

Jonas Kjøsen Lindgren
Ole-Andreas Bratland
Hans Høgberget Veggum

Nedkjølingsalternativer i sykehjem med periodevis varmemproblematikk

Bacheloroppgave i Maskiningeniør
Veileder: Oddbjørn Sjøvold og Bjørn Austbø
Mai 2020

Jonas Kjøsen Lindgren
Ole-Andreas Bratland
Hans Høgberget Veggum

Nedkjølingsalternativer i sykehjem med periodevis varmeproblematikk

Bacheloroppgave i Maskiningeniør
Veileder: Oddbjørn Sjøvold og Bjørn Austbø
Mai 2020

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

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Nedkjølingsalternativer i sykehjem med periodevis varmeproblematikk

Cooling alternatives in nursing homes with periodic heat problems.

Prosjektnr

EPT-V-2020-04

Forfatter(e)

Jonas Kjøsen Lindgren

Ole-Andreas Bratland

Hans Høgberget Veggum

Oppdragsgiver(e) eksternt

Veileder(e) internt

Oddbjørn Sjøvold

Bjørn Austbø

Rapporten er ÅPEN

Dato levert

20.05.2020

I oppgaven undersøker vi ulike typer tiltak som finnes for nedkjøling av bygg og ser på hvilke løsninger som kan passe godt til et sykehjem. Fokuset ligger på kommunale sykehjem i Trøndelag uten eksisterende kjølesystem, der høye innetemperaturen om sommeren kan føre til en mengde problemer, spesielt hos eldre personer med ulike sykdommer.

In this thesis, we examine different types of measures that are available for cooling down buildings and looked at which solutions that can best suit a nursing home. The focus is on municipal nursing homes in Trøndelag without an existing cooling system, where high indoor temperatures in the summer can lead to several problems, especially for elderly people with various diseases.

Stikkord: Sykehjem, kjøling, inneklima, kjølebehov, varmpumpe

Keywords: Nursing home, cooling, indoor climate, cooling load, heat pump.

Problemstilling

I løpet av de siste årene har man sett bygg som sliter med veldig varme innetemperaturen, grunnet unormale høye sommertemperaturer. Grunnen til dette er mangel på integrert kjøleanlegg og passive tiltak i form av solskjerming. Global oppvarming kan føre til høyere temperaturer og behovet for kjøling vil bare bli større i årene fremover, noe som gjør denne oppgaven relevant og interessant for vår del (1). I våres oppgave velger vi å fokusere på sykehjem, der varme perioder om sommeren kan skape stort ubehag eller være direkte helsefarlig (2). Pasientene er sjeldent ute av bygget og mange er sengeliggende. I motsetning til f.eks. et kontor så er pasienter til stede på et sykehjem hele sommeren, og det er heller ikke lett forflytte seg hvis det blir plagsomt varmt.

Problemet ligger i at ytterst få velger å installere kjøleanlegg i byggene sine her i landet fordi behovet oppstår vanligvis i kortere perioder. I disse varme periodene kan det bli plagsomt varmt, men dette tolereres som regel siden det ikke vil vare så lenge. Likevel kan høye innetemperaturen føre med seg ubehag og problemer. Vi vil derfor i denne oppgaven ta for oss muligheter og begrensinger for å installere kjøleanlegg i eksisterende bygg, og samtidig framstille hvor godt egnet ulike typer kjøleanlegg og andre tiltak for å senke innetemperaturen er.

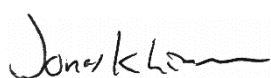
Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet gjennom det siste semesteret i bachelorutdanningen innenfor Maskiningeniør - VVS-teknikk ved NTNU Trondheim. Den strekkes seg over hele semesteret og skal vise hva vi studenter har tatt til oss av kunnskap. Dette er med andre ord en oppgave, der hensikten er å løse en bestemt problemstilling ut fra hva vi har lært gjennom studiet.

Bacheloroppgaven ble fremlagt som et forslag fra vår egen faglærer Oddbjørn Sjøvold som hadde vært i kontakt med et sykehjem der problemet var et faktum. Oddbjørn er norsk professor i innendørs klima og sanitasjon, og har jobbet flere år i det private næringslivet både som forsker og daglig leder.

Vi vil takke våre veiledere Oddbjørn Sjøvold og Bjørn Austbø for all hjelp og veiledning med oppgaven vår. Det må også rettes en stor takk til EC. Dahls sykehjem og Steinkjer Sykehjem for å ha stilt med sine lokaler til disposisjon, og gitt oss det vi har trengt av tegninger og informasjon.

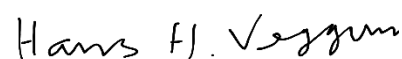
20.mai 2020.



Jonas Kjösen Lindgren



Ole-Andreas Bratland



Hans Høgberget Veggum

Sammendrag

I oppgaven undersøker vi ulike typer tiltak som finnes for nedkjøling av bygg og ser på hvilke løsninger som kan passe godt til et sykehjem. Fokuset ligger på kommunale sykehjem i Trøndelag uten eksisterende kjølesystem, der høye innetemperaturer om sommeren kan føre til en mengde problemer, spesielt hos eldre personer med ulike sykdommer (2).

For å kunne vurdere situasjonen på et sykehjem besøkte vi to sykehjem: EC Dahls Sykehjem i Trondheim og Steinkjer Sykehjem. I etterarbeidet ble EC Dahls prioritert over Steinkjer Sykehjem. Ved befaringer og analyser av tekniske dokument og plantegninger gjorde vi beregninger for inneklima og kjølebehovet ved EC Dahls Sykehjem gjennom en blanding av manuelle beregninger og simulering av solinnstråling via Simien. Når vi betraktet hele bygget som en sone var konklusjonen at det termiske inneklimateet var akseptabelt.

Under befaringen spurte vi ansatte om situasjonen om sommeren, og da fikk vi høre at inneluften var ubehagelig varm og tørr om sommeren. Dette motsier beregningene, så vi gjennomførte nye beregninger for et enkelt rom med vindu. Resultatet ble et betydelig større kjølebehov, og det kom tydelig fram at det kan oppstå høye temperaturer. Gjennom diskusjon drøfter vi egnethet for ulike løsninger, og først og fremst konkluderer vi med at god skjerming av solinnstråling kan ha stor effekt. Hvis det trengs et kjøleanlegg har man forskjellige alternativer å velge mellom, for EC Dahls Sykehjem mener vi at et kjølebatteri i ventilasjonsaggregatet som forsynes med kaldt vann fra en varmepumpe er et godt alternativ. Investerings og driftskostnadene er ikke for ille da man utnytter eksisterende kanalnett, men det største problemet da er at man leverer i utgangspunktet lik temperatur til hele bygget. Dette kan føre til ujevne romtemperaturer da ulike soner har ulike varmebidrag.

Når det kommer til kjøleløsninger har vi grundig forklart de mest sentrale kjøleløsningene som blir benyttet i dag. Vi har sett på forskjellige faktorer som gir bedre forståelse på hvordan løsningene bør etableres. Disse faktorene dreier seg om blant annet kjøleeffekt, installasjon, plassbehov, tilgjengelighet og annen sentral informasjon. Gjennom oppgaven har vi sett på lokale kjølere som kjølebafler, kjøletak og fancoils, ulike kjøleanlegg som tørrkjøler, adiabatisk kjøling, sorptiv kjøling, absorpsjonskjøling, jordvaremveksler, varmepumper, ventilasjonskjøling og fjernkjøling. Vi har også sett på passive tiltak i form av markiser, innvendige- og utvendige persiener og screenere.

Abstract

In this thesis, we examine different types of measures that are available for cooling down buildings and looked at which solutions that can best suit a nursing home. The focus is on municipal nursing homes in Trøndelag without an existing cooling system, where high indoor temperatures in the summer can lead to several problems, especially for elderly people with various diseases (2).

To assess the situation in a nursing home, we visited two nursing homes: E.C Dahls Nursing Home in Trondheim and Steinkjer Nursing Home. In the rework, E.C Dahls was given priority over Steinkjer Nursing Home. Through the inspections and analysis of technical documents and floor plans, we made calculations for indoor climate and the cooling needs of E.C Dahls Nursing Home through a mixture of manual calculations and simulation of solar radiation by Simien. When we considered the entire building as one zone, the conclusion was that the thermal indoor climate was acceptable.

During the inspection we asked the staff about the situation in the summer, and we got to hear that the indoor air was uncomfortably warm and dry in the summer. This contradicts the calculations, so we performed new calculations for a single room with a window. The result was a much greater cooling requirement, and it was clear that high temperatures are occurring. Through discussion we discuss suitability for different solutions, and first and foremost we conclude that good shielding of solar radiation can have a great effect. If a cooling system is needed, there are various alternatives to choose from. For E.C Dahls Nursing Home, we believe that a cooling battery in the ventilation unit supplied with cold water from a heat pump is a good alternative. Investment and operation costs are not too bad when you utilize existing channel networks, but the main problem then is that you basically deliver the same temperature to the entire building. This can lead to uneven room temperatures as different zones have different heat contributions.

When it comes to cooling solutions, we have thoroughly explained the most central cooling solutions used today. We have looked at various factors that give a better understanding of how the solutions should be established. These factors include cooling load, installation, space requirements, availability and other key information. Through the assignment, we have looked at local coolers such as cooling beams, chilled ceilings and fancoils, various cooling systems such as dry coolers, adiabatic cooling, sorptive cooling, absorption cooling, earth heat exchangers, heat pumps, ventilation cooling and district cooling. We have also looked at passive measures in the form of awnings, interior and exterior blinds and screens.

Innholdsfortegnelse

Problemstilling	i
Forord.....	ii
Sammendrag	iii
Abstract.....	iv
Figurliste.....	vii
Tabelliste	viii
1.1 Innledning	9
2 Teori	11
2.1 Viktige begreper og formler	11
2.2 Tiltak for kjøling	17
2.3 Ulike typer kjøleanlegg	18
2.3.1 Varmepumper/kjølemaskiner	18
2.3.2 Tørrkjøler	20
2.3.4 Jordvarmeveksler	20
Adiabatisk kjøling	21
2.3.5 Sorptiv kjøling	23
2.3.6 Absorbsjonskjøling	24
2.3.3 Fjernkjøling	26
2.3.8 Ventilasjonkjøling eller sentral mekanisk kjøling	26
2.3 Lokal mekanisk kjøling	27
2.4.1 Kjølebafler	27
2.4.2 Kjøletak	29
2.4.3 Fancoils	29
2.5 Regulering	30
2.5.1 Regulering av sentral ventilasjonkjøling.....	30
2.5.2 Regulering av lokal kjøling	30
2.6 Teori om isvannsanlegg	31
2.7 Simien.....	33
3 Metode.....	34
3.1 Værdata.....	34
3.1.2 Temperaturkrav	34
3.2.1 Beregning av kjølebehovet for hele bygget	34
3.2.2 Beregning av romtemperatur og nødvendig tilluftstemperatur for enkelt rom	35
3.2.3 Simuleringen av solinnstråling gjennom simien	35

4 Befaringer av sykehjem.....	36
4.1.1 Befaring EC Dahls Sykehjem.....	36
4.1.2 Samtale med ansatte	38
4.2.1 Befaring av Steinkjer Sykehjem.....	38
4.2.2 Samtale med ansatte	40
5 Passiv kjøling	41
5.1 Skjerming	41
5.2 Beregninger fra Simien for solinnstråling ved EC Dahls Sykehjem	44
5.2 Temperaturgjenvinner	45
6 Aktiv kjøling.....	46
6.1 Kjølesystem/kuldeproduksjon	47
6.1.1 Varmepumpe	47
6.1.2 Tørrkjøler	49
6.1.3 Jordvarmeveksler.....	50
6.1.4 adiabatisk kjøling	51
6.1.5 Sorptiv kjøling	52
6.1.6 Absorpsjonskjøling.....	54
6.1.7 Fjernkjøling.....	54
6.1.8 Oppsummering	55
6.2 Kjøleavgivere og distribusjon.....	56
6.2.1 Sentralisert ventilasjonskjøling med kjølebatteri	56
6.3 Lokale kjøleavgivere og distribusjonssystemer	58
6.3.1 Kjølebafler.....	58
6.2.3 Kjøletak	58
6.2.4 Fancoils	59
6.2.4 Korrosjon i forbindelse med rørnett til isvannsanlegg	59
6.2.5 Oppsummering av kjøleavgivere og distribusjonssystem.....	63
7 Case: EC Dahls Sykehjem.....	64
7.1 Aktuelle tiltak for passiv kjøling	64
7.2 Valg av tilluftstemperatur og nødvendig kjøleeffekt.....	65
7.3.2 Betraktning av et enkelt soverom.....	67
7.4.1 Lokal kjøling med varmpumpe som energikilde	68
7.4.2 Plassering av kjølebafler	68
7.4.3 Refleksjon over tur- og returtemperatur til isvannsanlegg	70
7.5 Sentralisert ventilasjonskjøling	72
7.5.1 Tur- og returtemperatur for kjølebatteri	73

7.3.1 Forslag for EC Dahls Sykehjem	75
7.3.2 Kommentarer til andre alternativ	77
8 Case: Steinkjer Sykehjem	77
9 Avslutning.....	80
10 Forslag til videre arbeid	81
Referanseliste	82

Figurliste

Figur 1: Mollier's diagram for fuktig luft hentet fra Stensaas	16
Figur 2:Prinsippskisse av varmepumpe og dens komponenter	19
Figur 3: Tørrkjøler, hentet fra Novema Kulde AS (13).....	20
Figur 4: Indirekte adiabatisk kjøling	21
Figur 5: Direkte adiabatisk kjøling	21
Figur 6: Eksempel på praktisk utførelse av indirekte adibatisk kjøleanlegg ved Condair (16).....	22
Figur 7: Skisse av ventilasjonsaggregat med sorptiv kjøling.....	23
Figur 8: Enkel effekts absorpsjonskjølemaskin i temperatur-trykk-diagram. Figuren er basert på figur fra boken Low Energy cooling for sustainable cooling in buildings(20)	25
Figur 9: Enkel effekts absorpsjonskjølemaskin, utgangspunkt til figuren er hentet fra figur 8	25
Figur 10: Prinsippskisse av fjernkjølingsanlegg hvor bygget til høyre er abonnent/bruker og bygget til venstre er fjernkjøling sentral.....	26
Figur 11: ventilasjonsaggregat ved Lundhaugen omsorgsenter med varme- og kjølebatteri.	26
Figur 12: viser helt grunnlengde prinsipp for lokal kjøling med isvannstank uten inntegnet energikilde.	27
Figur 13: Viser enkel prinsippskisse for passive kjølebaffler	28
Figur 14:Enkel Viser enkel prinsippskisse for aktive kjølevbaffler	28
Figur 15: Viser prinsipiell oppbygning av norskekobling og svenskekobling.(24)	32
Figur 16 : Hans og Jonas utenfor E.C Dahls sykehjem.....	36
Figur 17: Hans på teknisk rom ved Ec dahls sykehjem.....	37
Figur 18: EC Dahls Sykehjem sett fra vestsiden.	38
Figur 19:Steinkjer sykehjem sett fra nordsiden.....	39
Figur 21: Pasientrom: Vindu med radiator, bad og tilluftsventil montert på vegg.	40
Figur 23: Markiser.....	41
Figur 24: Innvendige persiener	41
Figur 25:Utvendige sorte screens	42
Figur 26: Utvendige persiener.....	42
Figur 27: Åpent vindu.....	43
Figur 28:Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av utvendige persiener.	44
Figur 29: Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av innvendige persiener.	44
Figur 30: Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av markiser.	45
Figur 31:Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av 2 energisparglass, argonglass.	45
Figur 32: Figuren til høyre viser prinsippet bak jordvarmeveksler	51
Figur 33:Viser prinsippskisse av adiabatisk kjøling.....	52
Figur 34: viser et forenklet systemskjema for sentralisert ventilasjonskjøling.	56
Figur 35: Viser prosessforløpet fra sentral ventilasjonskjøling i molliers diagram.	57

Figur 36: Viser temperaturen T1 som romluftstemperaturen og T2 som rørtemperaturen i et mollier diagram. Dette for å framstille hva som skjer når inneluften møter utsiden av røret.	61
Figur 37: Viser temperaturen T1 som romluftstemperaturen og T3 som rørtemperaturen i et mollier diagram. Dette for å framstille hva som skjer når inneluften møter utsiden av røret.	61
Figur 38: Viser sammenligninger av solinnstrålingsverdier for ED Dahls Dykehjem. Legg merke til at utvendige persiener og utvendige screener har samme faktor for solinnstråling derfor overlapper kurvene hverandre. ...	64
Figur 39: Kjølebehovet ved forskjellige temperaturer	66
Figur 40: Viser forslag til systemskisse av kjøleanlegg.	68
Figur 43: Viser hvordan vi ville plassert kjølebatteriet i eksisterende aggregat ved Ec dahls sykehjem, 2. etasje.	72
Figur 44: Viser hvordan vi ville plassert kjølebatteriet i eksisterende aggregat ved ED Dahls Sykehjem, 1. etasje, kjeller.	72
Figur 45: Viser forslag til løsning av kjøleanlegg med kjølebatteri. Løsningen er utarbeidet med prinsippet bak flest mulig komponenter på retursiden og gjennom anbefaling fra varmenormen.	74
Figur 46: Viser rørføringer på teknisk rom ved EC Dahls Dykehjem	76
Figur 47: Passiv kjølebaffel type Carat (66)	77
Figur 48:Steinkjer sykehjem`s plassering i forhold til sjøen (67). Hentet fra Google maps.	78
Figur 49: Inngangspartiet til Steinkjer sykehjem med store vinduer fremhevet.	79

Tabelliste

Tabell 1: Temperaturdata data fra perioden mellom 1981-2005.....	34
Tabell 2: Antatte tilstander for eksempler	46
Tabell 3: Oppsummering av Kjølesystem/kuldeproduksjon.....	55
Tabell 4: Oppsummering av fordeler og ulemper ved kjøleavgivere og distribusjonssystem	63
Tabell 5: Beregninger med innvendige persiener	65
Tabell 6: Beregninger med utvendige persiener	65
Tabell 7: Beregninger av kjølebehovet i et enkelt soverom	67
Tabell 8: Massetettheten til forskjellige temperaturer	71
Tabell 9: Massetettheten til forskjellige temperaturer	73

1.1 Innledning

I denne oppgaven skal det fokuseres på eksisterende sykehjem og nedkjølingsproblematikken som kan medfølge. Mange sykehjem har i dag ikke integrert kjøleanlegg i bygget. Dette er noe som kan medføre ubehag ved høye innetemperaturer. Sykehjem har i motsetning til kontorbygg og lignende, beboere døgnet rundt med ansatte, som bare fremhever hvor viktig inneklimate er i slike bygg. Inspirasjonen for oppgaven fant vi i en avisartikkel, hentet fra vår veileder, som beskrev et sykehjem i Steinkjer som hadde opplevd veldig høye innetemperaturer sommeren 2019.

Termisk inneklimate vil påvirkes av ulike faktorer, men først og fremst temperaturnivået. Dette er spesielt viktig i bygg hvor mennesker med nedsatt immunforsvar oppholder seg. Eldre mennesker er spesielt sårbare for termiske stress. Dette er fordi de blant annet har lavere metabolisme og redusert evne til varmekonservering. Konsekvensene av høye innetemperaturer i sykehjem kan være fatale. Dette ble veldig klart i 2003 når det kom en hetebølge til Frankrike hvor 11 435 mennesker døde i sommerperioden, hvor 80% av de døde var over 75 år gamle (3).

Gjennom oppgaven legges det vekt på de ulike faktorene som påvirker det termiske inneklimate. Vi skal gjennom befarings, beregninger og simuleringer kartlegge forskjellige metoder som egner seg ved sykehjem for å redusere kjølebehovet. Vi skal evaluere forskjellige tiltak som kan innvirke på nedkjølingsbehovet og diskutere ulike typer kjøleanlegg med den hensikt å få fremstille passende løsninger. Det skal samtidig diskuteres hvordan løsningene kan være situasjonsbestemt i forhold til geografi, byggets konstruksjon og eksisterende tekniske løsninger.

I den første delen av oppgaven presenteres en del viktige og relevante begreper som blir mye brukt i teksten. Disse begrepene bli forklart på en kort og enkel måte, slik at hver enkelt leser skal forstå hva det dreier seg om når de oppstår senere i oppgaven. Deretter gis det en oversikt over forskjellige tiltak mot kjøling, samt de ulike kjøleanleggene som sees på som mest sentrale.

Kapittel 3 og 4 omhandler metodene som ble brukt og befaringene som ble gjort på sykehjemmene. Fasilitetene blir så beskrevet, før kjølesystemene blir diskutert og sammenlignet i kapittel 5. Til slutt blir et forslag for det ene sykehjemmet drøftet og lagt fram. Forslag til videre arbeid tas opp etter konklusjonen

1.2 Problemer forårsaket av Coronasituasjonen

På grunn av koronasituasjonen som oppstod i midten av mars stengte universitet NTNU ned i Trondheim. Derfor ble det ikke mulig å arbeide sammen på campus på samme måte som før. Dette førte dermed til at vi måtte jobbe mer individuelt og kommunisere via internett. Dette gjaldt også møtene med veileder. På grunn av smittefaren ble videre befaringer på andre sykehjem som var planlagt, heller ikke mulig å gjennomføre. Selve oppgaven ble derfor mer teoretisk oppbygd enn det som var påtenkt på forhånd. Fokuset endret seg fra å fokusere på kjølebehovet gjennom våre fysiske befaringer på sykehjem, til å se mer på kjøleløsninger ved sykehjem generelt.

Det ble også vanskeligere å innhente informasjon om sykehjem som kunne gitt grunnlaget for kjølebehovsberegninger på grunn av karantenen. Litt av hovedpoenget med oppgaven var framstillingen av forskjellige sykehjem med forskjellige kjølebehov. Det var tenkt å se på beliggenhet og byggeår fordi vi ønsket å se om det er variasjonene som framkommer. Dette ville gi bedre grunnlag for vurderinger av kjøleløsninger ikke bare basert på enkelte tilfeller. Det ble planlagt befarings med kontaktperson ved Persaunet helse- og velferdssenter som er et nyere bygg som ikke ble gjennomført. Dette kunne gitt bedre praktisk innsikt ved nyere sykehjem derfor er rapporten vektlagt i stor grad på de to sykehjemmene vi fikk besøkt. Ettersom oppgaven vår går ut på nedkjølingsalternativer i sykehjem med periodevis varmeproblematikk føler vi det er viktig å påpeke at det var tenkt å kartlegge flere bygg for et bedre bilde av situasjonen.

Ellers gjorde stengt universitet og bibliotek gjorde det problematisk å anskaffe relevant litteratur. Vi bli dermed avhengige av å finne en del fagstoff på internett og det vi hadde fra før

2 Teori

Her kommer en liste med viktige begreper og formler som vil brukes flittig gjennom oppgaven. Ved hvert punkt henger det med en forklaring som beskriver kort hva de ulike begrepene betyr, hvilke faktorer som spiller inn i beregningene og nødvendige formler som brukes. For fylligere informasjon se referert litteratur.

2.1 Viktige begreper og formler

Operativ temperatur er den temperaturen en får samlet fra både strålingsvarme og konveksjon, og brukes i denne rapporten til å omtale den temperaturen et menneske opplever i et rom. (4)

Dimensjonerende utetemperatur eller T_{DUT} er som navnet tilsier en temperatur som brukes til dimensjonering av for eksempel varmelegger eller kjøleanlegg. Det oppgis en temperatur for vinterhalvåret og en for sommerhalvåret. (5)

Minimumstemperatur er den minste temperaturen du får i løpet av et døgn. For dimensjonerende forhold: (5)

$$T_{Min} = T_{Dut} - \Delta T \quad [1]$$

Dimensjonerende døgnmiddeltemperatur er den «midterste» temperaturen for et døgn der temperaturen svinger som en sinuskurve. (5)

$$\overline{T_u} = T_{min} + \frac{\Delta T}{2} \quad [2]$$

Midlere romtemperatur

Kjølebehov er et tall på hvor mye varme som må fjernes fra et rom for å oppnå et ønsket temperaturområde. (4)

Konveksjon er varmeoverføring fra et objekt til omgivelsene. (4)

Stråling er overføring av varme gjennom elektromagnetisk stråling. Stråling fra sola deles opp i direkte og diffus stråling. Direkte stråling er varme som overføres når stråling fra sola treffer et objekt. Diffus stråling derimot er varmen som blir som først blir tatt opp i vanddamp og andre gasser i atmosfæren som sener avgitt til jorda (4).

Akkumulering skjer når varmestråler treffer et materiale. En del av varmen blir reflektert tilbake og resten blir brukt til å varme opp materialet. Hvor mye varme et materiale tar til seg kommer an på type materiale og hvilke dimensjoner som brukes. (4)

Transportevne er et tall på hvor mye varme som beveger seg mellom to soner, for eksempel fra utsiden av en vegg inn i bygget. (5)

Transmisjonsvarme eller konduksjon er varmen som trenger inn gjennom et materiale på grunn av temperaturforskjeller. Denne verdien varierer veldig basert på ulike materialtyper. Varmetransport forårsaket av transmisjon kan regnes ut med følgende formel (5):

$$\Phi = \sum(U \cdot A) \text{ (W/K)} \quad [3]$$

A = Areal på den aktuelle flaten A (m^2)

U = Varmegjennomgangskoeffisienten U ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

Varmetransport fra ventilasjon er varmen som transporteres inn i bygget av tilluften. (5)

$$R_{T \text{ ventilasjon}} = \dot{L} \cdot \rho \cdot C_p \left(\frac{W}{K}\right) \quad [4]$$

\dot{L} = Luftstrøm ($m^3 \cdot h$)

ρ = Luftens tetthet ($\frac{Kg}{m^3}$)

C_p = Luftens spesifikke varmekapasitet ($\frac{Wh}{Kg \cdot K}$)

Energitilskudd Er den energimengden som tilføres bygget, oppgis for ulike tidsenheter.

Energitilskudd fra vifte er den totale energimengden som overføres fra en vifte til bygget gjennom ventilasjon iløpet av et døgn. (5)

$$Q_{\text{vifte}} = \frac{\dot{L} \cdot \Delta Pa \cdot 24h}{\eta \cdot 3600} \left(\frac{Wh}{\text{døgn}}\right) \quad [5]$$

\dot{L} = Luftstrøm ($m^3 \cdot h$)

ΔPa = Trykkøkningen over viften

η = Totalvirkningsgrad

Intern belastning er den varmen som kommer fra gjenstander inne i bygningen som avgir varme til omgivelsene, hovedsakelig fra elektronisk utstyr, maskiner og mennesker (4).

Beregning av effektbehov ved kjøling med temperaturer

$$N = \dot{L} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) \text{ (W)} \quad [6]$$

\dot{L} = Luftmengde (m^3/h)

C_p = Spesifikk varme wh/m^3k

t_1 = Utetemperatur

t_2 = Innetemperatur

Midlere effektilskudd

$$\bar{\Phi} = \frac{Q_{\text{Totalt}}}{24h} \text{ (W)} \quad [7]$$

Midlere temperaturøkning

$$\Delta \bar{T}_l = \frac{\bar{\Phi}}{R_t} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [8]$$

$\bar{\Phi} = \text{Midlere effektivkoeffisient (W)}$

$$R_t = \text{Transportevne} \left(\frac{W}{K} \right)$$

Midlere romtemperatur er den midterste temperaturen et rom

$$\bar{T} = \bar{T}_u + \Delta\bar{T}_i \quad [9]$$

Kuldemedium

For at en enhet skal kunne levere kjøling eller varme, må den ha et kuldemedium. Det finnes mange ulike typer og valgkriterier som man må ta hensyn til med tanke på for eksempel miljø og kostnader. I hovedsak finnes det to hovedtyper; syntetiske- og naturlige arbeidsmedier. Syntetiske kuldemedier er kjemikalier som ikke finnes naturlig og som dermed er menneskeskapt. Dette innebærer kjemikalier som KFK (klorfluorkarbon), HKFK (hydroklorfluorkarbon) og HFK (hydrofluorkarbon), og disse skulle være gode alternativer til naturlige kuldemedier som hadde uheldige effekter i form av brennbarhet og giftighet. I senere tid har det blitt funnet ut at lekkasjer fra de syntetiske kuldemediene ikke var noe særlig for miljøet det heller. Det er derfor innført store begrensninger for bruk av syntetiske kuldemedier (6).

COP eller effektfaktor angir forholdet mellom et varme- eller kjøleanleggs avgitte effekt og dens tilførte effekt. Effektfaktoren angir altså hvor effektiv et anlegg er til å produsere energi. Jo høyere COP, jo større effektbeparelser vil man oppnå.

$$COP = \frac{Q}{W} \quad [10]$$

Q = er den varmen som enten tilføres eller fjernes i systemet

W = er arbeidet som kreves for å tilføre eller fjerne varmen

Tilluft er friskluften som tilføres bygget fra utsiden. (4)

Avtrekksluft er den "brukte" luften som skal ventileres ut av bygget. (4)

Pumpe eller vifte er drivkraften i et ventilasjonsanlegg og andre rørsystemer som sørger for at for eksempel vann eller luft har høyt nok drivtrykk til å ende opp der det skal.

Spjeld brukes i ventilasjonssystem til å enten stenge av eller regulere en strøm. (4)

Lydfelle anvendes i ventilasjonssystem til å hindre at støy fra for eksempel viften forplanter seg til ut i bygget.

Varmebatteri brukes til å varme opp tilluften. (4)

Kjølebatteri brukes til å kjøle ned tilluften. (4)

Varmeveksler, også kalt varmegjenvinner, brukes til å utnytte restvarme som ikke blir utnyttet ellers. Den klassiske bruken av en varmegjenvinner er å bruke varmen i avtrekksluften til å varme opp tilluften, enten ved å blande luftstrømmene direkte eller overføre varmen gjennom plater. Hvor effektiv en varmegjenvinner er kan representeres av temperaturvirkningsgraden (4):

$$\eta = \left(\frac{V_2}{\dot{V}_{min}}\right) \cdot \left(\frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1}\right) \quad [11]$$

Endring i spesifikk entalpi

$$\Delta h = c_p \cdot \Delta T \quad [12]$$

Nødvendig effekt for tilstandsending

Formelen brukes til å finne effekten som kreves for endre en massestrøms tilstand. (5)

$$Q_{rom} = \dot{m}_L \cdot (h_{op} - h_{til}) = \dot{m}_L \cdot C_p (T_{Op} - T_{Til}) \quad [13]$$

Q_{rom} = Kjølebehovet

\dot{m}_L = Tilluftens massestrøm

h_{op} = Luftens entalpi ved operativ tilstand

h_{til} = Tilluftens entalpi

C_p = Luftens spesifikke varmekapasitet = 0,28Wh/(Kg · K)

T_{Op} = Operativ temperatur

T_{Til} = Temperatur på tilluften

Energibalanse for et kontrollvolum

Energibalansen for et kontrollvolum kan uttrykkes som

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum_{Innløp} \dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)_i - \sum_{Utløp} \dot{m}_e \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)_e, \quad [14]$$

dE_{CV} = Energien i kontrollvolumet

\dot{Q}_{CV} = Varmestrømmen tilført kontrollvolumet

\dot{W}_{CV} = Arbeidsraten fra kontrollvolumet til omgivelsene

h = spesifikke entalpi

\dot{m} = Massestrøm

v = strømningshastigheten

g = Tyngdeakselerasjonen

Z = Høyden på stedet

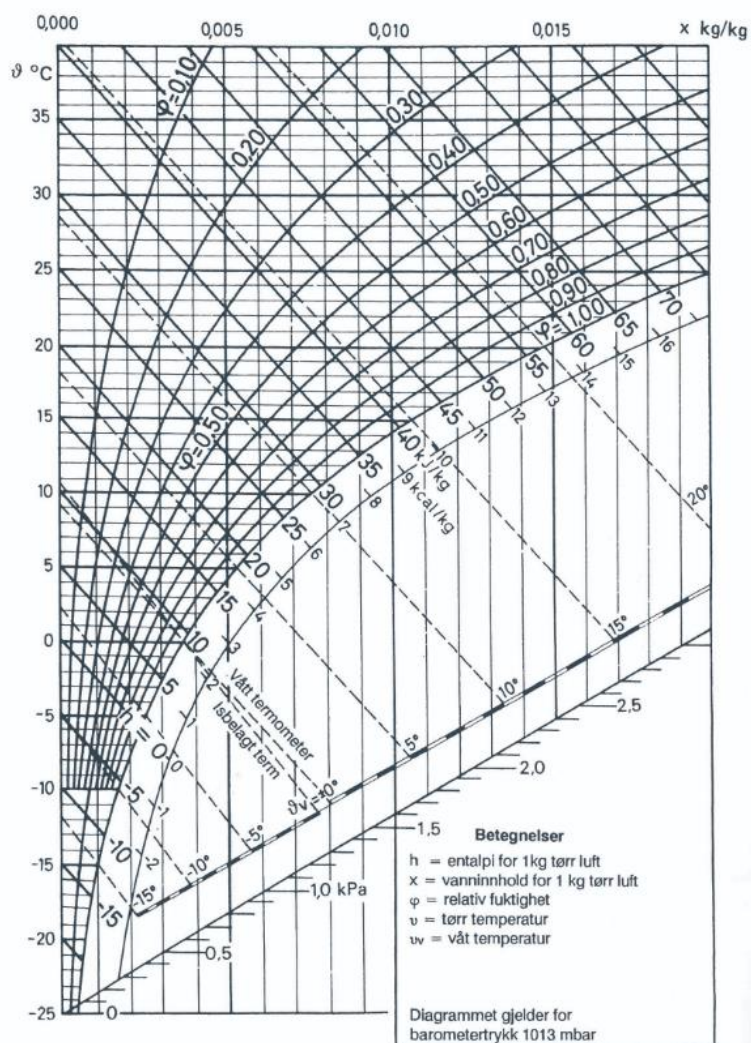
i = Innløpsstrømmer

e = Utløpsstrømmer

Drivtrykk er trykket i nettet som sørger for strømning. Beregnes med følgende formel:

$$\Delta p = g \cdot H \cdot (\rho_{T1} - \rho_{T2}) \quad [15]$$

Mollier's diagram:



Figur 1: Mollier's diagram for fuktig luft hentet fra Stensaas

Luft er en kombinasjon av flere forskjellige gasser, men i beregninger av fuktig luft så betrakter man fuktig luft som en blanding av tørr luft og vann. Diagrammet beskriver egenskapene til fuktig luft ved bruk av flere parametre (4):

- h (kJ/kg tørrluft): Den spesifikke entalpien oppgir varmeinnholdet i luften. I diagrammet settes entalpien lik null ved 0°C .
- X (kg vann/kg luft): Et mål på den absolutte mengden vann i forhold til luftmengden.
- Φ (Evt. RH) (%): Relativ luftfuktighet er et forholdstall på vanninnholdet i luften i forhold til metningsgraden, kort sagt hvor mettet luften er.
- u ($^\circ\text{C}$): Temperaturen målt med et tørt termometer.
- u_v ($^\circ\text{C}$): Våtkuletemperaturen målt med et vått termometer, som et termometer dekt til med en våt klut. Fordampning av vannet rundt termometer senker temperaturen, så jo tørrere luften er jo lavere vil våtkuletemperaturen være.

Duggpunktet er den temperaturen fuktig luft må kjøles ned til for at vann skal begynne å skilles ut.

Kondens oppstår når fuktig luft kommer i kontakt med en flate som har en kaldere overflatetemperatur enn duggpunktet. Dette kan bli et problem ved at det kan gi gode vekstvilkår for blant annet muggsopp, og generelt korrosjonsproblemer for metalliske materialer.

Evaporativ kjøling kalles også for fordampingskjøling. Når vann fordamper så absorberer det varme fra omgivelsene, altså kan en utnytte fordampingsprosessen til å kjøle ned en væskestrøm. (5) For evaporativ kjøling av en luftstrøm så tilsettes vann direkte til luftstrømmen og trekker ut varmen i fordampingsprosessen. Ifølge Cengel kan en ved ventilasjonskjøling se bort ifra varmeoverføring fra luftstrømmen til omgivelsene. Altså kan en anta konstant spesifikk entalpi for prosessen. Når en følger entalpinjen får man en temperaturendring på 2,5°C per gram vann man tilsetter hver kilo luft. For eksempel hvis en tilsetter 2g vann/kg luft får man en økning på 5°C.

Korrosjon oppstår vanligvis når metaller blir utsatt for vann og luft. korrosjon oppløser metalliske materialer ved at metallet reagerer med omgivelsene og danner stabile forbindelser (7).

2.2 Tiltak for kjøling

Når det oppstår et kjølebehov er det flere faktorer en kan vurdere for å påvirke det:

1. Riktig regulering av varmeanlegg og ventilasjonsanleggets varmegjenvinner
2. Redusert varmetilførsel
3. Andre passive kjøletiltak
4. Aktive kjøletiltak

Det skiller hovedsakelig mellom **passiv kjøling** og aktiv kjøling. Passiv kjøling krever ikke tilført energi mens **aktiv kjøling** krever tilført energi. Passiv kjøling kan for eksempel være skjerming som persienner eller markiser. Aktiv kjøling kan for eksempel være tiltak som varmepumper eller vifter (8).

Passive kjøletiltak

Når kjølebehovet er bestemt kan man gjøre tiltak for å begrense varmebelastningen. Fokus bør ligge på reduksjon av varmetilskudd gjennom passive tiltak før aktive tiltak. Passive tiltak kan f.eks være solavskjerming foran sør- og østfasaden eller man kan endre belysning til sparepærer. Andre faktorer som kan innvirke på varmebelastningen er:

- Type Persienner
 - Gardiner
 - Markiser
 - Nærliggende trær ol.
 - Vindustype
- (8)

Aktive kjøletiltak

Varmetilførselen kan begrenses i stor grad ved passive tiltak, men hvis det ikke er tilstrekkelig må man anvende aktive tiltak. Ved aktiv kjøling benyttes det en form for kjøleanlegg som senker temperaturen. (8)

Kjøleavgivere

En kjøleavgiver senker romtemperaturen ved å hente ut varmen fra rommet. Dette kan gjøres på forskjellige måter, for eksempel ved å sende inn underkjølt ventilasjonsluft eller kjøle ned romluften direkte med stråling fra en kald flate. Ideelt burde kjøleavgiveren plasseres slik at det er mulighet for drenering ettersom luften kan kjøles lavere enn duggpunktstemperaturen og det kan oppstå utfelling av vann. Taket er den bygningsflaten som er mest ideell i forhold til plassering av kjøleavgivere. (8)

2.3 Ulike typer kjøleanlegg

2.3.1 Varmepumper/kjølemaskiner

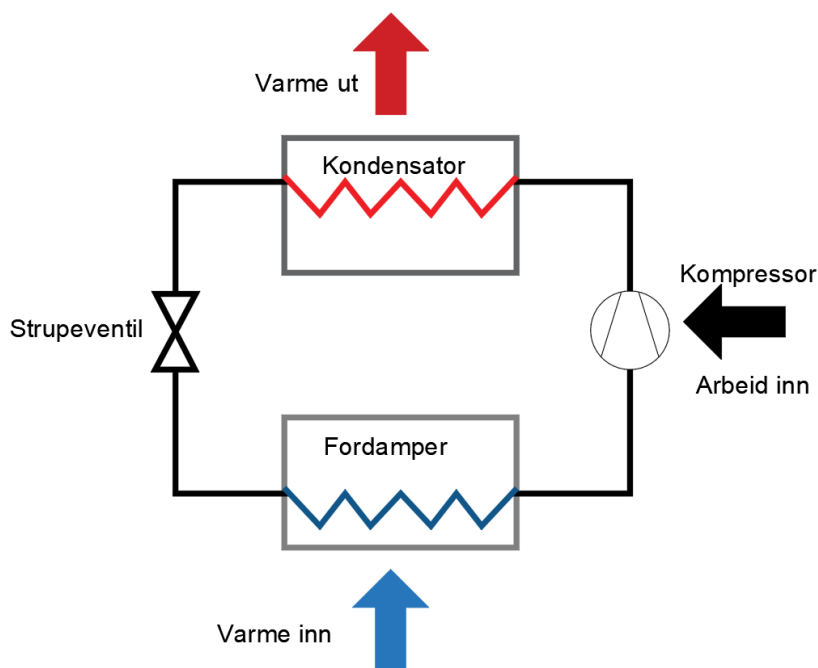
Kuldeanlegg er varmpumper, men blir klassifisert etter hvordan kjølingen utføres. Varmepumper henter ut lavverdig energi fra omgivelsene gjennom for eksempel geotermisk varme, sjøvann, uteluft osv. De fleste varmpumpeprosesser henter ut varme fra omgivelsene ved hjelp av høyverdig energi. Det benyttes ofte elektrisitet, gass eller diesel som høyverdig kilde. Varmepumper er veldig aktuelt i dag fordi det benyttes betydelig mindre høyverdig energi i forhold til tradisjonelle energikilder. Dette er fordi en varmpumpe tar opp omtrent samme mengde varme som blir tatt opp fra energikilde ved normale driftsforhold. Alle varmpumper bygger bak samme prinsippet med kompressor, kondensator, fordampner og strupeventil med noen forskjellige variasjoner se figur 2. (9)

Fordampneren og **kondensatoren** fungerer som varmevekslere. Fordampneren tar imot varme fra en energikilde. I starten av fordampneren er arbeidsmediet i væskefase og trykket er såpass lavt at kjølemediet har lavere temperatur enn varmekilden. (9) Dette prinsippet er bygget bak termodynamikkens 2. lov: Overføring av varme skjer alltid fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur (10)

Temperaturforskjellen i systemet får varmen til å strømme fra energikilden til arbeidsmediet som begynner å fordampe. Ved slutten av fordampneren har arbeidsmediet fordampnet og gått over til lavt trykk og temperatur. Slik overføres energi fra varmekilden til arbeidsmediet. (9)

Kompressoren tar inn arbeidsmediet i form av gass og øker trykket slik at temperaturen øker. Her blir det tilført høyverdig energi og kompressoren opprettholder tilstrekkelig trykk at varme kan overføres i borebrønnen til fordampneren.

Når arbeidsmediet har fått riktig overgang får den gjennom kondensatoren som veksler varmen fra arbeidsmediet med høyere temperatur til et annet medium. Straks etter kondensatoren går arbeidsmediet til væskefase igjen med høy temperatur samt trykk og strømmer til en **strupeventil** som reduserer trykket og temperaturen slik at sirkelprosessen kan oppstå igjen. (9)



Figur 2: Prinsippkisse av varmepumpe og dens komponenter

Varmepumpe som kjølesystem: Varmepumper kan brukes til både nedkjøling og oppvarming. Kjøling ved bruk av varmepumper kan være svært aktuelt på sommerstid og dessuten kan dette foregå nesten helt kostnadsfritt. Varmepumper kan nemlig rustes opp til å skape frikjøling og dermed gi et mye bedre inn klima og innetemperatur på varme dager (12).

Prinsippet er at varmepumpen sirkulerer varme fra et reservoar lavere temperaturnivå til et reservoar med høyere temperatur. Tenker man på rommet som en energikilde, kan hele prosessen brukes til kjøling ved at varmen som er i rommet trekkes ut slik at nedkjøling oppstår. En slik varmepumpe bruker en fordamperspole som er innendørs og en kondensatorspole som er utendørs. Disse er koblet sammen og de har et kjølemedium som strømmer gjennom dem. Kjølemediet er kaldt når det strømmer gjennom fordamperspoken innendørs. Når lufta trekkes inn i systemet og over kondensatorspolen, avkjøles lufta og kjølemediet varmes opp. Varmepumpen skyver så den kalde lufta ut i rommet og kjøler dermed ned. Kuldemediet som nå er varmt, transporteres til kondensatorspolen, der kompressoren får den til å kjøle seg ned igjen før den returneres til innendørsspoken. (11)

Det finnes forskjellige måter å få bedre nedkjøling på. Den enkleste er ved å utstyre varmepumpen med en viftekonvektor eller såkalt fan coil. Viftekonvektoren avgir da både varme og kjøling og bidrar til at effektiviteten samt virkningsgraden økes. Mer informasjon om fan coils finnes under underkapittelet om lokale kjøleenheter.

Varmepumper basert på bergvarme kan også være et godt alternativ til god nedkjøling av bygg. Da trenger man faktisk ikke å kjøre varmepumpa i det hele tatt. Det holder med å kjøre sirkulasjonspumpa som flytter væsken fra brønnen, opp og ned. Men for å takle dette, trengs det en liten investering for å utvide bergvarmeanlegget. (12)

For å spare energi er det smart å kunne kombinere varmepumper med passiv kjølig som for eksempel markiser eller persienner. Dette øker ofte graden av energibesparelse og effektiviteten til systemet, men også investeringskostnaden. (8)

2.3.2 Tørrkjøler

En vanlig form for varmepumpe er tørrkjølere. En tørrkjøler utnytter uteluften til å forsyne f.eks. et kjølebatteri med kaldt vann. Innretningen plasseres utvendig, som regel på tak som vist i bildet. En sekundærkrets fylt med et kjølemedium overfører varme til omgivelsene ved at det blåses store mengder luft gjennom kondensatoren. I fordamperen absorberer kjølemediet varmen fra vannet og sender kaldt vann tilbake til kjølebatteriet.



Figur 3: Tørrkjøler, hentet fra Novema Kulde AS (13)

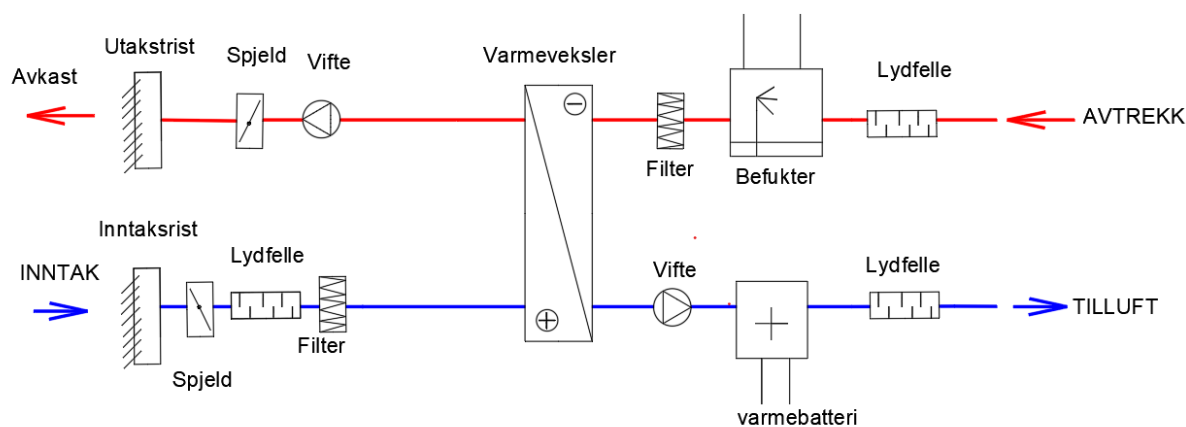
2.3.4 Jordvarmeveksler

En jordvarmeveksler utnytter jordens geotermiske krefter til energi. Frisk uteluft blir dratt inn i bygningen via varmeveksling mot jordens temperatur. Luften vil dermed kjøles om sommeren. Ettersom dette ikke krever tilført energi blir det betegnet som et passivt tiltak. Jordvarmevekslere blir benyttet i liten grad i Norge, men det forventes at det blir brukt mere i tiden framover med tanke på det stadige fokuset på energisparing. (8)

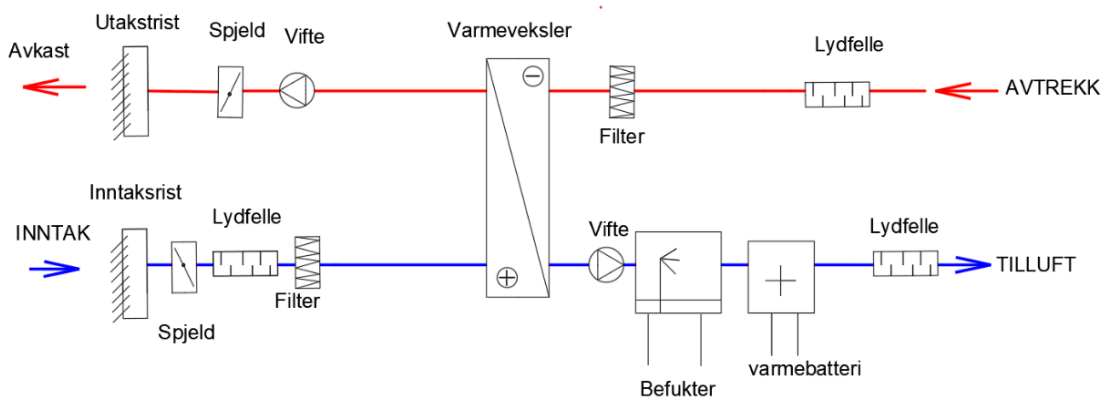
Jordvarmevekslere kan utvikles på flere måter. En metode benytter seg av nedgravde ventilasjonsrør som fungerer som et normalt ventilasjonsanlegg, men har kanaler som går under bakken og reduserer temperaturen gjennom varmeveksling direkte.

2.3.7 Adiabatisk kjøling

Adiabatisk kjøling er en type evaporativ kjøling som går ut på nedkjøling ved tilsetning av vann direkte til luften. Dette kan hovedsakelig gjøres på 2 forskjellige måter: Direkte kjøling figur og indirekte kjøling. Direkte kjøling tilsetter vannet direkte til tilluften mens indirekte kjøling tilsetter vannet først til avtrekket slik at varmeveksler overfører varmen vekk fra tilluften. Adiabatisk kjøleeffekt basere seg på vannets evne til å hente store mengder med varme før det fordamper. Når luften er tørr er prosessen mest optimal ettersom temperaturen kan senkes betraktelig med tilsetning av vann. Direkte adiabatisk kjøling tilsetter altså vann direkte til tilluften ofte ved hjelp av spray eller dyseløsninger. Vannet øker den relative luftfuktigheten som senker temperaturen på luften. Figur 4 og 5 er eksempler på utførelse av indirekte/direkte adiabatisk kjøling.



Figur 4: Indirekte adiabatisk kjøling

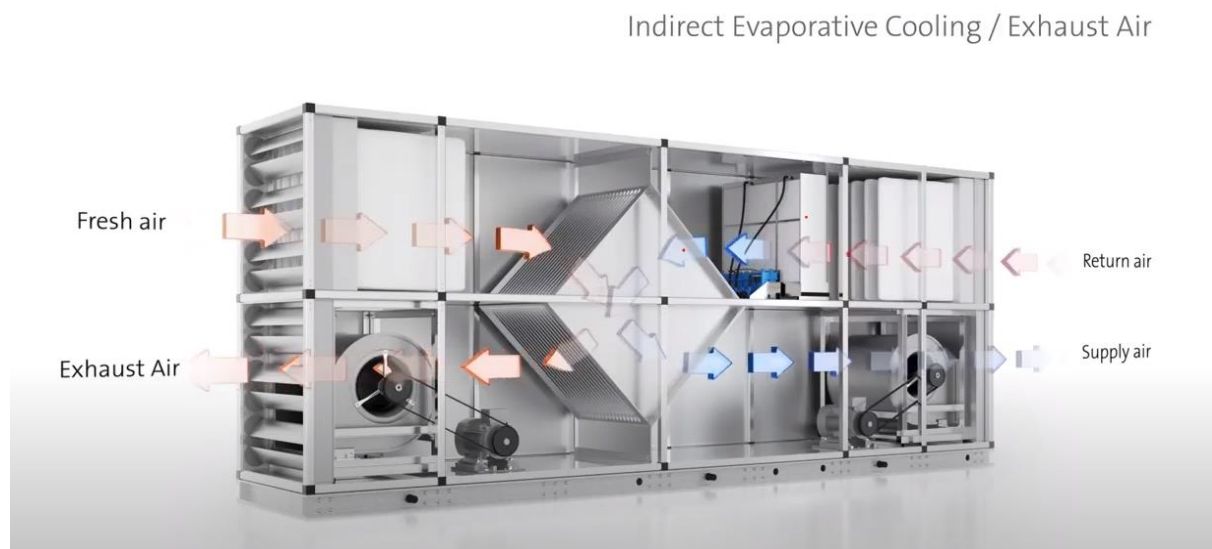


Figur 5: Direkte adiabatisk kjøling

Vannforbruket variere med forskjellige driftsfaktorer. Prosjektingeniør og senioringeniør ved Sweco sier at vannforbruket til adiabatisk kjøling er begrenset i en artikkel til Nemitek (Norsk VVS Energi- og Miljøteknisk Forening). Her blir det lagt fram at et system som anvender 25 000 m³/h med luft bruker omtrent 0,02 l/s med vann til avkjøling, uten at de spesifiserer driftsfaktorer. De påpeker også at for rehabiliteringsprosjektet deres, forventer de omtrent 40m³ med vann per sesong. Systemet kan kreve betraktelig lite energi sammenlignet med tradisjonelle kompressorer kjølesystemer. (14)

Fordelen med direkte adiabatisk kjøling er at 100% av kjøleeffekten blir tilført rommet ulempen er at kjøleeffekten er helt situasjonsbestemt på inntaksluften. Dersom luften har høyt nivå med luftfuktighet klarer ikke luften absorberer vannet i luften som skaper kjølingen altså reduseres kjøleeffekten betydelig. Indirekte adiabatisk kjøling benytter seg av avtrekksluften noe som gir bedre kontroll over prosessen ettersom tilstanden på luften som kommer fra bygget er lettere å kontrollere. Poenget her er også at luftstrømmene ikke skal blandes i varmeveksleren. Dette er fordi man ikke skal forurense tilluften med gammel luft. Denne løsningen er meget gunstig fordi avtrekksluften her henter varme fra tilluften som senker nødvendigheten for kjøling. (15)

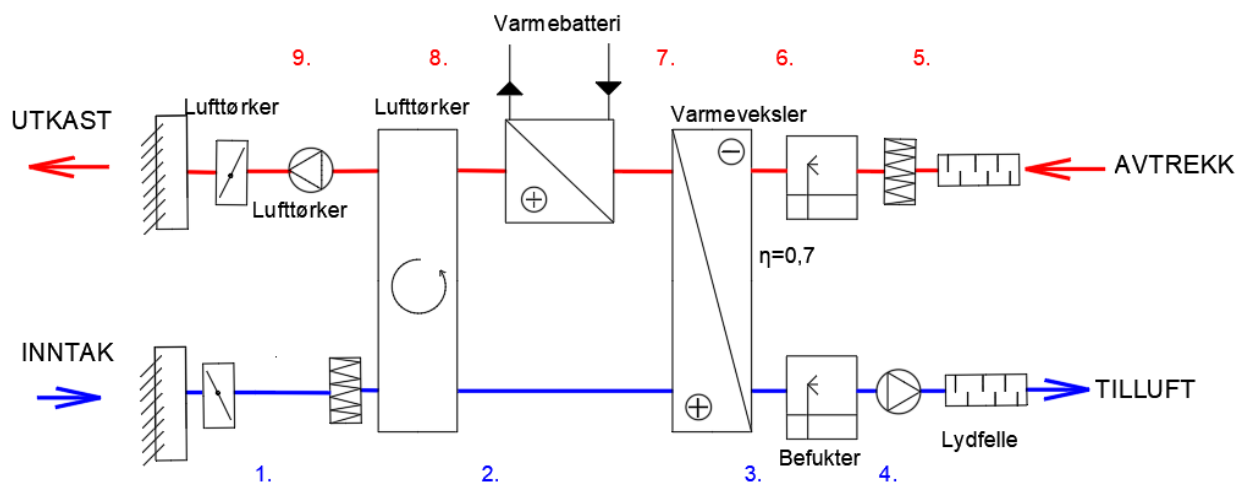
Figur 6 viser en praktisk utførelse av indirekte adiabatisk kjøling ved leverandøren Condair, fra sveits. (16)



Figur 6: Eksempel på praktisk utførelse av indirekte adiabatisk kjøleanlegg ved Condair (16)

2.3.5 Sorptiv kjøling

Sorptiv kjøling er annen type evaporativ kjøling der man utnytter varme for tørke luften før den befuktes. Metoden brukes til å kjøle ned ventilasjonsluften ved å utnytte fordampning til å fjerne energi fra luften, altså unngår man blant annet kompressor og fordamper. Kjøleanlegget integreres i ventilasjonsanlegget i form av en lufttørker og to befuktere.



Figur 7: Skisse av ventilasjonsaggregat med sorptiv kjøling.

Uteluften [1] tørkes og varmes opp i lufttørkeren [2], overfører varme til avtrekksluften i varmegjenvinneren [3] før tilluften befuktes i luftfukteren [4]. Vannet som tilsettes luften vil med en gang begynne å evaporere ved å ta til seg energien i tilluften. På avtrekkssiden fuktes romluften igjen [6] for å bedre effekten til varmeveksleren [7]. Deretter varmes luften opp i et varmebatteri [8] og brukes til å tørke [9] tilluften. Denne typen anlegg vil kreve et større enn normalt ventilasjonsaggregat. (17)

Lufttørkerene levert av Munters (18) bruker et roterende hjul som er fylt med en type tørkemiddel i et honningkakemønster som luften passerer gjennom. Tørkemiddelet absorberer fukten på tilluftssiden og når den fuktige delen av hjulet kommer til avtrekkssiden vil den varme luften etter varmebatteriet fordampe fukten og ta den med seg ut av bygget. Tørkemiddel som kan brukes er blant annet Litiumklorid (LiCl) og en type silicagel. Om vinteren kan lufttørkeren brukes som en varmegjenvinner, ifølge svenske Munters med en effekt opp til 90% (19).

2.3.6 Absorpsjonskjøling

Absorpsjonskjølere har eksistert svært lenge. Den første absorpsjonsmaskinen ble bygget i 1859 av Ferdinand Carre, hvor ammoniakk/vann ble benyttet i prosessen. Fordeler med vann/ammoniakk er blant annet høy stabilitet og man trenger ikke vakuum ved temperaturer over 30- grader celsius og systemet kan være kompakt. Noen av ulempene er høyt driftstrykk noe som gjør denne maskinen dyrere enn litiumbromid/vann typen, muligheten for korrosjon og giftigheten til ammoniakk.

I dag benyttes oftest litiumbromid som absorberer og vann som arbeidsmedium. Dette er mye fordi ingen av stoffene er giftige eller brannfarlige. Ulempene er blant annet at bromid ikke er fullstendig løselig i vann pga. krystallisasjon. Kjøleeffekten gitt fra absorpsjonskjølere går fra 5 til 20 000Kw. Det eksisterer veldig mange forskjellige variasjoner av absorpsjonskjølere. Det blir katalogisert enten etter antall generatorer/absorberer i prosessen eller temperaturnivåene som blir brukt.

En enkel effekt absorpsjonsmaskin med litiumbromid kan oppnå en COP-faktor (Coefficient of performance) på 0,7. En dobbel effekt absorpsjonsmaskin med litiumbromid kan oppnå COP-faktor på 1.3. Enkel effekt ammoniakk/vann har COP på 0.6 optimale driftsforhold. (20)

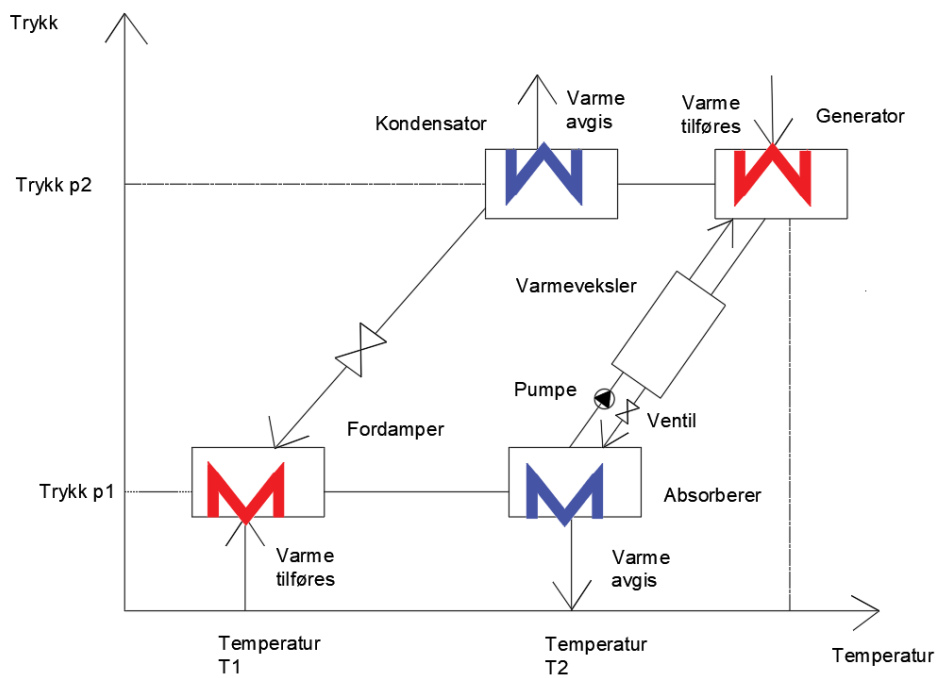
Hovedkomponentene i en absorpsjonskjøler med litiumbromid som arbeidsmediet er kondensator, generator, fordampner, varmeveksler, pumper og absorberer. Ingen kompressor er hovedforskjellen fra en tradisjonell kjølemaskin.

Prosesen for en enkel effekt absorpsjonskjølemaskin med litiumbromid starter først med at arbeidsmediet ført fra absorbereren gjennom varmeveksleren til generatortanken. I generatortanken blir varme tilført blandingen slik at vannet koker og separeres fra løsningen. Vannet i blandingen stiger i tanken og de tunge litiumbromid partiklene synker til bunnen av tanken. De tunge litiumbromid partiklene går gjennom varmeveksleren gjennom et separert system og blir tilført tanken med absorbereren på nytt slik at litiumbromidet går i en sirkel.

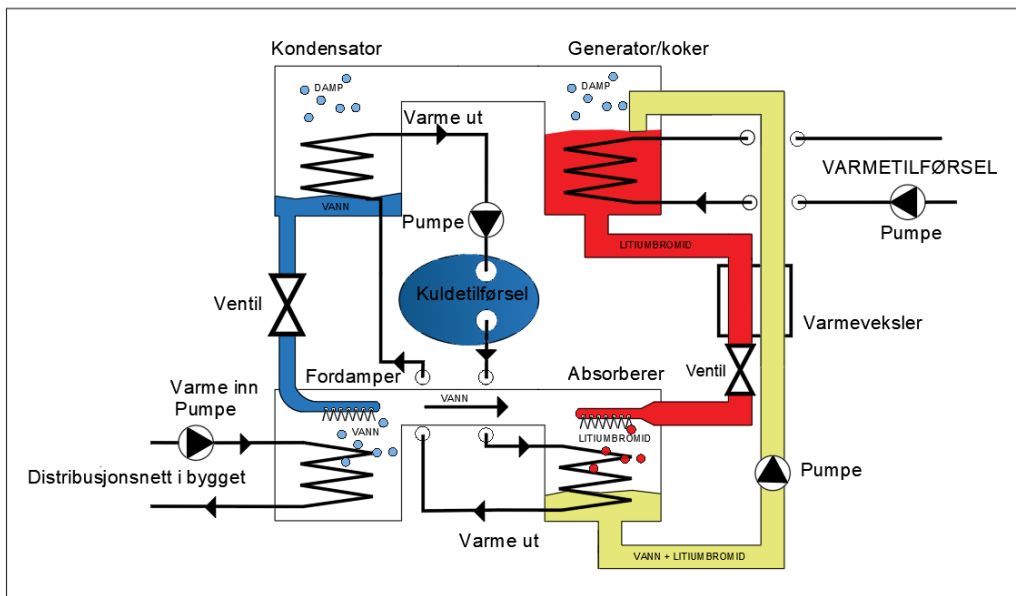
Dampen som skiller seg ut fra generatoren blir tilført kondensatoren. I kondensatoren tilføres en lukket krets med vann som passerer gjennom et termisk reservoar. Det termiske reservoaret har en lav temperatur slik at når vannkretsen passerer gjennom kondensatoren blir vanddampen nedkjølt. Kretsen fra det termisk reservoar passere også gjennom absorbereren for å unngå krystallisasjon av litium bromidet. Vannet som kommer fra oppsamleren i kondensatoren har en begrenset tillatt mengde.

Fordamperen mottar vannet fra oppsamleren hvor det oppstår trykkvariasjoner som senker temperaturen på vannet. I fordamperen blir det tilført en lukket krets med vann som har tatt opp varme fra bygget gjennom forskjellige kjøleenheter (for eksempel fancolling) (21)

Figur 8 og 9 viser prinsippet bak en absorpsjonsmaskin i temperatur, trykk diagrammet. Figur 9 viser en enkel absorpsjonsmaskin med fordampner, absorberer, generator, kondensator, samt. Pumpe, ventiler og varmeveksler.



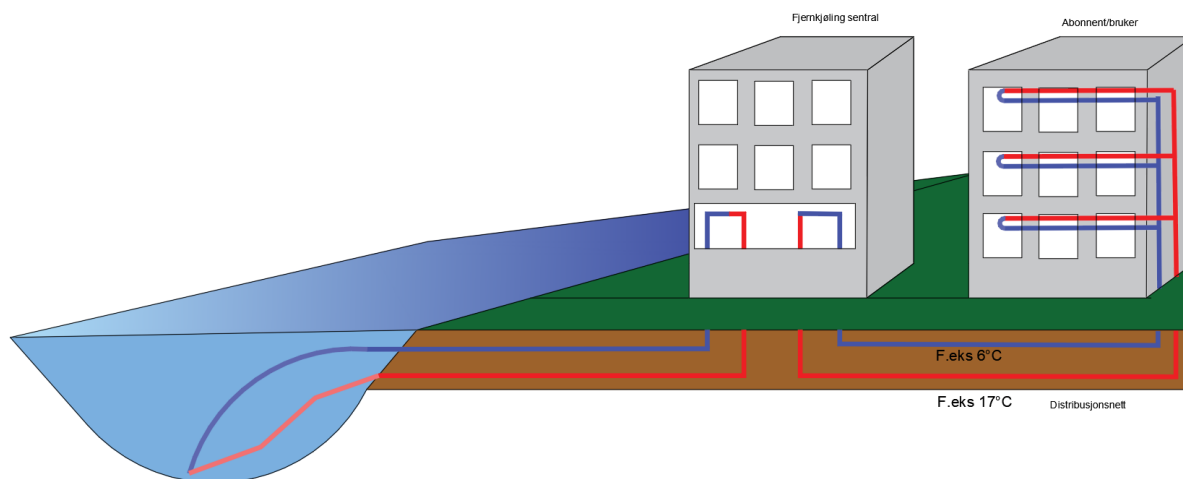
Figur 8: Enkel effekts absorpsjonskjølemaskin i temperatur-trykk-diagram. Figuren er basert på figur fra boken *Low Energy cooling for sustainable cooling in buildings*(20)



Figur 9: Enkel effekts absorpsjonskjølemaskin, utgangspunkt til figuren er hentet fra figur 8

2.3.3 Fjernkjøling

Fjernkjøling har samme konsept som fjernvarme. En fjernkjøleledning forsyner et større område med kulde, for eksempel sjøvann. Fjernkjølingsledningen kobles til en varmeveksler inne i bygget og tar til seg varme fra en lukket krets.



Figur 10: Prinsippkisse av fjernkjølingsanlegg hvor bygget til høyre er abonnent/bruker og bygget til venstre er fjernkjøling sentral

2.3.8 Ventilasjonkjøling eller sentral mekanisk kjøling

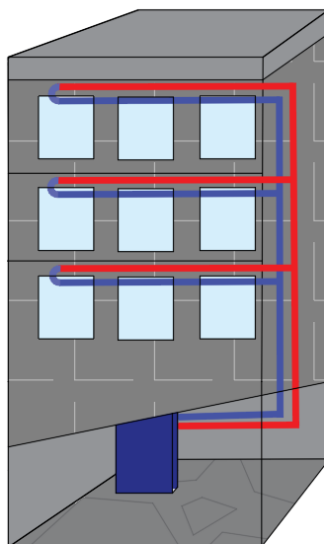
Ventilasjonsystemet er bygd opp slik at luft skal tilføres alle deler av bygget der det trengs. Derfor er det naturlig å starte kjøling i ventilasjonsanlegget ettersom luften allerede har et eksisterende kanalsystem. Tilluften starter med å gå gjennom et kjølebatteri slik at luften får ønsket temperatur. Kjølebatteriet fungerer som en varmeveksler mellom et arbeidsmedium og luften. Det er ofte bygget opp av kobberør med ribber/lameller. Kjølebatteriet trenger kondensavløp ettersom utfelling av vann oppstår. Figur 11 viser hvordan dette kan utføres.



Figur 11: ventilasjonsaggregat ved Lundhaugen omsorgsenter med varme- og kjølebatteri.

2.3 Lokal mekanisk kjøling

I bygg med store varmelaster og der det er strenge krav til termisk komfort, vil det ofte benyttes lokal mekanisk kjøling, gjerne som et tillegg til annen ventilasjonskjøling (22). De mest vanlige lokale kjøleenhetene er beskrevet nedenfor:



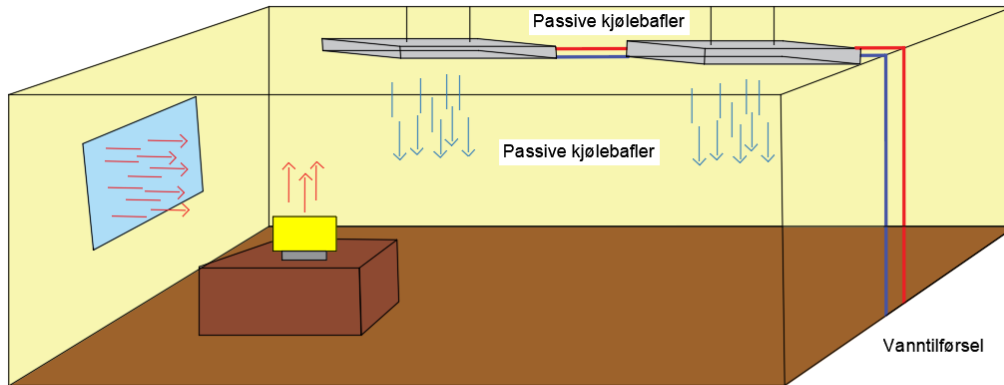
Figur 12: viser helt grunnlengde prinsipp for lokal kjøling med isvannstank uten inntegnet energikilde.

2.4.1 Kjølebafler

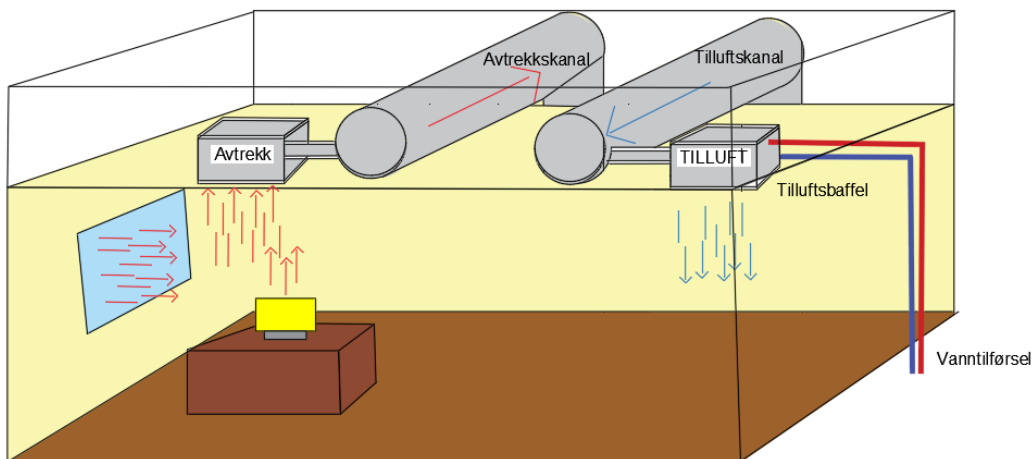
En kjølebaffel er en lokal kjøleenhet som monteres i taket, enten integrert i himlingen eller fritthengende. Kjølingen forsynes via et sentralt vannbårent system, der man tilstrever å sirkulere vann med temperaturer over duggpunkt. Dette er for å kunne unngå utfelling av vann på luftsiden av kjøleflatene, såkalt kondens. Ved at luft drives forbi kjøleelementene i baffelen, avgis dermed kulden primært gjennom konveksjon. En kjølebaffel blir oftest brukt i små kontorbygg. (22)

Det finnes to typer forskjellige utførelser av en kjølebaffel, og de er passive og aktive kjølebaffler. En passiv kjølebaffel som ofte også kalles en kombibaffel, og er den som avgir det meste av kjøleeffekten gjennom konveksjon. Her stiger varm luft opp til taket der den føres mellom takplatene til kjølebaffelen som kjøler ned luften. Luften som blir kaldere og kaldere, vil etter hvert synke ned på gulvet igjen i form av kjølig luft (se figur 13). I slike kjølebafler kjøres friskluftstilførselen fra ventilasjonsaggregatet gjennom baffelen for å oppnå minimumskravene til oppholdssonen (22).

For aktive kjølebaffler blir den varme luften avkjølt på samme måte som ved kombibaffler, men samtidig tilføres frisk underkjølt luft ved hjelp av en vifte. Det er dermed romluften som blir sirkulert gjennom baffelen, og derfor vil en større del av kjølingen avgis som stråling i stedet for konveksjon. I noen tilfeller er det da ikke nødvendig med annen tilførsel av ventilasjonsluft i lokalet, men dette anbefales ikke hvis det er krav om høy kvalitet på inneluften og på det termiske inneklimaet (22).



Figur 13: Viser enkel prinsippkisse for passive kjølebaffler



Figur 14: Enkel Viser enkel prinsippkisse for aktive kjølebaffler

2.4.2 Kjølatak

Kjølatak er, som kjølebaffler, en lokal kjøleenhet som får tilført kjøling fra et sentralt sirkulerende isvannsystem. Dette skjer ofte ved tilførsel av isvann gjennom rør som er trukket gjennom aluminiumsplater, slik at det blir best mulig kuldeoverføring. Aluminiumsplatene er ofte plassert under takplater, hvor de har små hull som gjør at kald luft synker ned. Her blir det meste av kjøleeffekten avgitt som stråling, og slike kjøletak fungerer dermed meget godt i lokaler hvor det er mye innstråling av sol. Den kan ansees på som en type kaldtvannsradiator, hvor den monteres i himlingen. Dette er en kjøleenhet som blir mye brukt i bygg i dag. (22)

2.4.3 Fancoils

Fancoils eller viftekonvektorer er lokale kjøleenheter som anvendes i lokaler der det er mye belysning og annet varmegivende utstyr. Dette kan være typisk lokaler som datarom, eller butikker, der enheten monteres oftest oppunder taket. Mesteparten av kjøleeffekten avgis her konvektivt. Dette er grunnet at det benyttes en vifte for å drive romluften gjennom et kjøleelement, og lokalet får derfor tilført underkjølt luft. (22)

Slike enheter styres oftest etter temperaturen i rommet, men kan også styres manuelt (av/på). Tur-/returtemperatur på viftekonvektorer er typisk 7/12 °C, noe som vil si at vann felles ut fra luften. Viftekonvektorer har derfor kondensavløp for å unngå kondensproblemer (8)

2.5 Regulering

Man har flere muligheter når det gjelder regulering av et kjøleanlegg. Hvilken metode som vil fungere best kommer helt an på klima, byggets utforming og ventilasjonsanlegget. God regulering er kritisk for et godt resultat med minimale kostnader, derfor er det hensiktsmessig å analysere situasjonen og velge tilpasset løsning.

2.5.1 Regulering av sentral ventilasjonskjøling

Konstant tilluftstemperatur er en lite fleksibel form for regulering. Det velges en fast temperatur for tilluften, og pådraget styres mot denne temperaturen. Denne metoden begrenser reguleringsmulighetene for hele bygget, da all ventilasjonsluft holder samme temperatur. Kjøleffekt blir også sterkt påvirket av luftmengden, så det kan bli vanskelig å oppnå ønskelig innetemperatur.

Utekompensert tilluftstemperatur tar samme utgangspunkt, men endrer tilluftstemperaturen i takt med utvendig temperatur. Oppnår likevel sjeldent ønskelig resultat siden man har samme problemer som med konstant tilluftstemperatur, i tillegg til at det er flere faktorer enn utetemperatur som styrer varmebidraget.

Avtrekkkompensert tilluftstemperatur er en av de mer aktuelle reguleringsmetodene vi har i dag. Som navnet tilsier så styres tilluftstemperaturen i takt med temperaturen på avtrekkstemperaturen. Årsaken til at dette er en mer nøyaktig metode er at avtrekkstemperaturen gjenspeiler godt den temperaturen som oppleves i rommet.

VAV-regulering er en metode der man regulerer luftmengdene i kanalene etter behov. Dette er en mer avansert form for regulering som er mindre brukt siden det er kostbart å installere, men er veldig energieffektivt siden man kan unngå unødvendig ventilasjon. Har man et kjøleanlegg med VAV-styring så setter man vanligvis en fast tilluftstemperatur og regulerer kjølebidraget ved å regulere luftmengden. Av disse metodene så er VAV-styring den ene metoden der man kan variere kjølebidraget for ulike rom, noe som er viktig hvis man har ulike typer rom og varierende kjølebehov.

2.5.2 Regulering av lokal kjøling

Om man har lokal kjøling, som for eksempel kjølebafler, så blir regulering en enklere sak. Kjøleffekten styres da av den aktuelle romtemperaturen, og pådraget varierer etter behov. Dette er en av de store fordelene til lokale kjøleanlegg, da man får kjøleffekt som er godt tilpasset rommet det skal inn i.

2.6 Teori om isvannsanlegg

Isvannsanlegg produserer kulde og distribuerer kjølingen gjennom et rørnett til for eksempel et kjølebatteri i et ventilasjonsaggregat, eller lokale kjøleenheter rundt omkring i bygget.

Sentrale komponenter:

Her blir det listet opp de mest sentrale komponentene til isvannsanlegg innenfor vår oppgave.

Shuntventil

En shuntventil har 3 løp hvor hovedløpet alltid er åpent, mens de andre to reguleres ofte i forhold til temperaturen man ønsker gjennom shuntventilen. Shuntventilen har to ulike funksjoner, fordelingsventil og blandeventil. Fordelingsventilen tilfører væske som fordeles i systemet, mens blandeventilen blander væsker med ulike temperaturer. (8)

Trykksensor

Registrerer trykk i systemet.

Stengeventil

Kommer i forskjellige former med har i oppgave å stenge pådrag i røret.

Strupeventil

Begrenser pådrag av sirkulasjonsmediet i røret. (8)

Mikrobobleutskiller

Skiller ut oksygen og andre gasser fra systemet.

Sikkerhetsventil

En sikkerhetsventil sikrer anlegget mot høyere trykk enn vakeste komponents maksimale driftstrykk. (8)

Ekspansjonskar

Håndterer volumendringer i systemet når temperaturen endres. (8)

Buffertank

Hindrer at det forekommer uregelmessig start og stopp i anlegget samtidig uregelmessig temperatur endringer i systemet. (23)

Pumpe

Sirkulerer vannmengde i systemet.

Temperatursensor

Måler temperatur i systemet.

Svenskekobling

Fireveis ventilkobling som baserer prinsippet sitt bak større sirkulert væskemengder i rørkoblingens sekundærkrets. Primærkretsen går fra vannforsyningen til bypass-røret i kretsen, mens sekundærkretsen går fra primærkretsen gjennom f.eks kjølebatteriet tilbake til bypass røret. Se figur 15. (24)

Norskekobling

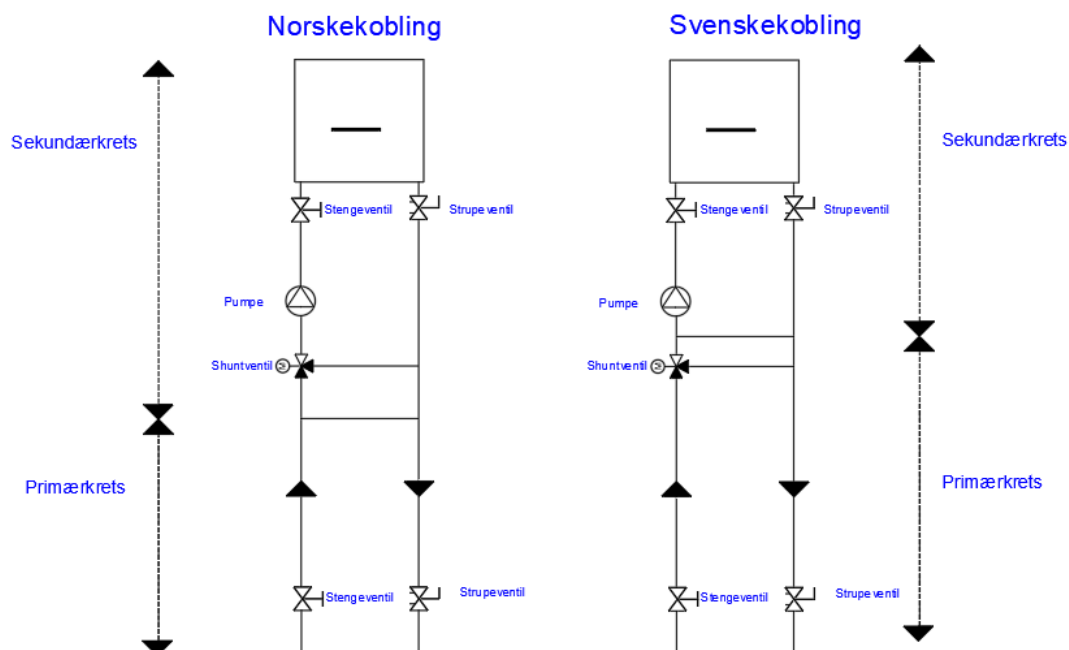
Fireveis ventilkobling baserer prinsippet sitt bak at sekundær kan være større en primærkretsen. Derfor bør den benyttes der reguleringsventilen plasseres i relativ lang avstand fra f.eks kjølebatteriet. Se figur 15 (24).

Temperaturregulering

Temperaturregulering holder vannmengden i systemet er **tilnærmet** konstant mens turtemperaturen endres for å regulere pådraget. Turtemperaturen til f.eks kjølebatteri kan endres ved at to- eller treveisventil endrer blandingsforholdet mellom turtemperatur og returtemperatur slik at det oppstår ønsket temperatur (8).

Mengderegulering

Mengderegulering i forhold til temperaturregulering holder ikke sirkulert vannmengden konstant men bygger sitt prinsipp bak at sirkulert vannmengde endres. Endringen i vannmengde styres etter ønsket effekt. (8)



Figur 15: Viser prinsipiell oppbygning av norskekobling og svenskekobling.(24)

2.7 Simien

Simien er et energiberegningsprogram utviklet i Norge. Energiberegningene er validert etter EN 15265 og NS3031. Der programmet gjør dynamiske simuleringer av energibehov, inneklime og dimensjonerer oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling. Simien kan også bli brukt til å evaluere bygg mot energikravene i TEK 17 (Byggteknisk forskrift) og NS 3700 (25). Dette programmet har blitt brukt i rapporten først og fremst for å simulere solinnskuddet på sommerstid ved bruk av forskjellige typer skjerming.

3 Metode

3.1 Værdata

For å kunne gjøre gode beregninger på inneklima i våre utvalgte bygg må vi ha en antagelse hvilke værforhold en kan forvente om sommeren. Bacheloroppgaven skrives i løpet av våren, så det ble umulig å få gjort målinger under aktuelle forhold.

Temperatur:

For beregninger vil vi anvende en dimensjonerende utetemperatur. Tabell 1 er basert på data fra perioden mellom 1981-2005 (5). Her oppgis også typisk temperatursvingning, for Trondheim ligger den på 12°C.

Sted	T _{Dut} Vinter (°C)	Årsmiddeltemperatur T _m (°C)	T _{Dut} (Tørr) sommer (°C)	
			Temperatur som i snitt ikke overskrides mer enn 50 timer i året	Temperatur som i snitt ikke overskrides mer enn 20 timer i året
Trondheim	-18,5	4,8	24,4	26,3

Tabell 1: Temperaturdata data fra perioden mellom 1981-2005

Relativ luftfuktighet

For beregninger der det trengs relativ luftfuktighet tar vi utgangspunkt i tabell fra Ventilasjonsteknikk 1 over den gjennomsnittlige relative luftfuktigheten der det er oppgitt en relativ luftfuktighet for juli på ca. 80%. (4)

3.1.2 Temperaturkrav

For å beregne et kjølebehov må en ha et temperaturområde for romluften å sikte seg inn på. Ifølge arbeidstilsynet bør en unngå generelt unngå temperaturer under 20°C og over 26°C (27), noe som vil være gjeldende for ansette ved et sykehjem. For beboerne ser vi i Tabell B-2 i NS-EN 16798-1:2019 (28) inneholder en oversikt over standard innendørs operativ temperatur for bygninger med mekanisk kjøling. I tabellen ser vi på verdier for oppbevaringsarealer med lavt aktivitetsnivå og kategori II. Kategorien er en antagelse på hvor store prosentdel av brukere ikke vil være fornøyd med romtemperaturen, kategori II tilsier at under 10% vil være misfornøyd. Da vil den maksimale temperaturen ligge på 26°C, som samstemmer med den øvre temperaturgrensen anbefalt av arbeidstilsynet.

3.2.1 Beregning av kjølebehovet for hele bygget

Kjøleberegningene som gjennomføres er relativt grove. Årsaken til dette er at målet vårt for oppgaven er ikke å beregne et nøyaktig kjølebehov og bruke den informasjonen til å velge optimale løsninger. Beregningene skal brukes til å framstille og sammenligne varmebidragene, hvor de kommer fra og om de kan påvirkes.

Antagelser:

- Det regnes varmelagring kun for solinnstråling.
- Vi antar at etasjene har et likt kjølebehov, mens i virkeligheten vil behovet være større for 2. etasjen hovedsakelig fordi solstråling vil varme opp taket. Innad i etasjene antas også homogen romtemperatur.
- Varmeoverføring i temperaturgjenvinner neglisjeres.

- For et mer nøyaktig resultat burde bygget deles opp i flere soner med individuelle kjølebehov.
- For ventilasjonskjøling velger vi å ikke kjøle ned kjelleren, fordi minimalt med vindusareal og veggflater er i kontakt med utsiden. Lite mennesker og lite utstyr fører til liten intern belastning. Tekniske rom er unntaket her.
- U-verdier er hentet fra byggeforskrifter fra 1987. (69)
- Trykkøkningen over viften er ukjent, men ifølge Stensaas (4) kan en anta en trykkøkning mellom 500-1000Pa. Tar utgangspunkt i økning på 1000Pa, men dette er kanskje den mest unøyaktige faktoren.

For beregningene anvender vi forenklet metode for å beregne nødvendig kjøleeffekt hentet fra Ventilasjonsteknikk del 1 av Sturla Ingebrigtsen (5). Metoden tar utgangspunkt i en antatt temperatursvingning rundt dimensjonerende utetemperatur og regner varmebidrag utifra det og variasjon i solinnstråling og intern varmebelastning.

- Trinn 1: Beregning av midlere romtemperatur over døgnet.
- Trinn 2: Beregning av effektvariasjoner. Her finnes differansen mellom maksimalt og minimalt effekttilskudd.
- Trinn 3: Beregning av temperaturvariasjon. Effektvariasjonen og byggets egenskaper brukes her til å beregne temperaturvariasjoner.
- Trinn 4: Kjølebehovet beregnes for ønsket temperaturområde.

For å framgangsmåte, videre antagelser og valg av verdier se vedlegg 3.

3.2.2 Beregning av romtemperatur og nødvendig tilluftstemperatur for enkelt rom

Vi bruker her samme metode som over, men betrakter kun et rom med en seng. Fra plantegningene (vedlegg 1) ser vi at gulvarealet på et enkelt rom ligger på 13,9m² og har en tilluftsmengde på 100m³/h. Beregningene fra Simien gjelder for hele bygget, så for solinnstrålingen gjennom vinduet så bruker vi maksimal solinnstråling på 700W/m², skjermingskoeffisient for innvendige persienner på 0,53 og utvendige persienner på 0,15. Hentet fra Ventilasjonsteknikk del 1(4).

3.2.3 Simuleringen av solinnstråling gjennom simien

Hovedpoenget med å bruke Simien var å fremstille resultater av solinnskuddet på sommerstid ved forskjellige typer skjerming på fasaden til EC Dahls Sykehjem. Gjennom simuleringsprogrammet kan man blant annet sette inn forskjellige verdier og parametere som endrer på varmetilskudd. Det ble satt inn 1. og 2. etasje som individuelle soner med tilnærmet lik fasade som virkeligheten. Vi kunne også delt hvert rom i egen sone, men ettersom vår undersøkelse går ut på hvordan fasadeendringer endrer solinnskuddet mente vi at dette ikke var vesentlig for undersøkelsen.

Det ble satt inn forskjellige parametere som skal simulere virkelige driftsforhold. Vi gjorde beregningene på grunnlag av befaringen som ble gjort og antagelser gjort gjennom diverse plantegninger (vedlegg 1). Sonene består av fasade mot nord, fasade mot sør, fasade mot vest og fasade mot øst. Det har blitt lagt til vedlegg (vedlegg 10) for hver av fasadene som påviser hvordan nærliggende bygg innvirker på fasaden. Internlaster er satt fra befaringen gjort ved bygget. Vi har valgt å se bort ifra trær som skygger i fasaden ved EC Dahls sykehjem. Dette er fordi vi ønsker å se sammenhengen mellom endringen av passive tiltak på solinnstrålingen og mener dette ville blitt vanskelig med mye skygge i fasaden. Spesielt siden vi ønsker å se på tiltak som gjelder for flere sykehjem, ikke bare de som skygger fasaden med trær. Simien har sine begrensinger i forhold til beregninger. Modellene er relativt enkle og bør tolkes som dimensjonerende. (29)

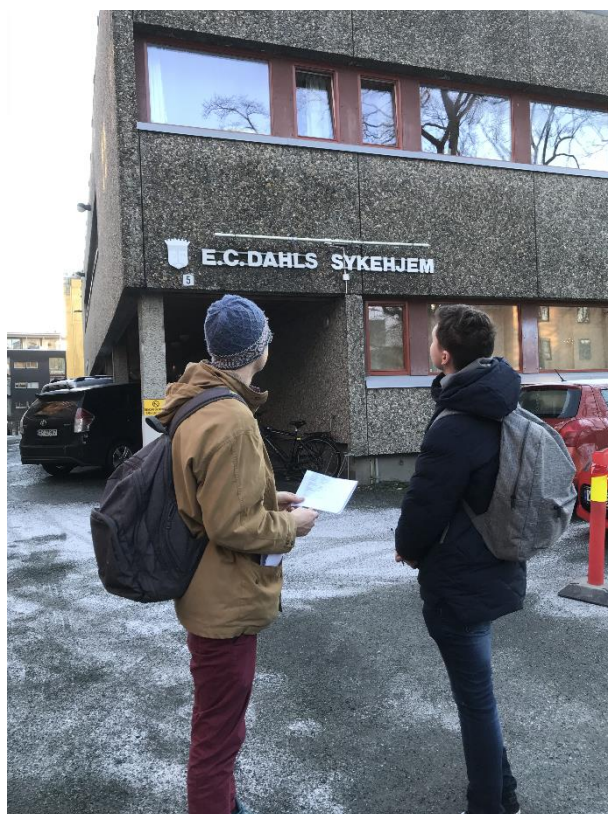
Se vedlegg 11 for grundigere informasjon om tallverdier innsatt i simien.

4 Befaringer av sykehjem

Det ble i løpet av bachelorperioden gjennomført to befaringer, en i Trondheim og en i Steinkjer.

4.1.1 Befaring EC Dahls Sykehjem

Vi tok kontakt med EC Dahls Sykehjem som ligger sentralt i Trondheim sentrum. Kontakten ble gjort via mail, der vi til slutt fikk tak i en vaktmester som fikk oss inn i bygget og inn på teknisk rom. EC Dahls sykehjem ble åpnet i 1986, etter å tidligere ha vært en fødselsklinikk. Sykehjemmet drives og eies av Trondheim kommune, der det ligger vakkert til midt i byen. Totalt består EC Dahls Sykehjem av to sykehjemsavdelinger med totalt 31 pasientrom, fordelt på to etasjer. (30)



Figur 16 : Hans og Jonas utenfor E.C Dahls sykehjem

Hovedmålet med disse befaringene var å få kartlagt ventilasjonsanlegget i bygget, samt oppholdsarealene til pasientene og ansatte. Denne informasjonen skulle i første omgang brukes til å beregne kjølebehovet som kan oppstå på varme dager om sommeren. I tillegg hadde vi en rekke samtaler med de ansatte for å få dannet et bilde på hvordan innklimaet på sommerstid faktisk er, samt de generelle problemene med ventilasjonsanlegget.

For å effektivisere befaringen ble det benyttet et skjema som vi lagde på forhånd. Dette skjemaet inneholdt en del betraktninger som skulle gjøres, og i tillegg relevante spørsmål som kunne spørres beboerne og personalet. Ved å gjøre det på denne måten ble tiden på sykehjemmet utnyttet mye

bedre enn hvis man hadde kommet uforberedt og funnet på spørsmål der og da. Plassen på teknisk rom ble vurdert, og vinduer ble sett nøye på for å sjekke eventuelle solskjermingsegenskaper. I tillegg ble det tatt en rekke bilder av blant annet ventilasjonsaggregatet, systemskjema og det som ellers kunne være til hjelp for å få kartlagt sykehjemmet best mulig.

Det ble også gått en runde rundt bygget for å sjekke luftinntak og avkast, samt solskjermingsmuligheter fra bygg og trær.



Figur 17: Hans på teknisk rom ved Ec dahls sykehjem



Figur 18: EC Dahls Sykehjem sett fra vestsiden.

Ventilasjonsystemet er fordelt på to ventilasjonsaggregat, ett for 1. etasje og kjeller og ett for 2. etasje. Se systemtegnning for komponenter. Aggregatet for 1. etasje og kjeller leverer $1400\text{m}^3/\text{h}$ og det for 2. etasje leverer $9500\text{m}^3/\text{h}$. Ifølge tilgjengelig dokumentasjon ble systemet bygd i 1999 med service gjennomført i utgangspunktet en gang per år. Som de fleste andre eldre ventilasjonssystem så reguleres ventilasjonen med konstante luftmengder (CAV).

Det var vanskelig å få oversikt over alle soverommene til pasientene, ettersom noen var opptatte og det følte ikke hensiktsmessig å være til for mye bry for beboerne. Det antas derfor at alle soverommene er ganske identiske. Ellers er alle rommene til beboerne vendt utover mot enten øst- eller vestsiden av bygget med store vindu, utstyrt med innvendige lyse persiener. Alle soverommene har også egen TV og belysning.

Bebygget grunnareal er beregnet til å ligge på 2222 kvadratmeter med en gjennomsnittlig etasjehøyde på 2,4 meter. Hele ventilasjonsanlegget er dimensjonert for 60 personer. På sørsiden er det en liten park med blant annet en rullestoltrasé, samt trær og planter som skjermer bygget mot sol og vind. Det er ingen vinduer på sørsiden, men i stedet er det et glasshus på ca. 100 kvadratmeter. Ytterveggene består ifølge plantegningene av betong. På østsiden og nordsiden er bygget plassert slik at det er liten avstand til nærliggende bygg. Nabobyggene kommer derfor til å bidra noe når det kommer til skjerming av sol på disse sidene, mens på sørsiden der det er stor avstand til nærmeste bygg, er det kun trær som skjermer.

4.1.2 Samtale med ansatte

Vi spurte noen sykepleiere og fikk høre at de opplevde et dårlig inn klima om sommeren. Inneluften blir beskrevet som varm og tørr. Det blir plagsomt varmt for både pasienter og ansatte og det er tydelig noe som senker betydelig senker kvaliteten på inn klimaet. Tiltakene som blir gjort er å åpne vinduer for gjennomtrekk og elektriske vifter som plasseres etter behov. I tillegg til å klage over varmen, ble det også påpekt at det var dårlig luft og ventilasjon i bygget, noe vi også kunne kjenne på i den korte perioden vi var der.

4.2.1 Befaring av Steinkjer Sykehjem

Steinkjer Sykehjem ble aktuelt etter å ha lest en nyhetsartikkel som tok for seg sykehjemets store varmeproblematikk i fjor sommer (31). Gjennom vår veileder Oddbjørn Sjøvold ble vaktmesteren

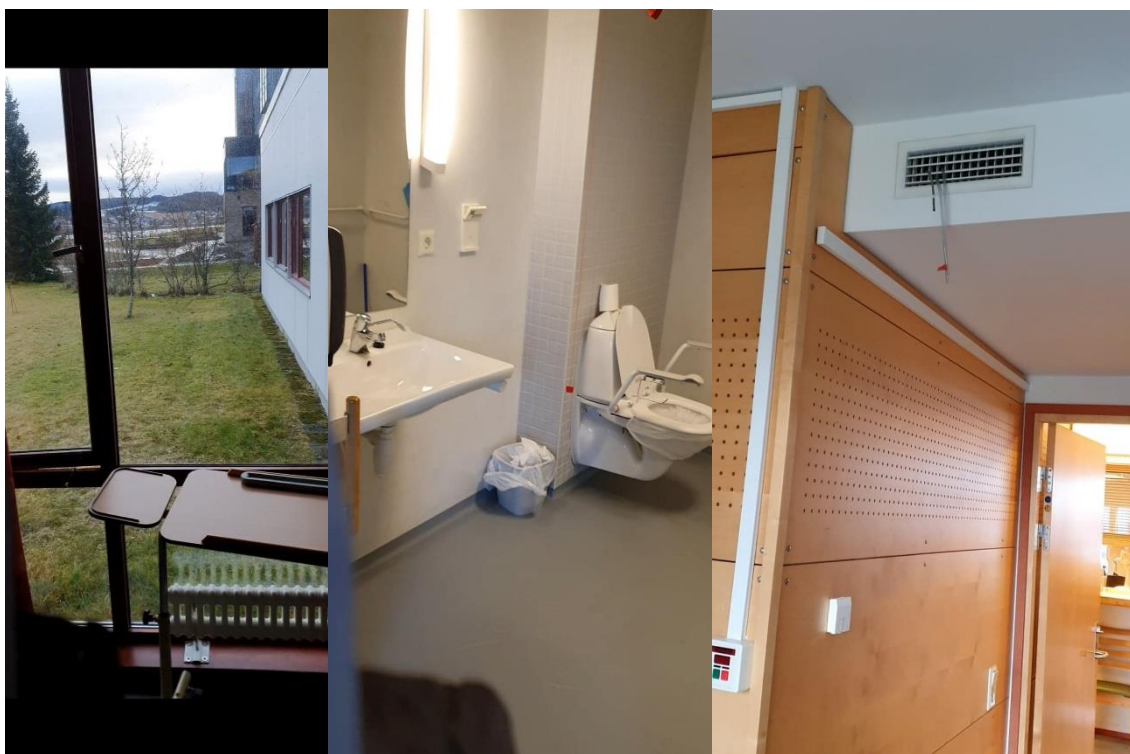
kontaktet og han var svært behjelpelig gjennom hele befaringen. Han låste oss inn i teknisk rom der det ble tatt mange bilder og der han også svarte på spørsmål fra samme skjema som ble lagd til EC Dahls Sykehjem (vedlegg 2). Det ble også her stilt spørsmål til flere sykepleiere om hvordan de opplever innklimaet om sommeren. Vaktmesteren skaffet oss samtidig tilgang til et pasientrom som ble betraktet og tatt bilder av. Det ble ikke satt av tid til spørsmål til beboerne.

Steinkjer Sykehjem befinner seg på Nordsileiret med fin utsikt mot kaia og fjorden. Hjemmet ble offisielt åpnet 22. april 2002 og er det største sykehjemmet i kommunen med 2 etasjer bestående av 63 pasientplasser. Den består av i alt 7 enheter, deriblant to dement-enheter, en avdeling for livets slutt og en korttidsavdeling for hjemmeboende eldre. Alle disse enhetene utgjør et totalt areal på 3782 kvadratmeter. Det er selve kommunen som eier og driver sykehjemmet. (32)



Figur 19:Steinkjer sykehjem sett fra norsiden

Selve bygget har et vannbårent varmesystem som er tilknyttet et fjernvarmeanlegg med gulvarme og radiatorer. Ventilasjonsanlegget består av 3 CAV-aggregater med varmebatteri og roterende gjenvinner. Det største aggregatet (36.01) befinner seg over inngangspartiet og har en kapasitet på 19000 m³/h, det andre (36.02) på 11000 m³/h. Det ble ikke gjennomført befaring av det tekniske rom med aggregat 36.03, da driftspersonellet ikke kjente til dette. Ingen av aggregatene har derimot kjølebatteri, det er ingen aktive kjølemuligheter for bygget.



Figur 20: Pasientrom: Vindu med radiator, bad og tilluftsventil montert på vegg.

4.2.2 Samtale med ansatte

Etter noen samtaler med de ansatte, samt telefonintervju av enhetsleder Bente Westvik Volden og vaktmester Jon Erik Brandsegg, ble det klart at dette er et bygg som sliter med temperaturene innomhus og inneklimate generel. Samtlige kunne bekrefte at sykehjemmet oppleves som ubehagelig kaldt på vinterstid, og veldig varmt igjen om sommeren. På et pasientrom i løpet av juli 2019 kunne de fortelle at temperaturen hadde blitt målt opp til 36,5 °C.

Solavskjermingen fungerer slik at den må styres av betjeningen på hvert rom, og når noen ikke alltid fungerer slik de skal, oppstår det dermed problemer på solfylte dager. Personalet kunne også føle på en del trekk, spesielt ved ytterdører som verandadører og lignende.

5 Passiv kjøling

5.1 Skjerming

Resultater fra diverse undersøkelser viser at utvendig solskjerming fungerer bedre enn innvendig. Det sies at utvendige persiener kan for eksempel stoppe opptil 90% av solinnstrålingen, noe som naturligvis har mye å si når det kommer til temperaturen innendørs. (33) Slik solskjerming vil redusere varmebelastningen og energien til kjøling betraktelig. Ved EC Dahls Sykehjem er det som nevnt en del trær på sørsiden. Skyggen fra disse trærne vil også være en bidragsyter til å redusere energibruken og optimalisere driftsforholdene for de aktive tiltakene.



Figur 21: Markiser

Utvendig skjerming er et godt tiltak men kan bli utsatt for vær og vind. Markiser er for eksempel et godt alternativ til å dempe sollyset, der de dekker store flater, og gir i tillegg beskyttelse for nedbør som regn og snø. Men, selv om de er robuste, er de på den andre siden følsomme for vind. De tar mye vind når de er ute, og de kan dermed fort bli slitte, eller ødelagte.



Figur 22: Innvendige persiener

Innvendige persienner er ikke like effektive som utvendige (34) men de er veldig anvendelige og tar liten plass. Utvendige persienner hindrer nemlig solen i å varme opp vindusflatene, noe innvendige persienner ikke gjør. Dette er noe som vil ha betydning i form av den isolerende effekten (35). En annen liten negativ faktor er at siden de er innendørs, krever de vedlikehold i form av rengjøring og tørking av støv. Ellers har innvendige persienner lang levetid og kan enkelt tilpasses den løsningen som passer best for bygget.



Figur 23:Utvendige sorte screens

Der utvendige persienner kan stoppe opptil 90% av sollinnstrålingen, er det målt over 90% reduksjon av varmeinnslipp ved bruk av utvendige screenere. Slike screenere kan enkelt og greit sees på som en utvendig rullegardin der duken er vevd på en måte som gjør at man kan se ut, selv når den er trukket ned. De er også plasseffektive ettersom de fint kan plasseres under vannbrett på de fleste vinduer siden høyden på kassetten som pakkes, er liten. Duken har rette og stive profiler og er enkel å holde ren. Den vil for eksempel ikke samle like mye støv som en persienne, og kan vaskes fint med en hageslange eller lignende. Det finnes en rekke forskjellige typer som passer ulike behov. Zip Screens er for eksempel ekstra effektive i værutsatte områder (36).

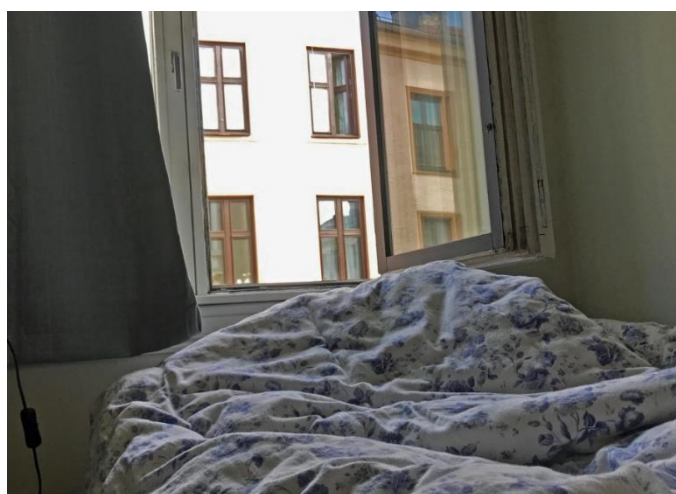


Figur 24: Utvendige persienner

Utvendige persienner kontrollerer lysfordelingen og stopper solstrålene, samtidig som man kan ventilere ved å ha et åpent vindu på varme dager. De er veldig praktiske, og kan blant annet heves

om vinteren når det er lite sollys ute. Lamellene kan også fjernstyres innenfra, og vinkelen kan justeres slik at naturlig dagslys kommer inn etter behov. Ved sammenligning regnes slike utvendige persienner for å tåle vær og vind bedre enn markiser. De gir også i de fleste tilfeller bedre solskjerming. Som innvendige persienner, må også utvendige rengjøres, men det kan være vanskelig, spesielt i høye etasjer (37).

Når det gjelder kostnader er prisen veldig avhengig av størrelsen enten det er snakk om markiser, persienner eller screens. En annen viktig faktor er også om modellen motorisert (dyr) eller manuell (billigere). Generelt betaler de fleste et sted mellom 10 000 og 100 000 norske kroner for markiser, hvor rundt 30 000 er den mest vanlige summen. Prisen inkluderer da alle kostnader som er knyttet til kjøpet av en markise (38) . For utvendige persienner som er motoriserte, ligger prisen mellom 5000 og 6000 kroner per kvadratmeter, mens innvendige ligger mellom 800 og 900,- (39).

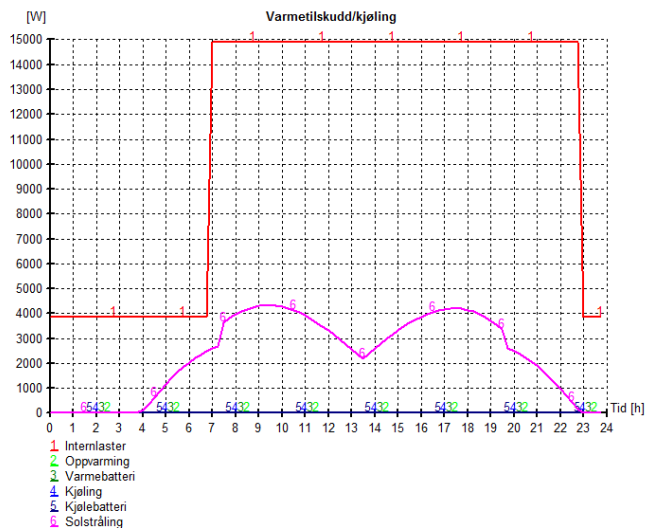


Figur 25: Åpent vindu

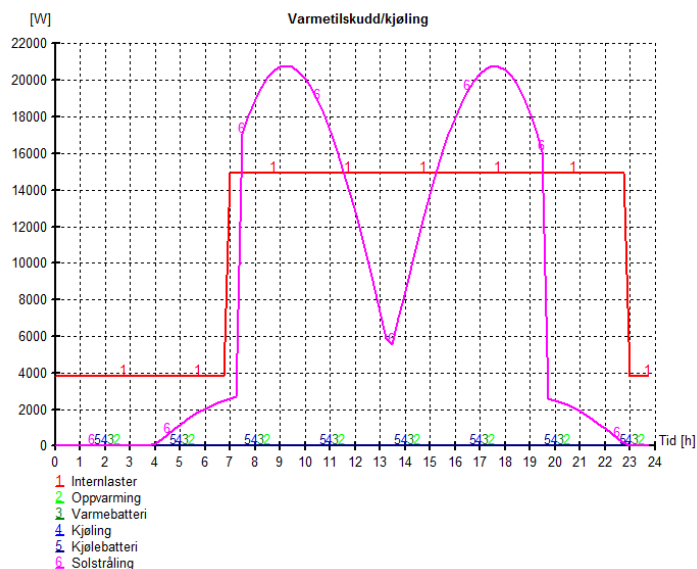
Noen vil nok tenke seg at det å åpne vinduet på for eksempel kveldstid vil kunne være et greit og ikke minst et veldig lettvent alternativ til nedkjøling. I en fersk studie fra Johannes Gutenberg-universitetet i Mainz har det kommet frem at åpent vindu, spesielt i tettbygde strøk, kan være farlig (40). Støy fra trafikkbråk har ifølge studiet en negativ påvirkning på kroppen og kan blant annet ha en kritisk effekt på hjertet. Slikt kan også føre til psykiske lidelser som depresjon og psykisk angst. Svevestøv er et annet problem som ikke er bra for folk med astma og diverse lungesykdommer som ofte finner sted på sykehjem (41). I tillegg har man trekk som åpne vindu naturlig nok vil medføre. Åpent vindu ansees derfor til å være et dårlig tiltak for vår case, der det er eldre personer som bor i sentrum av Trondheim.

5.2 Beregninger fra Simien for solinnstråling ved EC Dahls Sykehjem

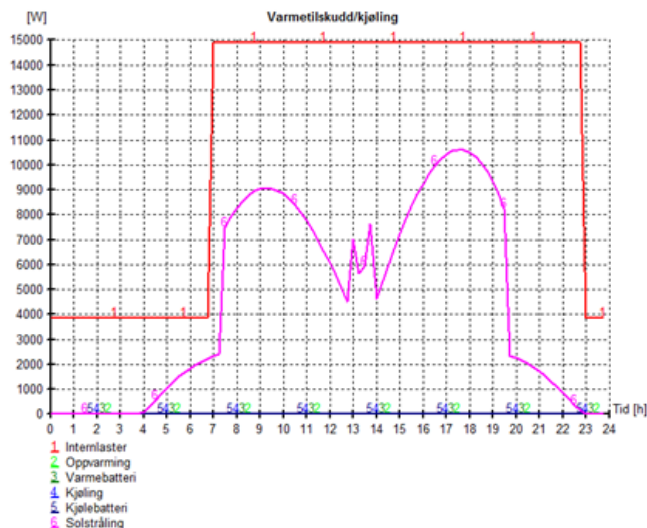
I Simien har vi sammenlignet de ulike passive tiltakene for E.C. Dahls, som markiser, utvendige og innvendige persienner, samt energiglass. Ut ifra våre data ser vi at utvendige screener, er det tiltaket som fungerer best mot skjerming av sollys. Deretter kommer markiser, for så innvendige screens og persienner. Tiltaket som kommer aller dårligst ut fra simuleringa er benyttelse av 2 energispareglass av type argonglass.



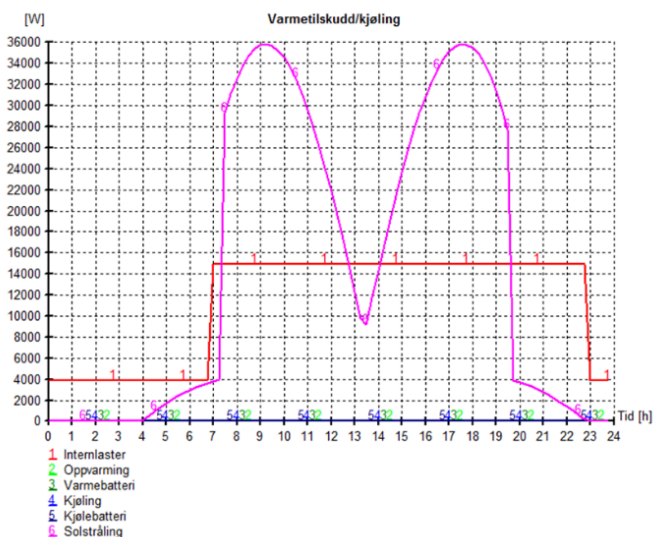
Figur 26: Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av utvendige persienner.



Figur 27: Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av innvendige persienner.



Figur 28: Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av markiser.



Figur 29: Simulering i simien av varmetilskudd i form av solstråling og internlaster ved bruk av 2 energispareglass, argonglass.

5.2 Temperaturgjenvinner

En god temperaturgjenvinner vil i visse situasjoner redusere temperaturen i tilluften men kan også ha motsatt effekt. Hvis temperaturen inne i bygget er lavere enn tilluftstemperaturen vil temperaturgjenvinneren senke tilluftstemperaturen. Med mindre det er store forskjeller på temperaturnivåene for luftstrømmene så vil ikke varmegjenvinneren utgjøre stor forskjell.

6 Aktiv kjøling

Hensikten med dette kapittelet er å framstille og drøfte fordeler og ulemper med forskjellige aktuelle kjølesystemer og distribusjonssystem. Ulike sykehjem vil ha forskjellige behov og prioriteringer, og det blir fort vanskelig å velge hva som passer i ulike situasjoner. For innhenting av informasjon har det her hovedsakelig blitt brukt forskjellig faglitteratur, i tillegg til produktblader fra bransjen for mer konkret informasjon. For å kunne sammenligne bedre har vi valgt ut følgende faktorer å fokusere på:

- **Kjøleeffekt:** Først og fremst må man velge et system med passende kapasitet, uten å over- eller underdimensjonere. Man vil ha god kjøleytelse for små kostnader
- **Installasjon:** Hvor mye arbeid som kreves for å installere systemet og hvilke kostnader kan oppstå?
- **Plassbehov:** For mange tilfeller vil størrelsen være en viktig faktor. Tekniske rom har ofte minimalt med plass så det er kritisk å vite hvor mye plass et system med alle sine delkomponenter tar opp.
- **Drift og Vedlikehold:** I et sykehjem er det ofte vaktmester eller annet personale som har ansvar for drift og vedlikehold av teknisk utstyr, så det er viktig at man ikke er avhengig av eksternt personell for den daglige driften av systemet. For vedlikehold er det også viktig at aktuelt utstyr er lett tilgjengelig.
- **Tilgjengelighet:** Altså hvor tilgjengelig systemtypen er på markedet. Dette er viktig først og fremst med tanke på kjøp og installasjon men også for tilgang til nødvendig vedlikeholdsarbeid.
- **Andre egenskaper:** Noen systemer har flere egenskaper enn kun kjøling, som for eksempel en varmepumpe som kan levere både kjøle- og varmeeffekt.

For å bedre forklare prosessen brukes forenklete eksempler på hvordan en prosess kan se ut. Som forenkling neglisjeres blant annet fuktbidrag fra mennesker og temperaturendring forårsaket av vifter. Her er antatte tilstander:

Ønsket romtemperatur	25°C
Utetemperatur	27°C
Relativ luftfuktighet rom	30-70%
Relativ luftfuktighet ute	50%
Temperatur tilluften kjøles ned til	18°C

Tabell 2: Antatte tilstander for eksempler

Ifølge Sturla Ingebrigtsen (5) vil en luftfuktighet i området mellom 30-70% vær akseptabel for vanlige kontorbygg og boliger.

6.1 Kjølesystem/kuldeproduksjon

6.1.1 Varmepumpe

Kjøleeffekt

Varmepumper tilbyr et energieffektivt alternativ til andre kjølesystemer og klimaanlegg. De kan i dag, ifølge U.S Department of Energy, redusere strømbruken til enten oppvarming eller nedkjøling med opptil 50% sammenlignet med andre elektriske oppvarmings- og nedkjølingsutstyr. De kan også på grunn av at de beveger varme i stedet for å generere varme, gi tilsvarende romkondisjonering til så lite som en fjerdedel av kostnadene ved drift av konvensjonelle varme- eller kjølesystemer. De er forholdsvis dyre å kjøpe inn, men de lave driftskostnadene gjør at man sparer energi på lang sikt og samtidig fører til reduserte karbonutslipp (42).

Når det kommer til COP-faktoren for varmpumper, varierer den mellom 1,5 og 4 der ytelsen er avhengig av hvilket klima de er installert i. Det har blant annet blitt forsket på hvor raskt varmepumpen kan kjøle ned et hus.

Tilgjengelighet

God tilgjengelighet her i landet.

Installasjon og plassbehov

Installasjonsprosessen kan være krevende der den krever betydelig med arbeid i selve bygget og utenfor. Det må planlegges hvor varmepumpen skal plasseres i bygget i forhold til plassbehov og at penetrasjoner som må gjøres gjennom bygningskledningen. Kostnadene for standard montering er på mellom 5000 til 6000 kroner per varmepumpe, avhengig av hvor mye jobb som må gjøres og størrelsen på anlegget (45). De kan også være ganske vanskelige å installere på grunn av at man er avhengig av å forstå hvordan varme/kulde beveger seg, lokal geologi og generelt hvordan en varmepumpe fungerer, for at installasjonen skal foregå riktig. Dette gjelder spesielt varmepumper som benytter bergvarme til å dekke varme- og kjølebehovene i bygget.

Det vurderes nå i en del sykehjem å installere varmepumper som baserer seg på bergvarme. For kjøling, monteres det da et kjølebatteri i tilluftskanalen til ett eller flere ventilasjonsaggregater. Dette batteriet kan da brukes til å ta opp varm luft fra bygget på varme dager, slik at luften kan kjøles ned. Selve kostnaden på slik type installasjon ansees å være relativt liten (46).

Drift og vedlikehold

Varmepumpefunksjonen fungerer ved at den er fullstendig reversibel og kan gi kontroll over innneklimaet året rundt ved oppvarming om vinteren og avkjøling samt avfukting om sommeren. Den kan generere noe støy ved viftebruk, men er som regel ikke sjenerende nok til å være et problem. Dagens varmepumper støyer også nå mye mindre enn for noen år siden (47). En varmepumpe i rommet har som hensikt å kunne distribuere temperatur via luft i bevegelse. Dette kan virke særdeles behagelig for personer med luftveisproblemer. Det er ikke like optimalt med stillestående luft der støv ikke kan filtreres (47).

En varmepumpe trenger generelt mindre vedlikehold sammenlignet med andre klimaanlegg. På grunn av at støv og partikler samler seg i filteret burde filteret renses regelmessig. 1 til 2 ganger i måneden kan det være lurt å ta ut filteret for rensing med støvsuger. Det kan også forekomme at partikler setter seg fast inne i varmepumpen der man ikke kommer til. Følgene kan være bakterievekst og redusert luftstrøm, så det anbefales derfor service hvert andre år (47).

Varigheten til en varmepumpe avhenger av en del faktorer som område, vedlikehold og hvilken type varmepumpe det er. Normalt varer de 15 år, men kan også slites ut etter et tiår (48).

6.1.2 Tørrkjøler

Kjøleeffekt

En tørrkjøler vil i praksis fungere veldig likt som en vanlig varmepumpeprosess med lignende ytelse.

Tilgjengelighet

Tørrkjølere er godt brukt rundt her i landet, med flere leverandører.

Installasjon

Selve tørrkjøleren installeres utvendig, noe som er veldig gunstig for bygg der man har begrenset med plass. Systemet kan monteres på tak, vegg eller på bakkenivå, altså har man stor frihet med tanke på plassering.

Plassbehov

Tørrkjølere kommer i mange størrelser. For å distribuere kaldtvannet må en føre rør inn i bygget og fram til kjøleavgivere, altså må det gjøres plass til pumpe og eget rørsystem mellom tørrkjøleren og kjøleavgiveren.

Drift og vedlikehold

Systemet består av flere komponenter, men krever ikke særskilt mye vedlikehold. Siden en tørrkjøler er plassert utvendig så blir den utsatt vær og vind, altså vil det være behov for jevnlig renhold. Hvis det samler seg rusk og rask i viftene eller i gitteret vil det føre til redusert effekt eller muligens føre til stans av viftene.

Andre egenskaper

Muligheter for frikjøling ved lavere utetemperaturer og kan også brukes til oppvarming.

6.1.3 Jordvarmeveksler

Kjøleeffekt

Selve kjøleeffekten avhenger av klimasonen (global inndeling av klimaet etter geografisk breddegrad) og årsmiddeltemperaturen (gjennomsnittlig temperatur gjennom året) for området. Trondheimsområdet befinner seg i klimasone B med en årsmiddeltemperatur på rundt 5 °C (4). Anbefalt effektbelastning med varmepumpe, 60% effektdekning blir da på 30 W/m (50).

Kjøleeffekten til jordvarmevekslere vil også kunne avhenge av flere faktorer: Den ene er steinmassens varme/kjølepotensial som omhandler steinenes termiske og hydrogeologiske egenskaper. En annen faktor handler om temperaturforskjell mellom varmeoverføringsvæskens temperatur og omgivelsene rundt varmeveksleren (51).

Det er også verdt å nevne at jordvarmeveksler som nevnt er energibesparende ved at den lager energien ved å utnytte jordens geotermiske krefter.

Installasjon/tilgjengelighet

Installasjon krever høy kompetanse og forskjellige fagfelt. Området hvor dette skal implementeres må nøye kartlegges. Ikke alle entreprenører er kjent med jordvarmevekslere, så servicealternativene kan være nokså begrenset i det område man skal installere. (52)

Selv om driftskostnadene er lave, så er kostnadene for installasjon høye. Noen systemer kan koste opptil 30 000 amerikanske dollar, avhengig av størrelsen på tomten, jordforhold, systemkonfigurasjon og tilgjengelighet på stedet. Disse kostnadene kan bli enda høyere hvis installasjonsprosessen trenger enorme mengder graving og boring. (52)

Plassbehov

Jordvarmevekslere installeres i bakken noe som gjør at plassbehovet blir begrenset. De må også være ganske dype for å kunne være effektive samtidig som mye av landskapet der veksleren skal installeres blir forstyrret. (52)

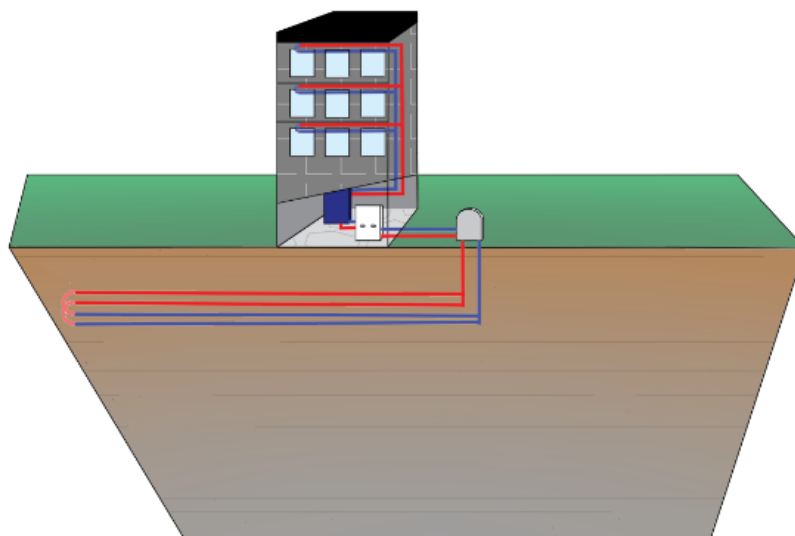
Drift og vedlikehold

En stor fordel ved bruk av jordvarmeveksler er at driftskostnadene er temmelig lave. Sammenlignet med hva man betaler for tradisjonelle klimaanlegg, vil man bare måtte betale en brøkdel så mye. En jordvarmeveksler er også et av de mest miljøvennlige alternativene som eksisterer akkurat nå, siden systemet bruker begrenset med elektrisk energi og utnytter i stedet geotermisk energi. (52)

På grunn av at systemet har lite bevegelige deler, og er også beskyttet mot utendørselementene, er det minimalt med vedlikehold som må gjøres.

Andre egenskaper

En kontorbygning i Weilheim, Tyskland etablerte en jordvarmeveksler for nedkjøling og oppvarming av bygget. Rørene ble satt 2,8 meter i bakken og var 90 meter lang med diameter på 0,35m. COP-faktoren ble beregnet utfra kjøling og oppvarming tilført til bygget i forhold til elektrisk energi tilført for å oppnå effekten. Undersøkelsen av dette anlegget viste at COP-faktoren var meget gunstig, men at kjøleeffekten ikke fullstendig klarte å senke temperaturen tilstrekkelig men dette kan skyldes begrensning i frisklufttilførsel av systemet kommer det fram i boken. COP-faktoren på kjøleanlegget var på 50,2 i 2001 og 34,7 i 2002. Det er viktig å påpeke at de største kostnadene kommer inn ved etablering. (20)



Figur 30: Figuren til høyre viser prinsippet bak jordvarmeveksler

6.1.4 adiabatisk kjøling

Kjøleeffekt

Kjøleeffekten varierer i forhold til situasjonen. Tilstanden på luften som blir hentet inn i bygget, avtrekkstemperaturen, befuktninggraden, ventilasjonsaggregatet og tilluftstemperaturen. På dager som er varme og fuktige vil effekten være mindre enn på dager der det er varmt og tørt. Dette betyr at løsningen er svært avhengig av det lokale klimaet.

Vannforbruket varierer med forskjellige driftsfaktorer. Prosjektingeniør og senioringeniør ved Sweco sier at vannforbruket til adiabatisk kjøling er begrenset i en artikkel til Nemitek (Norsk VVS Energi- og Miljøteknisk Forening). Her blir det lagt fram at et system som anvender 25 000 m³/h med luft bruker omtrent 0,02 l/s med vann til avkjøling, uten at de spesifiserer driftsfaktorer. De påpeker også at for rehabiliteringsprosjektet deres, forventer de omtrent 40m³ med vann per sesong. Systemet kan kreve betraktelig lite energi sammenlignet med tradisjonelle kompressor kjølesystemer. (14)

Installasjon

Installasjonen ved en slik løsning er relativ enkel i forhold til systemoppbygning, men problemet med adiabatisk kjøling er reguleringsmomentet. Dersom reguleringen ikke gjennomføres riktig kan man risikere høy luftfuktighet i bygget som kan skape ubehag for innemiljøet og bakteriell vekst kan

forekomme. Det er viktig at overskuddsvann blir håndtert riktig. I slike løsninger hvor vann blir benyttet i så stor grad er det viktig at tilstrekkelig legionella tiltak blir gjennomført. Det er også viktig at komponenter som pumpe, spjeld og filter tåler så høye variasjoner i luftfuktighet. Installasjonen krever altså tilførsel til store mengder rent vann. Dette kan være utfordrende i miljøer med begrenset vanntilførsel. (53)

Plassbehov

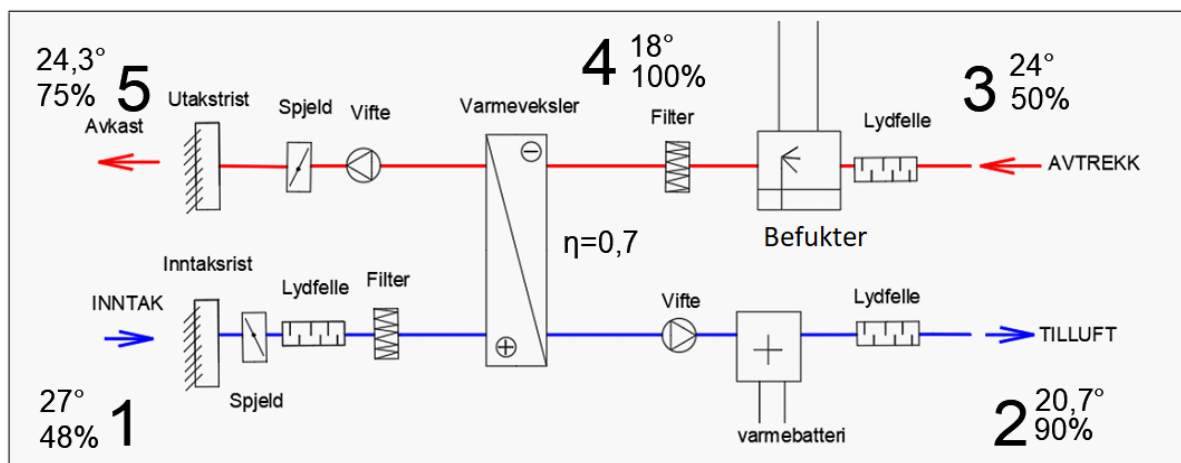
Tilsvarende som tradisjonelle ventilasjonsanlegg. Forskjellen er luftfukteren med vanntilførsel.

Drift og vedlikehold

Anlegget krever regelmessig vedlikehold for motvirkning av bakterievekst, legionella og slitasje.

Andre egenskaper

Figur 33 viser hvordan adiabatisk kjøling kan fungere i praksis ved ideelle tilstander. Beregningene for tilstandene er lagt til under vedlegg for adiabatisk kjøling.



Figur 31: Viser prinsippkisse av adiabatisk kjøling

Se vedlegg 6 for prosessen beskrevet i molliers diagram

6.1.5 Sorptiv kjøling

Kjøleeffekt

Fordelen med sorptiv kjøling er at lufttørkeren gjør løsningen brukbar selv ved høy utvendig luftfuktighet. For sorptiv kjøling må en tilføre varme for å drive lufttørkeren. Systemet i seg selv er ikke veldig energieffektivt. Ifølge en analyse av sorptiv kjøling i industri og kontorbygninger utført av Emma Claesson har et sorptivt kjøleanlegg fra Munters AB en COP-faktor på ca 0,67 (54). Altså kreves det mer varme enn kjøleeffekten man får ut. I tillegg trengs det store mengder vann til å drifte befukterne.

Noe som gjør sorptiv kjøling aktuelt er at man har flere alternativer for valg av varmekilde, så lenge man får levert vann med tilstrekkelig høy temperatur:

- Fjernvarme

- Varmepumpe
- El-kjel
- Soltak

Selvsagt kan man bruke en kombinasjon av flere alternativ.

Se vedlegg 7 for driftseksempel og prosessen beskrevet i et Molliers diagram.

Tilgjengelighet

Sorptiv kjøling begynner først nå å bli tatt i bruk her i landet. Teknologien er ikke ny på noen måte, den er regelmessig brukt blant annet i Sverige. Altså er det påvist at metoden vil fungere bra i et norsk klima. Ifølge NemiTek (55) så var Fortum Oslo Varme først ute med å utnytte sorptiv kjøling i Norge, for noen år siden installerte de kjøleanlegget i et av sine egne bygg for noen år siden.

Installasjon

Siden denne typen kjøling er integrert i ventilasjonsaggregatet så vil det enkleste være å montere de ekstra modulene ved installasjon av et nytt aggregat, med mindre man har plass til å utvide et eksisterende aggregat. I tillegg er sorptiv kjøling mest aktuelt når en har tilgang til fjernvarme, så om en ikke allerede har det så må man installere en fjernvarmesentral.

Plassbehov

De ekstra modulene er plasskrevende, så et ventilasjonsanlegg med sorptiv kjøling vil kreve mer plass i lengde og høyde. Om man allerede har en fjernvarmesentral installert og man har plass til det ekstra store ventilasjonsaggregatet så er dette en veldig lite plasskrevende løsning.

Drift og vedlikehold

Siden denne typen kjøling er avhengig av å få tørket luften godt nok før befukteren så vil ytelse og kapasitet variere med endringer i luftfuktigheten utvendig. Høyere luftfuktighet krever høyere pådrag fra varmebatteriet.

Modulene er lett tilgjengelige i teknisk rom ved eventuelle behov for vedlikehold. Modulene er lett tilgjengelige i teknisk rom ved eventuelle behov for vedlikehold. Ifølge Arbeidstilsynets Veiledning nr. 444 (34) beskrives det at luftfuktere krever jevnlig renhold.

Andre egenskaper

Godt egnet for bygninger som krever særskilt krav til luftfuktighet, som for eksempel museer, konsertsaler, trykkerier og biblioteker. Om vinteren kan en fortsatt utnytte luftfukteren, og lufttørkeren kan anvendes som en varmegjenvinner for å forbedre gjenvinningsgraden om vinteren.

I tillegg så fører fraværet av kompressor og vifter til at en slipper støyproblematikk.

6.1.6 Absorpsjonskjøling

Kjøleeffekt

Absorpsjonskjølere kommer i størrelsesordenen fra 5 til 20 000Kw. Systemet kan levere høy effekt og flere leverandører i Europa lager systemer med spesialisert rekkevidde på 10Kw til 50Kw. COP-Faktoren til absorpsjonssystemer er relativt lave med tanke på tradisjonelle kompressorkjølemaskiner som har rundt 4,0 i COP. Dette betyr at dersom absorpsjonskjølemaskiner skal være gunstige må varmeprisen være under 1/6 av elektrisitetsprisen altså må absorpsjonsanlegget driftes på nærmest gratis varmetilførsel. (20)

Tilgjengelighet

Absorpsjonskjølere blir ikke ofte benyttet som kjølesystem fordi det krever mye tilrettelegging. Det kan vurderes dersom man har et høyt kjølebehov, varmetilførsel og kuldetilførsel som f.eks sjøvann tilgjengelig. Det blir ofte benyttet i hvor det kreves store mengder med kjøling som en sentral.

Installasjon

Absorpsjonssystem kommer i forskjellige design. Systemet har svært mange komponenter og instrumenter. Systemet krever tilførsel av varmtvann eller damp. Installasjonen er meget omfattende.

Plassbehov

Systemet tar mye plass, noe som skaper utfordringer i forhold til plassering. Det krever et meget stort areal med tilførsel av varmtvann eller damp samtidig kjøletårn eller lignende.

Andre egenskaper

Vakuemet i maskinen må være veldig godt konstruert ettersom vanndamp har veldig høyt spesifikt volum, dette fører til økte kostander for konstruksjon. Kompleksiteten til systemet gjør driftig av systemet til en utfordring. Denne type system er bedre egnet for et bygg som krever kjøling året rundt ettersom investering i anlegget er veldig omfattende.

6.1.7 Fjernkjøling

Fjernkjøling er i likhet med fjernvarme veldig energieffektivt da mange brukere anvender samme kjølenettverk og energien trengs bare å pumpes fram til brukerens fjernkjølesentral. Altså er det også kun aktuelt om det allerede er etablert eller det finnes flere interessenter i området. For brukeren må en da installere en abonnentsentral der en overfører varme fra eget nett til fjernkjølingsnett, som ikke krever veldig mye plass.

6.1.8 Oppsummering

System	Positive sider	Negative sider
Tørrkjøler	<ul style="list-style-type: none"> • Monteres utvendig • Lett å drifte og vedlikeholde • Kan levere frikjøling 	<ul style="list-style-type: none"> • Krever sirkulasjonsledning for isvann • Bruker glykol • Kan være synlig og sjenerende
Varmepumpe	<ul style="list-style-type: none"> • Veldig energieffektiv • Fleksibel • Fullstendig reversibel • Sparer penger på sikt • Lite vedlikehold 	<ul style="list-style-type: none"> • Krevende installasjon • Kan generere noe støy • Høye investeringskostnader
adiabatisk kjøling	<ul style="list-style-type: none"> • Miljøvennlig • Krever mindre inngrep på ventilasjonsaggregatet enn for eksempel sorptiv kjøling 	<ul style="list-style-type: none"> • Krever mye vann i forhold til andre kjølesystemer • Begrenset kjøleeffekt i forhold til klima
Sorptiv kjøling	<ul style="list-style-type: none"> • Kan utnytte varme fra mange forskjellige varmekilder • Mulighet for bruk av fjernvarme • Miljøvennlig • God kontroll over luftfuktighet • Minimalt med støy 	<ul style="list-style-type: none"> • Nytt på markedet i Norge • Krever større ventilasjonsaggregat • Krever mye vann • Ytelse og kapasitet varierer med utvendig luftfuktighet
Absorpsjonskjøling	<ul style="list-style-type: none"> • Høy kjøleeffekt • Kan utnytter fjernvarme om sommeren • Trenger ikke kompressor • Bare pumper som krever arbeid i prosessen 	<ul style="list-style-type: none"> • Krevende installasjon mange komponenter • Krever tilførsel av varmtvann • Krever kaldt reservoar • Krevende drift og vedlikehold • Trenger mye plass
Jordvarmeveksler	<ul style="list-style-type: none"> • Driftkostnadene er temmelig lave • Ikke nødvendig å installere massiv utendørsenhet for kjøling/oppvarming • Minimalt med vedlikehold • Krever ikke tilført energi 	<ul style="list-style-type: none"> • Dyr installasjon • Begrenset med servicealternativer • Plassbehovet er begrenset i forhold til ønsket effekt
Fjernkjøling	<ul style="list-style-type: none"> • God kjølefaktor • Miljøvennlig 	<ul style="list-style-type: none"> • Krever omfattende infrastruktur • Er kun aktuelt hvis det er flere interessenter i samme område

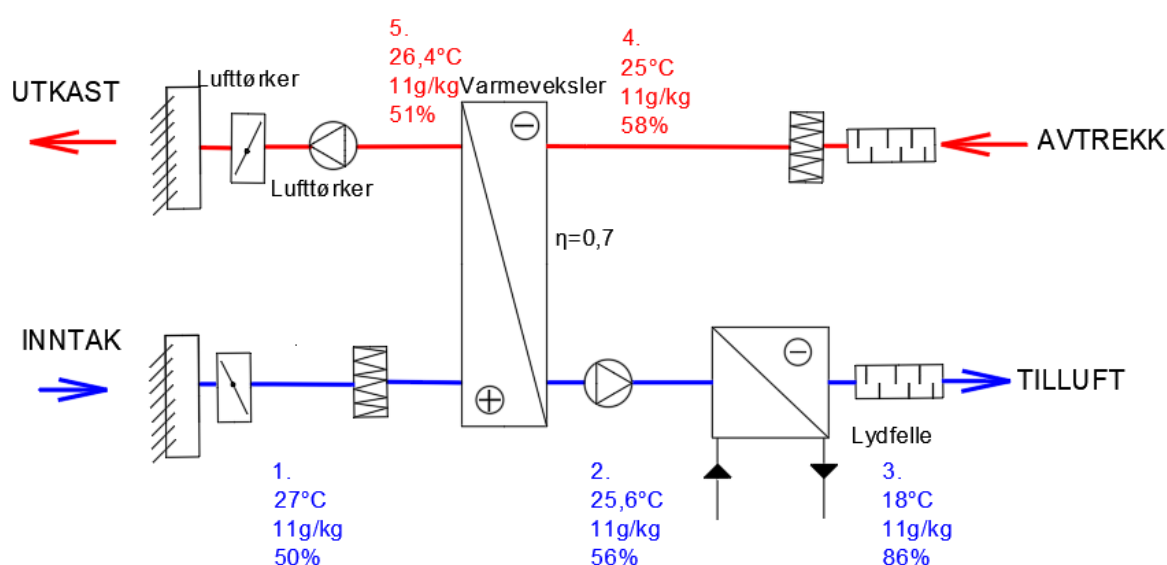
Tabell 3: Oppsummering av Kjølesystem/kuldeproduksjon

6.2 Kjøleavgivere og distribusjon

6.2.1 Sentralisert ventilasjonskjøling med kjølebatteri

Kjøleeffekt

Det må legges til rette for drenering av vannet som blir utfelt ved kjølebatteriet, når varmevekslingen oppstår mellom luften og batteriet. Ventilasjonskjøling egner seg godt i store sykehjem med vedvarende varmemproblematikk. Dette er fordi kjølingen blir distribuert gjennom et allerede eksisterende kanalnett. Problemet med å integrere løsningen i eksisterende bygg er altså behovet for plass. Løsningen medfører høye kostnader ettersom store inngrep i bygningsstrukturen potensielt må til. Ventilasjonskjøling avgir stor kjøleeffekt, så før investeringen i et slik kjøleanlegg bør man reflektere hvorvidt det er nødvendig i forhold til kjølebehovsberegningene, i forhold til tid og behov. Sentral mekanisk kjøling egner seg altså best til store bygg med eksisterende kanalnett og langvarig nedkjølingsproblematikk, dette fordi kjøle anlegget kan være bortkastet dersom kjølebehovet kun oppstår i korte perioder.



Figur 32: viser et forenklet systemskjema for sentralisert ventilasjonskjøling.

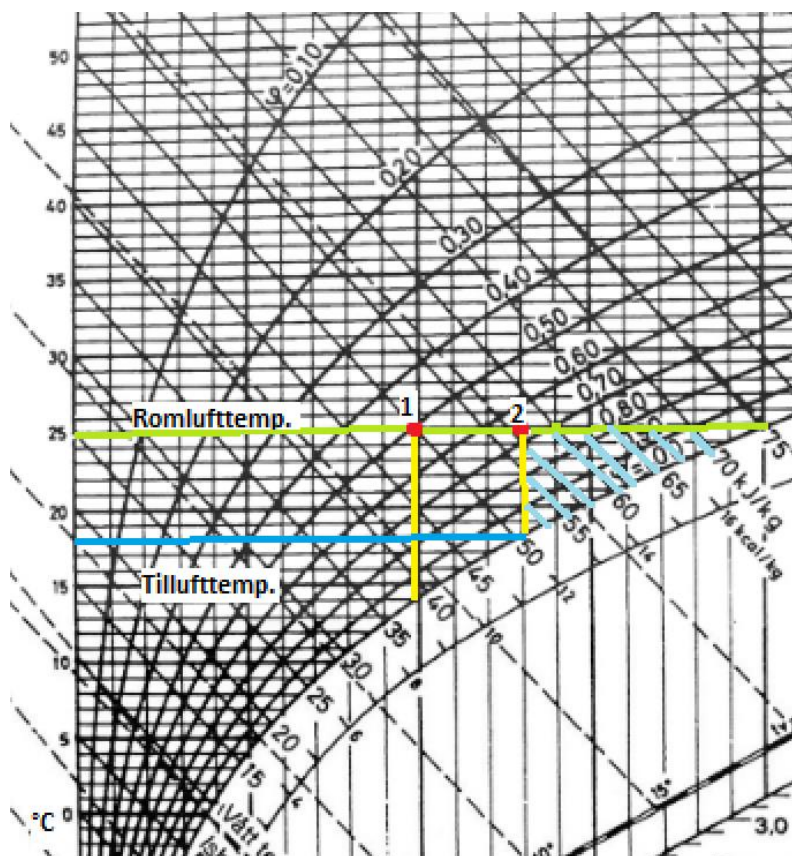
Se vedlegg 4 for beskrivelse av prosessen i molliers diagram.

Drift og vedlikehold

Drift og vedlikehold er situasjonsbestemt utifra oppbygningen av anlegget. Størrelse innvirker i stor grad her på hvordan bygget blir driftet. Vedlikehold er vesentlig for sykehjem. Det kan blant annet samle seg store mengder støv kan samle seg i kanalnettet. Drift av anlegget bør være relativt rett fram. Distribusjonssystemet innvirker også i stor grad her på effekten av anlegget. Dersom effekten faller i nettet, kan dette føre til en lavere virkningsgrad.

Kondens

Kondens kommer til å oppstå i større eller mindre grad i sentral ventilasjonskjøling. Dette er fordi temperaturen på luften blir konstant endret. Første stedet hvor kondens kommer til å oppstå er mellom kjølebatteriet og ventilasjonsluften i ventilasjonsaggregatet. Videre er det fare for kondensproblematikk gjennom kanalnettet. Kondenseringen er uønsket ettersom store mengder vann kan felles ut. Dette vannet kan medføre vannskader og eventuelt bakterievekst/soppvekst, noe som er veldig kritisk i sykehjem.



Figur 33: Viser prosessforløpet fra sentral ventilasjonskjøling i molliers diagram.

I eksempel 1 vil det oppstå kondens på flater med temperaturer under 14°C, så her unngår man kondens på selve kanalnettet. Hvis en i dette tilfellet har kanaler uten isolasjon, altså temperaturen på utsiden av kanalen nærmer seg 18°C, så vil man først få kondensasjon ved en relativ luftfuktighet på rundt 68%. Akseptabel luftfuktighet kan ligge opp mot 70% (eksempel 2), så ved varierende innvendige og utvendige forhold her i landet mener vi at det vil være et behov for isolasjon av ventilasjonskanaler brukt til kjøling for å unngå kondens og redusere tap av kulde.

6.3 Lokale kjøleavgivere og distribusjonssystemer

6.3.1 Kjølebafler

Kjøleeffekt

Pådraget kan justeres etter det individuelle behovet til rommet, ettersom baffelen ofte reguleres etter romtemperaturen (56). Størrelsen på baffelen vil ha en del å si når det kommer til å dekke kjølebehovet og hvor store kostandene blir. Jo større bygg, desto flere kjølebafler og dermed høyere pris totalt.

Installasjon

Monteres i tak helst med en fri høyde opptil 4.00 meter, enten fritthengende eller i himling. De er bygd opp av rør med lameller eller ribber som plasseres i en innbygning med åpning både under og over. Er ofte i lengder mellom 948 og 1548 millimeter og bredde mellom 576 og 640 millimeter avhengig av størrelsen på varmeveksleren (57). Krever også installasjon av isvannkurs.

Drift og vedlikehold

Ved drift er det en viss fare for kondens hvis ikke vann tilføres med temperatur over duggpunkt, med mindre man har god isolasjon. Det kan også oppstå problemer med følelse av trekk mot kroppen. Kombibaffler har noe begrenset kjølekapasitet i rom hvor det er veldig store varmelaster. De har også begrensninger når det kommer til friskluftmengde.

Enheten har ingen bevegelige deler og dermed lite behov for vedlikehold. En kjølebaffle monteres innvendig og er dermed ikke utsatt for vær og vind.

Andre egenskaper

Kjølebaffler kan også brukes til oppvarming. Det vil si at man kan tilføre varme om vinteren, og kjøling om sommeren.

6.2.3 Kjøletak

Kjøleeffekt

Avgir kjøling i stor grad ved stråling, der kjøleeffekten blir regulert etter temperaturen i rommet. Tilførselen av kjøling skjer her ved hjelp av et sirkulerende isvannsystem. Det er viktig at temperaturen på vannet er over duggpunkt-temperaturen slik at man unngår eventuelle problemer med kondens. Kjøletak brukes mye til romvis avkjøling av ikke-boligbygg som for eksempel kontorer og salgs- og utstillingslokaler (58).

Det sies at kjøletak er helt enestående når det kommer til god komfort og inn klima. Et kjøletak dekker for det første en relativ stor flate, derav i mange tilfeller ca 50% av himlingsflaten. Dette fører til at den akkumulerte nedkjølingen blir mye jevnere og større. Enkelt forklart, for å oppnå den kjøleeffekten som man ønsker, setter man bare sammen så mange plater som trengs. For det andre gir kjøletak en mindre middelstrålingstemperatur som gjør at følt temperatur i rommet ligger opptil 2 grader celsius under virkelig romtemperatur. Dette kan være med på å redusere kostnader (59). Kjøletak ansees likevel generelt som noe dyrere sammenlignet med kjølebaffle (59).

Installasjon

Monteres i himling og kan integreres i alle typer himlinger. De kan festes som vanlige takpanelplater som inneholder vannrør koblet i serie. Enkelt sagt funker taket da som gulvvarme, bare med kjøling i

stedet. Kjølesystemet integreres i takplatene hvor de blir usynlige og lydløse. En stor fordel er at man kan bruke mindre kjøleaggregater ettersom systemet er svært ressursbesparende. Dette er igjen på grunn av det inngående vannet kan holde opptil 16 grader i stedet for 7 som er vanlig med slik type kjøling (60). Krever som kjølebaffel, isvannskurs.

Drift og Vedlikehold

Kjøletak kjøler direkte uten bruk av vifte. Man unngår derfor at det samler seg opp masse støv og viftestøv, og er derfor veldig godt egnet i bygg der hygiene er spesielt viktig. Kjøletak vil ofte kunne gi en form for strålingstrekk mot hodet og øvre deler av kroppen. Dette er selvfølgelig avhengig av takhøyden. Ellers, er det lite behov for vedlikehold. Skulle man desinfisere overflater kan det enkelt gjøres ved å for eksempel spraye desinfeksjonsmiddel på panelene (61).

Andre egenskap

I likhet med kjølebafler kan også kjøletak benyttes til oppvarming så vel som avkjøling.

6.2.4 Fancoils

Kjøleeffekt

Fancoils har god kjølekapasitet og anvendes i lokaler det det er betydelig stor varmelast. Slike løsninger har lavt forbruk og er dermed energieffektive. De er på en annen side dyre og dermed kanskje uegnet i lokaler der man ikke trenger mye kjøling.

Installasjon

Installeres typisk opp under taket, men kan også installeres på vegg, innfelling i tak eller bak vegg/tak tilkoblet luftkanaler. De består av et kjøle-/varmebatteri med vifte og en styreenhet. Disse bli tilkoblet vannsystemer, og for å kjøle kreves det isvannskurs eller kuldemediekrets. Krever også kondensavløp. De finnes naturligvis i forskjellige størrelser, men tar normalt ikke nevneverdig stor plass. Estetisk sett stikker de heller ikke særlig ut, og flyter inn i de fleste innemiljøer (62).

Drift og vedlikehold

Ved drift kan Fancoils danne ganske stor luftomrøring, og dermed oppstår faren for trekk. I tillegg er det sannsynlig at de ofte bidrar til høyt lydnivå som kan dermed ha en negativ påvirkning for innemiljøet.

Når det kommer til vedlikehold, er det ikke mye som må gjøres, men den krever likevel vedlikehold. Det man må gjøre er å rengjøre filteret. Filteret skal da tas forsiktig ut og enten støvsuges med vanlig støvsuger, eller vaskes i lunket vann. Rengjøring av filteret skal skje regelmessig, minst en gang per måned. (63)

Andre egenskaper

Kan også brukes til oppvarming siden de kan tilføres kaldt vann i stedet for varmt vann. I Europa, der Fancoils er stort, brukes de for eksempel mer til oppvarming enn til kjøling.

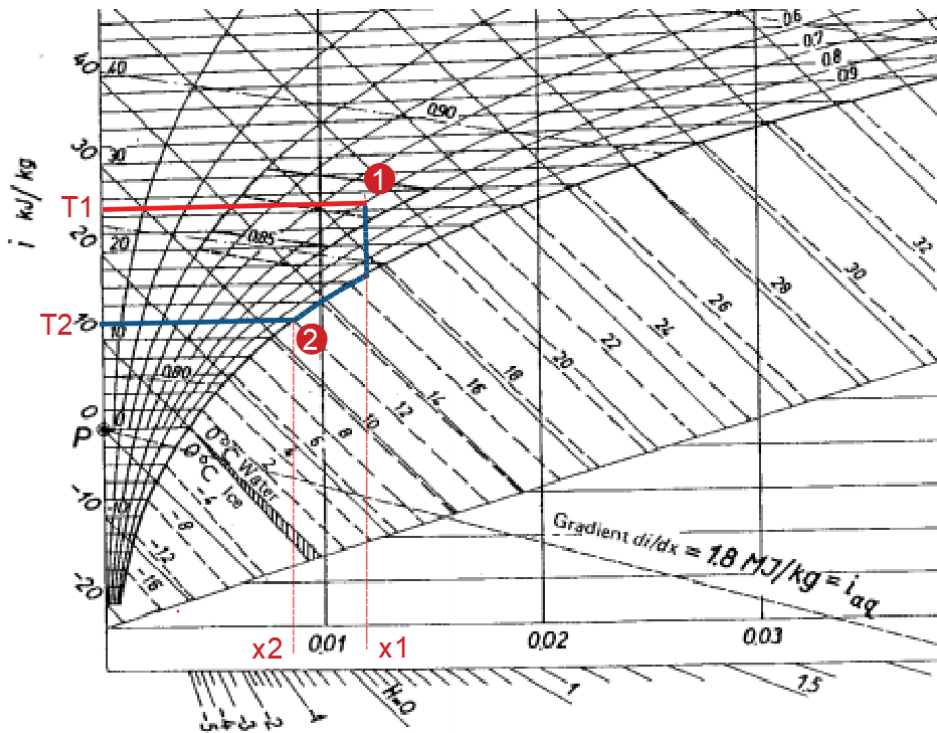
6.2.4 Korrosjon i forbindelse med rørrnett til isvannsanlegg

Bygg med kjøleanlegg er utsatt for korrosjon. Rør, kanalnett og flater generelt får temperaturforskjeller som kan forårsake kondensering som igjen kan skape korrosjon. Tiltak mot dette bør være tilstrekkelig isolering ettersom dette også gir mindre kuldetap og kondensering. Isolasjonen bør være så tykk at isolasjonens ytre ikke går over duggpunktstemperaturen for luften som går rundt røret eller kanalen. Dersom isolasjonen ikke er tilstrekkelig eller blir gjennomført korrekt kan dette medføre betraktelige kostnader. Dette er fordi eventuell vannmengde som penetrerer isolasjonen ikke forsvinner. Vannmengden skaper korrosjon som på langsikt kan skade materialet og virkningsgraden til anlegget.

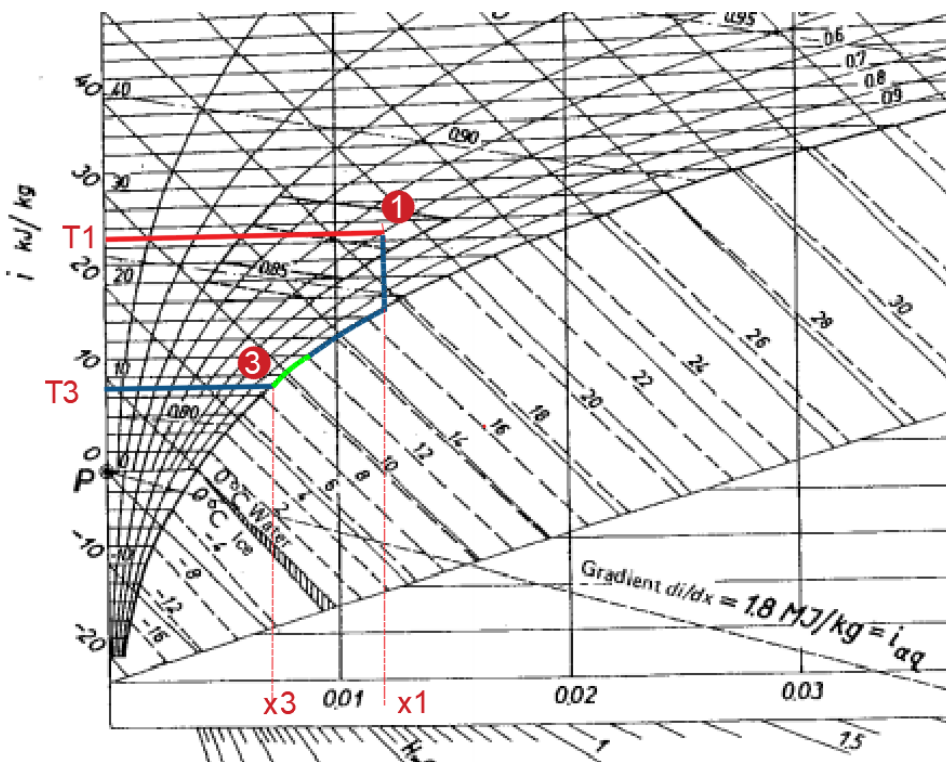
Gjennom en rapport fra Erichsen og Horgen om kjøleanlegg for isvann fra kommer det fram at det har til oppstått korrosjonsskader på deler av isvannsrørene som følge av kondensering på røroverflaten. Hvor alle de undersøkte anleggene hadde stålrør isolert med cellegummi. De fant ut at temperaturen til isvannet som ble benyttet i kjøleanlegget virket i stor grad inn på korrosjonsskader. Ved lave temperaturer ble det større sannsynlighet for korrosjon. Dette mener vi kan skyldes at faren for kondensering øker dersom temperaturdifferansen mellom luften rundt røret og på innsiden av røret øker. Dette kan påvises gjennom Molliers diagram ved at man sammenligner to ulike isvannstemperaturer med samme betingelser. I rapporten ble det benyttet 12 grader og 7 grader på isvannet. (68)

Case på hvordan korrosjon kan oppstå rundt rør uten isolasjon:

Dersom vi tenker oss at romtemperaturen i et tenkt rom er på 25 grader med relativ luftfuktighet på 60% kan vi framstille begge isvannstemperaturene i Molliers diagram for framstilling av eventuell utfelling av vann. T1 på figuren (x,x) er tilstanden i det tenkte rommet, T2 er tilstanden på isvannet ved temperatur 12 grader celsius, og T3 er temperaturen på isvannet ved 7 grader celsius. Når temperaturen T1 blir kjølt ned til temperatur T2 blir det en endring i absolutt luftfuktighet. Utfelling av vann oppstår dersom temperaturen faller under duggpunktet, og her ser vi at duggpunktstemperaturen ligger på omtrent 17 grader celsius. Dette betyr at når T1 temperaturen når 17 grader oppstår i dette ideelle tilfellet utfelling av vann, utfelling skjer mellom intervallet av absolutt luftfuktighet x_1 og x_2 ved metningslinjen. Ved figur (x,x) ser man resultatet av nedkjøling fra T1 til T3. Den grønne linjen på metningslinjen representerer forskjellen av absolutt luftfuktighet fra tilfellet med T2. Dette viser at endringen av jo lavere isvannstemperaturen er desto større blir sannsynligheten for utfelling av vann. Dette er betinget at nedkjølingen er ideell med konstante temperaturer.



Figur 34: Viser temperaturen T1 som romluftstemperaturen og T2 som rørtemperaturen i et mollier diagram. Dette for å framstille hva som skjer når inneluften møter utsiden av røret.



Figur 35: Viser temperaturen T1 som romluftstemperaturen og T3 som rørtemperaturen i et mollier diagram. Dette for å framstille hva som skjer når inneluften møter utsiden av røret.

Det er flere måter og hindre korrosjon på kjøleanlegget. Vi så nå på et tiltak hvordan temperaturen innvirker på isvannet innvirker på korrosjon på rør og diskuterte hvor viktig det er med tilstrekkelig

isolasjon. En annen del av regnestykket for å unngå korrosjon er betingelser for luften rundt røret eller kanalen. Høy relativ luftfuktighet rundt røret eller kanalen gjør at kondensering raskere oppstår. Dette kan også vises gjennom Molliers diagram, dersom relativ luftfuktighet på luften rundt røret i case hadde vært 30% ville det tilnærmet ikke oppstått kondensering under ideelle forhold.

6.2.5 Oppsummering av kjøleavgivere og distribusjonssystem

<i>System</i>	<i>Positive sider</i>	<i>Negative sider</i>
<i>Kjølebaffle</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Individuell regulering • Stor kjølekapasitet 	<ul style="list-style-type: none"> • Kreves isvannskurs • Fare for kondens • Kan forårsake luftbevegelse/trekk
<i>Kjøletak</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Individuell regulering • God komfort • God kjølekapasitet • Ikke behov for ekstra renhold 	<ul style="list-style-type: none"> • Noe dyrt sammenlignet med kjølebaffle • Kreves isvannskurs • Fare for kondens • Noe begrenset kjølekapasitet i rom med veldig stor varmelast
<i>Fan Coils</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Individuell regulering • Svært god kjølekapasitet 	<ul style="list-style-type: none"> • Stor luftomrøring/fare for trekk • Ofte høyt lydnivå • Krever isvannkurs/kuldemediekrets • Krever kondensavløp • Krever vedlikehold og rengjøring • Dyr, og uegnet i rom med lav kjølelast
<i>Sentralisert ventilasjonskjøling</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Høy kjølekapasitet • Kan benyttes til avfukting av luft • Benytter kjølebatteri som kan anvende mange forskjellige kuldeproduksjons metoder • Tilfører kjøling i hele bygget 	<ul style="list-style-type: none"> • Krever mye plass til kanalnett og teknisk rom • Ingen mulighet for individuell regulering ved CAV-ventilasjon • Begrenset mulighet for individuell regulering ved VAV-ventilasjon

Tabell 4: Oppsummering av fordeler og ulemper ved kjøleavgivere og distribusjonssystem

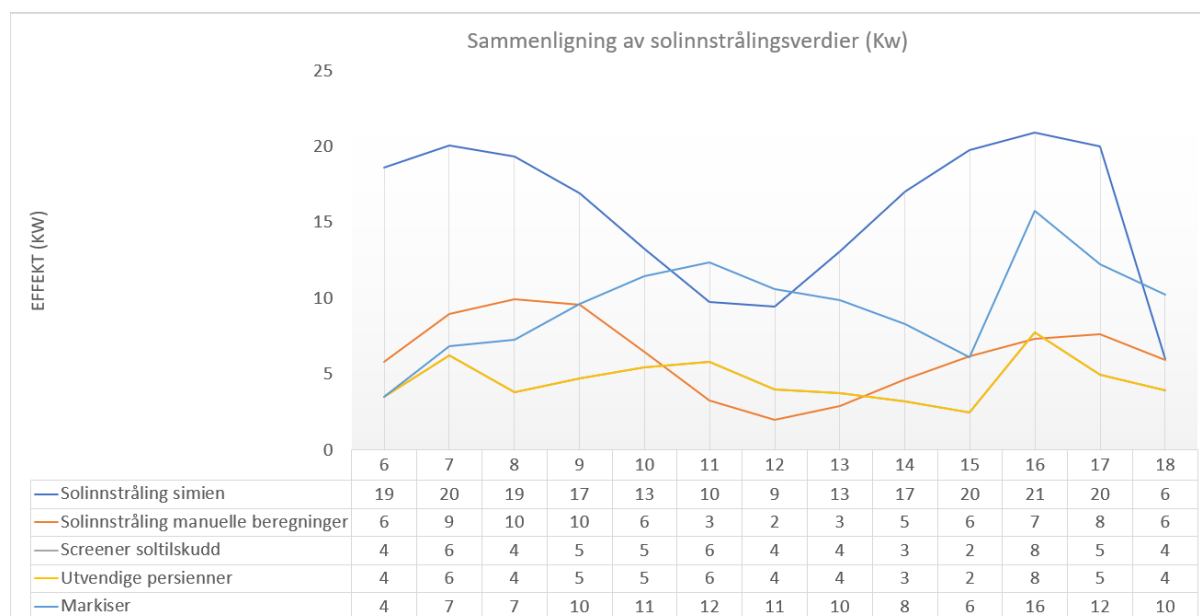
7 Case: EC Dahls Sykehjem

I denne delen vil vi ta for oss EC Dahls Sykehjem og komme forslag for hvordan man kan løse kjølebehovet. Løsningene vi framstiller vil kun være våre forslag til hvordan gjennomføringen kan gjøres.

7.1 Aktuelle tiltak for passiv kjøling

Ved behov for kjøling er det lurt å først vurdere om sykehjemmet kan skjermes bedre. Derfor anbefaler vi utvendig solskjerming i stedet for innvendig. Da er både markiser og persienner eller screener alle gode alternativer. Screener er de mest effektive, se figur 38, men også dyrere i pris. Markiser er noe billigere, men er som nevnt mer usatt for vær og vind, noe som kan føre til slitasje og ødeleggelser som kan komme til å medføre ekstra kostnader.

Figur 38 sammenligner solinnstrålingen for EC Dahls Sykehjem gjennom et døgn med ulike skjermingstyper:



Figur 36: Viser sammenligninger av solinnstrålingsverdier for ED Dahls Dykehjem. Legg merke til at utvendige persienner og utvendige screener har samme faktor for solinnstråling derfor overlapper kurvene hverandre.

7.2 Valg av tilluftstemperatur og nødvendig kjøleeffekt

Først og fremst tar vi for oss hvor stort kjølebehovet er ved bruk den dimensjonerende utetemperaturen som står beskrevet i kravspesifikasjonen for en ombygging av anlegget (2008). Der oppgis dimensjonerende utetemperatur som 22,5°C med en operativ temperatur på 25°C med variasjon på 4°C som blir settpunktet. Solinnstrålingsverdien som brukes er et gjennomsnitt av døgnverdien hentet fra Simien. Med disse verdiene får man ut et negativt tall, altså oppstår det ikke et kjølebehov med disse verdiene. Likevel oppleves inn klima om sommeren som varmt og ubehagelig, noe det kan være flere grunner til:

- Utetemperaturen på 22,5°C som ble brukt til dimensjonering kan være for lav. I Ventilasjonsteknikk Del 1 (35) oppgis 24,4°C som dimensjonerende utetemperatur for Trondheim.
- En operativ temperatur på 25°C med en variasjon på 4°C tillater temperaturer opp til 29°C i maksimalt ti dager. Dette mener vi er veldig høyt, og teorien forsterkes av både Arbeidstilsynet (59) og SN-NSPEK 3031:2020 (60) som begge anbefaler å holde innetemperaturen under 26°C om sommeren.

Vi regner ut kjølebehovet for flere ulike tilfeller med samme framgangsmåte som eksempelet i vedlegg 3. Så brukes det til å finne nødvendig tilluftstemperatur for å oppnå ønsket tilstand og den nødvendige kjøleeffekten man trenger for å kjøle ned uteluften tilstrekkelig. Eksempel på beregningen finnes i vedlegg 9. Benytter samme framgangsmåte som eksempelet i vedlegg 3 og 9 for alle situasjonene.

Beregninger med innvendige persienner						
Ønsket temperatur (°C)		29	26	26	24	24
Utetemperatur (°C)		22,5	24,4	26,4	24,4	26,4
Kjølebehov (kW)		0	14,08	55,01	55,01	69,53
Nødvendig tilluftstemperatur (°C)	-		23,79	17,38	15,38	13,11
Nødvendig kjøleeffekt (kW)	-		3,87	57,56	57,56	84,85

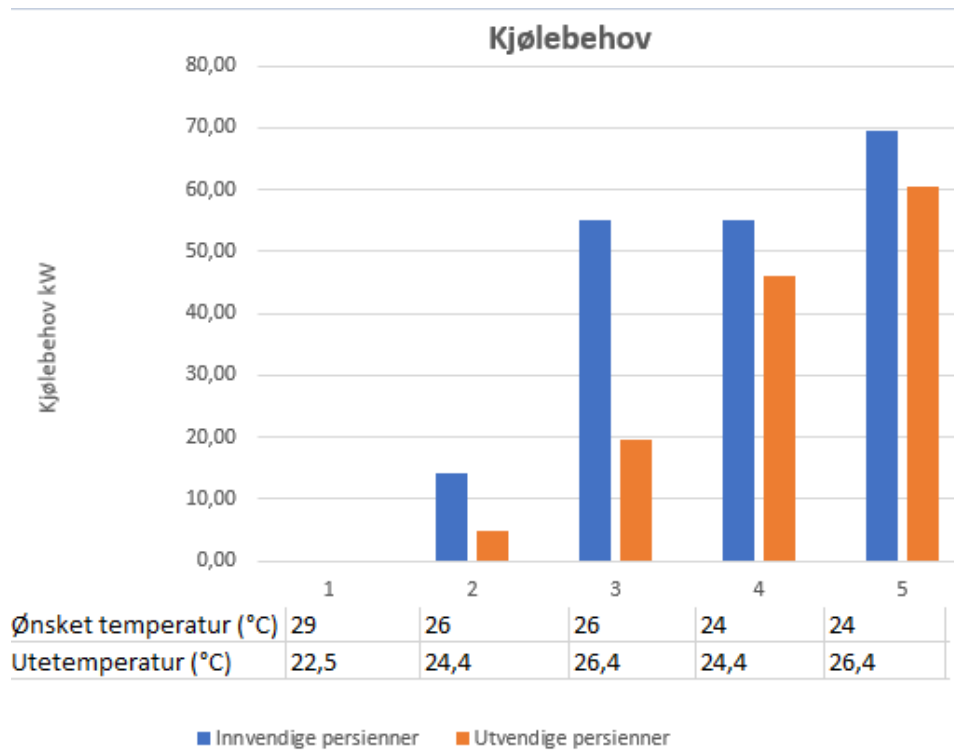
Tabell 5: Beregninger med innvendige persienner

I tabell 5 ser man at hvis en setter dimensjonerende utetemperatur til 24,4°C med maksimal innetemperatur på 26°C oppstår det et kjølebehov på ca. 14°C. I denne situasjonen er tilluftstemperaturen allerede lavere enn ønsket innetemperatur og man trenger kun en kjøleeffekt på 3,87kW. For å simulere situasjonen ved høyere temperaturer tar vi for oss samme situasjon, men med dimensjonerende utetemperatur på 26,4°C. Da ser man at verdiene skyter til værs, ved ønsket innetemperatur på for eksempel 26°C så trengs det en tilluftstemperatur på 17,38°C og en kjøleeffekt på 57,56kW for å oppnå dette.

Beregninger med utvendige persienner						
Ønsket temperatur (°C)		29	26	26	24	24
Utetemperatur (°C)		22,5	24,4	26,4	24,4	26,4
Kjølebehov (kW)	-		4,97	19,5	45,9	60,42
Nødvendig tilluftstemperatur (°C)	-		25,22	22,95	20,95	14,54
Nødvendig kjøleeffekt (kW)	-	-		22,05	22,05	75,74

Tabell 6: Beregninger med utvendige persienner

Tabell 6 viser de samme situasjonene, men med utvendige persienner. Her kommer det tydelig fram hvor stor påvirkning skjerming kan ha på det termiske inn klima, i tilfellet med dimensjonerende utetemperatur på 24,4°C og innetemperatur på 26°C får reduserer man kjølebehovet ned til en tredjedel av kjølebehovet med innvendige persienner. Det er verdt å merke seg at ved høyere temperaturer så blir innvirkningen av bedre skjerming mindre, da varmebidraget fra solinnstråling ikke påvirkes av høyere temperaturer. Figur 39 viser forskjellene i kjølebehovet i en graf.



Figur 37: Kjølebehovet ved forskjellige temperaturer

7.3.2 Betraktning av et enkelt soverom

Når vi betrakter hele bygget sier beregningene våre at behovet for kjøling er veldig lite med mindre vi tar for oss en høy utetemperatur. Dette stemmer ikke overens med det ansatte sa til oss om at det var plagsomt varmt, i tillegg til at vi selv mistenker at det å betrakte hele bygget som ett kan forårsake feil. Derfor bruker vi samme metode for å betrakte et enkelt rom på 13,9m² og en maksimal romtemperatur på 26°C. Alle enkeltrommene er like store, og dobbeltrommene har ca. dobbelt gulv og vindusareal.

Innvendige persiener			
Utetemperatur (°C)	Maks Romtemp. (°C)	Kjølebehov (kW)	Tilluftstemp. (°C)
22,5	25,89	0	19,75
24,4	27,89	0,35	15,88
26,4	29,89	0,48	11,71

Utvendige persiener			
Utetemperatur (°C)	Maks romtemp. (°C)	Kjølebehov (kW)	Tilluftstemp (°C)
22,5	23,01	0 -	
24,4	24,91	0,05	24,51
26,4	26,91	0,19	20,35

Tabell 7: Beregninger av kjølebehovet i et enkelt soverom

Ved 24,4°C ute havner maksimal romtemperatur for et døgn på 27,89°C med innvendige persiener, som overstiger en maksimal temperatur på 26°C. Beregningene har som nevnt i metoden litt forskjellige utgangspunkt, men det er tydelig at den nødvendige tilluftstemperaturen er betydelig lavere når en betrakter et enkelt rom. Med innvendige persiener og dimensjonerende utetemperatur på 24,4°C trengs en tilluftstemperatur på 15,88°C, som vi mener kan forårsake trekk for beboeren og mulig kondens i kanalnettet.

Med forbedret skjerming havner maksimal romtemperatur på 24,91°C, som er et godt nivå å ligge på. Alle beboerne har rom med vindu på øst eller vest-fasaden, så vi regner med at disse rommene har størst kjølebehov

Vi regnet på dette mot slutten av skrivingen så dette er ikke tatt med i vurderingen i resten av caset.

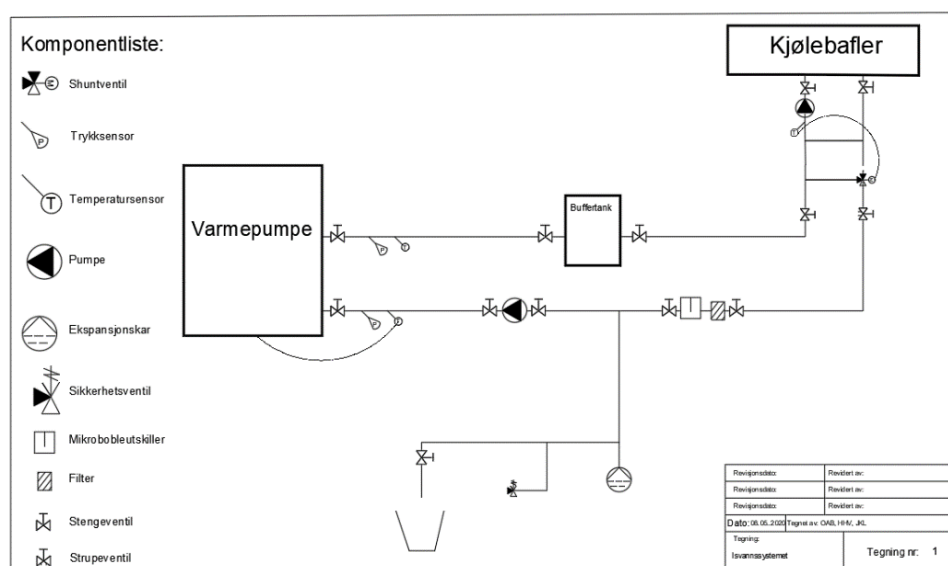
7.4.1 Lokal kjøling med varmepumpe som energikilde

Det er vanlig å dimensjonere kjøleabfler med turtemperatur 14 og returtemperatur 17. (8) Dimensjonering av lokalkjøling bestemmes fra antall komponenter som krever tilførsel av isvann og effekten hver enhet benytter.

Figur 40 viser hvordan man kan prinsipielt bygge opp et isvannsystem med sentrale komponenter. I figuren er det satt inn varmepumpe som energikilde og kjøleabfler som kjøleavgiver. Vi har valgt svenskekobling som oppkobling mellom varmepumpen og kjøleabflene. Dette er fordi shuntventilen plasseres i relativ stor avstand fra kjøleabflene ved EC dahls. Årsaken til dette er at den sirkulære væskemengde er større i sekundærkretsen enn i primærkretsen og det oppstår lavt temperaturfall i sekundærkretsen. Samtidig benyttes denne koblingen ofte ved varmesystemer hvor reguleringsobjektene er langt fra reguleringsventilen. Det var også vanskelig å finne relevant teori om ulemper eller fordeler for oppkobling av kjølesystemer. Det er mange likheter mellom systemene, men kjøleanlegg benytter helt andre temperaturer noe som kan innvirke på hvordan anlegget bør reguleres.

Vi mener det er viktig å påpeke tregheten til systemet. Dersom shuntventilen plasseres langt fra forbrukerstendene oppstår problemet at man får en treghet til temperaturen som skal reguleres, men ettersom temperaturnivåene er relativt små bør ikke dette være et problem.

Norskekobling og svenskekobling arbeider med konstant mengde i primær og sekundærkrets samtidig har begge fordelene at trykkforandring i sekundær og primærkrets ikke påvirker hverandre. Vi har her valgt temperaturregulering fordi det kan oppstå trykkvariasjoner pga. blant annet høydeforskjeller mellom kjøleabflene og mengden med kjøleabfler som skal dekke behovet. Trykkforskjellen kan skade pumper og forskjellige komponenter.



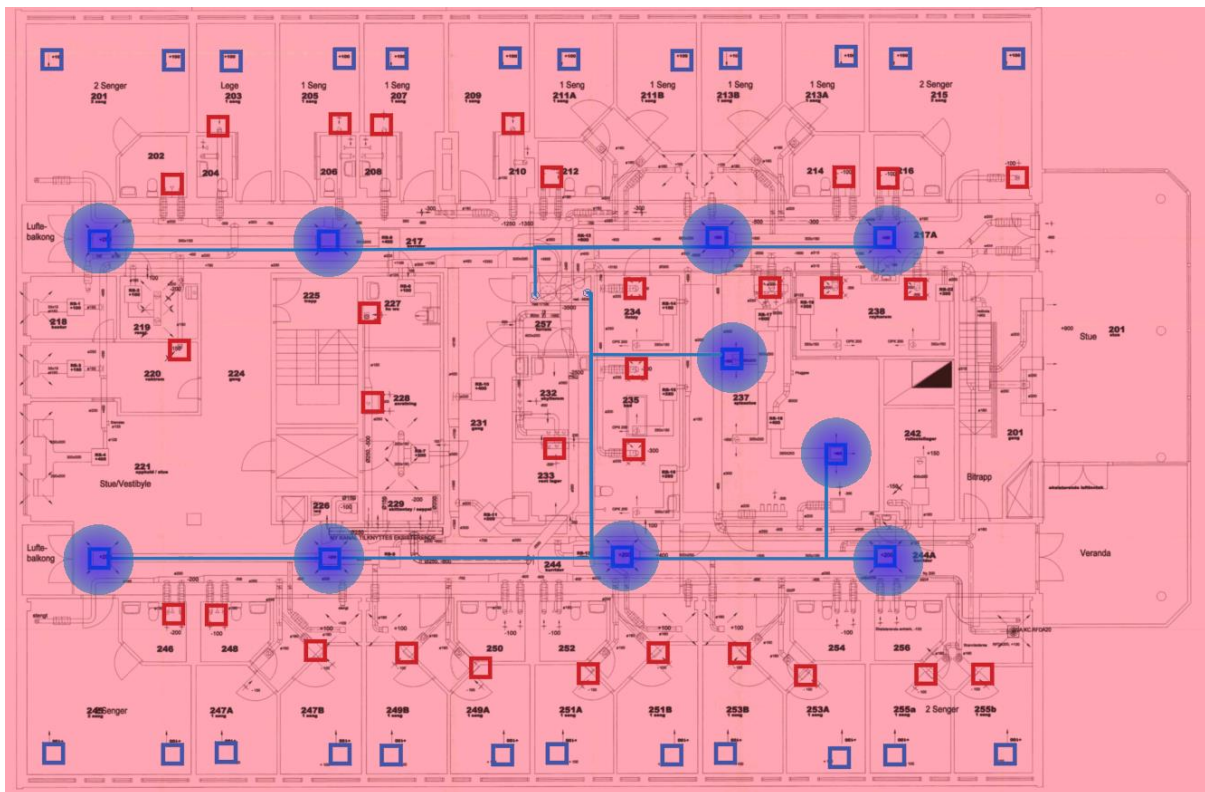
Figur 38: Viser forslag til systemskisse av kjøleanlegg.

7.4.2 Plassering av kjøleabfler

Hvis vi skulle brukt kjøleabfler for EC Dahls Sykehjem er vi begrenset til plasseringen av tilluftsentilene, men det må vurderes hvor mange som skal plasseres og hvordan de skal plasseres.

Sykehjem er i den situasjonen at det oppholder seg kontinuerlig mennesker i bygget. I forhold til plassering mener vi de mest utsatte stedene er viktig og få dekket. Grunnen til at vi ikke vurderer en løsning med kjølebafler ved alle tilluftsventiler, er kostanden som oppstår når så mange enheter blir etablert. Ideelt sett ville vi plasser en kjølebaffel ved tilluftsventilen for hvert soverom, men da trengs det for mange enheter, og luftmengden på 100m³/h kan begrense kjøleeffekten man får ut. Alternativet er å installere enheter i korridorer og ganger og satse på at temperaturen vil jevne seg ut i bygget.

Bilde av 2.etg (figur 41) med tilluftskanaler demonstrerer hvor mange enheter som ville blitt benyttet dersom det ble satt kjølebafler på alle tilluftsventiler. De blå linjene viser et tenkt rørnett for distribusjon av isvann.



Figur 41: Viser et forslag til hvordan aktive kjølebafler kunne blitt plassert ved Ec dahls sykehjem. De røde boksene indikerer avtrekksventiler og de blå boksene indikerer tilluftsventiler.

Vi tenker plasseringen av kjølebafler kan gjøres på to måter:

1. Individuelle kjølebehovsberegninger på hvert rom hvor det er ønsket med kjøling.
2. Benytte det totale kjølebehovet for bygget deretter sette opp ønsket antall enheter som leverer kjøleeffekt til hele bygget.

Måte 1 gir kjøling som dekker kjølebehovet i rommet, men ikke bygget. Måte 2 dekker kjølebehovet i bygget, men anlegget kan bli overdimensjonert. Begge måtene er vanskelig å regulere ettersom luftmengden og isvannstemperaturen er konstant der varmebelastningen varierer gjennom dagen.

Hvordan dimensjonere riktig kjøleeffekt?

1. Benytte høyest mulig verdi fra kjølebehovsberegningene
2. Gjennomsnitt av kjølebehovsberegningene
3. Benytte en verdi fra kjølebehovsberegningene som virker fornuftig basert på høyeste punkt og varigheten av høyeste toppunkt.

Ettersom verdiene varierer en del, kan alternativ 1 føre til overdimensjonert anlegg. Siden gjennomsnittet tar med verdier som er meget lav kan dette medføre at anlegget blir underdimensjonert og ønsket effekt ikke blir tilstrekkelig. Vi anser alternativ 3 som mest gunstig ettersom vi får verdien som ligger i midten av grafen. Vi har benyttet metode 3 fordi dimensjonerende effekt bør takle de høyeste verdiene. Så dersom vi valgte gjennomsnitt eller median av verdiene ville vi fått betydelig liten verdi.

Når man skal velge ut komponent gjør man vanligvis det basert på tilgjengelig leverandør og tilgjengelig produkt. Det er bedre å overdimensjonere enn å underdimensjonere, og når man først skal investere i et anlegg er det best å investere i et anlegg som i alle fall fungerer. Med innvendige persienner hvor vi ønsker utetemperatur på 26,4 grader og innetemperatur på 26 som øvre grense får vi et kjølebehov på 19,5kW, som gir et estimat på 22,5 kW i nødvendig kjøling fra kjøleapparat i hele bygget. Hver kjølebaffel må grovt hente ut omtrent 2,25kW per enhet i en etasje, dersom vi benytter 10 enheter. Figur 41 viser tenkt plassering av kjølebafler med rørsystem:

7.4.3 Refleksjon over tur- og returtemperatur til isvannsanlegg

Tur- og returtemperatur blir valgt ofte etter produksjon. Det er ifølge Zijdemans ganske vanlig å benytte 80/60 grader ved tur/retur på varmeanlegg og 14/17 ved lokalkjøling. Dersom vi sammenligner drivtrykket ved isvannsanlegg og varmeanlegg ved disse temperaturene ser vi at drivtrykket i varmeanlegg er betydelig høyere når begge anleggene har samme høydeforskjell. Dette indikerer at dimensjoneringen av isvannsanlegg ikke nødvendigvis bør gjøres på samme måte som varmeanlegg. Det indikerer også at varmeanlegg som driftes med 90/70 får omtrent 48Pa per meter høyere drivtrykk enn et isvannsanlegg som driftes med 12/17 temperatur.

Formel for drivtrykk:

$$\Delta p = g \cdot H \cdot (\rho_{T_1} - \rho_{T_2}) \quad [15]$$

Ved turtemperatur på 14 grader og returtemperatur på 17 grader

$$\Delta p = 9,81m/s \cdot 1m \cdot (998,74 - 992,2)kg/m^3 = 64 Pa \quad [15]$$

Ved turtemperatur på 40 grader og returtemperatur på 30 grader

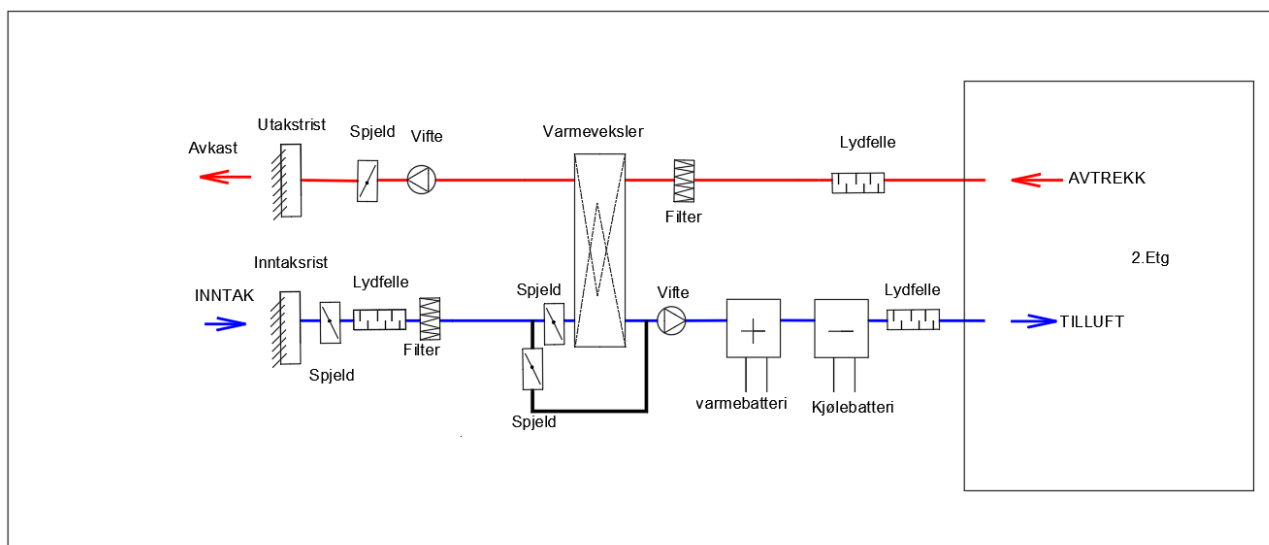
$$\Delta p = 9,81m/s \cdot 1m \cdot (995,67 - 992,25)kg/m^3 = 33.5 Pa \quad [15]$$

TEMPERATUR (°CELCIUS)	MASSETETTHET ρ <i>kg/m³</i>
14 (TURTEMPERATUR KJØLING)	992,2
17 (RETURTEMPERATUR KJØLING)	998,74
60 (RETURTEMPERATUR VARMEANLEGG F.EKS RADIATORER)	983,19
80 (TURTEMPERATUR VARMEANLEGG F.EKS RADIATORER)	971,76

Tabell 8: Massetettheten til forskjellige temperaturer

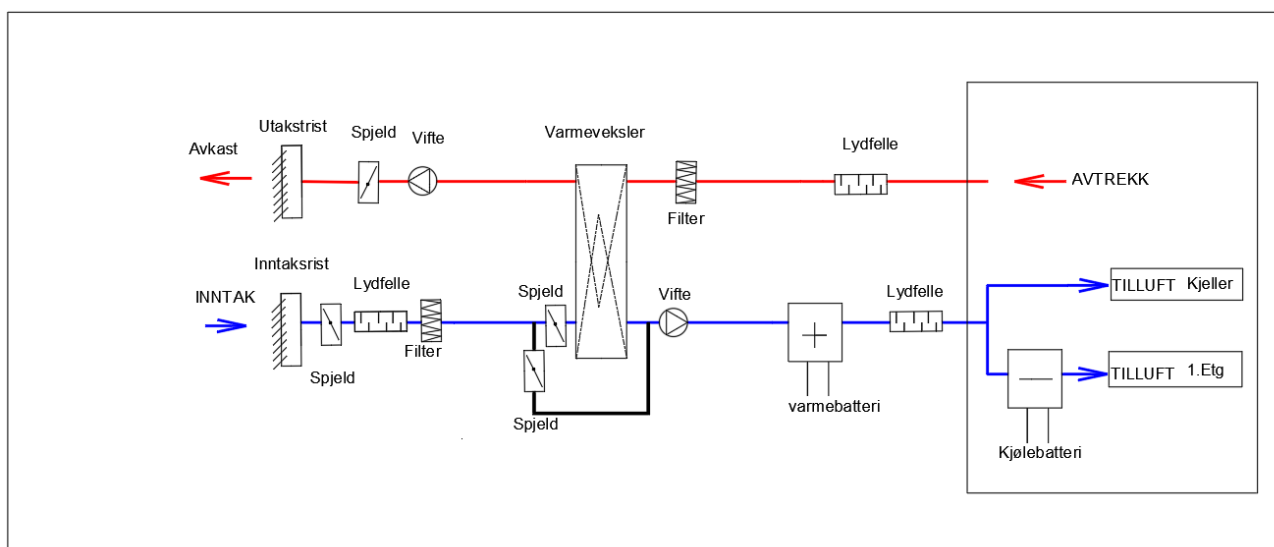
7.5 Sentralisert ventilasjonskjøling

Sykehjemmet har to ventilasjonsaggregat: ett for 2. etasje og ett for 1. etasje og kjeller. Her kan man altså utnytte samme energikilde for kuldeproduksjon, men ved bruk av kuldebatteri må man installere ett batteri for hvert aggregat. Ved bruk av evaporativ kjøling må det installeres en lufttørker og to befuktere per aggregat, som fort kan bli en kostbar installasjon.



Figur 39: Viser hvordan vi ville plassert kjølebatteriet i eksisterende aggregat ved Ec dahls sykehjem, 2. etasje.

Som man ser på figuren, har man et bypass som kan brukes på natta når det er lav nok utetemperatur. Da er det mulighet å tilføre kjøling i form av frikjøling, der kjølebatteriet ikke trenger å være i drift. Man slipper da ekstraforbruk til drift av kjølebatteriet og man får i stedet "gratis-kjøling". Vi har valgt å plassere kjølebatteriet etter varmebatteriet for å unngå at det oppstår frost i kjølebatteriet. For å unngå at varmebatteriet og kjølebatteriet går samtidig og motvirker hverandre må det sikres at de ikke kan gå samtidig, som kan gjøres for eksempel i SD-anlegget.



Figur 40: Viser hvordan vi ville plassert kjølebatteriet i eksisterende aggregat ved ED Dahls Sykehjem, 1. etasje, kjeller.

7.5.1 Tur- og returtemperatur for kjølebatteri

Varmebatteri blir ofte regulert med tur- og returtemperatur er på 30/40°C. Kjølebatteri blir ofte regulert med tur- og returtemperatur på 12/17°C. Dersom vi igjen benytter formelen for drivtrykk ser vi at kjølebatteri som blir driftet med 14/17°C får vi 31Pa per høydemeter drivtrykk med forbehold at vi kun ser på temperaturforholdene. Viktig å påpeke at anleggene har mange andre komponenter og faktorer som virker inn på trykket. Vi vil bare understreke hvordan driftstemperaturene innvirker på trykket i anlegget.

Trykket er viktig fordi det innvirker på prisen til anlegget. Prisen på alle varme- og kjøleanlegg baserer seg i større og mindre grad på trykkforhold i rørnett. Dersom du har høyt trykk i anlegget trenger du komponenter som kompenserer for dette. Temperaturen innvirker på trykket, men det også viktig å tenke på hvordan type effekt man får ut ved gitt temperaturer.

Som eksempel antar vi et kjølebehov på 30kW. Ved å benytte formelen kan vi fastslå nødvendig sirkulert vannmengde i et anlegg. Dersom vi benytter en effekt på kjølebatteriet på 30 Kw med tur- og returtemperatur på 12/17 får vi en sirkulert mengde på 1,43 l/s. Varmebatteri med 40/30 tur- og returtemperatur får en vannmengde på 0,71 l/s som utgjør en stor forskjell. Dette betyr at pumper ved isvannsanlegget på disse temperaturene må sirkulere omtrent dobbelt så stor mengde i systemet.

$$\dot{V} = \frac{\phi}{c_p \cdot \Delta T \cdot \rho} = \frac{30\,000\text{ W}}{4,2\text{ KJ}/(\text{Kg}\cdot\text{K}) \cdot (17-12) \cdot 995,74\text{ kg}/\text{m}^3} = 1,43\text{ l/s} \quad [6]$$

$$\dot{V} = \frac{\phi}{c_p \cdot \Delta T \cdot \rho} = \frac{30\,000\text{ W}}{4,2 \cdot (40-30) \cdot 993,95} = 0,71\text{ l/s}$$

Alle komponenter skal helst plasseres på retursiden av kjøleanlegget. Dette er fordi komponenter som er på tursiden av kjøleanlegget blir utsatt for lavere temperaturer noe som øker faren for kondensering ettersom komponentene må isoleres grundigere her. Dette framkommer i ventilasjonsboken VENTØK og korrosjonsproblematikken i rørnett tidligere i rapporten (23)

Ved turtemperatur på 14 grader og returtemperatur på 17 grader

$$\Delta p = 9,81\text{ m/s} \cdot 1\text{ m} \cdot (998,74 - 992,2)\text{ kg}/\text{m}^3 = 64\text{ Pa} \quad [15]$$

Ved turtemperatur på 40 grader og returtemperatur på 30 grader

$$\Delta p = 9,81\text{ m/s} \cdot 1\text{ m} \cdot (995,67 - 992,25)\text{ kg}/\text{m}^3 = 33,5\text{ Pa} \quad [15]$$

TEMPERATUR (°CELCIUS)	MASSETETHET ρ kg/m^3
14 (TURTEMPERATUR KJØLING)	992,2
17 (RETURTEMPERATUR KJØLING)	998,74
30 (RETURTEMPERATUR VARMEBATTERI)	995,67
40 (TURTEMPERATUR VARMEBATTERI)	992,25

Tabell 9: Massetetheten til forskjellige temperaturer

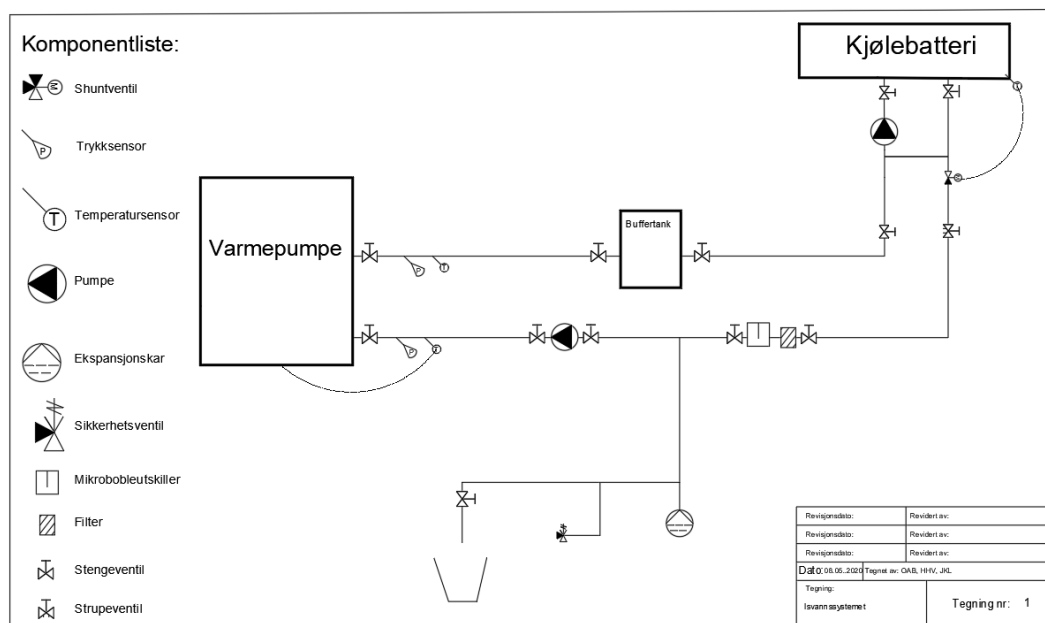
Vi ser på faren for frost som størst om vinteren når kjølebatteriet ikke blir driftet. For å unngå fare for frost på kjølebatteriet bør man installere frostvakt slik at systemet øker temperaturen. Dette kan gjøres ved at varmebatteriet og varmeveksleren settes i gang. Dette påpeker også viktigheten av å plassere varmebatteriet foran kjølebatteriet.

Dersom det er fare for frost i kanalnettet, kan vann-glykolblanding benyttes. Dette kan være et problem dersom det er stor avstand mellom kjølemaskinen og lokalt kjøleutstyr. Dette er ettersom svikt i rørnettet kan føre til forurensning av bygget med vannglykol og ikke bare vann.

Valg av plassering av komponenter til systemskissen ved lokal kjøling og ved sentral kjøling

Det har blitt valgt mengderegulering til kjølebatteriet etter anbefaling fra varmenormen og ventilasjonshåndboken VENTØK (23). Plassering av komponenter er lagt frem her i forhold til teori, men komponenter og utførelser trenger selvfølgelig plass i praksis. Vi legger vekt på at plassering av komponenter forandrer seg etter hva som er praktisk mulig. Lavere temperaturdifferanser gir større rørstørrelser som igjen må tenkes på når man skal gå inn på bygningsstrukturen. Ved figur 46 ser man teknisk rom ved EC Dahls Sykehjem hvor aggregatene befinner seg. Hvor det er begrenset plass i forhold til installasjon av store tekniske anlegg med hensyn på plass i taket.

Alle komponenter har vi valgt å plassere på retursiden av kjøleanlegget. Dette er fordi komponenter som er på tursiden av kjøleanlegget blir utsatt for lavere temperaturer noe som øker faren for kondensering. Dersom komponentene skal plasseres på tursiden bør de isoleres. Dette framkommer i ventilasjonsboken ventøk og korrosjonsproblematikken i rørnett tidligere i rapporten (23)



Figur 41: Viser forslag til løsning av kjøleanlegg med kjølebatteri. Løsningen er utarbeidet med prinsippet bak flest mulig komponenter på retursiden og gjennom anbefaling fra varmenormen.

7.3.1 Forslag for EC Dahls Sykehjem

Som det kommer fram i figur 39 så er kjølebehovet for EC Dahls Sykehjem lite store deler av sommeren. Dette gjelder til og med når vi tar utgangspunkt i den dimensjonerende temperaturen som ikke overskrides mer enn 20 timer i løpet av et år i gjennomsnitt.

Dette forteller oss et par ting:

- Beregningene baseres på middelveier og dimensjonerende verdier, så det tas ikke hensyn til de mest ekstreme verdiene. Beregningene våre med en middeltemperatur på 24,4°C og temperatursvingning på 12°C tilsier en temperaturopp på 30,4°C ute, så høyere temperaturer kan oppstå. Vanligvis skjer dette i kortere perioder, men hvis en får lange perioder med ekstreme utetemperaturer vil det være fysisk utfordrende for både ansatte og beboere.
- Kravene som ble brukt under rehabiliteringen av bygget i 2008 kan ha vært for milde. Det tillates temperaturer opp mot 29°C, som overskrider dagens krav til innetemperaturer om sommeren. Det samsvarer med informasjonen fra de ansatte om at innklimaet er dårlig om sommeren.
- Som nevnt er beregningene gjort for hele bygget så det vil oppstå variasjoner, for eksempel solutsatte rom kan få større temperaturer.

Som tabellen i figur 39 viser så kommer man veldig langt med å installere bedre skjerming, og vi vil generelt anbefale å undersøke gode skjermingstiltak før en vurderer et kjøleanlegg. For EC Dahls sykehjem derimot er det i virkeligheten en rekke tre på øst- og vestfasaden som vil skjerme veldig bra om sommeren, og reduksjonen i solinnstråling gjennom vindu fra bedre skjerming vil være minimal når mye av solinnstrålingen allerede er blokkert.

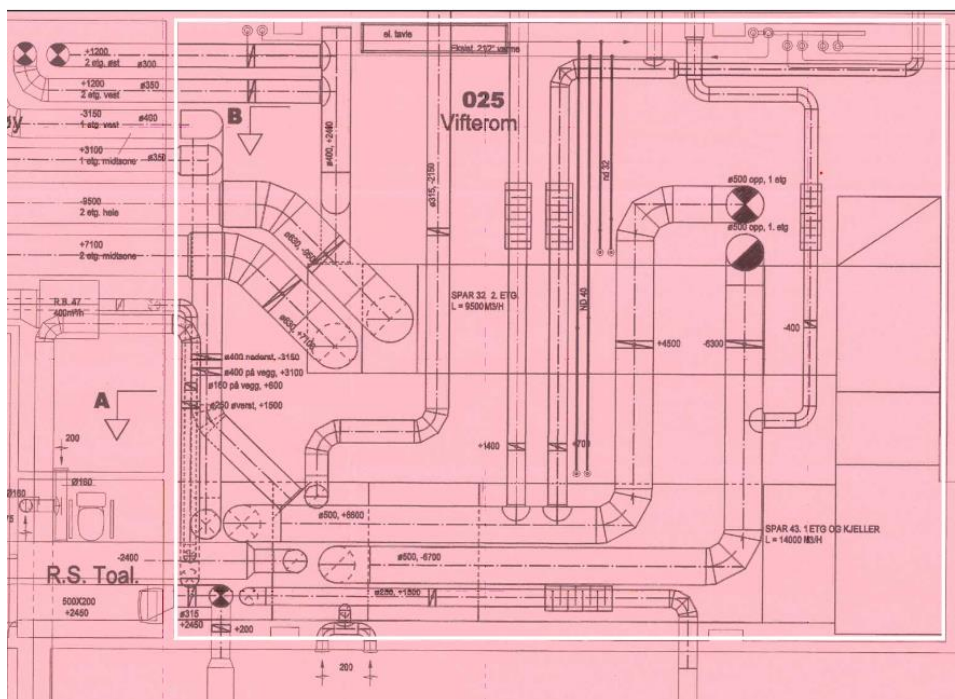
Selv om våre beregninger tilsier at kjølebehovet ikke er omfattende nok til at det trengs aktiv kjøling, så stemmer ikke nødvendigvis dette helt med realiteten. Personalet virket ikke å være fornøyd med innetemperaturen, så vi vil likevel se på noen kjølingsalternativer som kan være relevante;

Forslag:

Varmepumpe + sentral ventilasjonskjøling:

Varmepumper er generelt veldig energieffektive, og man har stor fleksibilitet i hvordan systemet skal utføres. En av grunnene til at få installerer kjøleanlegg er at perioden der det trengs er liten, så en varmepumpe vil være gunstig hvis man planlegger å bruke den til både kjøling og oppvarming, for eksempel oppvarming av tappevann. Det man da må ta hensyn til er at varmepumpen må ha mulighet til å veksle mellom disse to bruksområdene, i tillegg til at en må ta høyde for samtidighet. Dette burde ikke være et problem med mindre varmepumpen skal varme opp storparten av tappevannet samtidig som det oppstår et kjølebehov.

Med en jordvarmeveksler vil en få større investeringskostnad, men på lang sikt vil en spare det inn på billig energi. Det faktumet at sykehjemmet ligger inne i en park kan gjøre det problematisk med graving og arbeid i bakken, som vil kreves for en jordvarmeveksler. En tørrkjøler derimot kan for eksempel installeres på tak uten andre problemer enn at det kan se litt stygt ut fra nærliggende bygg. Da må et rørsystem installeres fra tak ned til et isvannssystem i teknisk rom som forsyner en kjøleavgiver. Figur 46 viser at det er begrenset med plass i taket på teknisk rom, så dette kan være problematisk.



Figur 42: Viser rørføringer på teknisk rom ved EC Dahls Dykehjem

Ventilasjonsanlegget bruker konstante luftmengder (CAV), altså vil det som nevnt tidligere bli levert faste luftmengder med i utgangspunktet lik temperatur, selv om temperaturen vil øke noe i kanalnettet. Likevel er ventilasjonskjøling et godt alternativ da man utnytter de eksisterende kanalene i bygget. Det er en liten fare for kondens på kanalene, ved romluft på 26°C og relativ luftfuktighet på 50% oppstår det kondens hvis overflatetemperaturen kommer under 15°C. Selv om det er unøyaktig så blir inneluften beskrevet som tørr.

7.3.2 Kommentarer til andre alternativ

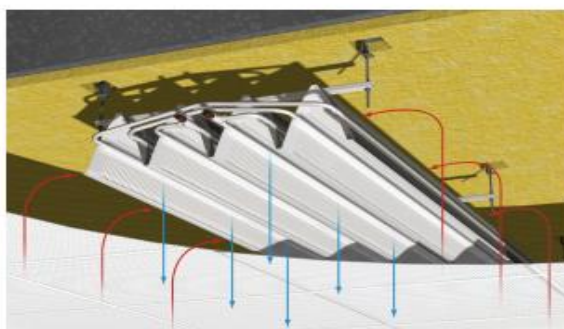
Varmepumpe er som kjent en etablert løsning som er godt kjent på markedet i Norge. Dette gir da bedre tilgjengelighet i form av installasjon og service. Dersom man skal etablere systemløsninger som sorptiv kjøling, adiabatisk kjøling eller absorpsjonskjøling, får man fort problemet med at det er et begrenset antall leverandører i Norge. Dette mener vi innvirker i stor grad på prisen, ettersom service- og installasjonskostnader vil kunne øke betraktelig. Med en gjennomsnittlig relativ luftfuktighet på 80%, vil også en løsning med adiabatisk kjøling være mindre effektiv, enn når det er tørt.

Lokale kjølere som kjølebafler, eller kjøletak kan være et alternativ. De kjøler lokalt og er godt egnet i rom der kjølebehovet er stort, men krever isvannkurs og dermed oppstår også faren for kondens. I tillegg kan lokale kjølere bli dyrt hvis det må installeres mange enheter. I EC Dahls Sykehjem sitt tilfelle ser vi på lokale kjølere som noe unødvendig, ettersom kjølebehovet ikke virker å være stort nok og man trenger mange kjølebafler for å få god spredning av kjøleeffekten.

Evaporative kjøleanlegg som adiabatisk og sorptiv kjøling kunne passet godt for sykehjemmet da vi fikk høre at inneluften opplevdes som tørr og disse øker vannmengden i tilluften. Det største problemet er at teknologien er veldig ny i Norge og må muligens importeres, og eventuell service vil være vanskeligere å anskaffe. I tillegg ligger den relative luftfuktigheten for Trondheim på rundt 80% om sommeren, så for adiabatisk kjøling der luften ikke tørkes så er den grense på hvor mye vann som kan tilsettes luftstrømmen før det felles ut vann og kjøleeffekten begrenses.

Til ettertanke: Smittefare

Vi mener passive kjølebafler kan være skadelig med hensyn på smittefare. Dette er fordi luften som blir tilført rommet først sirkulerer med lavere temperatur fra tilluftsventil, før det deretter blir varmet opp av varmebelastning slik at luften stiger til kjølebaflen og blir kjølt ned. Dette vil skape et luftstrømningsmønster som kan være et problem. Dette har blant annet blitt påvist i en restaurant i kina hvor flere ble smittet pga. retningen på luftkjølingsanlegget (65). Vi mener altså det er viktig å tenke på strømningsmønsteret når man etablerer et kjølesystem. Bilde under viser et system med passive kjølebafler hentet fra lindab.



Figur 43: Passiv kjølebaffel type Carat (66)

8 Case: Steinkjer Sykehjem

For Steinkjer ble det ikke beregnet noe kjølebehov som ved E.C Dahls. Vi vet derfor ikke hvor stort behovet for kjøling kan være, men vi vet gjennom samtaler med personalet og artikler på nett at

sykehjemmet har slitt med problematikken varmt innelima. Derfor forslår vi noen alternativer for kjøling også her.

Når det eventuelt kommer til å løse kjølebehovet til sykehjemmet på Steinkjer, kan det være gunstig å se på beliggenheten. Hjemmet ligger som kjent på Nordsileiret, ved sjøen. Det tenkes dermed at et alternativ kan være å benytte sjøvannet til fjernkjøling. Ser man på bilde under, er det ikke lange veien til sjøen, og man vil derfor kunne benytte korte sjøvannsledninger for distribusjon av nedkjølt vann.



Figur 44: Steinkjer sykehjem`s plassering i forhold til sjøen (67). Hentet fra Google maps.

Skal det etableres et fjernkjøleanlegg så avhenger det av at det er flere aktører som vil benytte seg av det. Kjøleeffekten kan tilføres bygget via en varmeveksler mellom fjernkjøleledningen og et vannbårent lukket sirkulasjonssystem i bygget. Dette sirkulasjonssystemet kan tilføre kjøling til for eksempel kjølebatteri, men også lokale kjøleenheter som kjølebaffler. Det er også en mulighet å ikke bruke varmeveksler, men dette vil kreve en annen utforming av anlegget mye grunnet forurensings- og korrosjonsproblemer i anlegget.

En annen ulempe i tillegg til kostnader er turtemperaturen. Siden den aldri vil være lavere enn temperaturen i sjøen, er det ikke sikkert det vil bidra til nok kjøling på varme sommerdager når kjølebehovet er stort, noe det har vært de siste somrene i Steinkjer. Derfor må man isåfall ha en annen kjølemaskin i tillegg som kan slå inn hvis turtemperaturen skulle være for høy.

Siden varmen for bygget forsynes gjennom et fjernvarmeanlegg, kan sorptiv kjøling være en annen god løsning.



Figur 45: Inngangspartiet til Steinkjer sykehjem med store vinduer fremhevet.

På solskjermingsfronten brukes det allerede utvendige screens på sørsiden, som er en veldig bra form for skjerming. Problemet lå i styringen som måtte betjenes for hvert rom og som ikke alltid fungerte slik den skulle. De andre fasadene var etter det vi kunne se, kun utstyrt med innvendige mørke gardiner. På grunn av mye solinnstråling både på østsiden og vestsiden, kunne solskjermingen vært forbedret her, ved å benytte utvendige screens rundt hele bygget. Med så store vinduer som på bildet over (figur 49), vil mye av solinnstrålingen komme inn og være med på å varme opp bygget. For å kunne fått kartlagt solskjermingen bedre flere steder i bygget, hadde vi nok hatt behov for en befaring til.

9 Avslutning

Gjennom arbeidet med oppgaven har vi oppdaget at man kan håndtere høye innetemperaturer på flere måter og at man kan få mye igjen for å gjøre godt forarbeid. Ved å kartlegge varmebidrag kan en finne ut hvor det kommer mest varme fra og så vurdere om det kan påvirkes. I noen tilfeller kan enkle inngrep gjennom passive tiltak begrense kjølebehovet tilstrekkelig. Den mest åpenbare faktoren som kan påvirkes er solinnstråling, som kan påvirkes på ulike måter. Ved EC Dahls Sykehjem har det blitt plantet høye tre som dekker øst- og vestfasaden og skjermer veldig godt. Der kjølebehovet er større, og man trenger et kjøleanlegg må man i første omgang finne en løsning med tilstrekkelig kapasitet og som passer for bygget og eksisterende tekniske anlegg. Kjøleanlegg kan utnytte mange ulike energikilder, for eksempel jordvarmevekslere som utnytter berggrunnens temperatur og evaporativ kjøling der vannets egenskaper utnyttes. Med godt forarbeid kan en finne skreddersydde løsninger som kan installeres og driftes effektivt med små kostnader.

Likevel kommer det tydelig fram at den korte perioden der det virkelig er nødvendig med kjøling gjør at gevinsten for investeringen er liten. Beregningene våre for EC Dahls Sykehjem viste at innetemperaturene ville være akseptable ved gjennomsnittlige værforhold, både med kravspesifikasjonen som ble brukt under rehabilitering og dagens krav. Vi forventet ikke at kjølebehovsberegningene våre skulle være veldig nøyaktige, men vi mistenker at avviket fra virkeligheten er stor siden de ansatte maler et annerledes bilde av situasjonen. I tillegg så vi at betraktning av et enkelt soverom viste til at rom med vindu hadde et større kjølebehov enn andre deler av bygget. I kravspesifikasjonen for rehabiliteringen av EC Dahls Sykehjem i 2008 tillates det som nevnt temperaturer opp til 29°C i inntil 10 dager, så det er åpenbart at det ikke ble installert kjøling. I dag ligger anbefalinger fra blant annet arbeidstilsynet på maks 26°C innvendig.

Altså, skal en ikke lenger tilbake i tid enn 12 år før veldig høye innetemperaturer var tillatt over en betydelig tidsperiode, og vi antar at mange andre sykehjem har blitt bygd med lignende krav. Det er opp til byggherren om det skal installeres kjøletiltak for å oppnå et mer komfortabelt inneklima. Som nevnt i innledningen kan høye innetemperaturer over lengre tid være helsefarlig, så vi mener at hvis man velger å installere kjøletiltak for å få et komfortabelt inneklima så er man bedre forberedt for en potensiell framtidig hetebølge.

10 Forslag til videre arbeid

I forbindelse med denne oppgaven er det en del som kan jobbes videre med og en del som kunne blitt gjort annerledes. Det ble blant annet brukt lang tid på å finne og beregne kjølebehov for E.C. Dahls sitt sykehjem. Beregningen for Steinkjer ble derfor noe nedprioritert. Av denne grunn kunne videre arbeid gått ut på kjølebehovsberegninger for Steinkjer Sykehjem og andre Sykehjem.

Mye av arbeidet gjort i denne rapporten er i hovedsak teoretisk. I rapporten kommer det i stor grad frem forskjellige virkningen av ulike typer skjerming. Det ville vært interessant med testing av disse tiltakene ved sommerstid for å anslå hvor mye skjerming løsningene faktisk håndterer. I tillegg ble det ikke lagt frem løsninger som trær og andre skjermingsløsninger med data i rapporten, det ville vært gunstig å sett hvor mye skjerming trær kan skape ettersom dette er en løsning som kan integreres relativt lett i eiendommen. Trær er en svært miljøvennlig måte å skape naturlig skjerming på noe som kunne vært en større del av passive tiltak i rapporten.

Når noe skal bygges og avgjørelser skal tas i slike prosjekt, må man alltid ta hensyn til det økonomiske aspektet. Vi har valgt å ikke gå ut på markedet for å se på kostnader, noe som kunne gitt enda bedre innblikk i hvordan man kan velge riktig kjøleløsning. Det ble i oppgaven prioritert å skrive litt om hvilke kostnader som kan oppstå i stedet for å skrive om eksakte priser. Grunnen til dette er at vi mener det blir for generelt for oppgaven.

Det kunne vært relevant å sett på kjølebehovsberegninger i enda større detalj ved EC Dahls sykehjem og sammenlignet kjølebehovet med målinger på sommerstid. I denne rapporten skulle vi som sagt hovedsakelig se på hvordan man kan håndtere varmeproblematikken. Vi mener kjølebehovsberegningene er tilstrekkelige, men kunne blitt gjort i enda større detalj. Mot slutten gjorde vi beregninger for et enkelt soverom og vi fikk en betydelig forskjellig mellom disse og beregningene vi hadde gjort tidlig. For bedre beregninger ville vi delt bygget mer inn i soner med ulike varmebidrag.

Rapporten går i hovedsak ut på hvordan man kan håndtere nedkjølingsproblematikk dersom den oppstår. En annen relevant problemstilling kunne vært å kartlegge om det hvor utbredt det er med varmeproblematikk på sykehjem rundt i Norge. Dette kan gjøres ved å kartlegge flere sykehjem gjennom tilsvarende undersøkelser som vi har gjennomført. Videre fra dette kan man forsøke å finne ut hvorfor det er et nedkjølingsbehov, og deretter benytte denne rapporten til å finne best løsning. I oppgaven gjorde vi omfattende forsøk på beregninger av kjølebehovet ved EC Dahls Sykehjem. Det kunne vært interessant å gjøre målinger i EC Dahls sykehjem som enten avkrefter eller bekrefter et nedkjølingsbehov ved sommerstid.

Vi skrev også i rapporten at korrosjon på rørnett er et problem ved kjøleanlegg som benytter lavere temperaturer. Det kan være interessant å faktisk sjekke hvor stort problem dette blir i praksis. Vi hadde også ønsket en befaring av et sykehjem som har etablert kjøling for å diskutere hvordan de opplever inn klimaet.

I forhold til reguleringsdelen ville det vært gunstig å sett på et kjøleanlegg og et varmeanlegg med samme oppbygning.

Vi har sett litt bort fra nattekjøling og frikjøling, noe som vi kunne undersøkt i større grad.

Referanseliste

- [1] Global oppvarming og drivhuseffekten [Internett]. Oslo: Naturvernforbundet; 17.juni.2019 [hentet 17.mai.2020]. Tilgjengelig fra: https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html?gclid=CjwKCAjwwYP2BRBGEiwAkoBpAq_hzuMLZ35zBo3ougk8oSe03S9s7EPKDLrPYAlsvgiyld1gLOJLrxoC9QAQAvD_BwE
- [2] Yoshikawa T.T, Norman D.C. Infectious Diseases in Geriatric Medicine, an Issue of Clinics in Geriatric Medicine. 1. utgave. Los Angeles, USA: Elsevier; 2016.
- [3] Ranhoff, A.H. Eldre personer er sårbare i ekstreme vær-situasjoner. Ullevål Universitetsykehus. Universitetseksjonen Geriatrik avdeling. 2004. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/ojs/index.php/norepid/article/view/244/222>
- [4] Stensaas L, Ventilasjonsteknikk 1: Grunnlaget og systemer. 4. utg. Oslo: Skarland Press AS; 2008.
- [5] Ingebrigtsen S. Ventilasjonsteknikk del 1. VVS-foreningen/Nemitek; 2019
- [6] Kuldemedium/kjølemedium [Internett]. Oslo: Nemitek; 20.januar.2020 [hentet 20.mars.2020]. Tilgjengelig fra: <https://nemitek.no/f-gasser-kjolemedium-kjolemeide/kuldemediumkjolemedium/103776>
- [7] Haarberg G.M. Korrosjon [Internett]. Oslo: Store Norske Leksikon; 10.september.2019 [hentet 23.mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/korrosjon>
- [8] Zijdemans D. Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer. Utgave 2014, 3. Skarland press AS 2012.
- [9] Stene, J.S. *Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger(2000)*. SINTEF Energiforskning AS Avdeling Energi prosesser. Hentet fra <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4120/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Notat%20J%20Stene.pdf>
- [10] Pedersen B. Termodynamikk [Internett]. Oslo: Store Norske Leksikon; 22.juni.2018 [hentet 23.mars.2020]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/termodynamikk>
- [11] How does a heatpump cool my home? [Internett] Nord Carolina, USA: Bass Air; 26.august 2017 [hentet 19.april.2020] Tilgjengelig fra: <https://bass-air.com/blog/heat-pump-cool-home>
- [12] Slik gir varmepumpen kjøling om sommeren [Internett]. Oslo: Energiverket AS; c2016 [hentet 19.april.2020] Tilgjengelig fra: <https://www.energiverket.no/slik-gir-varmepumpen-kjoling-om-sommeren/>
- [13] Tørrkjøler tips [Internett]. Oslo: Novema Kulde AS; februar 2016 [hentet 25.mars.2020]. Tilgjengelig fra: https://novemakulde.no/02/2016_trkj.pdf
- [14] Vårdal D.V. Fuktig luft kan erstatte kostbare kjølemaskiner [Internett]. Bergen: NemiTek; 4.november.2019 [hentet 19.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://nemitek.no/dan-vegard-wardal-hilde-kristine-hvidevold-kjoleanlegg/fuktig-luft-kan-erstatte-kostbare-kjolemaskiner/115601>
- [15] Marshall-George D. Direct an indirect evaporative cooling strategies [Internett]. UK: Condair; c2020 [hentet 22.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.condair.co.uk/knowledge-hub/direct-and-indirect-evaporative-cooling-strategies>

- [16] Condair ME adiabatisk befukter [Internett]. Oslo: abk-qviller AS [hentet 25.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.abkqviller.no/naringsbygg/luftbefukting/condair-me-adiabatisk-befukter/>
- [17] Grinrød J. Varmebasert Kjøling (Internett). Fornebu, Norsk Energi; 15.10.2014. (Hentet 30.03.2020) Tilgjengelig fra <https://www.energi.no/docman/diverse/242-varmebasert-kjoling-fiernvarmedagene-2014/file>
- [18] Munters Desiccant Rotor (Internett). Sverige (hentet 15.04.2020); <https://www.munters.com/en/campaigns/airt-campaigns/munters-dessicant-rotor/>
- [19] Munters DesiCool (Internett). Sverige (hentet 15.04.2020); https://www.munters.com/globalassets/inriver/resources/products/coolers--humidifiers/desicool_product_brochure.pdf
- [20] Ursula Eicker. Low Energy Cooling for Sustainable Buildings. Utgave 1. Stuttgart University of Applied Scences, Germany. A John Wiley and Sons, Ltd, Publication. 2009
- [21] Paul Evans. Theengineeringmindset. 26.09.2017. Tilgjengelig fra: <https://theengineeringmindset.com/absorption-chiller-works/>
- [22] Tyholt, M., Lien, A.G., Dokka, T.H., SINTEF-rapport nr. STF22 A01525, Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg, 2001
- [23] Dr.ing. Børresen B. A. Ventilasjonshåndboken ventøk. Revisjon 2020. Techno Consult AS. 1998.
- [24] Jan W. E. Styring og regulering av tekniske anlegg i bygninger. Oslo: Skarland press, 1999.
- [25] Dette trenger du for å gjøre en energiberegning [Internett]. Oslo: Tekna; 28. desember 2018 [hentet 11.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/dette-trenger-du-for-a-gjore-en-energiberegning/>
- [26] Meteorologisk Institutt. Yr.no (Internett) Værhistorikk Trondheim; 2020 (Hentet 16.03.2020). Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-211102/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Trondheim/Trondheim>
- [27] Temperatur – Varme og Kulde på jobben (Internett). Arbeidstilsynet (Hentet 27.04.2020). Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/temperatur/?fbclid=IwAR2o04Gbx0NS6dHEEiXRrKfWqXoVMFNe3uG1O9mnpqmznDc-wyNjqSwrwCk>
- [28] NS-EN 16798-1:2019. Bygningers energiytelse - Ventilasjon i bygninger - Del 1: Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk (Modul M1-6) (Internett). Norge: Standard Norge; 2019. (Hentet 28.04.2020). Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1055687>
- [29] Solskjerming og energiberegninger [Internett]. Oslo: Tekna; 12.februar.2019 [hentet 1.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/solskjerming-og-energiberegninger>

- [30] E.C.Dahls helse- og velferdssenter [Internett]. Trondheim: Trondheim kommune; c2019 [Sist oppdatert: 01.11.2019; hentet 01.04.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.trondheim.kommune.no/ecdahls/>
- [31] Pasientrom på sykehjem koker i sommervarmen [Internett]. Trondheim: NTB; c2019 [hentet 15.02.2019]. Tilgjengelig fra: <https://www.adressa.no/nyheter/innenriks/2019/07/27/Pasientrom-p%C3%A5-sykehjem-koker-i-sommervarmen-19576343.ece>
- [32] Steinkjer sykehjem [Internett]. Steinkjer: Steinkjerleksikonet; c2004 [hentet 01.04.2020]. Tilgjengelig fra: https://www.steinkjerleksikonet.no/steinkjer_sykehjem
- [33] Inn eller utvendig solskjerming? [Internett]. Oslo: Kjells markiser; 17.oktober.2018 [hentet 20.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.kjellsmarkiser.no/blog/inn-eller-utvendig-solskjerming/>
- [34] Arbeidstilsynet. Veiledning, best nr 444. Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen [Internett]. Oslo: Arbeidstilsynet; juni 2016 [hentet 08.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/3f86f6d2038348d18540404144f76a22/luftkvalitet-pa-arbeidsplassen.pdf>
- [35] Utvendige persienner – en klassiker [Internett]. Oslo: Solskjermingsgruppen AS [hentet 05.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.solskjermingsgruppen.no/utvendige-persienner/>
- [36] Screens – utvendig solskjerming [Internett]. Oslo: Kjells markiser [hentet 10.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.kjellsmarkiser.no/produkter-kategori/utvendig-solskjerming/screens/>
- [37] Kongslie D.E. Solskjerming – hva skal man velge? [Internett]. Oslo: Hus og bolig; 20.januar.2012 [hentet 20.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/bolig/solskjerming---hva-skal-man-velge/>
- [38] Markiser pris: Hva koster markiser i 2019? [Internett]. Oslo: Finansrådet; c2019 [hentet 20.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.xn--finansrdet-75a.no/pris/markiser#Tekst-2>
- [39] Persienner [Internett]. Fredrikstad: Solskjerming AS; c2020 [hentet 21.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.solskjerming-as.no/nettbutikk/innvendig-solskjerming/persienner>
- [40] Ripegut H. Studie: Du bør ikke sove med vinduet åpent [Internett]. Oslo: Nettavisen; 14.august.2019 [hentet 11.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.nettavisen.no/livsstil/studie-du-bor-ikke-sove-med-vinduet-apent/3423482294.html>
- [41] Innendørs svevestøv [Internett]. Oslo: Folkehelseinstituttet; 12.mars.2015 [hentet 13.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/fremhevede-artikler-inneklima-og-helse/innendors-svevestov/>
- [42] Heat pump systems [Internett]. USA: U.S. Department of energy; c2019 [hentet 21.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.energy.gov/energysaver/heat-and-cool/heat-pump-systems>

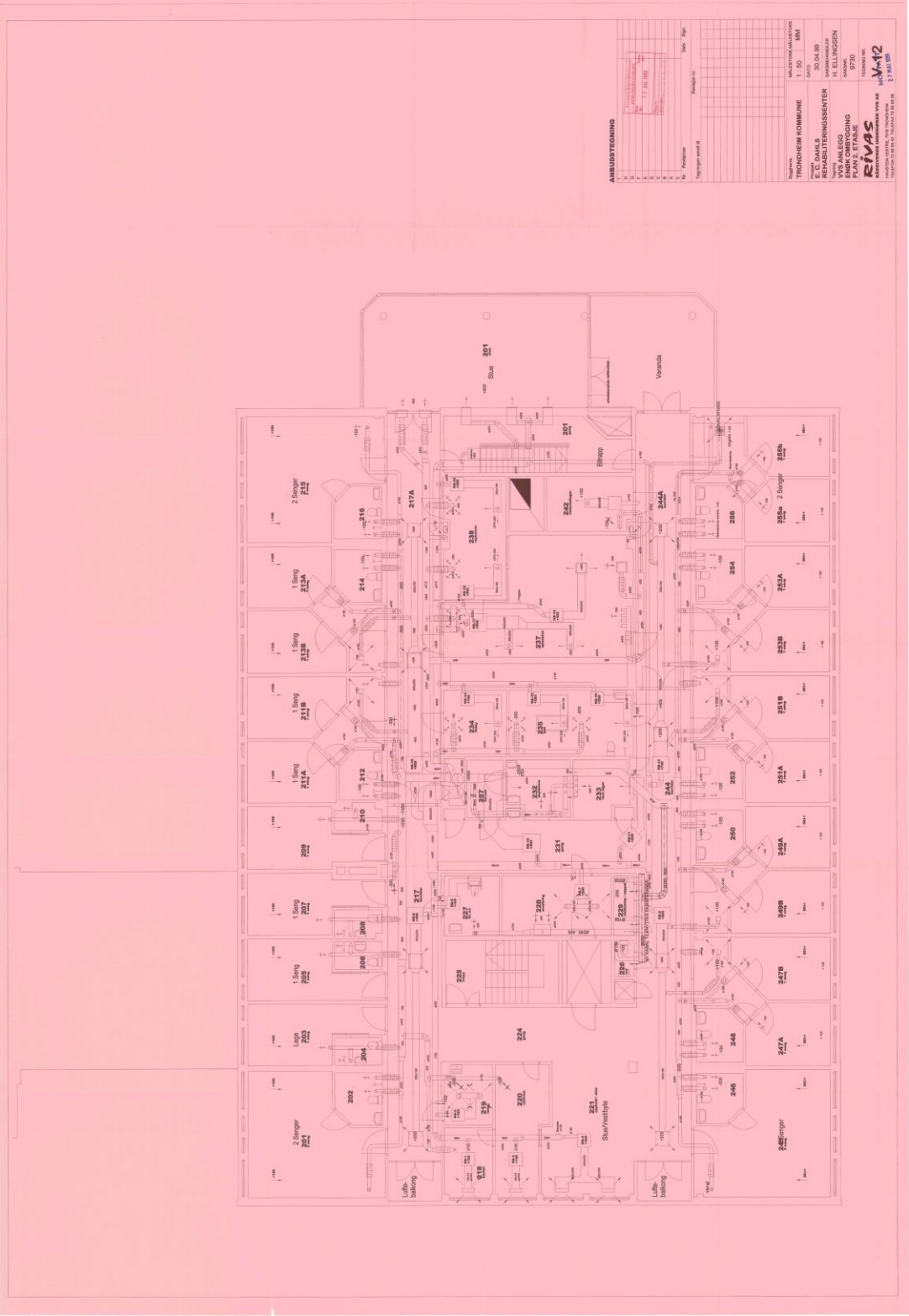
- [43] ASHP – Coefficient of Performance – CoP [Internett]. London: Icac; c2019 [hentet 21.april.2020]. Tilgjengelig fra https://www.icax.co.uk/Air_Source_Heat_Pumps.html
- [44] How Long Does It Take an AC to Cool a House? [Internett]. Florida: Sansone; 23.mai.2018 [hentet 20.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://sansone-ac.com/how-long-should-it-take-ac-to-cool-down-home/>
- [45] Hva koster en standardt montasje? [Internett]. Oslo: Toshiba Varmepumper [hentet 04.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.toshibavarmepumper.no/sporsmal-og-svar/hva-koster-en-standard-montasje/>
- [46] Vurdering av varmpumpe ved Dønna omssorgsenter og sykehjem [Internett]. Trondheim: COWI; 24.januar.2017 [hentet 04.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.donna.kommune.no/cpclass/run/cpesa62/file.php/def/17002471d17002488o79dcdd/dos-vurdering-av-varmpumpe.pdf>
- [47] Passer varmpumpe hjemme hos meg? [Internett]. Oslo: Zave AS 2020; c2019 [hentet 21.april.2020]. Tilgjengelig fra: https://varmpumpeshopen.no/ofte-stilte-sporsmal/faq-luft-luft-varmpumpe/?gclid=CjwKCAjw7e_0BRB7EiwAIH-golyx_A6-JvsWAcwR6Q3J7EPBT95SzyBPoBACYwFIIf60qLEwsdvFhoCD0sQAvD_BwE
- [48] How long should a heat pump last? [Internett]. USA: Glasco Heating & Air Conditioning, Inc; c2020 [hentet 05.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://glascohvac.com/heating/heat-pumps/long-heat-pump-last/>
- [49] Norske årsmiddeltemperaturer: I alfabetisk rekkefølge [Internett]. Oslo: Forbrukerrådet [hentet 11.mai.2020]. Tilgjengelig fra: https://fil.forbrukerradet.no/wp-content/uploads/2015/11/VP_2015_%C3%85rsmiddel_Alfabetisk.pdf
- [50] Energikollektor og tilbehør [Internett]. Oslo: abk AS; juli 2017. Varmeopptak fra berg og grunn. Dimensjonering av bergkollektroanlegg [hentet 11.mai.2020]; s.9.
- [51] Jordvarmevekslere [Internett]. Bærum: Energeo [hentet 10.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <http://www.energeo.no/no/energeo/jordvarmevekslere.html>
- [52] 17 geothermal heat pump pros and cons [Internett]. USA: GreenGarage; 12.mai.2019 [hentet 10.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://greengarageblog.org/17-geothermal-heat-pump-pros-and-cons>
- [53] Fuktig luft kan erstatte kostbare kjølemaskiner av senioringeniør og fagspesialist Vegard Vårdal og prosjektingeniør Hilde Kristine Hvidevold, Sweco Norges AS avdeling Bergen. Gjennom NORSK VVS UTGAVE 09.2019 ÅRGANG 62 fagmagasin for energi og milkøteknikk.
- [54] Claesson E. Analys av sorptiv kylning i industri- och kontorsbyggander (avhandling). Uppsala: Uppsala universitet, Teknisk-naturvetenskapliga vetenskapsområdet; 2013
- [55] Disse er først ute med kjøling basert på varme. NemiTek; 10.04.2019 (Hentet 20.04.2020). Tilgjengelig fra: <https://nemitek.no/byggdrift-fortum-kulde/disse-er-forst-ute-med-kjoling-basert-pa-varme/103461>

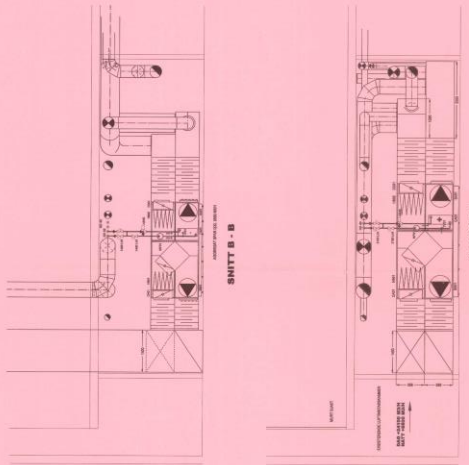
- [56] Slik sikrer du effektiv kjøling i næringsbygg [Internett]. Oslo: Byggeindustrien; 27.november.2013 [hentet 14.april.2020]. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/110490>
- [57] Aktive kjølebafler for montasje i takskjørtet DID-E [Internett] Throx teknik; 11/2017 [hentet 08.04.2020] Tilgjengelig fra: https://www.trox.no/downloads/bb11820a2ddbbda5/PD_2017_11_DID-E_DE_no.pdf?type=product_info
- [58] Flatetemperering-kjøletak [Internett]. Drammen, Norge: Honeywell home; c2020 [hentet 04.april. 2020]. Tilgjengelig fra: <https://homecomfort.resideo.com/sites/norge/nb-no/Losninger/oppvarmingsvann/Pages/Hydraulisk%20balansering%20varmeanlegg.aspx?Solution=%20Hydraulisk%20balansering%20varmeanlegg>
- [59] 3 i ett: Himling-Kjøletak-Tilluftsventil [Internett] Oslo: Meta; [hentet 07.april 2020] Tilgjengelig fra: http://www.meta.no/files/Brosjyrer%20og%20databled/www_brosjyreSkyCooler.pdf
- [60] Veland R.E. Kjøling fra taket [Internett]. Oslo: VVS-aktuelt; 20.november 2008 [hentet 05.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.vvsaktuelt.no/kjoling-fra-taket-69289/nyhet.html>
- [61] Kjøletak [Internett]. Oslo: abk-QVILLER AS [hentet 05.april.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.abkqviller.no/produkter-og-tjenester/kjoletak/>
- [62] Viftekonvektorer/Fancoils [Internett]. Lillestrøm, Norge: JFH kulde AS; c2020 [hentet 05.april. 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.jfhkulde.no/aircondition/fancoils/>
- [63] Brukerveiledning fan coils anlegg [Internett]. Novema kulde AS [hentet 08.april 2020] Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/6099518-Bruker-instruks-for-fan-coil-type-fcx-u-www-novema-no.html>
- [64] SN-NSPEK 3031:2020. Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning (Internett). Norge: Standard Norge; 2020. (Hentet 28.04.2020).Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1124340>
- [65] Kina: kjøling spredte virus på restaurant – ville ikke skjedd i Norge [Internett]. Oslo: Nemitek; 28.april.2020 [hentet 16.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://nemitek.no/kjoling-korona-restaurant/kina-kjoling-spredte-virus-pa-restaurant--ville-ikke-skjedd-i-norge/128288>
- [66] Carat [Internett]. Lindab; c2020 [hentet 10.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <http://www.lindab.com/no/pro/products/pages/carat.aspx>
- [67] Steinkjer sykehjem [Internett]. Google maps [hentet 11.mai.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/maps/place/Steinkjer+sykehjem/@64.0121118,11.4768548,15z/data=!4m5!3m4!1s0x46729b3d4da28e97:0x1734cf954461b817!8m2!3d64.0139005!4d11.4810605>
- [68] Beisvaåg J.K.Å.B, Bryn B.I, Høye O.H, Langlie K.L. Kjøleanlegg for isvann. Erichsen Horgen; 2014.
- [69] Kommunal- og arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet, Standard Nr. 458 Byggeforskrift 1987 (Internett). Oslo; 1987 (Hentet 05.02.2020) Tilgjengelig fra https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1987.pdf

Oversikt over vedlegg

<i>Vedlegg: 1 Plantegninger over ec dahls sykehjem</i>	2
Vedlegg 3: Framgangsmåte for beregninger av kjølebehovet for EC Dahls Sykehjem.....	7
Forenklet beregning av kjølebehovet ved EC Dahls Sykehjem	7
Trinn 1: Beregning av midlere romtemperatur	7
Trinn 2: Beregning av effektvariasjon	8
Trinn 3: Beregning av temperaturvariasjonen	9
Trinn 4: Beregning av kjølebehov	10
Vedlegg 4: Beregninger for prosess med kjølebatteri	11
Vedlegg 5: Beregninger av adiabatisk kjøleprosess	12
Vedlegg 6: Mollier's diagram for adiabatisk kjøling.....	14
Vedlegg 7: Beregninger for sorptiv kjøleprosess	15
Vedlegg 8: Mollier's diagram for kjølebaffel.....	17
Vedlegg 9: Beregning av nødvendig tilluftstemperatur og nødvendig kjøleeffekt.....	18
Vedlegg B: Værhistorikk for 25 juli 2019	19
Vedlegg 10: Simien beregninger av fasadene til EC dahls sykehjem	20
Solinnstråling ved varierende tidspunkt ved EC Dahls sykehjem	21
Vedlegg 11: Inndata for simulering av EC Dahls sykehjem	22
.....	24
.....	25

Vedlegg: 1 Plantegninger over ec dahls sykehjem.

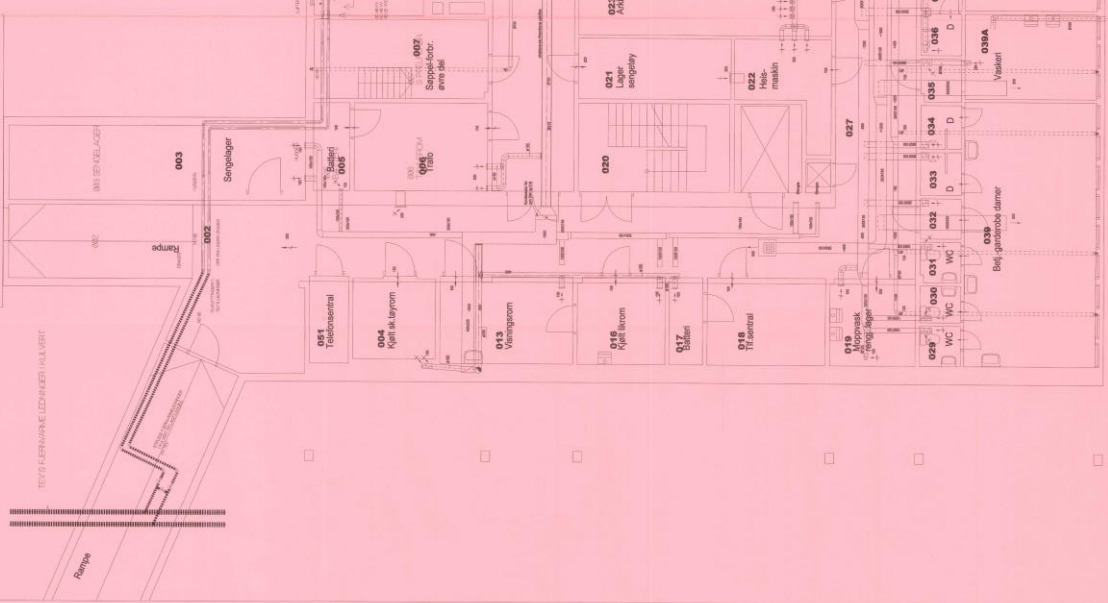




Kjeller gammel hovedbygning

TEVEFERNISKALELØSNING I INKLUSIV

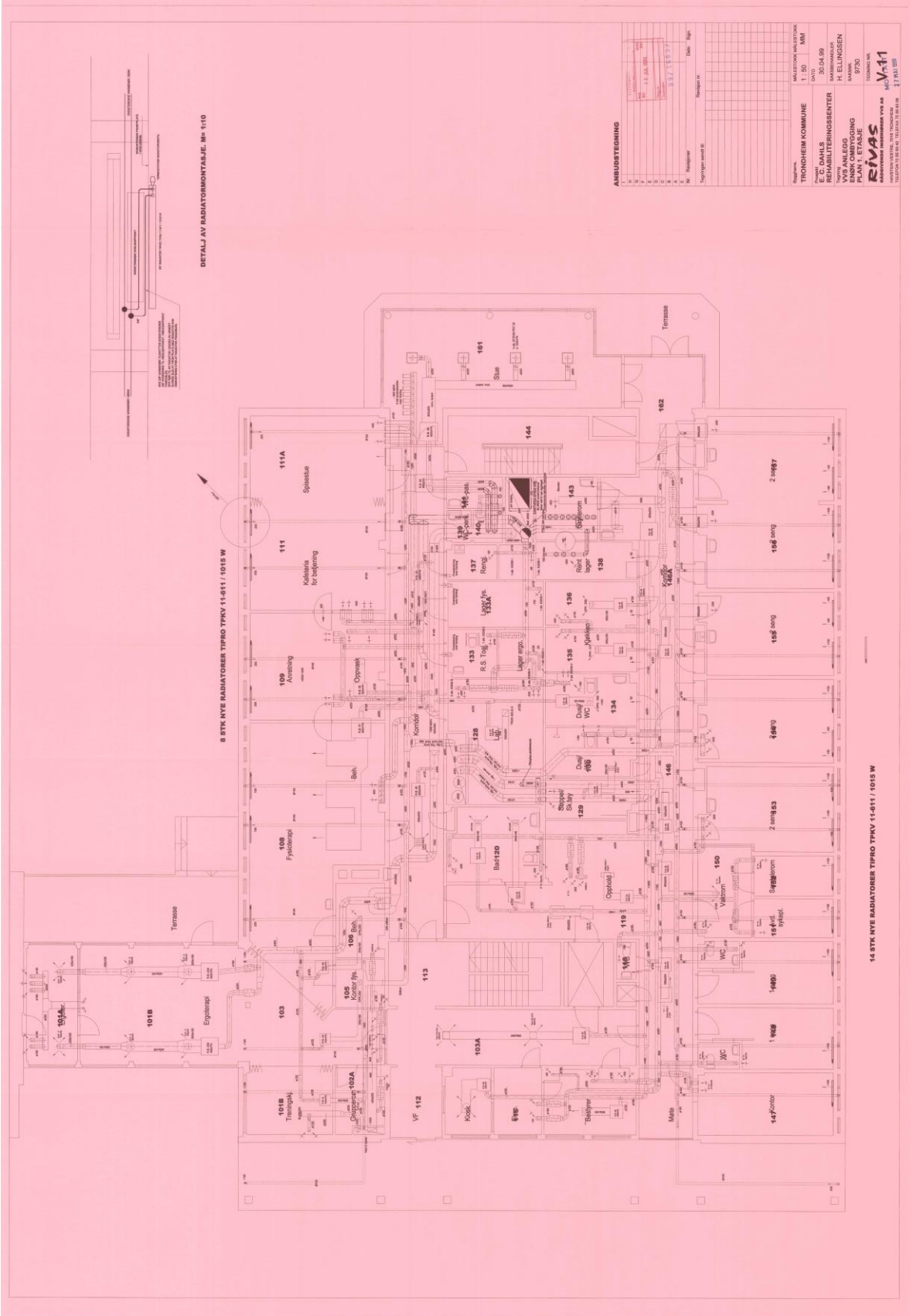
Rampe



ANBUSTEGNING Vedlegg nr. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Prosjekt:		VALGTEKNOLOGISYSTEM	
TRONDHEIM KOMMUNE		1:50	MM
E.C. DAHL		30.04.99	
REHABILITERINGSSENTER		SARKENHAGEN	
VVS ANLEGG		H. ELLINGSEN	
BKNK OMBYGGING			9720
RIVAS		TEKNOLOGI	
RIVAS		TRONDHEIM	
RIVAS		TRONDHEIM	
RIVAS		TRONDHEIM	



8 STK NYE RADIATORER TIRPV 11-811 / 1015 W

14 STK NYE RADIATORER TIRPV 11-811 / 1015 W



ANBLDSTEGNING

№	Revisjon	Dato	Utarbeidet av
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Byggherrens navn	TRONDHEIM KOMMUNE
Prosjekt	E. O. DAHL'S FORSKUNGSSENTER
Dato	30.04.99
Utarbeidet av	H. ELLINGSEN
Byggherrens adresse	ENKJØMVEIEN 5
Byggherrens telefon	0750
Byggherrens faks	
Byggherrens epost	
Byggherrens internettside	
Byggherrens kontaktperson	
Byggherrens kontaktinfo	
Byggherrens kontaktinfo	
Byggherrens kontaktinfo	
Byggherrens kontaktinfo	

Vedlegg 2: spørreskjema for befaring av sykehjem

Utarbeidet av

Hans Høgberget Veggum, Ole-Andreas Bratland og Jonas Kjøsen
Lindgren

Teknisk rom	Kommentar	Utført
Vurdering av plass		
Grov skisse av systemløsning		
Plassering i bygget		
Se etter feil/avvik		
Oppholdsarealer		
Plassering, størrelse, se etter info om vindu		
Kartlegge gjenstander som avgir varme (PC-er, kjøleskap osv.)		
Se etter eksisterende muligheter for kjøling (Solskjermer, takvifter osv.)		
Plassering av tilluft og avtrekk, vurdere fare for trekk		
Utvendig		
Plassering av luftinntak (yttervegg, forurensningskilder, optimal plassering)		
Se etter muligheter for plassering av utvendig kjøleanlegg (plass utenfor luftinntak eller tak f.eks)		
luftinntak er plassert slik at det ikke kommer inn regn/fukt		

Trær, eventuelt vegetasjon som skjerm for solen?		
luftinntak er plassert slik at det ikke kommer inn snø		
Kortslutninger i ventilasjonen? Strømningsmønster?		

8-Spørsmål til ansatte/pasienter.

Spørsmål	Svar
Når ble anlegget konstruert?	
Hvordan type ventilasjonsanlegg? (Kjøling, VAV, CAV, etc..)	
FDV-perm (drift og vedlikeholdspem)	
Serviceavtaler for anleggene?	
Om det er Kjøleabfler, hvor ofte rengjøres disse?	
Når var siste servicebesøk?	
Spør brukerne om det er noen konkrete plager som kan være forårsaket av ventilasjonen. Problemer med trekk, tung luft eller lukt?	
Hører du at ventilasjonsanlegget går?	

Vedlegg 3: Framgangsmåte for beregninger av kjølebehovet for EC Dahls Sykehjem

Forenklet beregning av kjølebehovet ved EC Dahls Sykehjem

Dimensjonerende døgnmiddeltemperatur

Først beregnes minimumstemperaturen utifra verdier fra Ventilasjonsteknikk Del 1 (35).

$$T_{min} = T_{DUT} - \Delta T = 24,4^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C} = 12,4^{\circ}\text{C} \quad [1]$$

Så brukes dette til å finne dimensjonerende døgnmiddeltimeratur:

$$\overline{T}_u = T_{min} + \frac{\Delta T}{2} = 18,4^{\circ}\text{C} \quad [2]$$

Trinn 1: Beregning av midlere romtemperatur

Varmetransport gjennom fasade

$$R_{T \text{ Fasade}} = U - \text{verdi} \cdot \text{Areal}$$

Varmetransportevne fasade					
Materialet	Objekt	Areal (m ²)	Materiale	U-verdi (W/m ² *K)	Transportevne (W/K)
Varme fra overflate	2 store vinduer	1,86	Glass	2,4	4,46
Varme fra overflate	2 små vinduer	1,35	Glass	2,4	3,24
Byggmaterialet	Tak	38,72	Takpapp, betong	0,58	22,46
Byggmaterialet	Vegg	14,21	Betong	0,3	4,26
Totalt 1 rom					34,42
Totalt 12 rom					413,1
Rom mot nord	Vegg	46,4	Betong	0,3	13,92
Rom mot nord vinduer	Vinduer	3,71	Glass	2,4	8,9
Rom mot sør	Vegg	28,57	Betong	0,3	8,57
Dører til veranda	2x4xDør	6,73	Dør	1	6,73
Totalt rom på nord og sør (gang)					38,13
Totalt 2. etasje					451,22
Totalt i hele bygget (W/K)					879,98

Varmetransport ventilasjon

$$R_{T \text{ Ventilasjon}} = \dot{L} \cdot \rho \cdot C_p = \frac{19000 \text{ m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{1,20 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,28 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} = 6384 \text{ W/K} \quad [4]$$

Varmetransport fra ventilasjon	
Luftmengde (m ³ /h)	19000
Lufttetthet (Kg/m ³)	1,2
Varmekapasitet (Wh/(Kg*K))	0,28
Varmetransport (W/K)	6384

$$R_T = R_{T \text{ Fasade}} + R_{T \text{ Ventilasjon}} = 7263,98 \text{ W/K}$$

Energtilskudd soltiskudd

Henter verdier fra Simien her. Summerer solinnstrålingsverdien gjennom et døgn (15.Juli) for hele bygget med innvendige persienner.

$$Q_{\text{Solinnstråling}} = 211078 \text{ Wh/Døgn}$$

Energitilskudd internlast

Internlast regnes utifra tabell A-3,A-5 og A-6 fra SN-NSPEK 3031:2020 (64).

Arealet for bygget er 2200m².

Energitilskudd internlast						
	Belysning (Wh/m ²)	Totalt (W)	Person (Wh/m ²)	Totalt (W)	Teknisk utstyr (Wh/m ²)	Totalt (W)
Minimum	1,2	2640	2,6	5720	1,3	2860
Maksimum	3,5	7700	3,2	7040	6,3	13860
Per døgn	64	140800	71	156200	63,2	139040
Totalt energitilskudd (Wh/Døgn)						436040

$$Q_{\text{Internlast}} = 436040 \text{ Wh/Døgn}$$

Energitilskudd fra vifte

Ventilasjonsanlegget består av to aggregat, så i luftmengdene er i virkeligheten fordelt på to aggregat. Som en forenkling ser regner vi energitilskuddet som om det kom fra samme aggregat med trykkøkning tilsvarende ett aggregat, siden trykkøkning over viften vil være ca. lik for begge aggregatene.

$$Q_{\text{Vifte}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P_a \cdot 24h}{\eta \cdot 3600} = 194871,79 \text{ Wh/Døgn} \quad [5]$$

$$Q_{\text{Totalt}} = Q_{\text{Solinnstråling}} + Q_{\text{Internlast}} + Q_{\text{Vifte}} = 841989,70 \text{ Wh/Døgn}$$

Midlere effekttilskudd

$$\bar{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{Totalt}}}{24h} = 35082,90W = 35,08kW \quad [7]$$

Midlere temperaturøkning

$$\Delta \bar{T}_t = \frac{\bar{\Phi}}{R_t} = \frac{35082,90 \text{ W}}{7263,98 \text{ W/K}} = 4,83^\circ\text{C} \quad [8]$$

Bruker midlere temperaturøkning for å regne midlere romtemperatur:

$$\bar{T} = \bar{T}_u + \Delta \bar{T}_t = 18,40^\circ\text{C} + 4,83^\circ\text{C} = 23,23^\circ\text{C} \quad [9]$$

Trinn 2: Beregning av effektvariasjon

Effektvariasjonen skal brukes til å regne ut temperaturvariasjonene som vil oppstå. Følgende antagelser gjøres:

- Konvektivfaktoren bestemmer i hvor stor grad et rom kan lagre varme. Vi antar lett romtype og dermed konvektivfaktor K_k på 0,7.
- Følger tommelfingerregelen fra boken (35) som sier at 1/3 av solinnstrålingen er konveksjonsvarme og resten er strålevarme.
- Bruker her også solinnstrålingsverdier fra Simien. Anvender den maksimale momentane solinnstrålingen på 20940W.

Effektvariasjonen finnes ved å den maksimale effekten bygget mottar og trekke fra den minimale. For solinnstråling er minimum effekttilskudd 0W.

Maksimal solinnstråling

$$\Phi_{Sol\ Stråling} = Q_{Sol} \cdot \frac{2}{3} \cdot K_k = 20940W \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,7 = 9674,28W$$

$$\Phi_{Sol\ Konveksjon} = Q_{Sol} \cdot \frac{1}{3} = 6980\ W$$

Variasjon internlaster

Finner differansen for internlastene.

Variasjon for internlast	
Høyeste effekt personvarme (W)	7040
Laveste effekt personvarme (W)	5720
Høyeste effekt utstyr (W)	13860
Laveste effekt utstyr (W)	2860
Høyeste effekt belysning (W)	7700
Laveste effekt belysning (W)	2640
Samlet differanse (W)	17380

$$\Phi_{Internlast} = 17380W$$

Utetemperaturens belastning

Ganger sammen byggets varmetransportevne med temperaturvariasjonen

$$\Phi_{Utetemp.} = R_T \cdot \Delta T = 7263,98 \frac{W}{K} \cdot 12^\circ C = 87167,76W$$

Total variasjon i effektbelastning

$$\tilde{\Phi}_{Variasjon} = \tilde{\Phi}_{Sol\ Stråling} \cdot \tilde{\Phi}_{Sol\ Konveksjon} \cdot \tilde{\Phi}_{Internlast} \cdot \tilde{\Phi}_{Utetemp.} = 121202,04W = 121,20kW$$

Trinn 3: Beregning av temperaturvariasjonen

Her brukes effektvariasjonen til å regne ut hvor stor variasjonen i romtemperaturen blir.

- Antar her også lett romtype som gir et varmelagringstall på ca. $K_L=6\ W/(m^2 \cdot K)$
- Tillater at temperaturen varierer med $2^\circ C$, altså maks romtemperatur på $26^\circ C$

Rommets varmeslukeevne

$$S = R_T + K_L \cdot A = 7263,98 \left(\frac{W}{K} \right) + 6 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 2200m^2 = 20463,98\ W/K$$

Temperaturvariasjon

$$\Delta \tilde{T}_l = \frac{\tilde{\Phi}_{\text{variasjon}}}{2 \cdot S} = \frac{121202,4W}{2 \cdot 20463,98W/K} = 2,96^\circ\text{C}$$

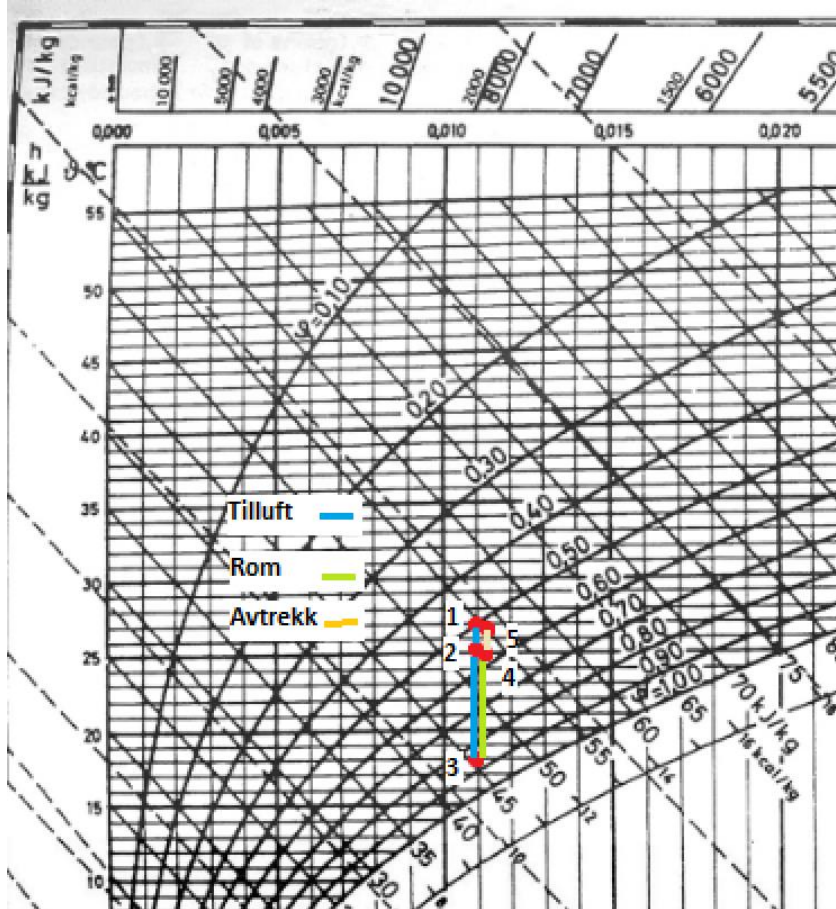
Trinn 4: Beregning av kjølebehov

Formelen kombinerer effekten tilført av temperaturendringer og effektvariasjon og justerer for tillatt temperaturglidning.

- Setter ønsket romtemperatur T_θ til 24°C
- Tillater en romtemperatur på maks 26°C , setter altså $\Delta T_{\text{Glidning}}$ som 2°C .

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{Kjølebehov}} &= R_T \cdot (\bar{T}_l - T_\theta) + \frac{\tilde{\Phi}_{\text{variasjon}}}{2} - S \cdot \Delta T_{\text{Glidning}} \\ &= 7263,98 \frac{W}{K} \cdot (23,23^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}) + \frac{121202,4W}{2} - 20463,98 \frac{W}{K} \cdot 2^\circ\text{C} = 14077,68W \\ &= 14,07kW \end{aligned}$$

Vedlegg 4: Beregninger for prosess med kjølebatteri



1-2: Luften passerer først gjennom varmegjenvinneren.

$$0,7 = \frac{T_2 - 27^\circ\text{C}}{25^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}} \rightarrow T_2 = 25,6^\circ\text{C} \quad [11]$$

2-3: Kjølebatteriet senker lufttemperaturen til 18°C

3-4: Den underkjølte luften fordeles utover i bygget og blandes med romluften og ender opp med temperatur som ligger på 25°C. Som forenkling ser vi bort ifra fuktbidrag inne i bygget og antar lik absolutt luftfuktighet.

4-5: Finner lufttemperaturen ut av varmegjenvinneren på avtrekksiden:

$$0,7 = \frac{T_5 - 25^\circ\text{C}}{27^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} \rightarrow T_5 = 26,4^\circ\text{C} \quad [11]$$

Vedlegg 5: Beregninger av adiabatisk kjøleprosess

Hvordan vi fant tilluftstemperaturen:

Vi antar varmeveksleren har en temperaturvirkningsgrad på 0,7. Tilstanden på luften fra avtrekksiden blir satt fra driftsforhold i bygget. Tilstanden på uteluften er et estimat fra værdata rundt den relevante perioden.

$$0,7 = \frac{T_2 - 27^\circ}{18^\circ - 27^\circ} \rightarrow T_2 = 20,7^\circ \quad [11]$$

Energibalansen for et kontrollvolum kan uttrykkes som

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum_{Innløp} \dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)_i - \sum_{Utløp} \dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)_e, \quad [14]$$

dE_{CV} = Energien i kontrollvolumet

\dot{Q}_{CV} = Varmestrømmen tilført kontrollvolumet

\dot{W}_{CV} = Arbeidsraten fra kontrollvolumet til omgivelsene

h = spesifikk entalpi

\dot{m} = Massestrøm

v = strømningshastigheten

g = Tyngeakselerasjonen

Z = Høyden på stedet

i = Innløpsstrømmer

e = Utløpsstrømmer

Vi antar varmelekkasjen fra varmegjenvinneren er neglisjerbar og det ikke utveksles arbeid med omgivelsene. Vi antar også at prosessen er i stasjonær tilstand. Dette medfører at \dot{Q}_{CV} , \dot{W}_{CV} og $\frac{dE_{CV}}{dt}$ blir null. Kinetisk og potensiell energi tilsvarer så små mengder at vi antar null. Dette betyr at varmen avgitt fra avtrekksstrømmen blir lik varmen mottatt av tilluftsstrømmen. Vi antar luftmengden fra avtrekksiden er tilsvarende luftmengden fra tilluftsiden.

$$\dot{m}_{tilluft} \cdot h_1 + \dot{m}_{avtrekk} \cdot h_3 = \dot{m}_{tilluft} \cdot h_2 + \dot{m}_{avtrekk} \cdot h_4$$

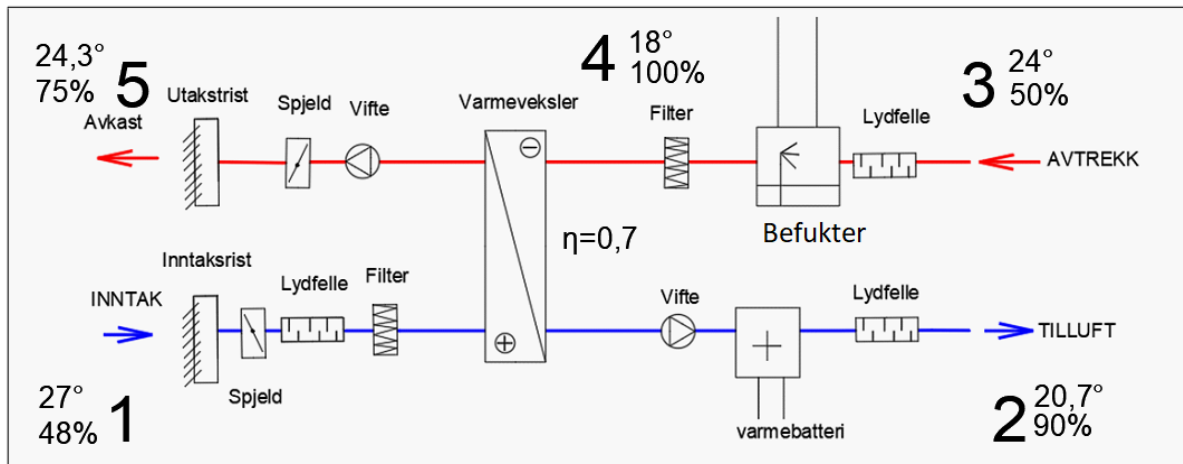
$$\Delta h = c_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{V}_{tilluft} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = \dot{V}_{avtrekk} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_3 - T_4)$$

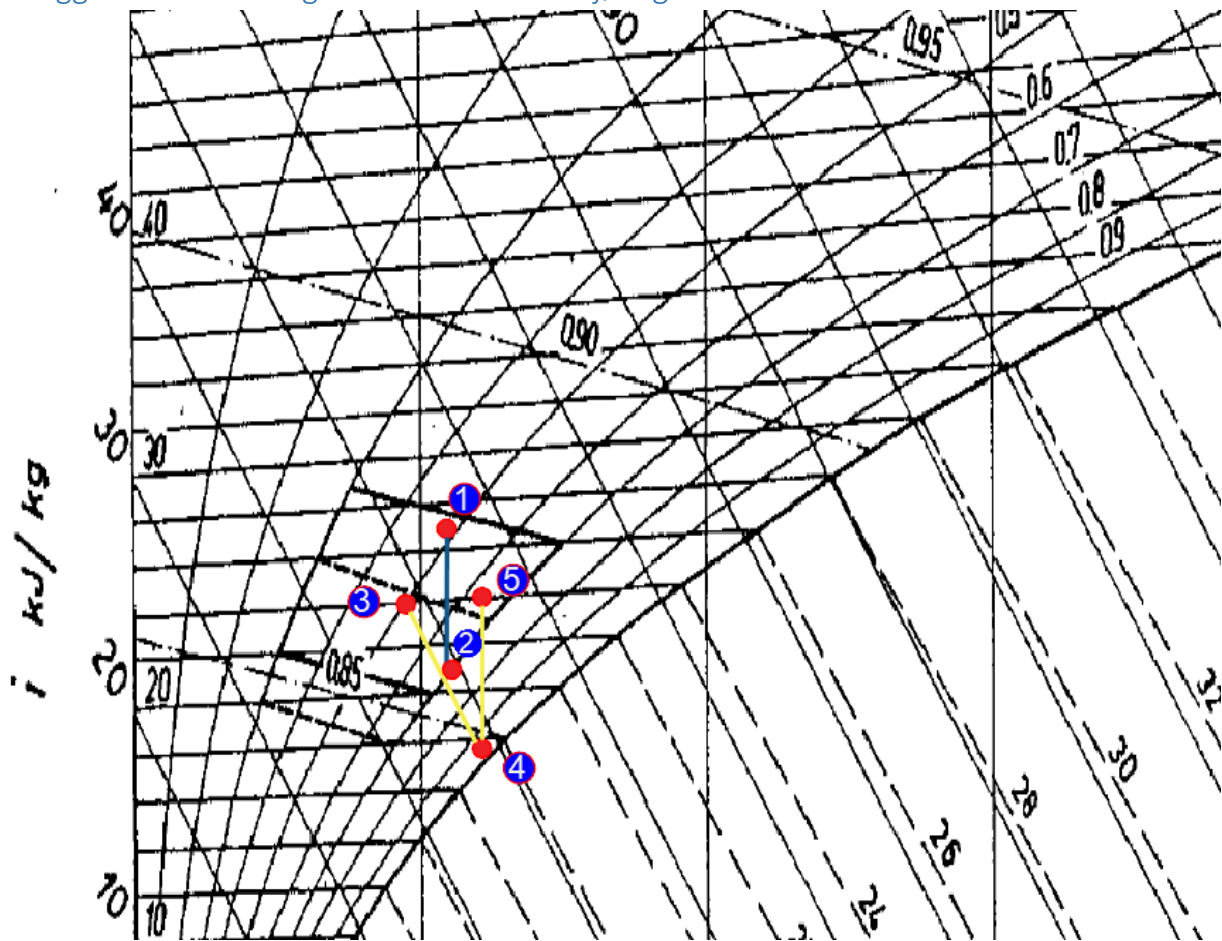
$$T_4 = T_1 + T_3 - T_2$$

$$T_4 = 27^\circ + 18^\circ - 20,7^\circ$$

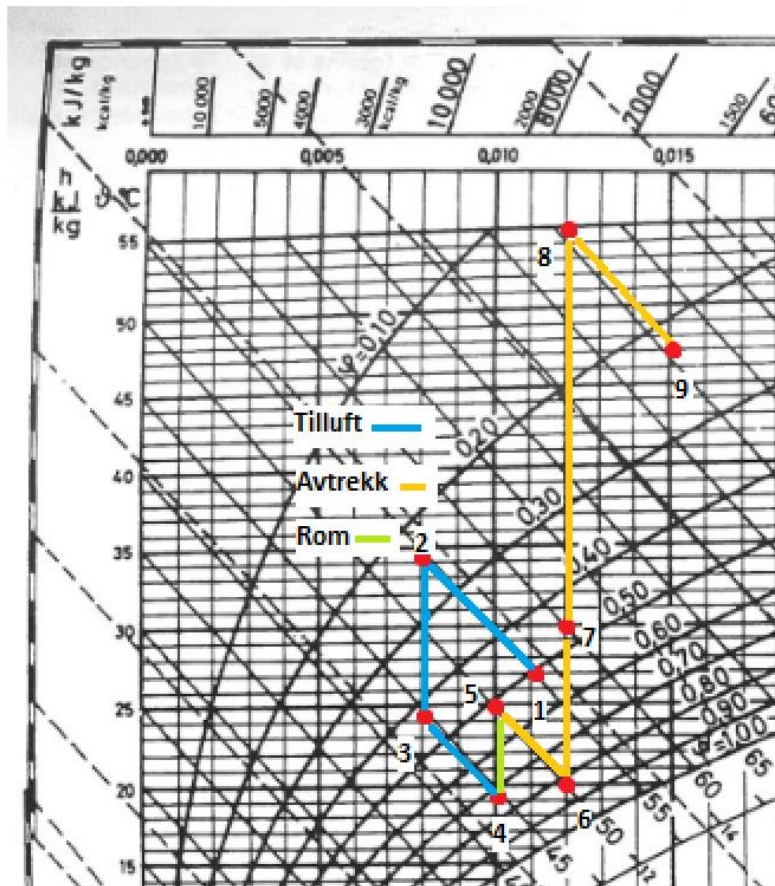
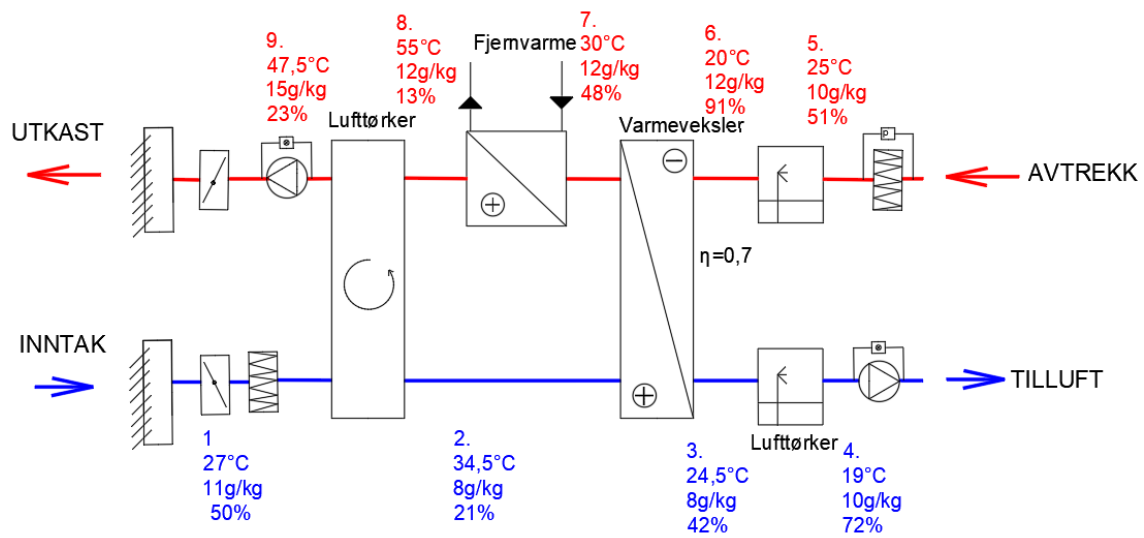
$$\underline{T_4 = 24,3^\circ}$$



Vedlegg 6: Mollier's diagram for adiabatisk kjøling



Vedlegg 7: Beregninger for sorptiv kjøleprosess



1-2: Uteluften tørkes i luttørkeren. Flytter 3 g vann/kg luft til avtrekksluften via sorpsjonsrotor som øker temperaturen med 7,5°C.

2-3: Den tørre luften kjøles så ned i varmeveksleren. Antar temperaturvirkningsgrad på 0,7:

$$\eta = \frac{T_3 - T_2}{T_6 - T_2} \rightarrow 0,7 = \frac{T_3 - 34,5^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C} - 34,5^\circ\text{C}} \rightarrow T_3 = 24,5^\circ\text{C} \quad [11]$$

3-4: Tilsetter 2g vann/kg luft for å senke temperaturen med ytterligere 5°C til 18°C.

4-5: Tilluften blandes med romluften.

5-6: Avtrekksluften befuktes for å senke temperaturen til 20°C.

6-7: Siden det regnes med neglisjerbar varmeoverføring i varmegjenvinneren så antar vi at entalpiendringen 6-7 er lik 2-3. Leser av på diagrammet:

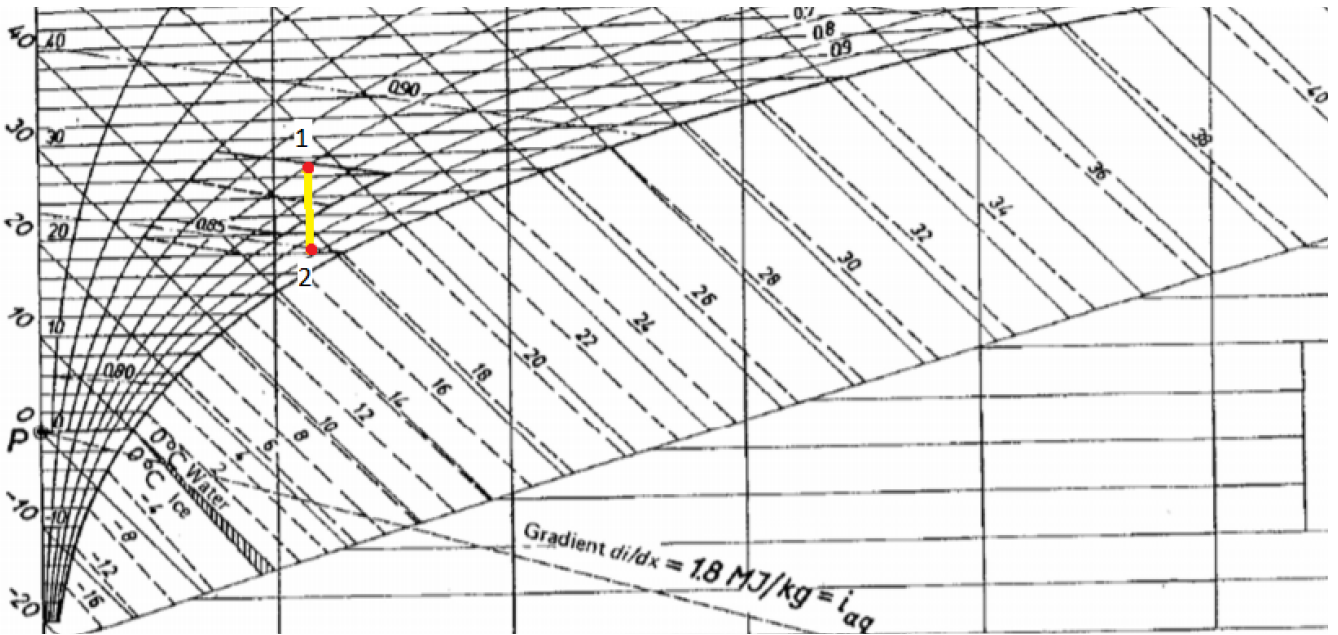
$$\Delta h = 10 \text{ kJ/kg}$$

7-8: Varmebatteriet varmer opp avtrekksluften til 55°C.

8-9: Avtrekksluften mottar 3g vann/kg luft og temperaturen senkes til 47°C.

Vedlegg 8: Mollier's diagram for kjølebaffel

Siden kjølebaffel kjøler ned luften, uten å tilføre noe fuktighet, vil den absolutte fuktigheten være konstant. Utetemperaturen har blitt satt til 27 °C , med en innblåsningstemperatur på 18°C.

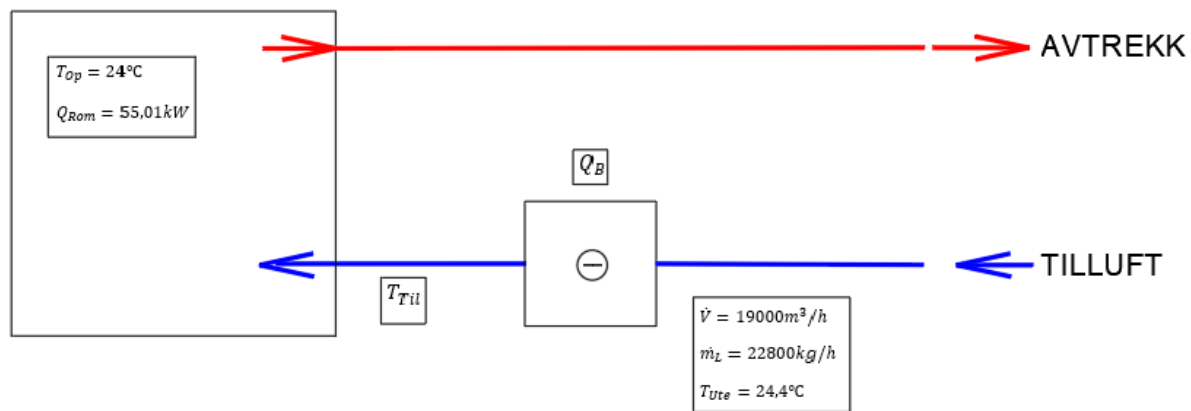


Vedlegg 9: Beregning av nødvendig tilluftstemperatur og nødvendig kjøleeffekt.

Inndata	
Skjermingstype	Innvendige persienner
Kjølebehov (W)	55010,00
Utetemperatur (°C)	24,40
Ønsket temperatur (°C)	24,00
Luftmengde (m ³ /h)	19000,00
Lufttetthet (kg/m ³)	1,20
Massestrøm (kg/h)	22800,00
Spesifik varmekapasitet (Wh/kg·K)	0,28

Massestrømmen er beregnet ut ifra volumstrømmen og luftens tetthet ved 20°C.

Figuren under viser prosessen i forenklet form.



Først regner vi ut nødvendig temperatur på tilluften for å dekke kjølebehovet:

$$Q_{rom} = \dot{m}_L \cdot (h_{op} - h_{til}) = \dot{m}_L \cdot C_p (T_{Op} - T_{Til}) \rightarrow T_{Til} = T_{Op} - \frac{Q_r}{\dot{m}_L \cdot C_p} \quad [13]$$

Bruker formelen $\Delta h = c_p \cdot \Delta T$ [12] for å gjøre om på formelen over.

$$T_{Til} = T_{Op} - \frac{Q_r}{\dot{m}_L \cdot C_p} = 24^\circ\text{C} - \frac{55010\text{W}}{22800 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 0,28 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}} = 21,79^\circ\text{C}$$

I neste steg beregnes nødvendig kjøleeffekt Q_B for å kjøle ned uteluften til 18,5°C. Tar utgangspunkt i samme formel:

$$Q_B = \dot{m}_L \cdot C_p (T_{Ute} - T_{Til}) = 22800 \frac{Kg}{h} \cdot 0,28 \frac{Wh}{Kg \cdot K} \cdot ((24,4^\circ C - 21,79^\circ C)) = 21,7 kW$$

Vedlegg B: Værhistorikk for 25 juli 2019

Værhistorikk for 25 juli 2019 klokken 02:00 til 26 juli 2019 klokken 01:00				
Tid	Min. temperatur	Maks temperatur	Målt temperatur	Luftfuktighet
2	17,2°	18,0°	17,2°	95 %
3	17,2°	17,9°	17,6°	94 %
4	17,6°	18,3°	18,1°	93 %
5	17,6°	18,1°	17,7°	95 %
6	17,5°	19,0°	19,0°	93 %
7	19,0°	21,4°	21,4°	84 %
8	21,4°	22,2°	21,8°	79 %
9	21,4°	23,8°	23,4°	74 %
10	22,6°	23,6°	23,0°	73 %
11	22,9°	23,9°	23,3°	74 %
12	23,3°	24,3°	24,3°	68 %
13	24,3°	25,6°	25,6°	60 %
14	25,6°	26,7°	26,2°	60 %
15	26,2°	27,4°	27,4°	54 %
16	24,3°	27,5°	24,3°	63 %
17	21,7°	24,3°	22,3°	69 %
18	21,3°	22,4°	21,4°	71 %
19	21,1°	21,8°	21,3°	74 %
20	21,3°	21,6°	21,5°	73 %
21	20,7°	21,7°	20,7°	76 %
22	18,8°	20,7°	18,8°	83 %
23	17,5°	18,8°	17,5°	90 %
0	17,4°	17,9°	17,4°	88 %
1	16,4°	17,4°	16,6°	90 %

Vedlegg 10: Simien beregninger av fasadene til EC dahls sykehjem

Nordfasaden er i fullstendig skygge. Vestfasade har skygge som består av nærliggende bygg med størrelsen 4 etasjer som tilsvarer en høyde på omtrent 10,8m ((4etasjer*(2,4m høyde i rommet+ 0,3 etasjeskiller)) som ligger 35 meter unna.

$$\tan^{-1} (10,8\text{m}/35\text{m}) = 17.14$$

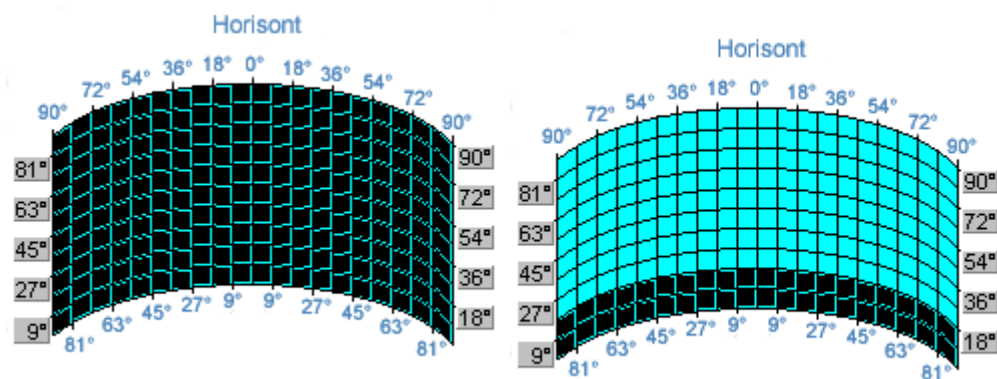
Sør fasade har skygge som består av et bygg omtrent 100 meter unna med en høyde på rundt 8 meter.

$$\tan^{-1} (8\text{m}/100\text{m})=4,57^{\circ}$$

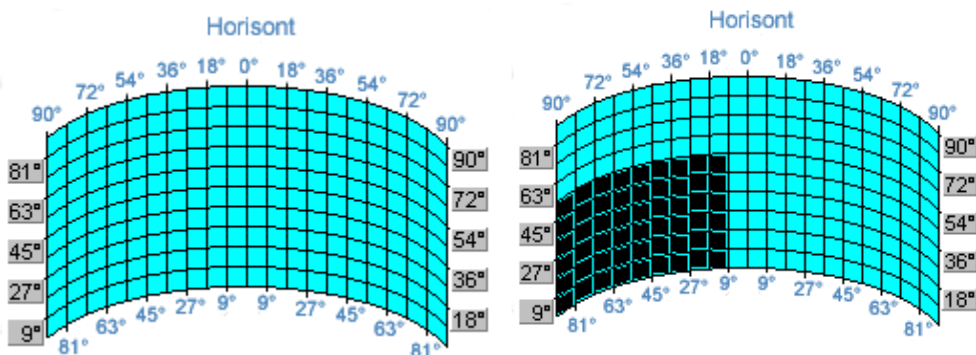
Øst fasade:

Skygge består av nærliggende bygg med størrelsen 4 etasjer som tilsvarer en høyde på omtrent 8m ((3etasjer*(2,4m høyde i rommet+ 0,3 etasjeskiller)) som ligger omtrent 5 meter unna.

$$\tan^{-1} (8\text{m}/5\text{m}) (3\text{etasjer}*(2,4+0,3)) = 58^{\circ}$$



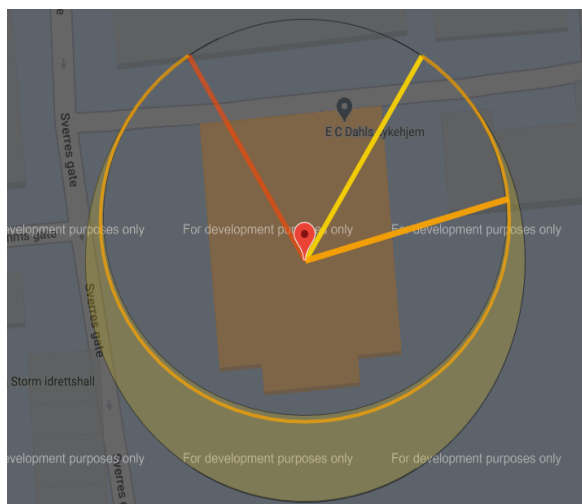
Nord Vest



SørØst

Solinnstråling ved varierende tidspunkt ved EC Dahls sykehjem

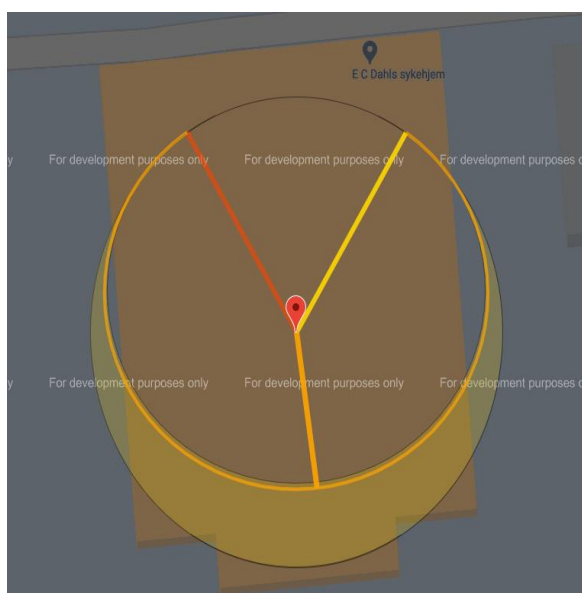
Bildene nedenfor viser hvilken retning solen treffer EC Dahls sykehjem ved varierende tidspunkt den 15. juli 2020.



07:00



09:00



13:00



18:00

Kilde solinnstråling <http://suncalc.net/#/63.4279,10.3901,19/2020.07.15/07:00>

Lyse utvendige persienner 80mm lameller med variabel solskjerming 2-lags rute med 1 energiglass

Vedlegg 11: Inndata for simulering av EC Dahls sykehjem

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Sykehjem
Simuleringsansvarlig	Jonas Kjösen Lindgren, Ole-Andreas Bratland, Hans Høgberget Veggum
Kommentar	

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Trondheim
Breddegrad	63° 30'
Lengdegrad	10° 22'
Tidssone	GMT + 1
Klimadata	Egendefinerte
Transmissivitet atmosfære	0,74
Absolutt luftfuktighet	10,0 g/kg
Markrefleksjonskoeffisient	0,20
Minimum utetemperatur	18,5 °C
Maksimum utetemperatur	28,1 °C
Vindhastighet	2,5 m/s

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m²K]:	20,00

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	24,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	2,86	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,86	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,62	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	2,17	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,70	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,75	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,37	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	-1,#J/0,80/1,00/0,84	

Inndata sommersimulering	
Beskrivelse	Verdi
Simuleringsdato	15/07
Simulerte døgn	7
Dagtype	Normal driftsdag
Bekledning [clo]	1,0
Aktivitetsnivå personer [met]	1,0
Bruker egendefinerte klimadata	-
Transmissivitet atmosfære	0,74
Vandampinnhold [g/kg]	10,0
Maksimaltemperatur [°C]	28,1
Mimumumstemperatur [°C]	18,5
Tidspunkt maks. utetemperatur	15:00
CO2 konsentrasjon [PPM]	380
Markrefleksjonskoeffisient	0,20
Vindhastighet [m/s]	2,5

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	2,86	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,86	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,62	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	2,17	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,70	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,75	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,04	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	-1, #J/0,80/1,00/0,84	

Inndata sommersimulering	
Beskrivelse	Verdi
Simuleringsdato	15/07
Simulerte døgn	7
Dagtype	Normal driftsdag
Bekledning [clo]	1,0
Aktivitetsnivå personer [met]	1,0
Bruker egendefinerte klimadata	-
Transmissivitet atmosfære	0,74
Vanndampinnhold [g/kg]	10,0
Maksimaltemperatur [°C]	28,1
Mimumstemperatur [°C]	18,5
Tidspunkt maks. utetemperatur	15:00
CO2 konsentrasjon [PPM]	380
Markrefleksjonskoeffisient	0,20
Vindhastighet [m/s]	2,5

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	769	
Areal tak [m ²]:	1100	
Areal gulv [m ²]:	2200	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	164	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	2200	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	7370	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,30	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,58	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,22	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,39	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	7,4	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	99	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,80	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	70	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	70,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,50	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	8,62	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	8,61	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,90	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	2,86	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,86	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,62	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	2,17	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,70	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,75	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,04	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	-1.#J/0.80/1.00/0.84	

Inndata sommersimulering	
Beskrivelse	Verdi
Simuleringsdato	15/07
Simulerte døgn	7
Dagtype	Normal driftsdag
Bekledning [clo]	1,0
Aktivitetsnivå personer [met]	1,0
Bruker egendefinerte klimadata	-
Transmissivitet atmosfære	0,74
Vanndampinnhold [g/kg]	10,0
Maksimaltemperatur [°C]	28,1
Mimumstemperatur [°C]	18,5
Tidspunkt maks. utetemperatur	15:00
CO2 konsentrasjon [PPM]	380
Markrefleksjonskoeffisient	0,20
Vindhastighet [m/s]	2,5

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	769	
Areal tak [m ²]:	1100	
Areal gulv [m ²]:	2200	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	164	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	2200	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	7370	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,30	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,58	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,22	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,39	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	7,4	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	99	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,80	
Temperaturvirkningsqr. varmegjenvinner [%]:	70	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	70,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,50	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	8,62	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	8,61	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,90	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

