terminalen vil beskrives naturlig ventilation og styring heraf. For administrationsbygningen beskrives dimensionering og projektering af et nyt ventilationsanlæg. Beskrivelsen omfatter valg af aggregat, kanaler, armaturer og regulering af luftmængder samt drift.

8.1 Terminalen

For terminalen er det valgt fortsat at anvende naturlig ventilation. Det er vurderet, at de eksisterende ovenlys og porte vil kunne anvendes til at ventilere bygningen tilstrækkeligt. Det indføres at udvalgte ovenlys i bygningen udstyres med automatisk styring til at sikre en tilpas temperatur, luftfugtighed og CO_2-koncentration i opholdszonen.
Til at sikre, at hele bygningen kan ventileres ved behov, vil den inddeles i zoner tilsvarende dem i bilag B under dimensionering af strålevarmepaneler. I hver zone anvendes 2 ovenlys til udluftning med automatisk styring. Ovenlysene forbindes til en rumtermostat monteret i opholdszonen, hvor denne vil regulere, om ovenlysene er åbne eller ej. For at undgå, at alle vinduer åbner på én gang, vil der sørges for kaskadestyring, så vinduerne ikke åbner og lukker hele tiden.
Ovenlysene anvendes som en automatisk regulering af temperatur og fugtighed i bygningen. Til regulering af ovenlysene kan anvendes produkter tilsvarende Actulux JM-DC3 spindelmotor[29]. Spindelmotoreren fungerer som aktuator på ovenlysvinduerne. Den modtager signal fra opholdszonen om at åbne vinduer, når temperaturen overstiger 24 °C, CO_2-koncentration på 1000 ppm eller en luftfugtighed på over 80 %. Ovenlysene kan desuden anvendes som brandventilation. Til styringen monteres en regn- og vejrsensor, til at sikre, at ovenlysene lukker, når det blæser kraftigt eller regner.

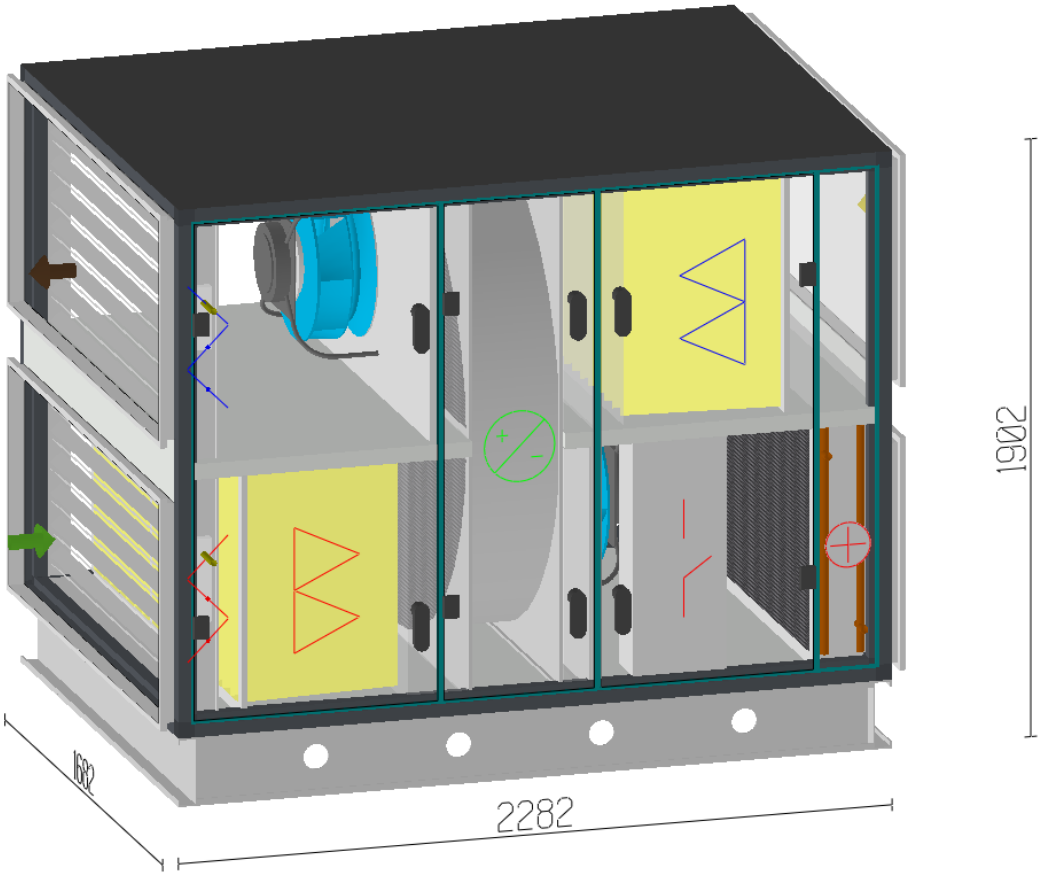
8.2 Administrationsbygningen

Til administrationsbygningen dimensioneres et nyt ventilationsanlæg. Ventilationsanlægget vælges til opblandingsventilation, da dette er effektivt mod CO_2-belastninger. I samtlige rum i bygningen er der mulighed for naturlig ventilation gennem vinduer og eventuelle døre. Disse forventes at blive anvendt i kritiske perioder om sommeren, hvor den meka-

niske ventilation ikke kan opretholde en komfortabel rumtemperatur. Dimensioneringen foretages ved anvendelse af fortyndingsligningen i forhold til CO_2. Beregninger og dimensionering af ventilationsanlæg, kanaler og armaturer kan ses af bilag E.

8.2.1 Aggregat

De summerede dimensionsgivende ventilationsmængder for hele bygningen er 7914 m^3/h. Der vælges et aggregat, som både kan levere den dimensionsgivende luftmængde og luftmængder tilnærmelsesvis tæt på et grundluftskifte udenfor bygningens brugstid. Det dimensionsgivende tilfælde, hvor alle rum i bygningen er fuldt belastet, er sjældent. Derfor tillades det, at anlægget kører tæt på maksimal hastighed med højt elforbrug i disse korte perioder. Til bygningen vælges et GENIOX CORE 16 anlæg med roterende varmegenvinding og varmeflade. Der ses på figur 8.1 en skitse af anlægget og komponenterne.



Figur 8.1 Skitse af GENIOX CORE 16 ventilationsaggregat til administrationsbygningen.

Aggregatet og komponenter er dimensioneret i SystemairCAD. Temperatursættet for varmefladen er 50/30, og der forventes en indblæsningstemperatur på 20 grader. Filtre til tilluft er valgt ud fra ODA 2 og SUP 2 af DS 447[9]. Resultater fra dimensioneringen af aggregatet ses af tabel 8.1.

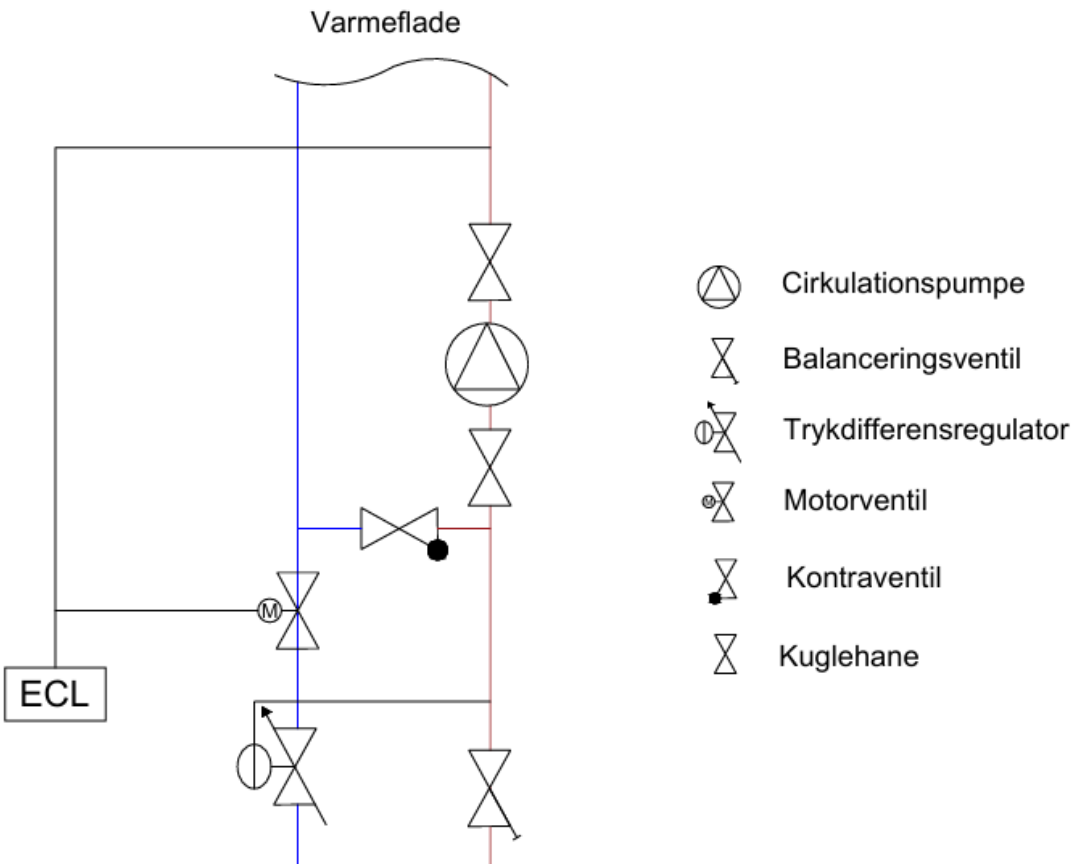
	Tilluft	Fraluft
Luftmængde [m^3/s]	2,2	2,2
Lufthastighed i aggregat [m/s]	1,89	1,89
Filter	F8 - ePM1 70%	M5 - ePM10 60%
Varmegenvinding [%]	81,6	
Lydeffektniveau [dB(A)]	79	69
Ventilatorvirkningsgrad [%]	72,2	71,8
Omdrejningstal [o/min]	1645	1551
Motoreffekt [kW]	3,5	3,5
SEL-værdi [J/m^3]	1.780	

Tabel 8.1 Resultater fra dimensionering af aggregat i SystemairCAD.

Det ses af tabellen, at aggregatet overholder krav til SEL-værdi på maksimalt 1.800 J/m^3 ved maksimalt tryktab. Ventilationsaggregat placeres samme sted, som det eksisterende aggregat. Det forventes også at kunne anvende de eksisterende kanalgennemføringer i bygningens konstruktioner, hvor der er behov for det.

Blandesløjfe

Til ventilationsanlæggets varmeflade dimensioneres en blandesløjfe. Af figur 8.2 ses et PI-diagram af blandesløjfen fra teknikrummet til varmefladen.



Figur 8.2 PI-diagram af blandesløjfe til varmefladen i ventilationsaggregatet.

Blandesløjfen har et temperatursæt på 50/30, og skal sikre en optimal indblæsningstemperatur. Motorventilen tilkobles vejrkompensering for at tilpasse temperaturen til udeluftens temperatur. Det maksimale flow gennem varmefladen er 0,23 l/s og tryktabet på vandsiden er maksimalt 6,8 kPa. Blandesløjfens komponenter ses af tabel 8.2.

Komponent	Type
Cirkulationspumpe	Alpha3 25-80 130
Balanceringsventil	STAD 25
Trykdifferensregulator	STAP 25
Motorventil	IMI TA-Modulator 25

Tabel 8.2 Oversigt over komponenter i blandesløjfen til varmefladen

Balanceringsventilen STAD 15 monteres med forindstilling 2,34. Fordelingsrørene til varmefladen isoleres efter isoleringsklasse 4 indenfor bygningens klimaskærm og isoleringsklasse 6 udendørs.

8.2.2 Kanaler

Til ventilationsanlægget vælges cirkulære kanaler. Ved anvendelse af cirkulære kanaler mindskes risikoen for støj i kanalsystemet. Til projektet vælges spiralfalsede rør af typen SR fra Lindab. Rørene leveres i størrelser fra 63-1600 mm.[30]
På figur 8.3 ses de valgte rør.

Figur 8.3 Spiralfalsede rør fra Lindab type SR, som anvendes til kanalsystemet.[30]

Kanalerne placeres i det nedhængte loft, hvor der forventes at være 500 mm til rådighed. Ved dimensionering ses det, at der ikke er nogle kanaler i det nedhængte loft, som overstiger 500 mm. Kanalerne anvendes til indblæsning og udsugning. Til indregulering og styring af ventilationsmængder vil der placeres VAV-spjæld. Der vælges VAV-spjæld af typen FTCU fra Lindab[31]. Denne type spjæld leveres i dimensioner fra 100-630 mm. Spjældene ses på figur 8.4

Figur 8.4 FTCU spjæld til regulering af luftmængder på rumbasis.[31]

Spjældene placeres på tilslutningskanaler, så de kan kontrollere ventilationsmængderne på rumbasis. På udsugninger placeres et spjæld, der fungerer som "slave"på ventilationsmængden af de tilknyttede rum. For at undgå støj fra spjældene skal kanalerne lyddæmpes ved hvert spjæld på 1. sal. Støjen fra spjældene vil her være højest, eftersom indreguleringstrykket er højest. Der vil placeres en reguleringsenhed i alle rum med indblæsning. Reguleringsenheden kan måle rummets CO_2-koncentration, temperatur og relativ luftfugtighed. Til rummmene vælges en rumregulator af typen Regula Combi fra Lindab eller tilsvarende til regulering af VAV-spjæld.[32]

8.2.3 Armaturer

Til bygningen vælges at anvende den samme type armaturer til både indblæsning og udsugning. Armaturet skal være et loftarmatur til det nedhængte loft. Da ventilationsmængderne varierer alt efter typen af rum, vælges et loftarmatur med forskellige dimensioner. Loftarmaturerne, som dimensioneres til bygningen, er LCA loftarmatur fra Lindab[33]. Armaturerne leveres i dimensioner fra 100-400 mm. Det valgte loftarmatur kan ses på figur 8.5.

Figur 8.5 LCA armatur fra lindab, som anvendes til både indblæsning og udsugning.[33]

Indblæsningsarmaturerne monteres med en trykfordelingsboks, for at sikre en jævn fordeling af indblæsningsluften. Trykfordelingsboksen vælges til typen MBB-S for at dæmpe støj fra armaturer, og sikre at de ikke overstiger krav til rumtypen. Til udsugning anvendes trykfordelingsboksen af typen MBB-E.[34]
På figur 8.6 ses den valgte trykfordelingsboks MBB-S og MBB-E fra Lindab.

Figur 8.6 Trykfordelingsboks MBB-S fra Lindab der monteres mellem kanal og armatur. [34]

Ved dimensionering af armaturerne er taget højde for støj og kastelængde. Det er kontrolleret, at støj fra armaturerne ikke overstiger krav til rumtypen. For kastelængden er det forsøgt at opnå en kastelængde, som sikrer effektiv ventilation i rummet. I bilag E.2 ses beregninger af støj og kastelængde for 3 rumtyper. Resultaterne af beregninger ses af tabel 8.3, hvor effektiviteten er forholdet mellem kastelængde og geometrisk længde af rummet.

Rum	Ventilationsmængde $[m^3/h]$	Armaturer $[stk.]$	Dimension $[mm]$	Støj L_{wA} $[dB(A)]$	Effektivitet $[-]$
Hall	145	2	200	<20	0,95
Reception	72	1	100	25	0,78
Møderum	362	1	250	<20	0,86
Kantine	340	5	200	21	1
Gang	113	1	160	<20	0,89
Personalerum	26	1	100	<20	0,58
EDB	25	1	100	<20	0,26
Kontor	74	1	100	25	0,67
Kopi	13	1	100	<20	0,29
Storkontor	79	5	100	<20	0,63
Kontor	75	1	100	<20	0,66
Møderum	549	1	400	29	0,81
Gang	54	4	100	20	0,82
Pauserum	437	1	400	26	1,00
Omklædning	186	1	200	<20	1,00
Omklædning	255	1	200	<20	0,91
Varmestue	394	1	400	20	0,83
Hall	70	3	125	25	0,74
Møderum	362	1	315	34	0,93
Møderum	363	1	315	34	0,93
Storkontor	49	4	100	24	0,76
Kontor	49	1	100	23	0,72
Arkiv	25	1	100	<20	0,39
Møderum	553	1	400	31	0,97
Storkontor	94	6	100	32	0,66
Kopi	15	1	100	<20	0,24
Storkontor	65	6	100	26	0,55

Tabel 8.3 Resultater fra dimensionering af indblæsningsarmaturer. Ventilationsmængden er pr. armatur.

Rum	Ventilationsmængde $[m^3/h]$	Armaturer $[stk.]$	Dimension $[mm]$	Støj L_{wA} $[dB(A)]$
Reception	72	1	100	25
Møderum	362	1	200	36
Kantine	850	2	400	39
Toilet	75	1	100	25
Personalerum	65	1	100	24
Toilet	73	1	100	25
Toilet	73	1	100	25
Toilet	73	1	100	25
Rengøring	73	1	100	25
EDB	25	1	100	28
Kontor	74	1	100	27
Storkontor	409	1	250	32
Kontor	75	1	100	28
Møderum	549	1	315	31
Brus	226	1	200	28
Toilet	226	1	200	28
Toilet	100	1	200	<20
Brus	100	1	200	<20
Brus	135	1	200	<20
Toilet	135	1	200	<20
Toilet	43	1	100	<20
Toilet	43	1	100	<20
Varmestue	394	1	250	29
Brus	43	1	100	<20
Brus	43	1	100	<20
Møderum	362	1	250	33
Møderum	364	1	250	33
Storkontor	497	1	250	28
Kontor	49	1	100	28
Arkiv	25	1	100	<20
Toilet	52	1	100	29
Toilet	52	1	100	29
Toilet	52	1	100	29
Rengøring	52	1	100	31
Møderum	553	1	315	38
Storkontor	562	1	315	34
Storkontor	407	1	315	33

Tabel 8.4 Resultater fra dimensionering af udsugningsarmaturer. Ventilationsmængden er pr. armatur.

Her ses det, at kastelængden for storkontorer i nogle tilfælde er besværlig at overholde ved de dimensionsgivende ventilationsmængder. Der kan ikke findes loftarmaturer med længere kastelængde ved denne luftmængde. Alternativt kan der undersøges muligheder ved vægarmaturer eller dyser, men disse ses ikke som en relevant løsning for dette projekt. For storkontorerne er det i stedet forsøgt at løse problemet ved at placere armaturerne

strategisk i rummet. Armaturerne placeres, hvor der antages at være arbejdsstationer. Dette gøres for at sikre ventilation, hvor personer kan forventes at opholde sig. Af vedlagte tegningsbilag "Ventilation 1. sal"og "Ventilation stue"ses den endelige løsning med placering af armaturer, spjæld og kanaler samt kanaldimensioner i ventilationssystemet.

Teknikrum 9

Følgende kapitel beskriver de ændringer, som foretages til teknikrummet i administrationsbygningen. Ændringerne omfatter udskiftning af pumper og brugsvandsveksler.

9.1 Pumper

Der er samlet placeret 5 pumper i bygningernes teknikrum. Pumperne er fra 2002 og har derfor overskredet den estimerede levetid på 15-20 år[35]. Pumper til ventilation og varme er dimensioneret til det nye system, men de resterende pumper til brugsvand, radiatorer og gulvvarme bør også udskiftes. De eksisterende pumper er fra Grundfos, og derfor kan udskiftningstabellen fra Grundfos anvendes til at udvælge alternativer. Af tabel 9.1 ses de eksisterende pumper og de alternativer, der skiftes til. Rentabiliteten er beregnet ud fra den årlige besparelse angivet i udskiftningstabellen og kostpris på en ny pumpe inklusiv montering.

Anvendelse	Gammel pumpe	Ny pumpe	Rentabilitet
Brugsvand	UPS 25-80	Magna3 25-80	4
Radiatorer	UPS 25-80	Magna 25-80	4
Gulvvarme	UPS 25-80	Magna 25-80	4

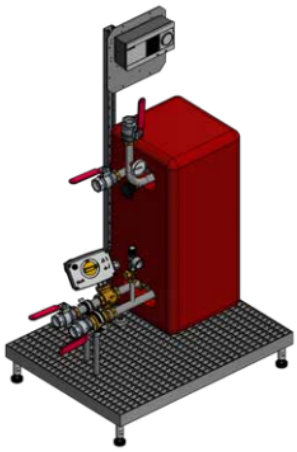
Tabel 9.1 Udskiftning af bygningernes pumper med beregnet rentabilitet.

Dermed er der mulighed for årlig besparelse af el ved at udskifte cirkulationspumperne i administrationsbygningen. Rentabiliteten ved udskiftning af pumper overstiger 1,3 og medtages derfor i den endelige løsning for bygningen. Den valgte pumpe ses af figur 9.1.

Figur 9.1 Magna3 25-80 som skal erstatte pumper til brugsvand, radiatorer og gulvvarme.

9.2 Brugsvandsveksler

Brugsvandsveksleren i administrationsbygningen er fra 2002, og grundet slid og produktudvikling er der mulighed for at finde bedre alternativer. Som nævnt i afsnit 3.1 ses det, at veksleren formodes at være skyld i en høj returtemperatur på fjernvarmen uden for opvarmningssæsonen. Ved at udskifte veksleren er det muligt at udnytte fjernvarmen bedre. Et krav fra bygherre er, at det skal være muligt for 15 personer at tage bad på 15 minutter. Ved beregning tages der derfor højde for, at der kan leveres vand med temperatur på minimum 45 °C til alle 7 brusere i bygningen samtidig. Beregningen fremgår af bilag F. Til administrationsbygningen vælges en METRO VRT3 med 200 kW ydelse [36]. Af figur 9.2 ses en skitse af den valgte brugsvandsveksler.



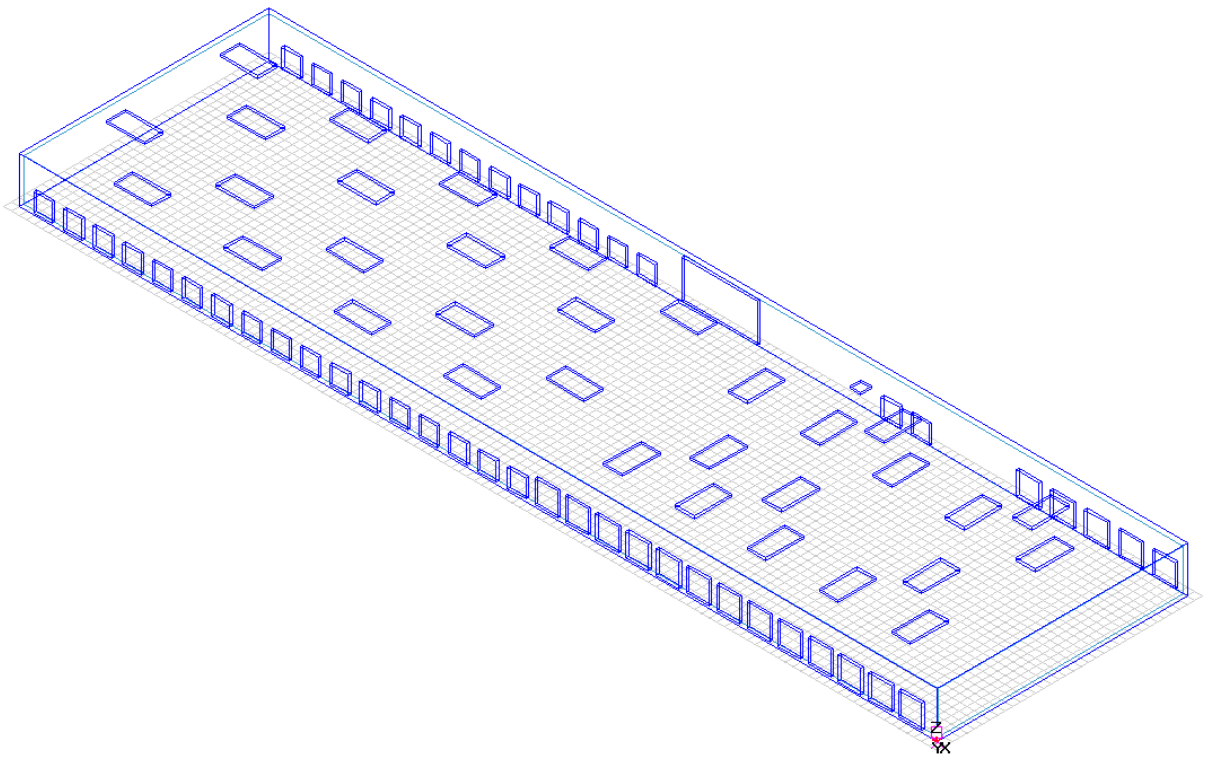
Figur 9.2 Brugsvandsveksler METRO VRT3 til brugsvand i administrationsbygningen.

Indeklima 10

Følgende kapitel omhandler simulering af de kritiske rum i de to bygninger. Bygningerne simuleres for at eftervise, at de overholder krav til termisk og atmosfærisk indeklima. Til at eftervise, at bygningerne overholder krav til indeklima fra Bygningsreglementet[8] og DS 447[9] simuleres bygningen efter dry 2001-2010. Dry 2001-2010 indeholder standardiserede vejrforhold for Danmark baseret på vejrdata fra perioden 2001 til 2010. Bygningerne simuleres for året 2010.

10.1 Simulering af terminalen

Eftersom terminalen ikke er inddelt i rum, vil hele terminalen blive simuleret. Der opbygges en simplificeret model med areal og volumen tilsvarende den eksisterende bygning. Ligeledes opbygges modellens klimaskærm efter U-værdier og tykkelser fra energimærke og tegningsmateriale. Af figur 10.1 ses modellen af terminalen i BSim.



Figur 10.1 BSim model af terminalen.

Bygningens brugstid er fra 7-16 mandag til fredag, hvor der forventes at være fuld belastning fra udstyr, personer og belysning. De interne belastninger angives til 4 og 6 W/m^2 for henholdsvis personer og udstyr. For belysning anvendes 15 W/m^2 jævnfør bygningens energimærke.

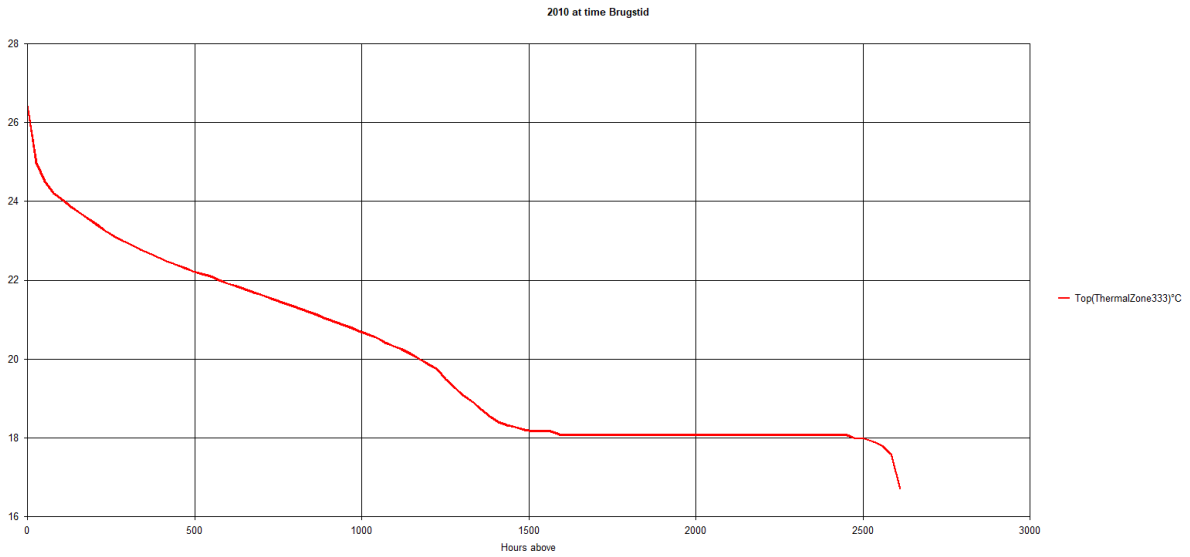
Infiltrationen er angivet som 0,5 l/s pr.m^2 i energimærket, hvilket svarer til et luftskifte på 0,09 /h i bygningens brugstid. Udenfor brugstiden anvendes 0,09 l/s pr. m^2, svarende til 18% af infiltrationen i brugstiden. Dette reguleres i dagsprofilen for infiltration og gælder hele året.

Varmesystemet i bygningen angives til 182 kW med en part to air på 0,3 eftersom det nu er strålevarme og ikke konvektion. Setpunktet for opvarmning i opvarmningssæsonen sættes til 18 °C efter ønske fra bygherre. Udenfor brugstiden bibeholdes de 18 grader for at undgå lave overfladetemperaturer i begyndelsen af brugstiden. Opvarmningen er inaktiv fra maj til oktober.

Den naturlige ventilation af bygningen antages at kunne gøre brug af 2 vinduer og 2 porte i hver opvarmningszone. På den måde kan der opnås bedre ventilation ved en kombination af tværventilation og opdrift. Setpunktet for åbning af ovenlys og porte sættes til 24 °C for at undgå overtemperaturer. I perioden fra april til oktober tillades det desuden, at bygningen kan ventileres gennem ovenlys uden for brugstiden. Dette er nødvendigt for at køle bygningen inden næste dag.

10.1.1 Resultater

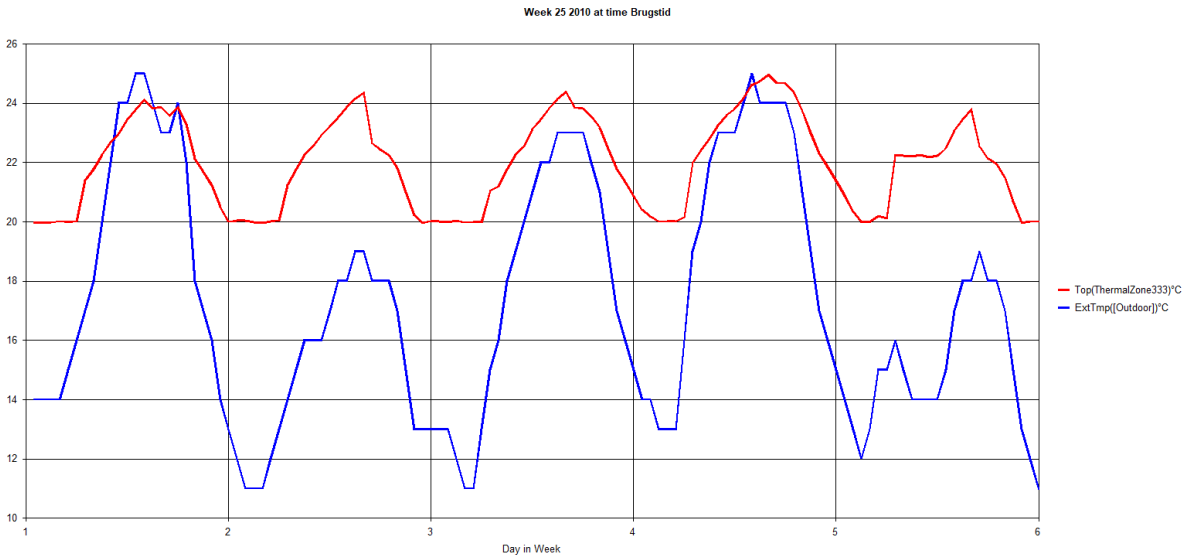
Bygningens termiske indeklima eftervises ved at kontrollere antallet af timer med overtemperatur i brugstiden. Af figur 10.2 ses antallet af overtemperaturstimer fra simulering.



Figur 10.2 Graf der viser antallet af timer over 26 grader i brugstiden.

Det ses af figuren, at bygningen har under 100 timer med temperatur over 26 °C og under 25 timer over 27 °C. Kriterierne for at overholde kravene til overtemperatur er at indføre natkøling gennem ovenlys om sommeren for at sænke bygningens temperatur til 20 °C inden brugstid næste dag.

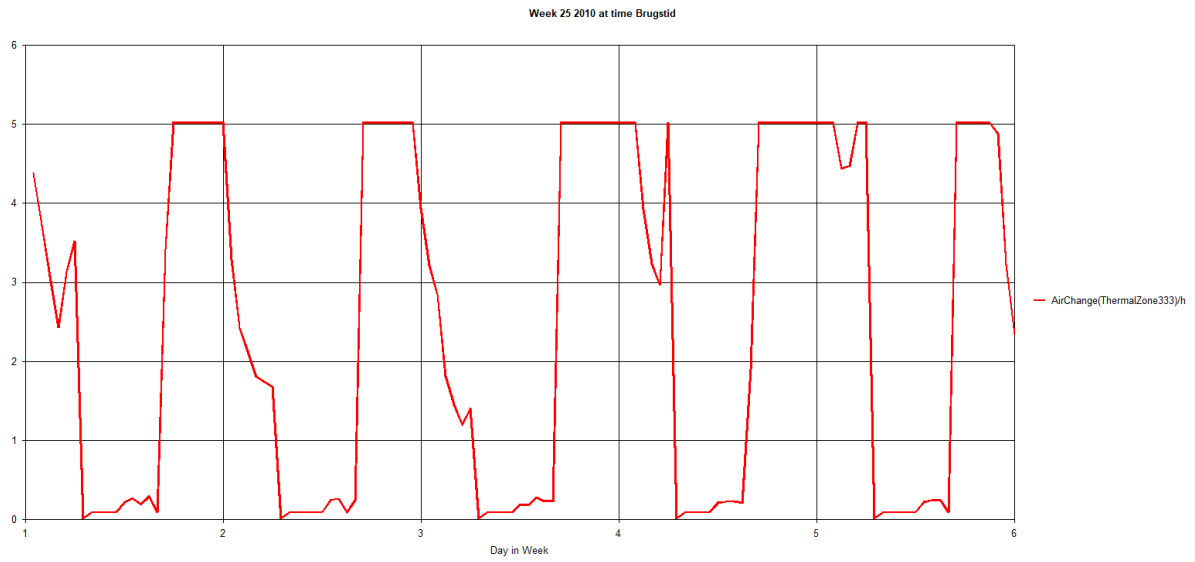
Natkøling er essentielt for at overholde krav til det termiske indeklima. Dette skyldes, at bygningen er meget svær at køle med naturlig ventilation i sommerperioder, hvor der er høje udetemperaturer under brugstiden. Af figur 10.3 ses en sammenligning af udetemperaturen og rumtemperatureni brugstiden i uge 25.



Figur 10.3 Udetemperatur sammenholdt med rumtemperaturen i terminalen i uge 25.

Af figuren ses det, at rumtemperaturen stiger under brugstiden grundet interne belast-

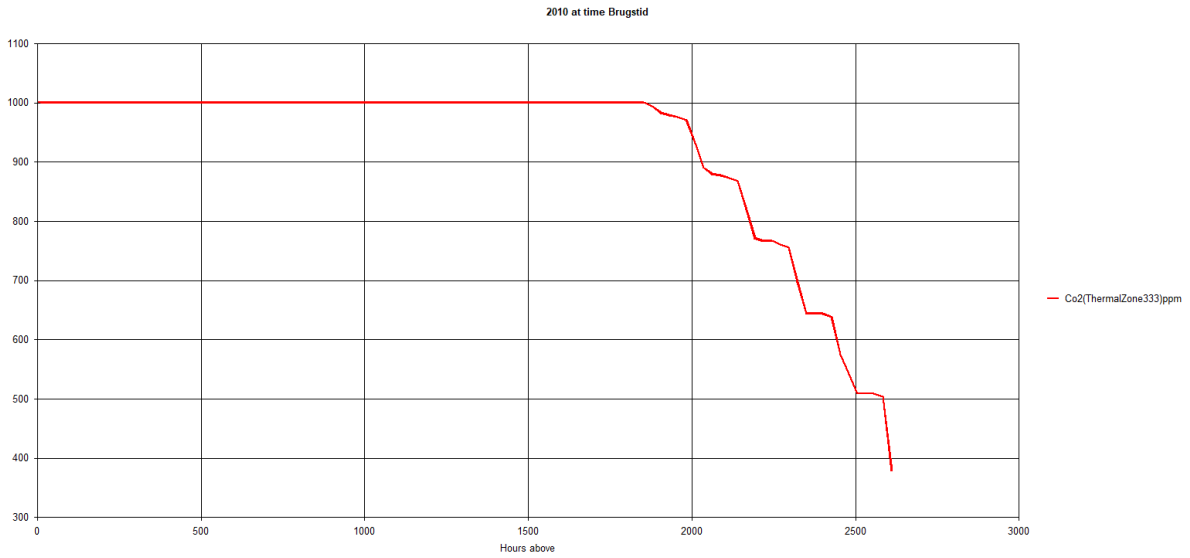
ninger og soltilskud. Desuden ses det, at udeluften og rummet er tæt på at have samme temperatur, hvorfor det er svært at køle bygningen i brugstiden. Bygningen vil derfor have behov for en høj ventilationsmængde gennem ovenlys og porte for at undgå overtemperaturer i denne periode. Af figur 10.4 ses luftskiftet i bygningen i uge 25.



Figur 10.4 Luftskifte i terminalen i brugstiden i uge 25.

Det ses af figuren, at der under bygningens brugstid vil være behov for høje luftskifte til at bortventilere varmen. I simuleringen er der tilladt et maksimalt luftskifte på 5 /h, men dette kan øges til 10-15 /h i korte perioder. Dette er dog ikke nødvendigt for at overholde kravene til overtemperaturer.

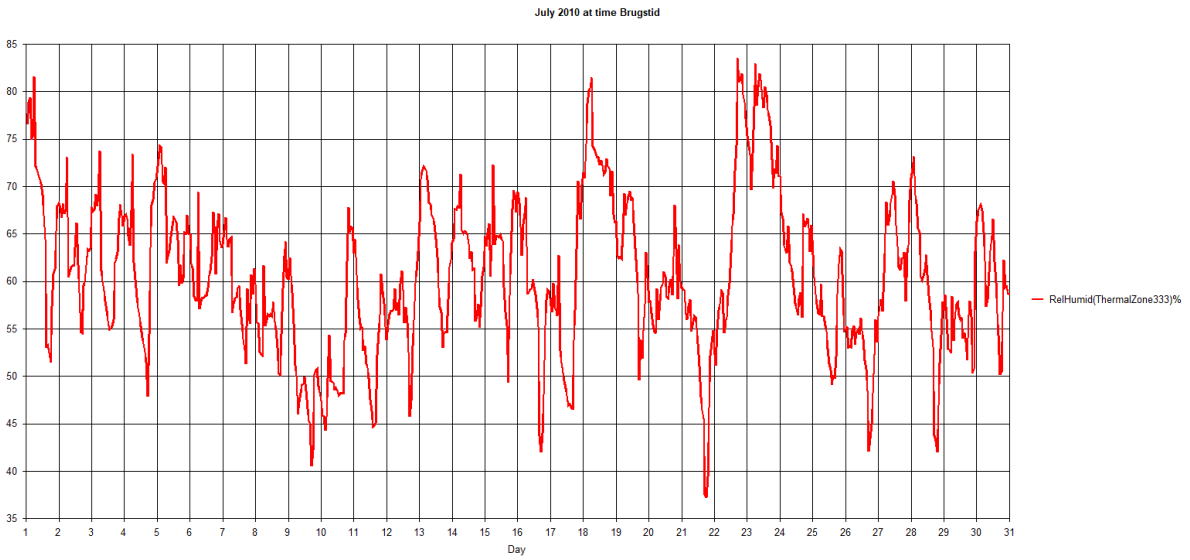
Bygningen kontrolleres ligeledes for CO_2 og sikres at det overholder krav på maksimalt 1000 ppm. Der er i simuleringen antaget en personbelastning på 80 personer med et aktivitetsniveau på 2 met under hele brugstiden. Dette resulterer i en personbelastning, der er højere end hvad realistisk set er i bygningen. Det ses dog af figur 10.5 at CO_2 ikke overstiger 1000 ppm, hvorfor personbelastningen fra energiberegningen er acceptabel.



Figur 10.5 Maksimal CO_2-koncentration i terminalen.

Af figuren ses det at kravet til bygningens maksimale CO_2 koncentration er overholdt. Det ses også at der er en del timer på 1000 ppm, hvilket skyldes den høje personbelastning, som er brugt i simuleringen. For en mere realistisk simulering kan anvendes data om brugerne i bygningen og deres vaner. Simuleringen efterviser, at den naturlige ventilation kan bortventilere forureningen under maksimal CO_2-forurening og intern belastning.

Til at sikre, at den naturlige ventilation kan håndtere problemer med fugt, kontrolleres den relative fugtighed i terminalen. Det ønskes at overholde en relativ fugtighed i bygningen på 30-70% for at opretholde et godt indeklima og undgå fugtskader. Af figur 10.6 ses den relative fugtighed i bygningen i juli måned, hvor luftfugtigheden i bygningen er højest.

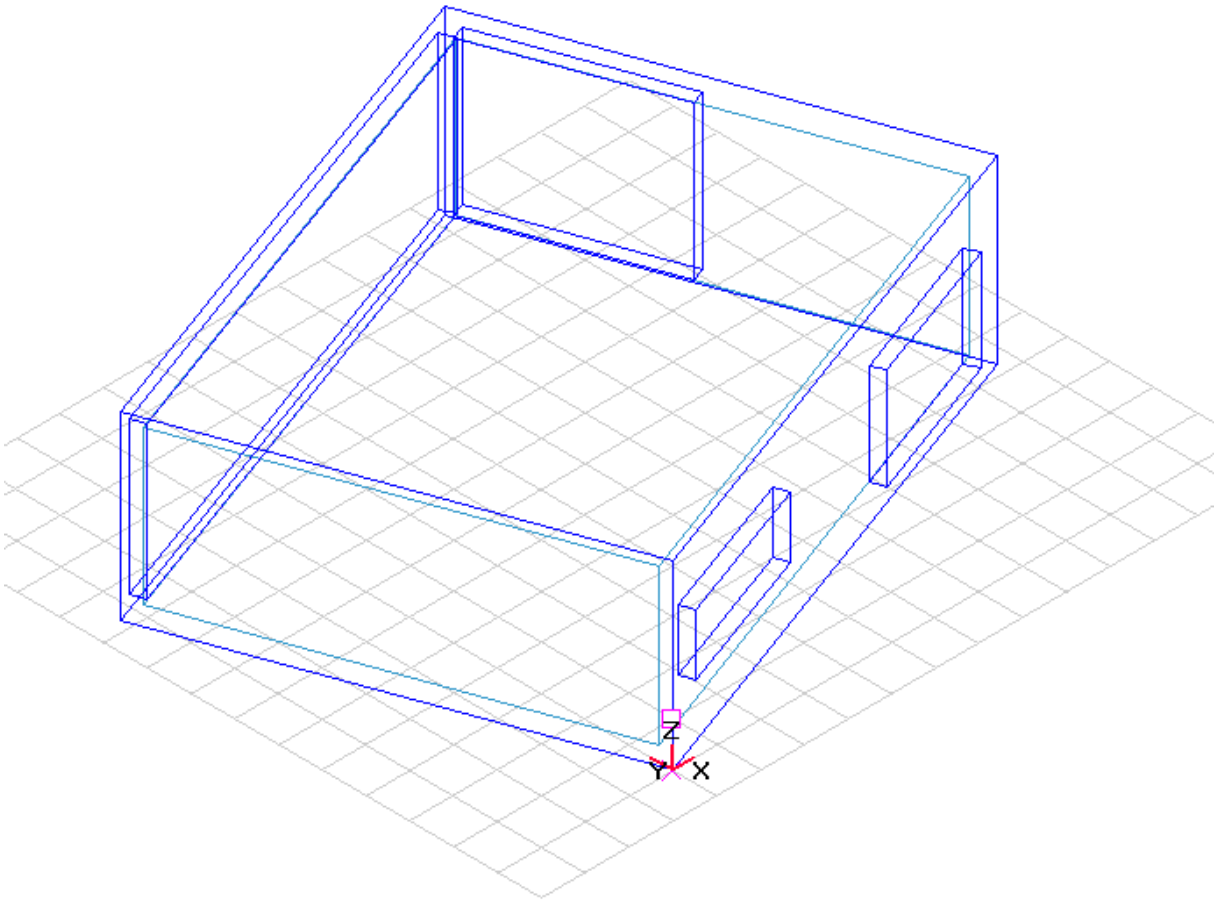


Figur 10.6 Luftfugtigheden i terminalen i juli måned.

Af figuren ses det, at den relative luftfugtighed varierer meget i løbet af juli måned. Den maksimale luftfugtighed er omkring 85% og den mindste er omkring 35%. Luftfugtigheden stiger markant i brugstiden, hvor personer opholder sig i terminalen. Eftersom personbelastningen er den eneste kilde til fugt i bygningen, vil den relative fugtighed falde udenfor brugstiden. Det accepteres, at luftfugtigheden er høj i kortere perioder, men det bør undersøges, hvorvidt den høje fugtighed kan medføre dug på bygningens kolde overflader og medføre fugtskader. Er dette tilfældet, kan ventilationsmængden i brugstiden øges for at bortventilere den fugtige luft.

10.2 Simulering af kantine

Til eftervisning af indeklimaet i administrationsbygningen tages udgangspunkt i kantinen. Kantinen er det rum i bygningen med højest sol- og personbelastning, eftersom det har glasfacade og er anvendelse som et møderum. Af figur 10.7 ses en simplificeret model af rummet som simuleres i BSim.



Figur 10.7 BSim modellen af kantinen til simulering.

Den simplificerede model har en gennemsnitlig arealvægtet rumhøjde for at beholde rumvolumen ved simulering. Tagkonstruktionens U-værdi er ligeledes tilpasset, så transmissionstabet forbliver tilnærmelsesvis realistisk. Glasfacadens U-værdi og solvarmetransmittans er redigeret, så rummet tilføres samme solvarme i simuleringen, som i energiberegningen.

Rummets brugstid er fra 7-16 mandag til fredag, hvor der antages at være maksimal intern belastning fra kl. 11-13. Den resterende brugstid sættes belastningen til 10% af den maksimale. Den maksimale belastning anvendt til simulering er 4 og 6 W/m^2 for henholdsvis personer og udstyr. For belysning anvendes værdier fra energimærket på 9,5 W/m^2 med automatisk regulering ved 400 lux.

Infiltrationen i bygningen er angivet til 0,13 l/s pr. m^2 i brugstiden og 0,09 l/s pr. m^2 udenfor brugstiden. Dette svarer til et maksimalt luftskifte på 0,13 /h i brugstiden og 18% af det maksimale udenfor brugstiden. Infiltrationen indtastes som dagsprofil og er gældende hele året.

Rummet opvarmes ved radiatorer med estimeret effekt på 50 W/m^2, ud fra afsnit 7.2. Radiatorerne opvarmer rummet ved konvektion, hvorfor part to air sættes til 0,6. Radiatorerne er aktive fra oktober til og med april, og det ønskes at opretholde en temperatur på 20 °C i hele brugstiden. Udenfor brugstiden tillades temperaturen at falde til 18 °C.

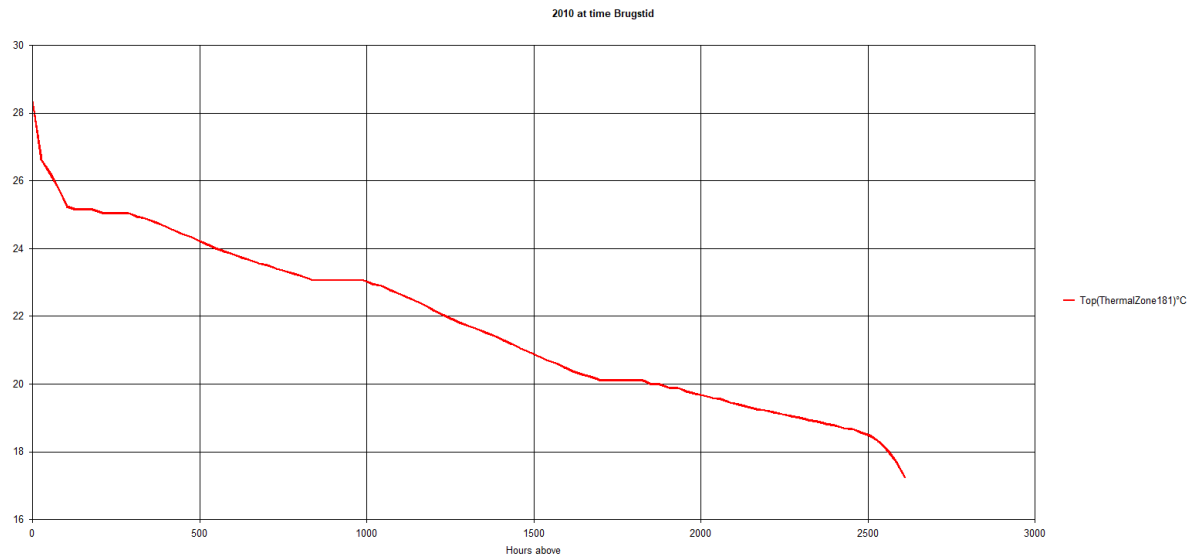
Rummet ventileres hovedsageligt gennem mekanisk ventilation. Ventilationssystemet fungerer som VAV, der reguleres ud fra rummets temperatur og CO_2-koncentration. Luftmængden til rummet sættes til 0,15 m^3/s og kan multipleres med en VAV max faktor på 3. Dette svarer til den dimensionsgivende ventilationsmængde beregnet i afsnit E. Setpunktet for rumtemperatur sættes til 20 °C og CO_2-koncentrationen i rummet må ikke overstige 1000 ppm. Ved en rumtemperatur på 23 °C vil den mekaniske ventilation stige for at opretholde et tilfredsstillende termisk indeklima. Den mindste lufttemperatur på indblæsningen vælges til 16 °C for at kunne køle bygningen. I sommerperioder indføres natkøling ved mekanisk ventilation, eftersom det ikke er muligt at ventilere gennem vinduer og døre uden for brugstiden. Ventilationsanlægget vil uden for brugstiden forsøge at køle rummet til 20 °C inden brugstid næste dag.

I rummet er der åbninger i alle facader, som vil anvendes til ventilation i kritiske perioder. Det er ikke muligt at indføre automatisk styring af åbningerne, da det er døre og vinduer i stueplan. Det antages derfor, at døre og vinduer vil åbnes manuelt ved 25

°C. Der tillades et maksimalt luftskifte på 10 /h i korte perioder med behov for ekstra ventilation for at undgå overtemperaturer.

10.2.1 Resultater

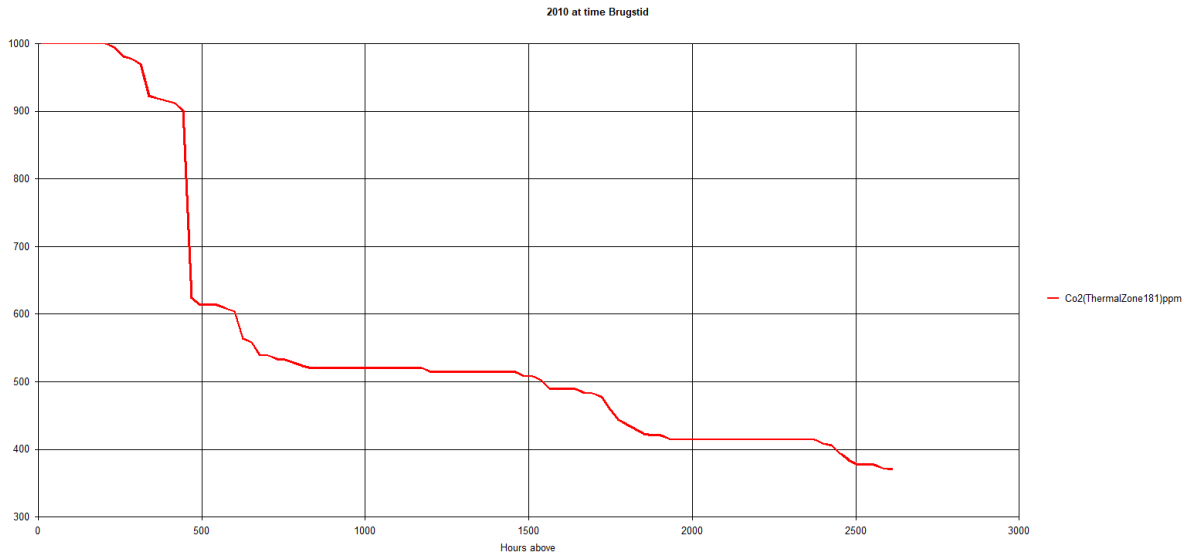
Det termiske indeklima i rummet eftervises, ved at kontrollere, at overtemperaturerne ikke overstiger krav fra Bygningsreglementet. Af figur 10.8 ses en opsummering af overtemperaturer i kantinen.



Figur 10.8 Graf der viser antallet af timer over 26 og 27 °C i brugstiden.

På figuren ses det, at rummet overholder krav til overtemperaturer i brugstiden. Antallet af timer over 26 og 27 °C er henholdsvis 78 og 25 timer. For at sænke timerne med overtemperatur yderligere, vil det være muligt at sænke setpunktet for udluftning eller øge den mekaniske ventilationsmængde til rummet.

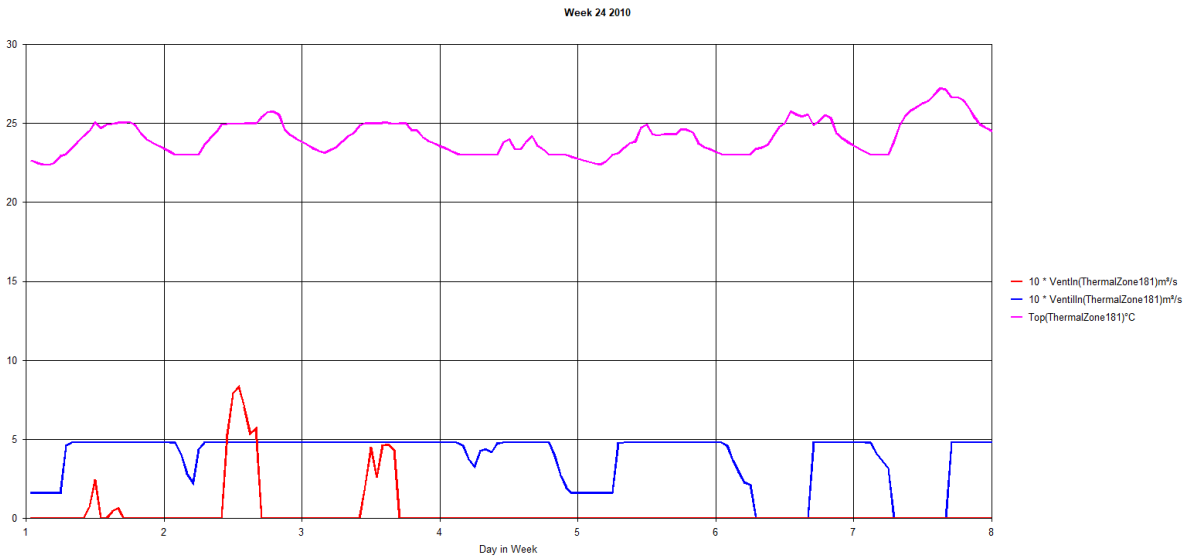
Til at kontrollere, at rummets atmosfæriske indeklima i brugstiden eftervises krav til en maksimal CO_2-koncentration i rummet på 1000 ppm. Af figur 10.9 ses en opsummering af CO_2-koncentrationen i brugstiden.



Figur 10.9 Opsummering af CO_2-koncentrationen i brugstiden for kantinen.

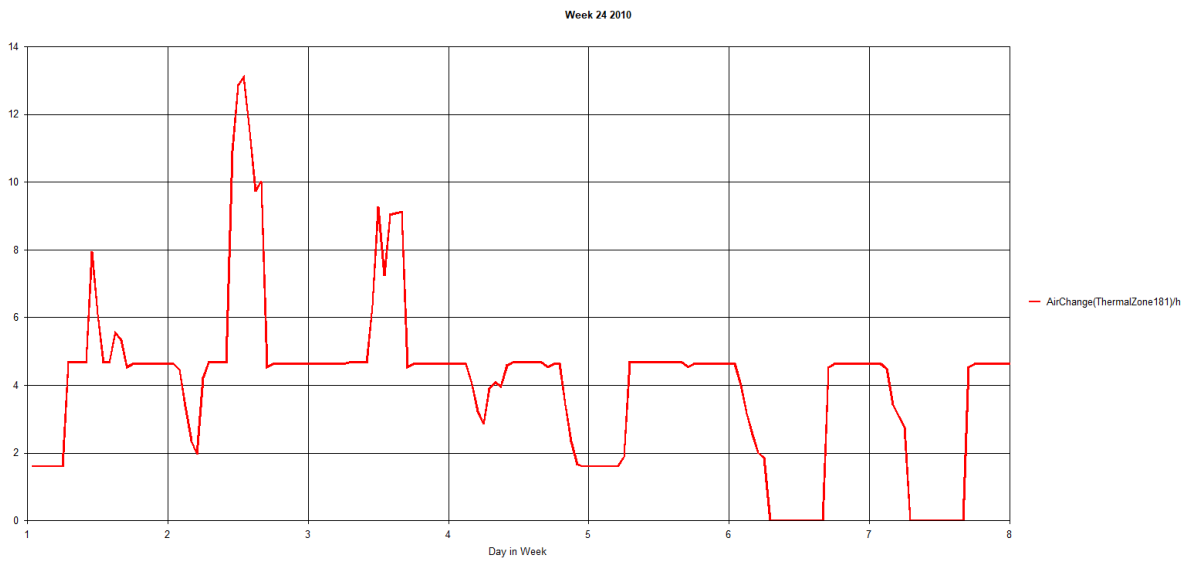
Det ses, at rummet ikke overskrider krav til den valgte indeklimaklasse. Det er dermed eftervist, at den dimensionerede ventilationsmængde i rummet er tilstrækkelig til at bortventilere CO_2-belastningen fra personer. Desuden kan det ses, at en stor del af brugstiden er CO_2-koncentrationen på et niveau langt under grænsen. Dette skyldes, at rummet antages at være i brug hovedsageligt fra 11-13.

Bygningens mekaniske ventilation vil størstedelen af tiden kunne ventilere bygningen tilstrækkeligt. I sommerperioder accepteres det dog, at naturlig ventilation hjælper med at ventilere rummet under kritiske forhold. Af figur 10.10 ses kombinationen af mekanisk og naturlig ventilation i uge 24.



Figur 10.10 Mekanisk og naturlig ventilation sammenholdt med den operative temperatur i kantinen i uge 24.

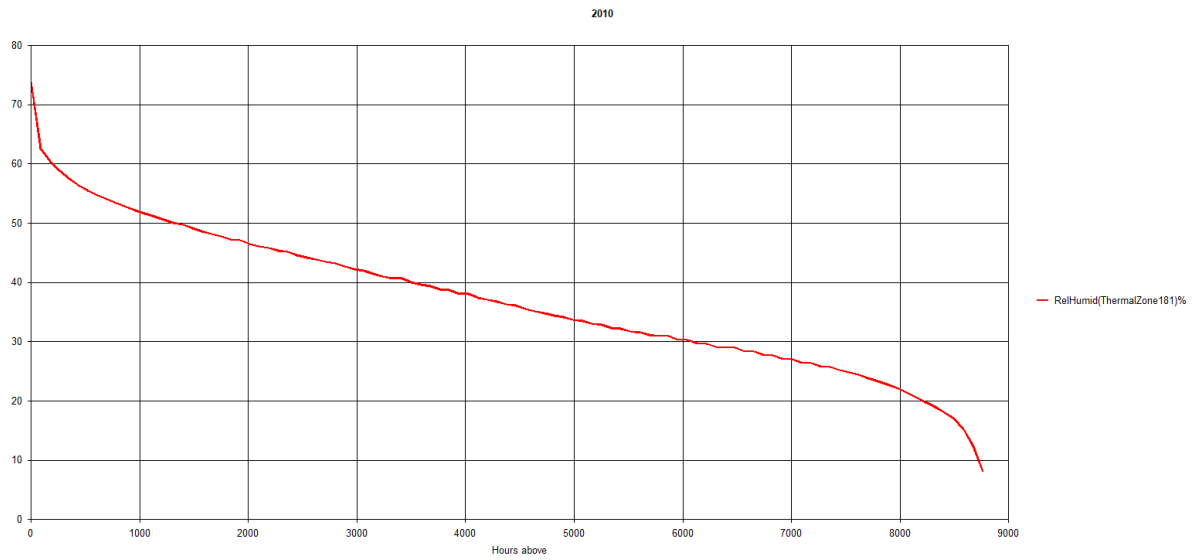
Det ses af figuren, at den mekaniske ventilation står for størstedelen af ventilationen i rummet. Der er dog tidspunkter i løbet af ugen, hvor varmetilskud og interne belastninger ikke kan bortventileres udelukkende med mekanisk ventilation. Derfor antages det, at døre og vinduer manuelt åbnes, når rumtemperaturen er 25 °C. Uden naturlig ventilation vil kravene til overtemperatur ikke kunne overholdes. I perioder med åbne døre og vinduer accepteres ligeledes et højere luftskifte i rummet. Af figur 10.11 ses luftskiftet i brugstiden for uge 24.



Figur 10.11 Luftskifte fra mekanisk og naturlig ventilation i brugstiden i uge 24.

Det ses her, at ved peakbelastning i frokosttiden er det nødvendigt med et højt luftskifte. Det tillades dog at have høje luftskifter ved naturlig ventilation i korte perioder.

Det ønskes at kunne have en relativ luftfugtighed i rummet på mellem 30-70%. Ved mekanisk ventilation uden befugtning af indblæsningsluften vil dette være svært for kantinen. På figur 10.12 ses en opsummering af fugtigheden i kantinen hele året.



Figur 10.12 Opsummering af den relative luftfugtighed i kantinen hele året.

Det ses af ovenstående figur, at omkring 30% af året har rummet en relativ fugtighed under 30%. Den lave relative fugtighed kan accepteres i kortere intervaller. Ved længerevarende perioder med lav fugtighed kan brugerne udsættes for luftvejsinfektioner og generede slimhinder.

Energiforbrug 11

Dette kapitel vil indeholde en opsummering af de valgte løsninger til energiberegningerne. Bygningernes fremtidige energiforbrug vil beregnes separat i Energy10. Alle indtastede data i energiberegningen kan ses af filerne i vedlagte bilagsmappe

11.1 Terminal

I terminalen er der ikke foretaget store ændringer til bygningens energiberegning. De tiltag, som påvirker energiberegningen, er installation af ny pumpe i blandesløjfen til strålevarme og automatisk naturlig ventilation om sommeren. Af tabel 11.1 ses sammenligning af den originale energiberegning og energiberegningen efter tiltag.

Terminal	Original	Efter tiltag
Fordelingspumper varme [W]	1885	445
Naturlig ventilation sommer [l/s pr.m^2]	1,2	1,8
Forbrug fjernvarme [MWh]	142,24	142,24
Energiforbrug [kWh/m^2]	106,9	102,9
Energimærke	C	C

Tabel 11.1 Sammenligning af orginal energiberegning og energiberegning efter tiltag for terminalen.

Det ses af den nye energiberegning, at det forventede energiforbrug for bygningen er tilnærmelsesvis uændret. Effekten af cirkulationspumpen er uændret, men afskaffelsen af kaloriferer har medført en besparelse i el-forbruget til motorerne. Den naturlige ventilation er ændret fra manuel til automatisk ventilation, hvilket betyder, at ventilationsmængden hæves jf. SBI 213. Bygningens forbrug af fjernvarme er uændret, eftersom varmeinstallationerne i energiberegningen udelukkende tager højde for temperatursættet. Bygningen ender derfor med en energibesparelse på 4 kWh pr. m^2, som hovedsageligt skyldes, at kaloriferne er fjernet.

11.2 Administrationsbygning

I administrationsbygningen er der indført flere tiltag, som har indflydelse på bygningens energiberegning. Der installeres et nyt ventilationsanlæg samt udskiftning af brugsvands-

veksler og cirkulationspumper. Af tabel 11.2 ses en sammenligning af den originale energiberegning og energiberegningen efter tiltag for administrationsbygningen.

Administration	Original	Efter tiltag
Fordelingspumper varme [W]	735	282
Mekanisk ventilation vinter [l/s pr. m^2]	1,39	1,07
Varmegenvinding [%]	75	77
SEL-værdi [kJ/m^3]	2	1,79
Varmetab veksler [W/K]	0,59	0,49
Brugsvandspumpe [W]	72	116
Forbrug fjernvarme [MWh]	74,48	71,19
Energiforbrug [kWh/m^2]	94,0	86,9
Energimærke	B	B

Tabel 11.2 Sammenligning af orginal energiberegning og energiberegning efter tiltag for administrationsbygningen.

Ved udskiftning af pumper til radiatorer, gulvvarme og ventilation ses en væsentlig reduktion af den nominelle effekt. Dette vil medføre et lavere årligt forbrug for pumperne. Det nye ventilationsaggregat forsyner bygningen med en gennemsnitligt lavere ventilationsmængde end det eksisterende. Dette skyldes, at der skiftes fra CAV til VAV styret anlæg.

Det nye ventilationsanlæg en højere varmegenvinding og en lavere SEL-værdi. Dette medfører en mindre besparelse i både bygningens el-forbrug og forbrug af fjernvarme, eftersom indblæsningsluften opvarmes af fjernvarme. Udskiftningen af veksleren forventes at sænke varmetabet herfra. Den tilhørende brugsvandspumpe har dog en højere nominel effekt end den eksisterende, hvorfor el-forbruget hertil også forventes at stige. Der ses en samlet besparelse i forbruget af fjernvarme på 3,29 MWh for bygningen. Besparelsen skyldes hovedsageligt det nye ventilationsanlæg og den nye brugsvandsveksler. For bygningens energiforbrug ses en reduktion på 7,1 kWh/m^2 som følge af tiltagene.

Diskussion 12

Når bygningers energiforbrug undersøges, kan der være stor forskel på det beregnede energiforbrug og det aktuelle forbrug. Energiberegninger inddrager tekniske installationer, klimaskærm og standardværdier til at beregne et estimeret energiforbrug for bygningen. Det estimerede energiforbrug kan bruges til at eftervise krav til energirammen fra Bygningsreglementet og til at energimærke bygningen. Energimærker og energirammer kan derfor give interessenter en god ide om, hvor energivenlig bygningen er sammenlignet med andre bygninger. Dette er dog sjældent en nøjagtig afbildning af det faktiske energiforbrug.

I forbindelse med udarbejdelse af dette projekt er der taget kontakt til Skanderborg-Hørning Fjernvarme, som leverer fjernvarme til ejendommen. Deres målinger viste at projektbygningen i 2022 og 2023 har forbrugt henholdsvis 45 % og 87 % mere fjernvarme end estimeret i energiberegningen. Ineffektive tekniske installationer kan ikke alene forklare denne afvigelse i energiforbrug. Bygningers energiforbrug påvirkes af flere uforudsigelige variable, som vejrforhold og brugsmønstre.

Vejrforhold varierer fra år til år, hvilket ofte medfører udsving i energiforbruget. Brugsmønstre kan også variere betydeligt mellem bygninger, selv når de har samme anvendelse. Standardiseringen af brugsmønstre giver derfor sjældent en præcis gengivelse af de faktiske forhold. For at efterleve det estimerede energiforbrug fra energirammer og energimærker kan der fokuseres på driften i eksisterende byggeri. Automatisering af drift og styring kan være en effektiv løsning til at reducere energispild i både i og udenfor bygningens brugstid. Dette sikrer, at bygningen kun forbruger den nødvendige mængde energi, ved kontinuerligt at måle energibehovet og tilpasse energitilførslen. Ved denne form for tilpasning af bygninger er det vigtigt at tage højde for, at brugsmønstre kan ændre sig over tid. I udlejningsejendomme, hvor der ofte sker udskiftning af brugere, bør løsninger designes med en vis fleksibilitet, så de nemt kan tilpasses forskellige brugeres anvendelse.

For at opnå målsætningen om nulemissionsbygninger i 2050 er det ikke tilstrækkeligt blot at energieffektivisere bygningsdriften. Det er også nødvendigt at inddrage løsninger baseret på vedvarende energikilder. Vedvarende energi bør implementeres i bygninger for at dække behov for el og varme efter gennemførte energieffektiviseringer. Solenergi og

varmepumper kan levere vedvarende energi til bygninger og bidrage til at gøre dem mere klimaneutrale. Solenergi har dog sine begrænsninger, da den kun producerer energi, når solen skinner. Der findes muligheder for at lagre solenergien, men løsningernes effektivitet er begrænsede og omkostningsfulde. For erhvervsbygninger er solenergi en velegnet energikilde, da den kan levere strøm eller varme i størstedelen af bygningens brugstid. Varmepumper kan levere varme stort set uden begrænsning. Der udvikles i dag hybride løsninger, hvor varmepumper dækker for størstedelen af energiforbruget til bygningsdrift og kan suppleres af fjernvarme. For at gøre disse muligheder mere klimaneutrale vil det kræve tiltag fra de kollektive varmeforsyning, hvor der er fokus på vedvarende energi.

Konklusion 13

Der er til projektbygningen blevet beskrevet og analyseret energibesparende forslag. Til bygningens klimaskærm er undersøgt muligheder for efterisolering. Beregninger af rentabiliteten for disse forslag viste imidlertid, at det ikke ville være økonomisk fordelagtigt at inkludere dem som en del af de energibesparende tiltag for bygningen.

For bygningens varmeinstallationer er valgt at udskifte radiatorventiler i administrationsbygningen, med henblik på besparelser af varmeforbrug. Ventilerne er blevet dimensioneret, og der er beregnet forindstilling efter radiatorernes estimerede ydelse. I terminalen er strålevarmepaneler og de dertilhørende fordelingsrør blevet dimensioneret og projekteret. Dimensioneringen omfatter også strengreguleringsventiler, en blandesløjfe samt beskrivelse af principper for driften.

Bygningen er undersøgt for muligheder for naturlig, mekanisk, hybrid og decentral ventilation. Det er valgt at indføre automatisk styring og regulering af ovenlysene i terminalen. Der er beskrevet produktløsning samt driftsprincipper for den naturlige ventilation. Til administrationsbygningen er dimensioneret og projekteret et nyt mekanisk ventilationssystem. Ventilationssystemet omfatter aggregat, kanaler og armaturer.

På baggrund af tiltagene er foretaget indeklimasimulering af bygningen med kantinen og terminalen som kritiske rum. Simuleringen efterviser at der kan opretholdes et komfortabelt indeklima i bygningen ved indførelse af tiltagene. Bygningen er simuleret med henblik på at eftervise krav til det termiske og atmosfæriske indeklima.

Til teknik er foretaget udskiftning af cirkulationspumper og brugsvandsveksler. Brugsvandsveksleren er dimensioneret efter bygherres krav til varmt brugsvand.

Der er foretaget energiberegning ved indførelse af de energibesparende tiltag til bygningen. Tiltagene resulterer i en besparelse på 4 kWh/m^2 for terminalen og 7,1 kWh/m^2 for administrationsbygningen.

Litteratur

[1] Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet, *Parisaftalen 2015*. https://www.kefm.dk/eu-og-globalt-samarbejde/parisaftalen/parisaftalen-2015, 2024. Besøgt: 05-11-2024.

[2] Europa Parlamentet, *Drivhusgasudslip per land og sektor (infografik)*. https://www.europarl.europa.eu/topics/da/article/20180301STO98928/drivhusgasudslip-per-land-og-sektor-infografik, 2023. Besøgt: 05-11-2024.

[3] Nethe Veje Laursen, *Bygninger*. https://concito.dk/emne/bygninger, 2024. Besøgt: 05-11-2024.

[4] Det Europæiske Råd, *Den europæiske grønne pagt*. https://www.consilium.europa.eu/da/policies/green-deal/, 2024. Besøgt: 05-11-2024.

[5] Grundfos, *Energieffektivitet er nøglen til mere bæredygtige erhvervsejendomme*. https://www.grundfos.com/dk/learn/research-and-insights/energy-efficiency-holds-the-key-to-more-sustainable-commercial-buildings, 2024. Besøgt: 05-11-2024.

[6] Indenrigs- og boligministeriet, *National strategi for bæredygtigt byggeri*. https://www.sbst.dk/byggeri/baeredygtigt-byggeri/national-strategi-for-baeredygtigt-byggeri, 2021. Besøgt: 05-11-2024.

[7] Concito, *Fremsynsnotat om social bæredygtighed*. https://concito.dk/social-baeredygtighed-element-groenne-omstilling-byggeriet, 2020. Besøgt: 05-11-2024.

[8] Bygningsreglementet, *Termisk indeklima Vejledning*. https://www.bygningsreglementet.dk/historisk/br18_version8/tekniske-bestemmelser/19/vejledninger/termisk-indeklima/, 2024. Besøgt: 05-11-2024.

[9] Dansk Standard, *DS 447 - Ventilation i bygninger*, 2021.

[10] Dansk Standard, *DS 16798-1-3 - Bygningers energieffektivitet - Del 1-3*, 2019.

[11] S. kommune, "Sagsregistrering." Weblager, 2002.

[12] Rationel, *Ydeevnedeklaration*. https://www.rationel.dk/wp-content/uploads/2024/07/W-EV-20240701_DK.pdf, 2024. Besøgt: 29-11-2024.

[13] Daluc, *Daloc S33 (Y33) Sikkerhedsdør RC3*. https://www.dorkatalog.daloc.dk/staldore/S33/, 2024. Besøgt: 29-11-2024.

[14] Velux, *Energiberegner*. https://ressourcer.velux.dk/u-value-beregner, 2024. Besøgt: 29-11-2024.

[15] Anne Sandager, *Kan det betale sig at udskifte din radiator?* https://www.bolius.dk/kan-det-betale-sig-at-udskifte-din-radiator-16306, 2022. Besøgt: 28-11-2024.

[16] Byggeri og Energi, *Udskiftning af radiatorventil/termostatstyring*. https://byggeriogenergi.dk/enfamiliehuse/udskiftning-af-radiatorventil-termostatstyring, 2024. Besøgt: 30-12-2024.

[17] TechnoKlima, *Strålevarme: TechnoDesign*. https://www.techoklima.dk/Files/Images/TechoKlima/FIler/Design/TechoDesign-12sider-CE_TD20180829PEAN.pdf, 2018. Besøgt: 28-11-2024.

[18] Hans Henrik Lichtenberg, *Strålevarme forbedrer indeklima og medarbejdertrivsel*. https://www.installator.dk/str%C3%A5levarme-forbedrer-indeklima-og-medarbejdertrivsel, 2019. Besøgt: 30-12-2024.

[19] Bygtek, *Fleksibel strålevarme i Brønshøj*. https://bygtek.dk/artikel/indeklima/fleksibel-strlevarme-i-brnshj, 2016. Besøgt: 28-11-2024.

[20] Acconsulting, *Spar penge på varmeregningen med en energieffektiv kalorifere*. https://acconsulting.dk/spar-penge-paa-varmeregningen-med-en-energieffektiv-kalorifere/, 2023. Besøgt: 30-12-2024.

[21] Genvex, *Varmegenvinding*. https://www.genvex.com/videnscenter/varmegenvinding, 2024. Besøgt: 28-11-2024.

[22] Frico, *Aquaztrip Basic Strålevarmepaneler til industri*. https://www.frico.net/da/produkter/stralevarme/stralevarmepaneler-til-industri/aquaztrip-basic?sku=95463%dimensionering, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[23] Frico, *Aquaztrip Basic - teknisk manual*. https://shop.frico.net/upload/assets/CAT_FRICO_AQUAZTRIP_BASIC_DK_20231031_20240220_105231090.PDF?665463cb, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[24] Dansk Standard, *DS 452 - Termisk isolering af tekniske installationer*, 2020.

[25] Frese, *OPTIMA Compact Veriflow-series*. https://www.frese.eu/hvac/da-DK/Produkter/Dynamiske-motorventiler/Frese-OPTIMA-Compact-Veriflow-series-DN10-DN50, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[26] Danfoss, *Radiatorventiler, RA-N, Normalt flow, DN 15, Ligeløb, F*. https://store.danfoss.com/dk/da/Climate-Solutions-for-heating/Radiatortermostater/

Radiatorventiler/Standard-radiatorventiler/Presetting-valves/Radiatorventiler%2C-RA-N%2C-Normalt-flow%2C-DN-15%2C-Ligel%C3%B8b%2C-F/p/013G0014, 2024. Besøgt: 30-12-2024.

[27] Purmo, *Panelradiatorer*. https://www.purmo.com/da-dk/produkter/opvarmning-og-koeling/radiatorer/panelradiator/panelradiatorer, 2024. Besøgt: 30-12-2024.

[28] Hudevad, *SC Horisontal*. https://hudevad.com/wp-content/uploads/2022/10/Hudevad_TDS_SC_Horisontal_112024_DK-1.pdf, 2024. Besøgt: 30-12-2024.

[29] Actulux, *JM-DC3*. https://actulux.dk/vare/jm-dc3/, 2024. Besøgt: 30-12-2024.

[30] Lindab, *SR rør*. https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/kanalsystemer/safe/ror/sr/?sort=popularity&display=16&page=1, 2024. Besøgt: 20-12-2024.

[31] Lindab, *FTCU Ultralink Controller*. https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/kanalsystemer/maling-og-regulering/ultralink/ftcu-3b6134f9/?sort=popularity&display=16&page=1, 2024. Besøgt: 28-12-2024.

[32] Lindab, *Regula Combi Rumregulator*. https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/vandbarne-systemer/tilbehor/regula-combi/?sort=popularity&display=16&page=1, 2024. Besøgt: 28-12-2024.

[33] Lindab, *LCA Loftarmatur*. https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/loftarmaturer/formo/lca/?sort=popularity&display=16&page=1, 2024. Besøgt: 20-12-2024.

[34] Lindab, *MB trykfordelingsboks*. https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/trykfordelingsbokse/mb/?sort=popularity&display=16&page=1, 2024. Besøgt: 20-12-2024.

[35] Rune Michaelsen, *Hurtig besparelse: Skift cirkulationspumpen*. https://goerdetselv.dk/spar-energi/varme/skift-din-cirkulationspumpe-og-spar-500-kr-om-aaret, 2010. Besøgt: 05-12-2024.

[36] METRO THERM, *Metro VRT*. https://www.metrotherm.dk/produkter/fjernvarme/store-fjernvarmeunits/metro-vrt, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[37] Skanderborg-Hørning Fjernvarme, *Fjernvarmepriser*. https://www.skfj.dk/media/jofn3ze4/fjernvarmepriser-dbl-155-gaeldende-pr-20250101.pdf#/, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[38] Videncenter for Energibesparelser i Bygninger, *Rentabilitet*. https://krav.byggeriogenergi.dk/rentabilitet, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[39] Kim Haugbølle & Vania Mahdi & Martin Morelli & Haseebullah Wahedi, *BUILD levetidstabel: Version 2021*. https://vbn.aau.dk/da/publications/build-levetidstabel-version-2021, 2024. Besøgt: 05-12-2024.

[40] Lindab, *Lindqst*. https://www.lindqst.com/airborne/selector/default.aspx, 2024. Besøgt: 20-12-2024.

[41] Jørgen Erik Christensen, *8. Ventilation*. https://www.endrin-textbook.org/-/media/sites/endrin-textbook/kapitlerne/8_ventilation_web.pdf?la=da&hash=A9C114E24C1FE4F89AA24E27502B68F06913C876, 2023. Besøgt: 30-12-2024.

[42] Dansk Standard, *DS 439 - Norm for vandindstallationer*, 2009.

Klimaskærm A

I dette bilag foretages beregninger på forbedrende forslag til bygningens klimaskærm. Til at vurdere hvilke tiltag til klimaskærmen, der er mest rentable, beregnes årlig besparelse i forbrug samt omkostninger ved indførelse. U-værdien beregnes med udgangspunkt i den eksisterende vægs isoleringsevne, hvor der tilføres isolansen for det pågældende efterisolerende forslag. Den endelige U-værdi beregnes ud fra følgende formel A.0.1.

$$U = \frac{1}{R_{eks} + R_{ny}} \tag{A.0.1}$$

Hvor:

U	U-værdi [W/m^{2}K]
R_{eks}	Isolans eksisterende konstruktion [m^{2}K/W]
R_{ny}	Isolans med efterisolering [m^{2}K/W]

Af tabel A.1 ses en opsummering af de beregnede U-værdier fra forslagene til terminalen og administrationsbygningens klimaskærm.

	Administrationsbygningen		Terminal	
Forslag	Gammel U-værdi $[W/m^2K]$	Ny U-værdi $[W/m^2K]$	Gammel U-værdi $[W/m^2K]$	Ny U-værdi $[W/m^2K]$
Indvendig forsatsvæg	0,20	0,114	0,20	0,114
Varmvægsgips	0,20	0,192	0,20	0,192
Refleksiv isolering	0,20	0,188	0,20	0,188
Udvendig forsatsvæg	0,20	0,111	0,20	0,111
Udvendig isolering	0,20	0,095	0,20	0,095
Terrændæk	0,17	0,108	0,54	0,096
Efterisolering tag	0,20	0,096	0,25	0,106
Udskiftning vinduer	1,80	0,780	1,80	1,200

Tabel A.1 Resultater for beregning af U-værdi til forslag for bygningernes klimaskærm.

Eftersom besparelsen for forslagene er afhængig af udetemperaturen i løbet af året, vil Energy10 anvendes til at beregne besparelsen. Den nye U-værdi for konstruktionsdelen indsættes i energiberegningen og der ses på besparelsen på summen af det samlede årlige forbrug til opvarmning. Herefter kan besparelsen i forbrug ganges med kWh-prisen for Skanderborg-Hørning fjernvarme, som er oplyst til 0,446 kr. ekskl. moms pr. kWh [37].

For at foretage en rentabilitetsberegning af forslagene, beregnes også omkostningerne i forbindelse med etablering og udførelse. Til dette anvendes prisberegneren fra Molio Sigma Browser, hvor der findes samlede materialepriser og lønninger i forbindelse med typiske projekter. Der vil her så vidt muligt tages udgangspunkt i det forslag fra Molio, der er tættest på forslaget til projektbygningen. Der findes ingen prisberegning for refleksiv isolering, men der antages at være identiske omkostninger som ved etablering af indvendig forsatsvæg. Rentabiliteten er beregnet ud fra formel A.0.2.

$$\text{Rentabilitet} = \frac{(\text{Levetid} \cdot \text{Årlig besparelse})}{\text{Investering}} \tag{A.0.2}$$

Investeringen vil i dette tilfælde være de samlede omkostninger ved etablering af forslaget. Rentabiliteten skal resultere i en værdi over 1,3 for at være rentabel.[38]
Af tabel A.2 og A.3 ses en sammenligning af omkostninger og besparelse for tiltagene samt beregning af rentabilitet. Levetiden af forslagene er antaget i forhold til levetidstabellen fra BUILD. [39]

	Administrationsbygningen			
Forslag	Besparelse [kr. pr. år]	Omkostninger [kr.]	Levetid [år]	Rentabilitet [−]
Indvendig forsatsvæg	2.465	1.219.107	40	0,08
Varmvægsgips	233	1.192.665	40	0,01
Refleksiv isolering	350	1.219.107	40	0,01
Udvendig forsatsvæg	2.549	1.685.013	40	0,06
Udvendig isolering	2.996	1.516.004	40	0,08
Terrændæk	1.333	1.123.739	40	0,05
Efterisolering tag	3.337	1.344.215	40	0,10
Udskiftning af vinduer	4.548	1.302.370	50	0,17

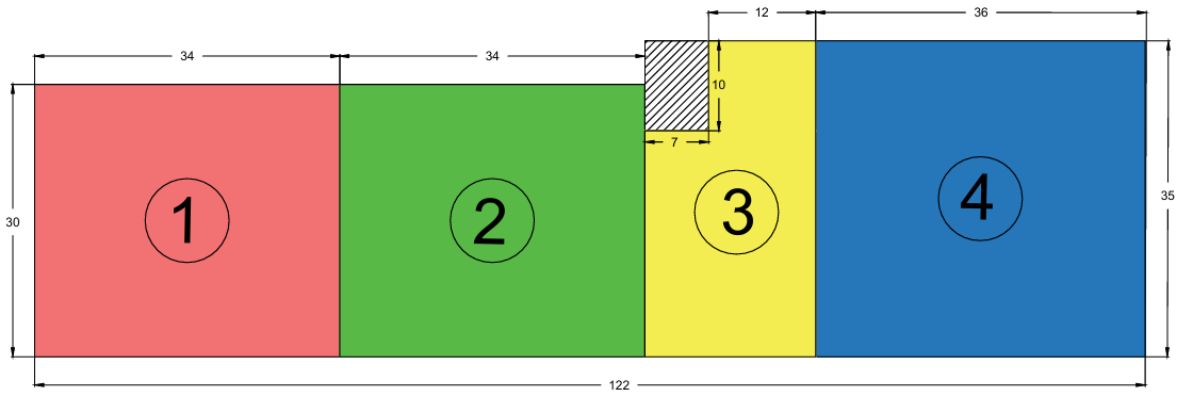
Tabel A.2 Resultater for rentabilitetsberegning af forslag til administrationsbygningen.

	Terminal			
Forslag	Besparelse [kr. pr. år]	Omkostninger [kr.]	Levetid [år]	Rentabilitet [−]
Indvendig forsatsvæg	3.914	3.326.611	40	0,05
Varmvægsgips	368	3.287.181	40	0,00
Refleksiv isolering	550	3.326.611	40	0,01
Udvendig forsatsvæg	4.073	4.600.216	40	0,04
Udvendig isolering	4.772	4.342.699	40	0,04
Terrændæk	29.050	15.778.125	40	0,07
Efterisolering tag	122.198	5.151.425	40	0,09
Udskiftning af vinduer	6.142	731.935	50	0,42

Tabel A.3 Resultater for rentabilitetsberegning af forslag til terminalen.

Strålevarme B

Dette bilag viser beregninger i forbindelse med dimensionering af strålevarmepaneler til terminalen. Beregningen tager udgangspunkt i Aquaztrip Basic strålevarmepaneler fra Frico.[22]
Dimensioneringen følger den tekniske manual fra Frico til dette produkt.[23]
Bygningen opdeles i 4 zoner for at sikre længden af panelerne ikke overstiger 40 meter som anbefalet. Opdelingen af zoner ses af figur B.1.



Figur B.1 Bygningen inddelt i zoner. Alle mål er i meter.

Indledningsvis beregnes det dimensionsgivende varmetab for hver zone, for at kunne vælge det passende antal og type af strålevarmepanelerne i zonerne. Varmetabet beregnes ud fra formel B.0.1.

$$\Phi_{dim} = \Phi_T + \Phi_V + \Phi_L \tag{B.0.1}$$

Hvor:

Φ_T	Transmissionstab [W]
Φ_V	Ventilationstab[W]
Φ_L	Linjetab [W]

Transmissionstabet beregnes ved en indetemperatur på 18 °C og en udetemperatur på 10 °C for terrændæk og -12 °C for den resterende klimaskærm. Ventilationstabet beregnes ud fra den naturlige ventilation på 0,5 l/s pr.m^2, som er angivet i energimærket. Linjetabs-

beregningen tager udgangspunkt i den enkelte zones antal af porte, ovenlys og løbende meter af samling ved fundament.
Af tabel B.1 fremgår det dimensionsgivende varmetab sammen med information om zonerne, som anvendes til dimensionering af terminalen.

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Dimensionsgivende varmetab [kW]	49,2	46,4	27,8	58,5
Fremløbstemperatur fjernvarme [°C]	60	60	60	60
Maksimal returtemperatur fjernvarme [°C]	32	32	32	32
Installationshøjde [m]	6,5	6,5	6,5	6,5
Zonens længde [m]	34	34	19	36
Zonens areal [m]	1.020	1.020	595	1.260

Tabel B.1 Relevante værdier til dimensionering af strålevarmepaneler.

Det ses dermed at zone 4 har det højeste varmetab på 58,5 kW, og denne vil derfor tages udgangspunkt i til beregning. I zone 4 placeres 30 m lange sektioner af paneler mens der overholdes respektafstand til ydervæg på maskimalt 2 meter fra midten af panelet. Panelerne placeres desuden med en maksimal afstand på 6,5 m c/c for at sikre en jævn varme i opholdszonen. Eftersom fjernvarmen skal have en returtemperatur på 32 °C anvendes denne til dimensionering af panelerne. Fremløbstemperaturen sættes til 60 °C. Den øvre temperatur beregnes for panelerne af formel B.0.2 til at finde panelernes ydelse pr. meter.

$$k = \frac{T_f + T_r}{2} - T_{omg} \tag{B.0.2}$$

Hvor:

T_f	Fremløbstemperatur [°C]
T_r	Returtemperatur[°C]
T_{omg}	Rumtemperatur [°C]

Ud fra tabel 6 i den teknisk manual fra Frico giver en øvre temperatur på 28 °C en ydelse på 358 W/m for type 4 paneler. Ydelsen for hvert panel i zone 4 er dermed maksimalt 10740 W ved en længde på 30 m. Antallet af paneler i zonen bliver dermed 6 for at overstige det dimensionsgivende varmetab i zonen. Panelerne placeres med jævne mellemrum i zonen. Der skal overholdes et minimum flow på 94 kg/h jf. tabel 7 i den tekniske manual for at opretholde turbulent strømning. Overholdelse af den turbulente strømning eftervises ved at beregne massestrøm i panelet og efterfølgende i rør. Massestrøm af panelet beregnes i formel B.0.3.

$$m = (\frac{q}{\Delta T}) \cdot 0,86 \tag{B.0.3}$$

Hvor:

q	Ydelse [W/m]
ΔT	Afkøling [°C]

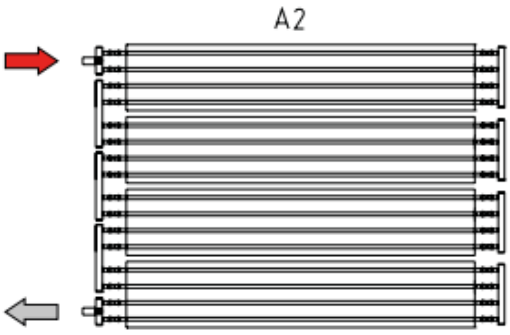
Type 4 paneler fås i forskellige modeller, hvor antallet af rør og fordeler er forskellige. Forskellen mellem dem er, hvor mange rør der forsynes af hver fordeler. På den måde kan der sikres turbulent strømning i panelerne ved at fordele massestrømmen ud på flere rør ad gangen. For type 4 paneler kan vandet fordeles ud i 1, 2, 4 eller 16 rør. Massestrømmen i de enkelte rør i panelet i rørene beregnes ved formel B.0.4

$$m_r = (\frac{m}{n}) \tag{B.0.4}$$

Hvor:

m	Massestrøm [kg/h]
n	Antal rør pr panel [W/m]

Massestrømmen for hvert rør i panelet er dermed 165 kg/h i paneler på 30 m ved valg af type 4 A2 med to rør pr. fordeler, hvilket overstiger minimumsværdien fra producenten. For panelerne med sektionslængderne på 10 m vælges type LT4 og for paneler med længde på 20 m vælges type A2. I disse typer vil massestrømmen være 110 kg/h. Afslutningsvis beregnes trykfaldet på vandsiden i de kritiske paneler på 30 m. Der er valgt paneler af type 4 A2 med layout med fremløb og retur på samme side, som set på figur B.2.



Figur B.2 Paneler af Type 4 A2 som vælges til paneler med sektionslængde på 30 m.[23]

Trykfaldet beregnes ud fra formel B.0.5 for hver sektion af paneler.

$$\Delta P = 8 \cdot (L \cdot R) + (9 \cdot Z) \tag{B.0.5}$$

Hvor:

L	Sektionslængde [m]
R	Vandmodstand i panel [Pa/m]
Z	Vandmodstand i fordeler [Pa]

Beregningen resulterer i et trykfald på 41,4 kPa, som anvendes til at dimensionere cirkulationspumpen til blandesløjfen. Til dimensionering af pumpen skal også tages højde for tryktabet i rørføring og strengregulering.
For indeklima kategori II må der maksimalt må være 5 °C forskel på opholdszonen og det varme loft. Strålingsasymmetrien for løsningen kontrolleres ved beregning af formel B.0.6, med udgangspunkt i hver zone.

$$S = \frac{A_{tag} * T_{tag} + A_{panel} * T_{panel}}{A_{sum}} - T_{tag} \tag{B.0.6}$$

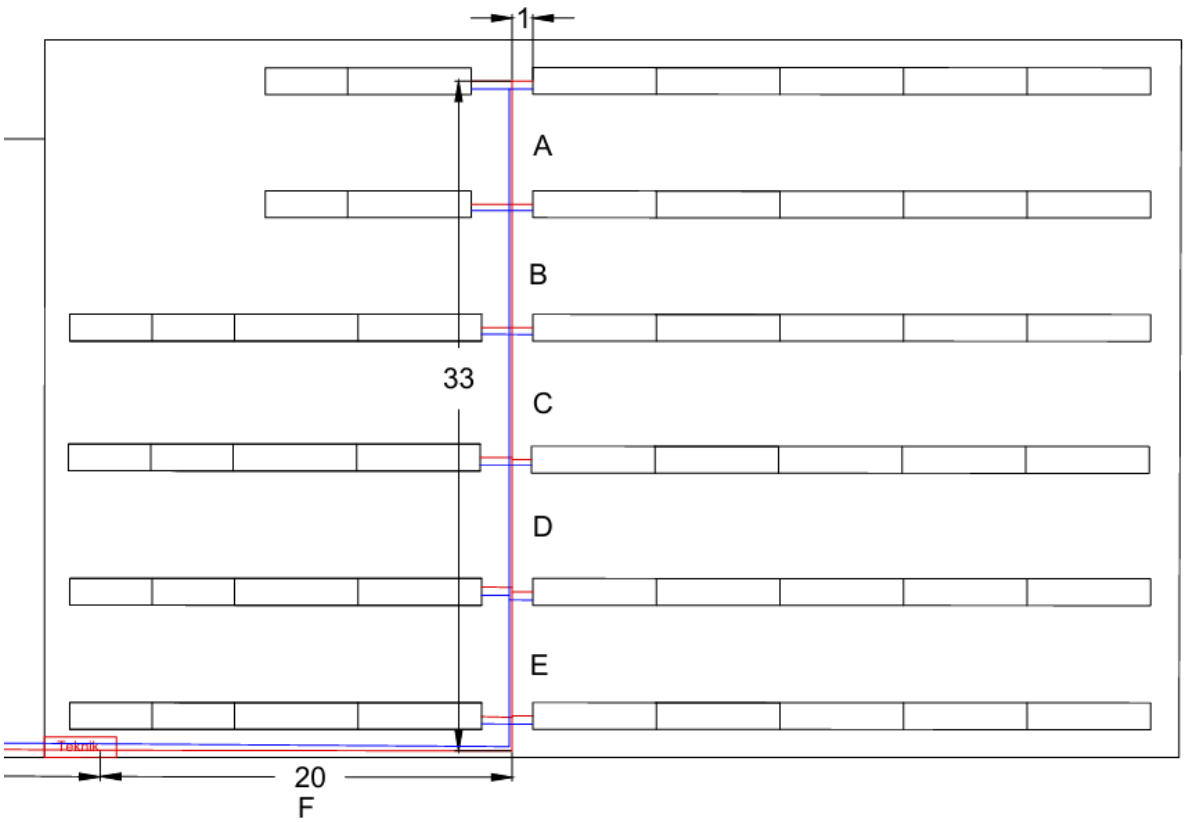
Hvor:

S	Sektionslængde [m]
A_{tag}	Areal af tagkonstruktion [m^2]
T_{tag}	Overfladetemperatur tagkonstruktion [°C]
A_{panel}	Areal af strålevarmepaneler [m^2]
T_{panel}	Gennemsnitlig temperatur af strålevarmepaneler [°C]
A_{sum}	Sum af areal af loft og strålevarmepaneler [m^2]

Strålingsasymmetrien for zonerne er maksimalt 4,5 °C ved det valgte temperatursæt. Dermed overholdes krav til indeklimakategorien.

Rørdimensionering C

Til rørdimensionering benyttes flowet i panelernes rør under dimensionsgivende forhold. Panelerne er tilkoblet et fremløbsrør og et returrør. Der vil dimensioneres en fælles forsyningsledning til 2 zoner ad gangen. Zone 1 og 2 forsynes af samme forsyningsledning ligesom zone 3 og 4 forsynes af samme rør. Af figur C.1 ses en principskitse for rørføringen til panelerne i zone 3 og 4.



Figur C.1 Principskitse for rørføring af fremløb og retur til panelerne.

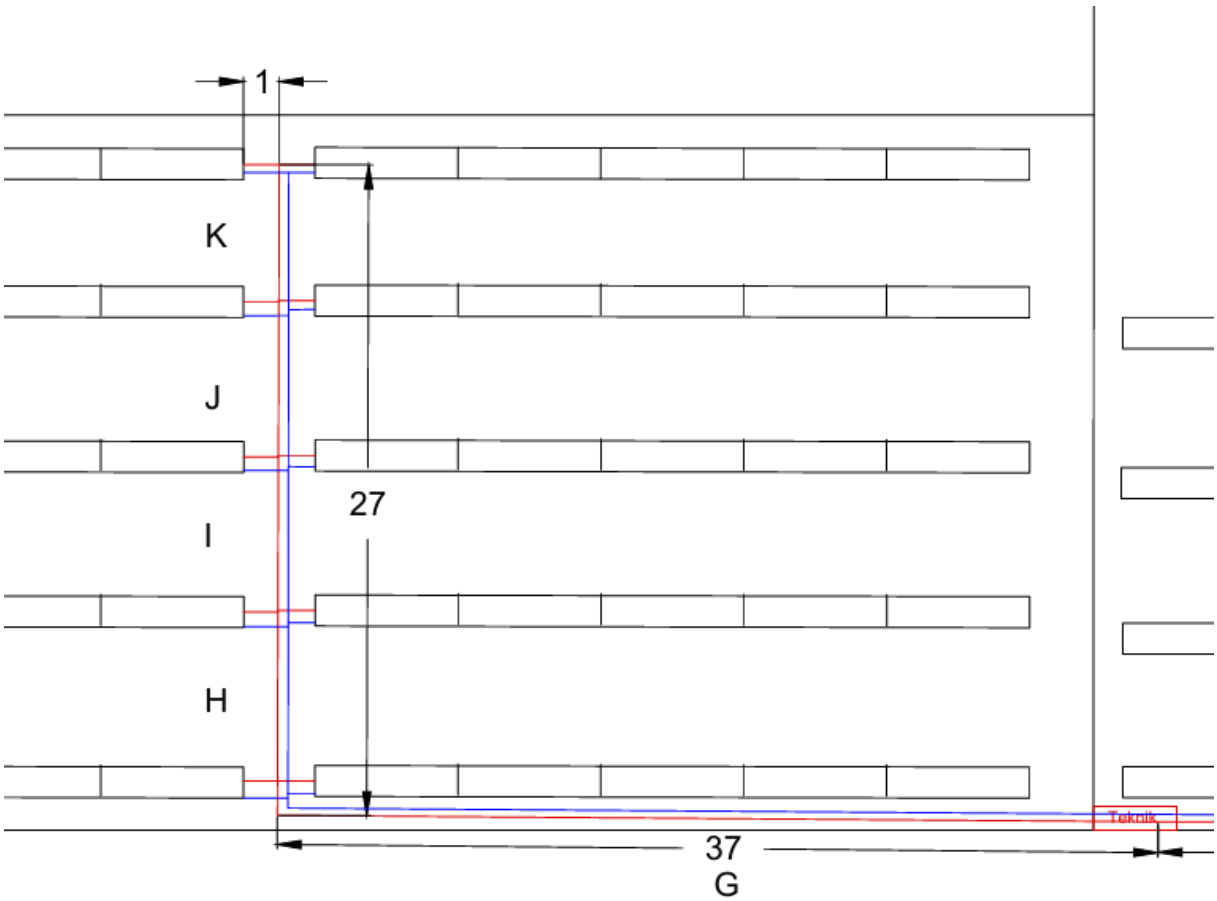
Ud fra principskitsen og den dimensionsgivende vandmængde til panelerne, kan rørdimensionerne bestemmes på fremløb og retur. Til dimensionering anvendes Hytools app fra IMI, med en vandtemperatur på 60 °C og rørene dimensioneres for typen "Generel Stålrør". Af tabel C.1 ses dimensionering af forsyningsledning til fremløbet til Zone 3 og 4. Tabellen starter fra yderste panel på strækningen og bevæger sig mod teknikken.

Installation	Strækning [−]	Længde [m]	Vandmængde [l/s]	Dimension [−]	Tryktab [Pa/m]
30m + 10 m			0,08		
	A	6,5		DN15	163
30m + 10 m			0,15		
	B	6,5		DN20	117
30m + 20 m			0,23		
	C	6,5		DN25	82
30m + 20 m			0,31		
	D	6,5		DN25	143
30m + 20 m			0,38		
	E	6,5		DN32	52
30m + 20 m			0,46		
	F	22		DN32	74
G			0,92		
	GF - Teknik	5		DN40	127

Tabel C.1 Dimensionering af forsyningsledning til fremløb i Zone 3 og 4.

Returrøret til teknikken udføres i en tilsvarende rørdimension som fremløbet ved den tilsvarende strækning.

På figur C.2 ses principskitse for zone 1 og 2.



Figur C.2 Principskitse af fremløb og retur til panelerne i zone 1 og 2

Rørene dimensioneres på samme måde som i zone 3 og 4. Returledningen har samme dimensioner som fremløbsledningen. Dimensioneringen af fremløbsledningen ses af tabel C.2.

Installation	Strækning [−]	Længde [m]	Vandmængde [l/s]	Dimension [−]	Tryktab [Pa/m]
30m + 30m			0,09		
	K	6,5		DN20	46
30m + 30m			0,18		
	J	6,5		DN20	164
30m + 30m			0,28		
	I	6,5		DN25	118
30m + 30m			0,37		
	H	6,5		DN25	199
30m + 30m			0,46		
	G	37		DN32	74
G			0,92		
	GF - teknik	5		DN40	127

Tabel C.2 Dimensionering af forsyningsledning til fremløb i Zone 1 og 2.

Der beregnes ud fra den kritiske strækning, det dimensionsgivende tryktab til pumpen på blandesløjfen. I tabel C.3 ses det beregnede tryktab fra rør og paneler til beregning af det dimensionsgivende tryktab.

Strækning	Tryktab rør [kPa]	Tryktab panel [kPa]	Samlet [kPa]
A - Teknik	11,8	41,4	53,2
K - Teknik	13,6	41,4	54,9

Tabel C.3 Tryktab for forsyningsledningerne til varmepanelerne.

Foruden tryktab i rør og panel tillægges også et tryktab på 25 kPa fra ventilen til strengregulering af systemet. 25 kPa sikrer autoritet i ventilen. Dermed skal pumpen kunne overvinde et tryktab på 78,2 kPa fra den kritiske strækning i zone 1 og 2.

Radiator beregningseksempel D

Til beregningseksemplet tages udgangspunkt i radiatorerne som er placeret på toiletterne i administrationsbygningen. Radiatorens størrelse antages ud fra billedmateriale fra den tekniske gennemgang. Af figur D.1 ses en radiator fra et af bygningens toiletter.

Figur D.1 Radiator til beregningseksempel

Radiatorens ydelse antages at have samme egenskaber som en Purmo Hygiene 10 ud fra et produktkatalog fra Purmo. [27] Af tabel D.1 ses radiatorens dimensioner og ydelse.

Længde $[mm]$	Højde $[mm]$	Dybde $[mm]$	Ydelse $[W]$
300	400	47	45

Tabel D.1 Dimensioner og ydelse for en Purmo Hygiene 10 radiator.

Temperatursættet for radiatoren er valgt til 60/30 °C og der kan herudfra beregnes et flow af formel D.0.1

$$q = \frac{\theta}{\rho \cdot c(t_f - t_r)} \tag{D.0.1}$$

Hvor:

q	Flow [m^3/h]
θ	Ydelse [W]
ρ	Densitet vand [kg/m^3]
c	Specifik varmekapacitet vand [J/g°C]
T_f	Fremløbstemperatur[°C]
T_r	Returtemperatur [°C]

Flowet for radiatoren er beregnet til 0,0013 m^3/h og anvendes nu til at bestemme kv-værdien for ventilen. Her skal bruges trykdifferens over ventilen som sættes til 0,1 bar. Beregningen gøres gennem formel D.0.2.

$$k_v = \frac{q}{\sqrt{\Delta P}} \tag{D.0.2}$$

Efter beregning af kv-værdi aflæses forindstilling til ventilen af produktdatabladet for RA-N 10-15 ventilen fra Danfoss. [26] Tabellen som anvendes til aflæsnings ses af figur D.2

RA-N, forniklet

Type	Best. nr.	VVS-nr.	Udførelse	Tilslut-ning	Forindstilling								
					k_V-værdier[1)]								K_{VS}
					1	2	3	4	5	6	7	N	N
RA-N 10	**013G0011**	40 3203.003	vinkel	3/8	0,04	0,08	0,12	0,19	0,25	0,33	0,38	0,56	0,65
	013G0012	40 3202.003	lige	3/8									
	013G0151	40 3205.003	UK	3/8									
	013G0231	40 3207.003	sideløb H	3/8									
	013G0232	40 3209.003	sideløb V	3/8									
RA-N 15	**013G0013**	40 3203.004	vinkel	½	0,04	0,08	0,12	0,20	0,30	0,40	0,51	0,73	0,90
	013G0014	40 3202.004	lige	½									
	013G0153	40 3205.004	UK	½									
	013G0233	40 3207.004	sideløb H	½									
	013G0234	40 3209.004	sideløb V	½									

Figur D.2 Tabel til aflæsning af forindstilling for radiatorventil RA-N fra Danfoss.[26]

Forindstillingen aflæses til 1 ud fra den beregnede kv-værdi.

Ventilation E

Der skal for administrationsbygningen dimensioneres et nyt mekanisk ventilationsanlæg, for at kunne forbedre indeklimaet. Ventilationsanlægget dimensioneres ud fra personbelastningen i bygningen og tager derfor udgangspunkt i DS 447 og DS 16798 1-3.
Ventilationssystemet vælges til at være opblandingsventilation. Opblandingsventilation er effektivt til at bortventilere CO_2-forurening fra personer. Til at finde ventilationsmængderne til hvert rum i bygningen anvendes standardværdier til at bestemme det maksimale antal af personer i rummet under spidsbelastning. Standardværdierne fra indeklimakategori II i DS 447 til beregning af antallet af personer i bygningens lokaler ses af tabel E.1.

	Kontor	Storkontor	Mødelokale
Personer[m^2/pers]	10	15	2

Tabel E.1 Personbelastninger i administrationsbygningen.

Antallet af personer bruges til at beregne den maksimale CO_2-forurening i rummet. CO_2-forureningen bestemmes til 20,4 l/h pr. person ud fra et aktivitetsniveau på 1,2 met. Ventilationsmængden til rummet beregnes ud fra fortyndingsligningen, hvor den maksimale CO_2-koncentration i rummet er 1000 ppm og indblæsningsluften har en CO_2-koncentration på 400 ppm. Fortyndingsligningen ses af ligning E.0.1 .

$$n = \frac{q}{(V \cdot c) - (V \cdot c_i)} \tag{E.0.1}$$

Hvor:

n	Luftskifte [/h]
q	CO_2-forurening [m^3/h]
V	Rumvolumen [m^3]
c	Grænse for CO_2-koncentration [ppm]
c_i	CO_2-koncentration af indblæsning [ppm]

Af tabel E.2 ses de beregnede ventilationsmængder til hvert rum med CO_2-belastning som forureningskilde. For fællesrum og gangarealer uden længerevarende personbelastning, sættes grundventilation til 0,35 l/s pr. m^2, da bygningen ses som meget lavt forurenet. I toilet, omklædning og bruserum sættes udsugning til 10 l/s pr. m^2, for at overholde krav fra Bygningsreglementet.

Rum	Areal $[m^2]$	Antal personer $[-]$	Ventilationsmængde $[m^3/h]$	Luftskifte $[/h]$
Hall	112,8	0,0	142,1	0,3
Reception	21,3	2,1	72,4	1,3
Møderum	21,3	10,7	362,1	6,3
Kantine	117,6	50,0	1700,0	3,6
Køkken	19,4	1,9	66,0	1,3
Gang	4,5	0,0	5,7	0,5
Depot	3,7	0,0	4,7	0,5
Forrum	0,9	0,0	1,1	0,5
Toilet	2,2	0,0	36,0	6,1
Personalerum	7,7	0,8	26,2	1,3
Garderobe	3,1	0,0	3,9	0,5
Toilet	4,6	0,0	36,0	2,9
Toilet	3,3	0,0	36,0	4,0
Toilet	3,3	0,0	36,0	4,0
Rengøring	10,4	0,0	36,0	1,3
EDB	19,9	0,0	25,1	0,5
Kontor	21,7	2,2	73,8	1,3
Kopi	10,6	0,0	13,4	0,5
Storkontor	174,6	11,6	395,8	1,3
Kontor	22,0	2,2	74,8	1,3
Møderum	32,3	16,2	549,1	6,3
Gang	58,3	0,0	73,5	0,5
Gang	3,3	0,0	4,2	0,5
Brus	2,8	0,0	36,0	5,1
Pauserum	21,2	10,6	360,4	6,3
Toilet	2,8	0,0	36,0	4,8
Gang	3,3	0,0	4,2	0,5
Toilet	2,8	0,0	36,0	4,8
Omklædning	12,9	3,2	109,7	3,4
Brus	2,3	0,0	36,0	6,3
Gang	3,3	0,0	4,2	0,5
Omklædning	24,3	6,1	206,6	3,4
Brus	6,8	0,0	8,6	0,5
Toilet	2,8	0,0	36,0	4,8
Toilet	3,3	0,0	36,0	4,0
Toilet	3,3	0,0	36,0	4,0
Varmestue	23,2	11,6	394,4	6,3
Brus	2,4	0,0	36,0	6,0
Brus	2,4	0,0	36,0	6,0
Hall	40,8	0,0	51,4	0,5
Møderum	21,3	10,7	362,1	6,3
Møderum	21,4	10,7	363,8	6,3
Storkontor	87,2	5,8	197,7	0,8
Kontor	14,3	1,4	48,6	1,3

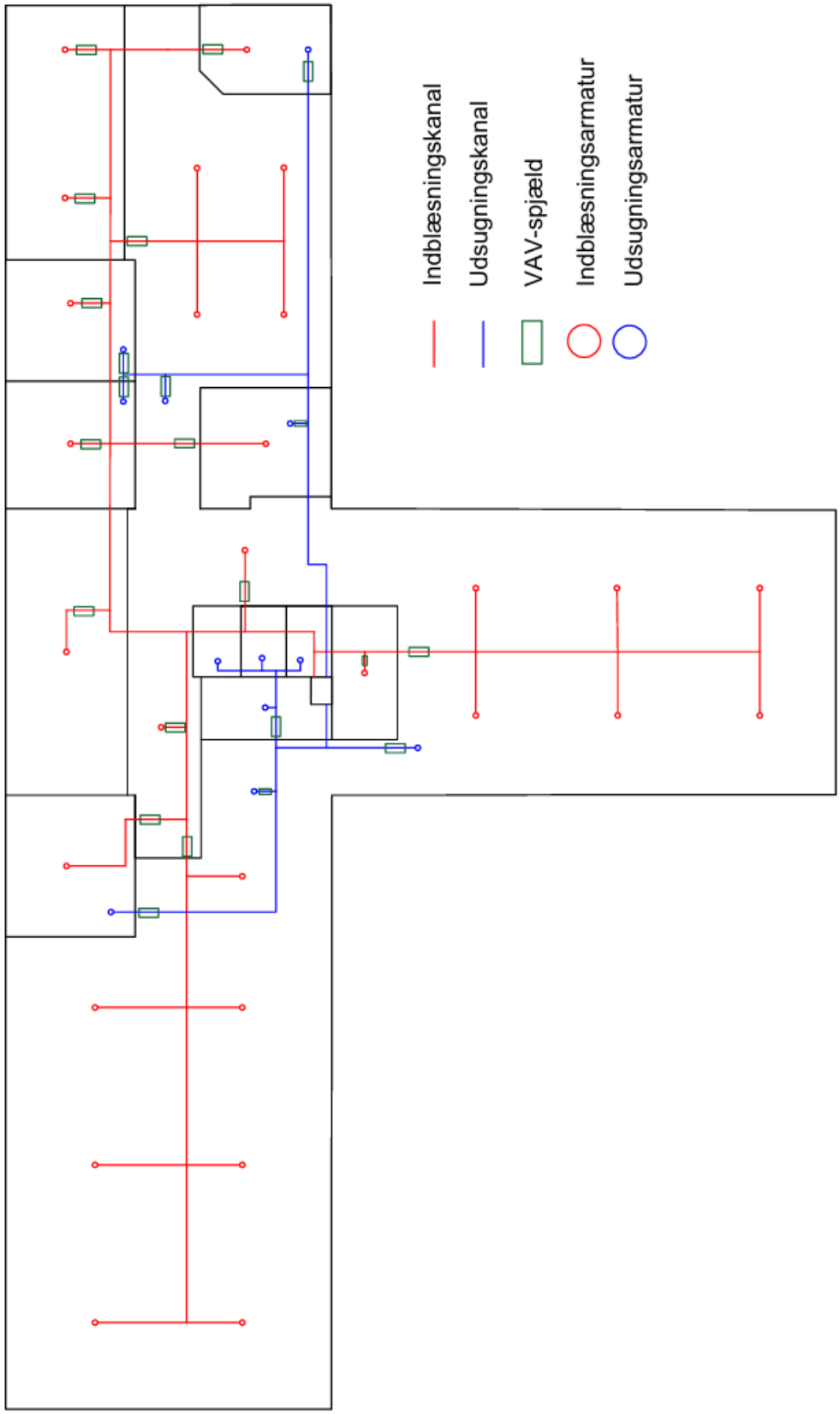
Rum	Areal $[m^2]$	Antal personer $[-]$	Ventilationsmængde $[m^3/h]$	Luftskifte $[/h]$
Arkiv	20,1	0,0	25,3	0,5
Garderobe	10,9	0,0	13,7	0,5
Toilet	4,6	0,0	36,0	2,9
Toilet	3,3	0,0	36,0	4,0
Toilet	3,3	0,0	36,0	4,0
Rengøring	10,4	0,0	36,0	1,3
Møderum	32,5	16,3	552,5	6,3
Storkontor	248,1	16,5	562,4	0,8
Kopi	12,2	0,0	15,4	0,5
Storkontor	172,8	11,5	391,7	0,8
I alt	1.501,9	202,1	7914,1	-

Tabel E.2 Opsummering af beregninger af luftskifte og ventilationsmængde til dimensionering af ventilationsanlæg.

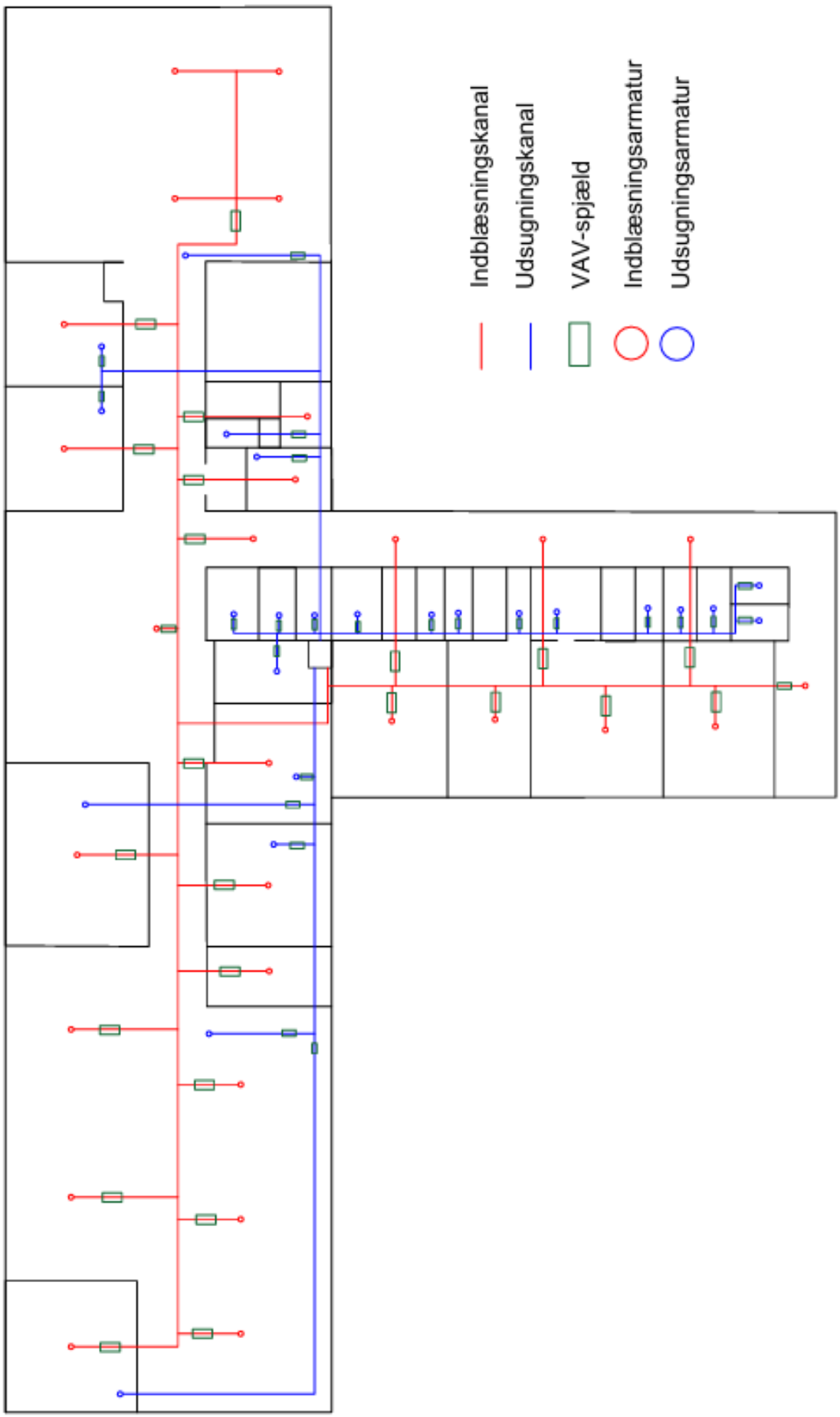
Aggregatet skal dermed kunne levere en ventilationsmængde på omkring 7.914 m^3 til administrationsbygningen.

E.1 Kanaler

Kanalerne dimensioneres med udgangspunkt i de beregnede luftmængder. På denne måde sikres at ventilationsanlæggets kanaler kan levere den dimensionsgivende luftmængde til alle rum. Kanalerne dimensioneres ud fra SBI-nomogram 10 og ved anvendelse af Vent Tools appen fra Lindab. Af figur E.1 og E.2 ses principskitser af føringsveje til ventilationskanalerne.



Figur E.1 Principskitse af føringsveje til ventilationskanaler på 1. sal.



Figur E.2 Principskitse af føringsveje til ventilationskanaler i stueetagen.

Kanalerne dimensioneres ud fra maksimale lufthastigheder vist i tabel E.3.

Kanaltype	Maksimal hastighed [m/s]
Tilslutningskanal	3
Fordelingskanal	6
Hovedkanal	9

Tabel E.3 Maksimale lufthastigheder i kanaler efter type.

Af tabel E.4 ses dimensionering af kanaler fra ventilationsaggregatet til det sydligste storkontor i bygningen.

Strækning	Luftmængde $[m^3/h]$	Hastighed $[m/s]$	Dimension $[mm]$	Længde $[m]$	Enkeltmodstande $[-]$	Tryktab pr m $[Pa/m]$	Dynamisk tryktab $[Pa]$	Tryktab $[Pa]$
Aggregat til 1. sal	7.914,1	9	560	4	2,7	1,7	48,6	138,02
Hovedkanal	3202,6	7	400	1	0,6	0,8	29,6	13,76
Kanal til storkontor	407,1	3	200	1,95	0,33	0,55	5,4	2,85
Kanal efter kopi	391,7	3	200	4,25	0,76	0,55	5,4	6,44
Kanal til storkontor 1	261,1	3	160	5,4	0,76	0,65	5,4	7,61
Kanal til storkontor 2	130,6	3	125	5,4	0,66	0,6	5,4	6,80

Tabel E.4

Af vedlagte tegningsbilag ses principskitse med beregnede dimensioner for kanalerne i bygningen.

E.2 Armatur

Armaturerne i bygningen skal være loftarmaturer og der vælges at tage udgangspunkt i sortimentet fra Lindab. Til dimensionering anvendes programmet Lindqst fra Lindab.[40] Der vælges armatur af typen LCA med tilhørende trykfordelingsboks MBB til indblæsningsarmaturerne.[33][34]
Armaturerne findes i dimensioner 100-400 mm. Armaturerne dimensioneres så de ikke overskrider krav til støj fra tekniske installationer i de forskellige rum. Lydkravene til armaturerne ses af tabel E.5.

Rum	Støjkrav L_{wA} [Db]
Enkeltmandskontor	40
Storkontor	45
Møderum	40

Tabel E.5 Støjkrav til armaturer i forskellige rum.[40]

Udover støj tages også hensyn til armaturernes kastelængde ved de dimensionsgivende luftmængder. Det ønskes at have en passende kastelængde for at sikre effektiv opblanding af indblæsningsluften i de respektive rum. Ideelt set ønskes følgende forhold at overholdes, for at sikre effektiv ventilation.

$$\text{Minimum: } 0,5 \leq \frac{l_{02}}{l_{geo}} \leq 1 \qquad \text{Ideelt: } 0,75 \leq \frac{l_{02}}{l_{geo}} \leq 1 \tag{E.2.1}$$

Hvor:

l_{02}	Kastelængde [m]
l_{geo}	Geometrisk længde [m]

Den geometriske længde beregnes på rumbasis som den horisontale afstand fra armaturet til grænsen for opholdszonen. Grænsen er 0,6 meter fra ydervægge og 0,2 meter fra indervægge. Der tillægges den vertikale afstand fra armatur til højden af opholdszonen. Højden af opholdszonen i bygningen bestemmes til 1,8m.[41]

Brugsvandsveksler F

Følgende bilag viser beregninger i forbindelse med dimensionering af en ny brugsvandsveksler til administrationsbygningen. Beregninger tager udgangspunkt i fremgangsmåden beskrevet i DS 439[42]. Veksleren dimensioneres så der kan leveres varmt vand på 45°C til alle 7 brusere ved peaktidspunkt. Der findes dimensionsgivende vandmængde for de 7 brusere i bygningen ved at summere den forudsatte vandmængde fra hvert tappested. Herfra kan den nødvendige kapacitet på brugsvandsveksleren beregnes ud fra formel F.0.1.

$$P_n = (q_v \cdot 4,2(T_V - T_K) + P_h) \cdot f_p \tag{F.0.1}$$

Hvor:

q_v	Dimensionsgivende vandmængde 1,05 [l/s]
T_V	Temperatur forsyning varmt vand 45 [°C]
T_K	Temperatur forsyning kold vand 10 [°C]
P_h	Varmetab fra veksler 0,05 [kW]
f_p	Sikkerhedsfaktor 1,3 [-]

Beregningen resulterer i, at der skal bruges en veksler på minimum 200 kW, for at kunne levere varmt vand efter bygherres ønske. Til dette formål vælges METRO VRT3 med en ydelse på 200 kW.[36]