

Emil Andresen Sørheim
Oscar Andreas Laugerud

Implementering av fjernvarme til kjøling av leiligheter

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-Teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Mai 2021

Emil Andresen Sørheim
Oscar Andreas Laugerud

Implementering av fjernvarme til kjøling av leiligheter

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-Teknikk
Veileder: Bjørn Austbø
Mai 2021

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



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel (Både på norsk og engelsk kreves)

Implementering av fjernvarme til kjøling av leiligheter

Implementation of district heating for cooling of apartments

Prosjektnr

EPT-V-2021-06

Forfatter(e)

Emil Andresen Sørheim og Oscar Andreas Laugerud

Oppdragsgiver(e) eksternt

Statkraft Varme AS

Veileder(e) internt

Bjørn Austbø

Rapporten er ~~ÅPEN~~/LUKKET (stryk ut det som ikke gjelder)

Dato levert: 20.05.21

Kort sammendrag (Både på norsk og engelsk kreves)

Statkraft Varme ønsket gjennom oppgaven å se på om det var mulig å kjøle ned leiligheter ved hjelp av fjernvarme, og om disse løsningene kan konkurrere med mer tradisjonelle løsninger på kostnad, energiforbruk, og miljøpåvirkning. Resultatet av oppgaven viste at det er mulig å bruke fjernvarme til kjøling forutsatt at man benytter rett teknologi og passende kjøleavgivere.

Teknologien kunne derimot ikke konkurrere på kostnad og energiforbruk. Miljøpåvirkningen klarte vi ikke å gi noen konklusjon på grunnet variasjon i utslippstall som benyttes.

Through the project, Statkraft Varme wanted to look at whether it was possible to cool apartments using district heating, and whether these solutions could compete with more traditional solutions in terms of cost, energy consumption and environmental impact. The result of the project showed that it is possible to use district heating for cooling provided that you use the right technology and suitable cooling emitters. The technology, on the other hand, could not compete on cost and energy consumption. We were unable to draw any conclusions about the environmental impact due to the variation in emission figures used.

Stikkord: Kjøling, fjernvarme, sorptiv kjøling, varmepumpe, absorpsjonskjøler, miljø, energi, kostnad, leilighet

Keywords: Cooling, district heating, sorptiv cooling, heat pumps, apartments, energy, environment, costs

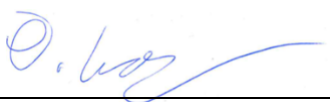
Forord

Denne oppgaven er utarbeidet av Emil A. Sørheim og Oscar A. Laugerud som en avslutning på bachelorprogrammet maskiningeniør ved Norges teknisknaturvitenskaplige universitet (NTNU), med spesialisering i Varme-, Ventilasjon- og Sanitærteknikk. Oppgaven er gjennomført ved Institutt for energi- og prosesseteknikk våren 2021, og omfatter 20 studiepoeng.

Vi vil gjerne rette en stor takk til vår interne veileder ved NTNU, førsteamanuensis Bjørn Austbø, som har bidratt med gode råd og oppfølging gjennom oppgaveperioden. Vi vil også takke Statkraft Varme for å ha gitt oss oppgaven, og ellers for støtte underveis i gjennomføringen. Takk til Hans Monsen, Thea Monsen og Berit Mørck for tips til utforming av rapporten og korrekturlesing. Til slutt vil vi takke alle som har bidratt til oppgaven ved å dele tallmateriale og erfaringer rundt temaet.

NTNU

Trondheim, 19.05.2021



Oscar A. Laugerud



Emil A. Sørheim

Sammendrag

Årlig forbrennes mellom 220.000 og 225.000 tonn avfall av Statkraft Varme Trondheim alene. Deponi av avfall er forbudt, som pålegger fjernvarmeleverandører å brenne avfall året rundt. I vinterhalvåret blir energien fra avfallsforbrenningen nyttiggjort til oppvarming, men av avfall som brennes i sommerhalvåret, går mye til spille. Muligheten for å utnytte fjernvarme til kjøling av leiligheter på sommerhalvåret fremlegges som mulig løsning.

Statkraft Varme ønsket å se hvordan og hvorvidt kjølemaskiner som drives av fjernvarme kan brukes til å kjøle ned leiligheter, og om disse kan konkurrere med mer tradisjonelle løsninger på kostnad, energiforbruk og miljøpåvirkning.

For å se på om dette var mulig ble det laget en modell av en leilighet og kjølebehovet ble beregnet ved bruk av SIMIEN. Resultatene viste at nødvendig kjølebehov varierer mye etter hvor god solskjerming som var installert, og hvilke retninger leiligheten vendte. Gjennom dokumentstudier og utregninger kartla vi kjøleeffekten til ulike kjøleaggregater, og vurderte hvorvidt disse egnet seg til bruk i leiligheter. Resultatet viste at kjøling med fjernvarme er mulig. Ventilasjonkjøling kan by på utfordringer når kjølebehovet er stort, men at viftekonvektorer kan være en løsning. TABS viste seg også å ha store potensialer for bruk i leiligheter.

Videre ble det gjort utregninger for å se på investerings og vedlikeholdskostnader for de ulike kjøleteknologiene. Dette viste at hverken absorpsjonskjølere eller sorptivt kjøleaggregat kan konkurrere med isvannsmaskiner og DX-kjølere på pris. Det samme så vi for energibruken til de ulike løsningene. Miljøpåvirkning til de ulike løsningene varierer mye basert på hvilke tall man benytter, og det var derfor ikke mulig å si hvilken løsning som hadde minst utslipp.

Abstract

Annually, between 220,000 and 225,000 tonnes of waste is incinerated by Statkraft Varme Trondheim alone. Landfilling of waste is prohibited, which requires district heating suppliers to burn waste all year round. In the winter, the energy from the waste incineration is used for heating, but a lot of waste that is burned in the summer is wasted. The possibility of utilizing district heating for cooling apartments in the summer is a possible solution.

Statkraft Varme wanted to see how and whether cooling machines powered by district heating can be used to cool apartments, and whether these can compete with more traditional solutions for cost, energy consumption and environmental emissions.

To see if this was possible, a model of an apartment was made, and the cooling demand was calculated using SIMIEN. The results showed that the required cooling needs vary greatly depending on how good sun protection was installed and which directions the apartment was facing. Through document studies and calculations, we mapped the cooling effect of different cooling emitters, and assessed whether these were suitable for use in apartments. The result showed that cooling with district heating is possible. Ventilation cooling can present challenges when the need for cooling is high, but fancoils could be a solution. TABS also proved to have great potential for use in apartments.

Furthermore, calculations were made to look at investment and maintenance costs for the various refrigeration technologies. This showed that neither absorption coolers nor sorptive cooling units can compete with ice water machines and DX coolers on price. We saw the same for the energy use of the various solutions. The environmental emissions of the various solutions vary greatly based on the figures used, and it was therefore not possible to say which solution had the least emissions.

1 Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	III
1 INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN OG MOTIVASJON	1
1.2 PROSJEKTBEKRIVELSE OG MÅL.....	2
1.3 BEGRENSNINGER	2
1.4 STRUKTUR.....	2
2 TEORI	3
2.1 VIKTIGE ORD OG BEGREPER	3
2.2 LITT OM FJERNVARME	6
2.3 LOVER OG REGLER	6
2.3.1 §13-2. VENTILASJON I BOLIGBYGG	7
2.3.2 §13-4. TERMISK INNEKLIMA	7
2.3.3 §14-2. KRAV TIL ENERGIEFFEKTIVITET	8
2.4 KJØLETEKNOLOGIER.....	9
2.4.1 SORPTIV KJØLING.....	9
2.4.2 ABSORPSJONSKJØLER.....	10
2.4.3 ISVANNSMASKIN/VARMEPUMPE	11
2.5 KJØLEAVGIVERE.....	12
2.5.1 VENTILASJONSKJØLING.....	12
2.5.2 LOKAL KJØLING	13
2.5.3 KJØLING VIA BYGNINGSFLATER	13
3 METODE	15
3.1 MODELL	15
3.1.1 OPTIMAL OPERATIV TEMPERATUR	16
3.1.2 LUFTMENGDER	17
3.2 SIMIEN	17
3.3 METODE FOR VURDERING AV KJØLETEKNOLOGIER	19
3.3.1 INVESTERINGS- OG VEDLIKEHOLDSKOSTNADER	19
3.3.2 ENERGIBEREGNINGER.....	20
3.3.3 MILJØBEREGNINGER	20
3.3.4 HEIMDAL VARMESENTRAL	21
3.4 VURDERING AV KJØLEAVGIVERE.....	22
4 RESULTATER	23
4.1 KJØLEBEHOV.....	23

4.2	INVESTERINGS- OG VEDLIKEHOLDSKOSTNADER	26
4.2.1	INVESTERINGSKOSTNADER FOR SORPTIV OG DX	26
4.2.2	INVESTERINGSKOSTNADER ABSORPSJONSMASKIN OG ISVANNSMASKIN	26
4.2.3	INVESTERINGSKOSTNAD	27
4.2.4	DRIFT- OG VEDLIKEHOLDSKOSTNADER.....	28
4.3	ENERGIBEREGNINGER.....	28
4.4	MILJØBEREGNINGER.....	29
4.5	HEIMDAL VARMESENTRAL	29
4.6	VENTILASJONSKJØLING	30
4.7	KJØLEEFFEKT GULVKJØLING	31
4.8	KJØLEEFFEKT TABS	31
5	<u>DISKUSJON.....</u>	<u>32</u>
5.1	KJØLEBEHOV.....	32
5.2	KJØLETEKNOLOGIER.....	33
5.2.1	INVESTERINGSKOSTNAD	33
5.2.2	VEDLIKEHOLDSKOSTNADER.....	34
5.2.3	INVESTERING OG ÅRLIGE KOSTNADER	35
5.2.4	ENERGIBRUK.....	36
5.2.5	MILJØPÅVIRKNING.....	38
5.2.6	HEIMDAL VARMESENTRAL	40
5.3	OPPSUMMERING AV KJØLETEKNOLOGIENE	41
5.4	KJØLEAVGIVERE.....	41
5.4.1	VENTILASJONSKJØLING.....	41
5.4.2	LOKAL ROMKJØLING	42
5.4.3	TABS.....	43
5.4.4	VANNBÅREN GULVKJØLING.....	44
6	<u>KONKLUSJON</u>	<u>46</u>
6.1	VIDERE ARBEID.....	47
7	<u>REFERANSER.....</u>	<u>48</u>
8	<u>VEDLEGG.....</u>	<u>52</u>

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Problemstillingen ble fremlagt for gruppen av Statkraft Varme AS i et møte mellom partene, september 2020. Statkraft Varme AS er blant Norges største fjernvarmeleverandører, og produserer årlig over 1 TWh fjernvarme fordelt på Norge og Sverige. I Trondheim har Statkraft Varme 11 varmesentraler som årlig forsyner industri, næringsbygg og private med 660 GWh fjernvarme til oppvarming. Fjernvarme benyttet til kjøling, utgjorde i 2019 kun 18 GWh. Som fjernvarmeleverandør forplikter Statkraft Varme å brenne biologisk nedbrytbart avfall da dette er forbudt å deponere. Årlig brenner Statkraft Varme Trondheim mellom 220.000 og 225.000 tonn restavfall. Restavfallet kommer fra nord i Gudbrandsdalen og strekker seg helt til Saltfjellet i nord. Som følge av den lovpålagte forbrenningen og lavt fjernvarmeforbruk på sommeren, ønsker Statkraft Varme å undersøke muligheten for å bruke overskuddsvarmen i sommerhalvåret til nedkjøling av leiligheter. Overskuddet som ikke er utnyttet, har de to siste årene i snitt vært på ca. 56000MWh i perioden juni - august.

Kjøling med fjernvarme er ikke noe nytt konsept, og benyttes til nærings- og energibbygg i land som f.eks. Sverige. De vanligste løsningene er kjøling gjennom sorptiv kjøling og absorpsjonskjøling. Førstnevnte baserer seg på å tørke luften med fjernvarme, for så å befukte luften for å senke temperaturen. Absorpsjonskjøling bruker fjernvarmen som erstatning for kompressorer, og leverer lavtemperert vann til ulike kjøleavgivere.

Store mengder energi går til spille som følge av uutnyttet energi fra avfallsforbrenning. Dette er energi som burde kunne bli nyttiggjort, og gruppens ønsker gjennom oppgaven å undersøke hvorvidt kjøleteknologiene tilkoblet fjernvarme lar seg benytte i private boliger. Gjennom arbeidet ønsker vi å utrede om kjøling av leiligheter med fjernvarme kan være et godt alternativ til tradisjonelle løsninger, som isvannsmaskin og DX-kjølere basert på kostnader, energiforbruk og miljøpåvirkning. Oppgavens rammer er satt til å dekke nyere leiligheter iht. til de bygningsmessige kravene i TEK17, og eksisterende installasjon av fjernvarme som oppvarmingskilde.

1.2 Prosjektbeskrivelse og mål

I oppgaven ønsker vi å besvare hvordan fjernvarme kan brukes til å kjøle leiligheter, og hvorvidt kan konkurrere med mer tradisjonelle kjøleteknologier på kostnader, energiforbruk og miljøpåvirkning. Dette vi kunne gi en pekepinn på om leiligheter kan utnytte seg av overskuddsvarmen som produseres på sommeren. For å kunne besvare dette er det nødvendig å finne ut om det er et kjølebehov, og hvor stort dette eventuelt er. Dette skal vi gjøre ved at en modell av en leilighet bygget iht TEK17 skal designes etter statistisk data, og simuleres i SIMIEN. Deretter skal vi samle inn data om kostnader, miljøpåvirkning og energiforbruk knyttet til de ulike kjøleteknologiene slik at vi kan vurdere disse opp mot hverandre. Til slutt skal vi kartlegge om et utvalg av kjøleavgivere kan levere tilstrekkelig kjøleeffekt, og hvorvidt disse egner seg til bruk i leiligheter.

Basert på overnevnte målet for oppgaven er følgende problemstilling valgt:

“Hvordan kan fjernvarme brukes til kjøling av leiligheter, og kan en slik løsning være konkurransedyktig i forhold til tradisjonelle løsninger med henblikk på kostnader, energiforbruk og miljøpåvirkning?”

1.3 Begrensninger

Gjennom oppgaven har gruppen støtt på flere utfordringer. Det har vært vanskelig å finne konkrete priser på produkter da flere leverandører ikke har besvart våre henvendelser. Det har også blitt gjort forsøk på å få utlevert data fra aktører som allerede har tatt i bruk ulike kjøleteknologier. Flere var positive til å hjelpe gruppen med informasjon når oppgaven ble presentert for dem, men for så å trekke seg når gruppen spurte om informasjon. Dette har gjort at vi i stor grad har måtte basere tall i oppgaven fra andre kilder. Grunnet COVID-19 har det også gjennom oppgaven vært vanskelig for gruppen å være samlet, og en del av samarbeidet har måtte blitt gjort gjennom løsninger som Microsoft Teams.

1.4 Struktur

Opgaven er delt opp i 6 hovedkapittel, hvor første er introduksjon. Andre kapittel presenterer sentrale teorier benyttet for å besvare problemstillingen. I kapittel tre, redegjør vi for de metodiske valgene vi har tatt. Fjerde kapittel presenterer de mest sentrale resultatene fra metoden. I kapittel fem, diskuteres og drøftes resultatene før vi i siste kapittel skal fremlegge konklusjonen.

2 Teori

Kapitlet presenterer de sentrale teoriene benyttet for å besvare problemstillingen. Først introduseres viktige ord og begreper benyttet gjennom oppgaven og som vil hjelpe leseren gjennom oppgaven. Andre del tar for seg litt informasjon om fjernvarme. Deretter følger lover og regler gjeldende for boligblokker, og som vi må forholde oss til. Til slutt presenteres teori om de forskjellige kjøleteknologiene, og ulike kjøleavgivere.

2.1 Viktige ord og begreper

Dette delkapitlet presenterer viktige ord og begreper benyttet gjennom oppgaven. Hvert punkt beskriver kort hva begrepene betyr. For mer informasjon se referert litteratur.

Coefficient of performace (COP)

COP, også kjent som virkningsgrad, er forholdet mellom tilført energi og energien som produseres. (Ingebrigsten, 2020)

CO2-ekvivalent (CO2-ekv)

Miljøpåvirkning måles ofte i CO2-ekvivalenter. Omregningen gjøres ved å multiplisere antall tonn med gassens GWP. (Miljødirektoratet, 2019)

Globalt oppvarmingspotensial (GWP)

GWP er et mål på oppvarmingseffekten som ulike medier har på atmosfæren. GWP defineres som den akkumulerte oppvarmingseffekt sammenlignet med effekten av karbondioksid (CO₂). (Mamen, Jostien, 2019)

Byggteknisk forskrift (TEK17)

TEK17 stiller krav til et byggverks minimumsegenskaper for å kunne oppføres lovlig i Norge. (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

Tørrkjøler

En tørrkjøler installeres typisk på taket og har som oppgave å kvitte seg med overskuddsvarme fra en kjølemaskin til luft. (Tempra, u.d.)

Frikjøling

Dersom utetemperaturen er lav nok, kan tørrkjølere brukes til frikjøling. Isvannsmaskinen kan da slås av, og kjølingen drives kun av en sirkulasjonspumpe som sirkulerer kjølevannet til tørrkjøleren og ut til de ulike kjøleavgivere. Ved frikjøling kjøres kjølevannet utenfor isvannsmaskinen i en by-pass. (Dokka, et al., 2001)

Legionella

Legionellabakterien forekommer i naturen og finnes i ofte i stillestående vann. Gode vekstforhold øker produksjonen av bakterien, og kan forårsake legionærsykdom og pontiacfeber hos mennesker. Optimale vekstforhold vil være ved temperaturer mellom 20 °C og 50 °C, ved svakt surt miljø med pH 6-7, eller ved lave konsentrasjoner av natriumsalter. For å forebygge mot legionellabakterien trenger man varmtvannstemperatur over 60 °C eller kaldtvannstemperatur under 20 °C. God vannsirkulasjon og mulighet for rengjøring er også viktige faktorer. (FHI, 2020)

Predicted Mean Vote (PMV)

PMV-indeks brukes til å anslå hvordan en gruppe personer opplever det termiske inneklimaet. PMV er delt inn i en skala fra +3 til -3 vist i tabellen under. (SINTEF, 2017)

Skala	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Vurdering	Kaldt	Kjølig	Noe kjøling	Nøytralt	Noe varmt	Varmt	Hett

Percentage of dissatisfied (PPD)

PPD-indeks angir hvor mange prosent som vil være misfornøyde med det termiske inneklimaet basert på PMV-verdien for den gitte situasjonen. (SINTEF, 2017)

Operativ temperatur

Operativ temperatur er et mål på den kombinerte effekten av temperaturen til luften i rommet og stråling fra omliggende overflater. Den gir et mer realistisk bilde av opplevd temperatur enn lufttemperatur alene. Ved optimal operativ temperatur er den forventende gjennomsnittlige PMV vurderingen lik null. Optimal operativ temperatur er avhengig av en persons aktivitetsnivå (met), og bekledding (clo). (SINTEF, 2017).

Duggpunktstemperatur

Duggpunktstemperatur er den temperaturen hvor en gass er fullstendig mettet og feller ut vann (Duggpunkt, 2021)

Konveksjon

Varmetransport fra et fast legeme til omgivende væske eller gass som er i bevegelse. Det skilles her mellom naturlig og tvungen konveksjon. Naturlig konveksjon skjer av termiske oppdriftskrefter som følge av temperaturdifferanser. Tvungen konveksjon kan skapes av vind, vifter, pumper etc. (Ingebrigsten, 2020) (side 189)

Termisk stråling

Alle faste legemer avgir termisk stråling, og deres utstrålingseffekt avhenger av legemets overflateegenskaper og temperatur. (Ingebrigsten, 2020).

Kuldemedium

Varmepumper benytter kuldemedium til å absorbere, flytte og avgir energi. Kuldemedier kommer som naturlige og syntetiske. Ofte bygges anlegg med syntetiske kuldemedier, da naturlige kan medføre store priskostnader. (Mamen, 2019)

Varmekapasitet

Varmekapasitet er et mål på mengden varme som må tilføres et material/fluid for å heve temperaturen i materialet/fluid. (Pedersen, 2019)

2.2 Litt om fjernvarme

Fjernvarmenettet i Trondheim består av 25 mil med rørnett som forsyner over 30 % av energien til oppvarming i Trondheim (NVE, 2019). Temperaturen i rørnettet ligger rundt 95°C, men kan økes opptil 120°C. (Statkraft Varme, 2015). Fjernvarmens grunnlast kommer fra energigjenvinning fra kilder som avfall, biobrensel og fossilgass. Energigjenvinning omtales ofte som spillvarme og regnes som nullutslipp ved bruk i fjernvarmenettet, oppgis det av Vice President for marked og produktutvikling i Statkraft Varme, Audun Brenne under Teams møte med gruppen. Avfallsforbrenning sto i 2020 for 80,9 % av den totale energiproduksjonen ved Heimdal gjenvinningssentral. Energiinnholdet i et tonn avfall antas å være ca. 3-3,1 MWh, av dette kan fjernvarmeleverandøren produsere ca. 2,5-2,6 MWh energi, ifølge Brenne.

Utslipp knyttet til fjernvarmeproduksjon baseres på utslippstall knyttet til de ulike energikildene som benyttes, samt mengden hver kilde forbrenner. Halvparten av avfallet som forbrennes regnes som biobrensel og defineres derfor som utslippsfritt. Den andre halvparten defineres som fossile kilder, og inkluderes derfor i klimaregnskapet. I 2011 beregnet miljødirektoratet en utslippsfaktor på 541,5 kg CO₂ per tonn for avfallsbrenning av fossile kilder. (Fedoryshyn, 2015). Vice president for marked og produktutvikling i Statkraft Varme, Audun Brenne sa i møte, at utslippsfaktoren for Trondheim ligger på 18,6 g CO₂/kWh i 2020. Prisen på fjernvarme lovreguleres og kan ikke overstige spottprisen for strøm i samme periode. (NVE, 2021).

2.3 Lover og regler

TEK17 regulerer lover og regler for inneklimateknikk i norske boligbygg. TEK17s veiledning sier følgende om forskriften: «Forskrift om tekniske krav til byggverk trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge.» Forskriften omhandler det meste av forholdene rundt bygg, men i denne oppgaven forholder vi oss til kravene satt i §13-2. Ventilasjon i boligbygg, som omhandler krav til luftmengder, §13-4. Termisk Inneklimateknikk, som omhandler temperaturer og §14-2. Krav til energieffektivitet, som setter krav til bygningskonstruksjonen. Nedenfor er kravene utdypet i mer detalj.

2.3.1 §13-2. Ventilasjon i boligbygg

Ved dimensjonering av luftmengder dimensjoneres rommene etter hvilket bruksområde de skal benyttes til. Kravene i TEK17 er som følgende: (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

- Boenheten skal ha ventilasjon som sikrer en gjennomsnittlig frisklufttilførsel på minimum 1,2 m³ per time per m² gulvareal når boenheten er bebodd
- Soverom skal tilføres minimum 26m² friskluft per time per planlagt sengeplass når rommet er i bruk
- Rom som ikke er beregnet for varig opphold skal ha en ventilasjon som sikrer minimum 0,7m³ friskluft per time per m³ gulvareal
- Kjøkken, toalett og våtrom skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet

Krav til avtrekk:

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon
Kjøkken	36 m ³ /h	108 m ³ /h
Bad	54 m ³ /h	108 m ³ /h
Toalett	36 m ³ /h	36 m ³ /h
Vaskerom	36 m ³ /h	72 m ³ /h

2.3.2 §13-4. Termisk inneklima

Krav til temperatur i boligbygg reguleres av TEK17 - §13-4. Temperaturområdene er definert i henhold til aktivitetsgruppe. For vanlig opphold i boligen defineres dette som lett arbeid.

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid
Temperaturer [°C]	19-26	16-26	10-26

TEK17 sier at de laveste temperaturene i hver aktivitetsgruppe bør overholdes, også på dager med høy utvendig temperatur, gitt at det ikke er feil med tekniske installasjoner.

For boligbygg uten installert kjøling er det i henhold til forskriften akseptabelt med høyere innetemperaturen i korte perioder. «Dette begrunnes med at boligbygninger har et bruksmønster som gir brukeren større personlig påvirkning og mulighet til å tilpasse seg høy innetemperatur, f.eks. ved lettere bekledding og gjennomlufting i oppholdssonen». Hva som menes med korte perioder er ikke definert. (Direktoratet for byggkvalitet, 2021)

2.3.3 §14-2. Krav til energieffektivitet

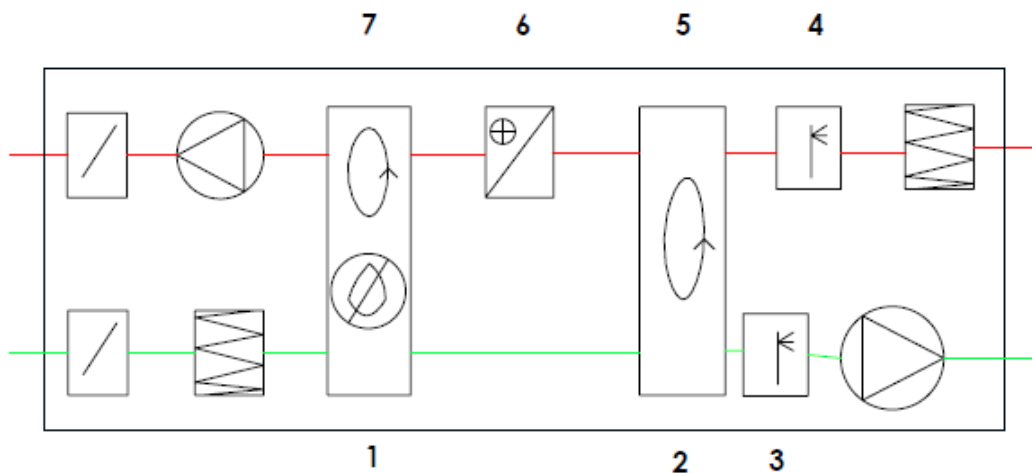
Tek17 stiller krav til energieffektiviteten til nye bygg. Første punkt setter krav til energirammene bygg i ulike kategorier må forholde seg til, mens andre punkt setter krav til energiltak. Det er valgfritt om man ønsker å benytte seg av punkt 1 eller 2 så lenge en av disse oppfylles. I denne oppgaven vil vi oppfylle punkt 2 for boligblokker. (Direktoratet for byggkvalitet, 2017)

2.4 Kjøleteknologier

Denne teoridelen redegjør for hvordan de ulike kjøleteknologiene fungerer, og hva som differensierer dem. Dette utføres for å senere kunne ta vurderinger omkring kostnader, energiforbruk og miljøutslipp til de ulike teknologien.

2.4.1 Sorptiv kjøling

Sorptiv kjøling er en evaporativ kjølingsmetode som bruker vann for å senke tilluftstemperaturen, og kontrollere luftfuktighet. Dette gjøres enten direkte ved at vann sprøytes inn i luften, eller indirekte ved at vann kjøler kanalen hvor luften passerer. (Munters, 2021). Denne oppgaven tar kun for seg direkte evaporativ kjøling (Kubberød, 2016). Teknologien er relativt ny i norsk sammenheng, men er velprøvd og godt utviklet i Sverige (Nemitek, 2019). Teknologien innlemmes i et sentralt ventilasjonsaggregat som forsyner de ulike rommene i bygningen med kaldt tilluft. Den største forskjellen mellom et vanlig ventilasjonsaggregat og et sorptivt kjøleaggregat er at varmebatteriet er plassert på avtrekkssiden [6], samt at det er installert en tørker [1] og befuktere [3,4]. Den termiske energien fra fjernvarmen benyttes til å varme opp luften i varmebatteriet [6].



Figur 1 - Sorptivt kjøleaggregat

Sorptiv kjøling fungerer ved at uteluften [1] tørkes og avgir energi til avtrekksluften i en roterende varmeveksler [2], før [3] fordampningskjøleren kjøler luften ytterligere ned. Avtrekksluften fra bygget [4] kjøles ned i fordampningskjøleren, mottar energi fra tilluften i [5] varmegjenvinneren og blir varmet opp i [6] varmebatteriet for å redusere relativ luftfuktighet. Avtrekksluften blir brukt til å tørke tilluften i [7] lufttørkeren. (Statkraft Varme AS, 2021)

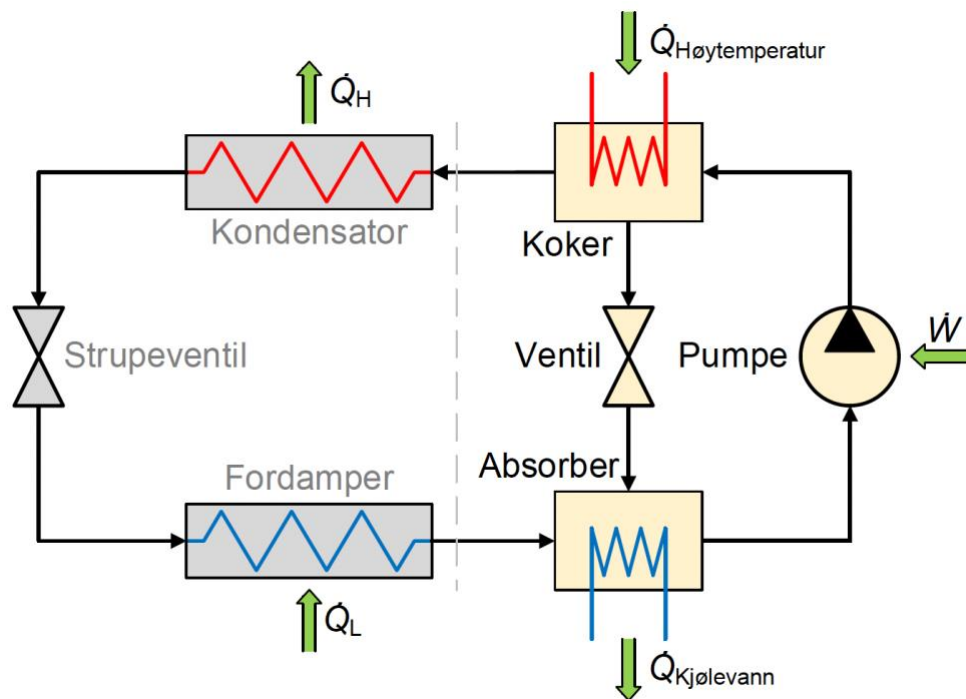
COPen til et sorptiv aggregat kan regnes ut ved å se på entalpidifferansen mellom uteluften og tilluften til rommet delt på differansen mellom luften før og etter den roterende avfukter. Dette gjør at COPen i stor grad er avhengig av luftfuktigheten og temperaturen til uteluften. Selv om den teoretiske COPen til et sorptiv kjøleaggregat er regnet ut til å være mellom 2,6 og 3,0 (Eicker, 2009). Er den dog ikke dette i virkeligheten, og ligger typisk rundt 0,67 eller lavere i nordiske klima. (VVS Foreningen, 2019) Forskjellen mellom teoretisk og reell COP skyldes at utregningen av teoretisk COP er basert på at prosessen er reversibel, noe den i virkeligheten ikke er. (Eicker, 2009)

Kjøleffekten oppstår ved at fint forstøvet vann sprøytes inn i luften. Energien som trengs for å fordampe vannet hentes fra tilluften, noe som fører til synkende lufttemperatur. (Ingebrigsten, 2020). Ved tilførsel av 1 gram vann per kg luft vil man kunne oppnå en temperatursenking på ca 2,5 °C. (Grinrød, 2014).

Teknologien er ikke avhengig av fjernvarme for å fungere. Både elektriske varmebatteri, samt vannbåret varmebatteri med andre energikilder kan benyttes. Land med mye sol benytter blant annet solfangere til å varme opp vann som føres inn til varmebatteriet (Eicker, 2009).

2.4.2 Absorpsjonskjøler

Absorpsjonskjølere er en relativt gammel teknologi som først ble utviklet av Ferdinand Carré i 1859. Absorpsjonskjølere leveres i alle størrelser mellom 5-20.000kW og bruker i hovedsak (Lithium Bromid) LiBr/vann som arbeidsmedium. (Eicker, 2009). Prosessen er noe komplisert, men kort fortalt så strømmer arbeidsmediet fra absorbenten til generatoren. I generatoren fordampes arbeidsmediet som følge av varmen som tilføres fra f.eks. fjernvarme. Dampen føres så inn til en kondensator hvor kaldt vann fra et kjøletårn, eller lignende, får det til å kondensere. Vannet føres så inn til en fordamper hvor det er tilnærmet vakuum. Dette senker temperaturen på vannet som strømmer over rør som distribuerer kjølingen ut i bygget. Dette entrer vannet absorbenten og prosessen starter over igjen. (The Engineering Mindset, 2017). Siden prosessen utnytter termisk energi til å kjøle ned vann har en absorpsjonskjøler et stort varmeoverskudd.



Figur 2 - Forenklet modell av absorpsjonskjøler, kilde: Bjørn Austbø

Det finnes flere typer absorpsjonskjølere. Disse skilles inn i antall «effekter» og løft. Effekter sier hvor mange ganger varme tilføres absorpsjonskjøleren, mens løft viser til antall par absorberer/generatorer. Hensikten med dobbel- og trippeffektkjølere er å øke virkningsgraden. Disse kan henholdsvis oppnå virkningsgrader på 1,3 og 1,7. Dog kreves det at den termiske energien som driver prosessen har en temperatur på 150 °C og oppover. For en enkelt effekt absorpsjonskjøler med LiBr/vann løsning som arbeidsmediet, er COPen mellom 0,5-0,7 ved en drivende temperatur 70°C og oppover. (Eicker, 2009).

2.4.3 Isvannsmaskin/varmepumpe

Kjølemaskiner er den vanligste teknologien for kjøling. Disse fungerer som en varmepumpe, men prosessen er reversert for å kjøle fremfor å varme opp. Gjennom fasendringer i arbeidsmediet kan man hente ut varme fra bygget gjennom fordamperen og avgi denne til omgivelsene via kondensatoren. Kjølemaskiner utformes gjerne som isvannsmaskiner eller DX-systemer. Isvannsmaskiner kjøler ned vann som sirkulerer i et lukket kretsløp. Vannet distribueres ut i bygget til ulike kjøleravgivere. Isvannsmaskiner benytter seg typisk av tørrkjølere på taket for å kvitte seg med varmen som trekkes ut av bygget, men det kan også benyttes vekslere som kvitter seg med overskuddsvarmen til sjø, elv eller brønner. Kjølemaskiner kan også utformes som såkalte DX-systemer hvor fordamperen er installert direkte i ventilasjonsaggregatet eller kanalene. (Dokka, et al., 2001)

COP faktorene for isvannsmaskiner og varmepumper ligger typisk mellom 3-5, men kan variere basert på de ulike klimaforholdene.

Naturlige kuldemedier medfører ofte store priskostnader, derfor bygges ofte anlegg med syntetiske kuldemedier. Miljøpåvirkningen måles i GWP. R407C er et syntetisk kuldemedium med en GWP 1774 (Linde, 2021) er godt egnet for middels tempererte kjøleanlegg og boligkondisjonering, men skal utfases innen 2030. (Novema Kulde , 2020)

I motsetning til sorptiv kjøling og absorpsjonsmaskin som bruker fjernvarme til drift bruker en isvannsmaskin strøm. I 2019 var 94 % av strømmen benyttet i Norge fra fornybare kilder som vannkraft, vindkraft eller annen fornybarkilde. Beregninger er gjort av NVE og presentert på regjeringens hjemmeside viser at det gjennomsnittlig karbonintensitet ved bruk av strøm i Norge var på 17 g CO₂/kWh (Olje- og energidepartementet , 2020) (NVE, 2020). Beregningene tar utgangspunkt i Norges energiforbruk og inkluderer utveksling av strøm med andre land, samt inkluderer klimagassutslipp fra produksjon av importert strøm. I beregningene regnes fornybare kilder som nullutslipp (NVE, 2020). I realiteten er det utslipp under produksjonen av strøm fra fornybare kilder. Utslippene stammer fra f.eks. stål og betong som går med på å lage komponentene som brukes til kraftproduksjon (NVE, 2020).

2.5 Kjøleavgivere

Teoridelen fremviser de vanligste kjøleavgiverne i næring- og industribygg. Forskjellen på virkemåten og kjøleeffekt til de ulike løsningene vil danne grunnlaget for vurderingen av hvorvidt løsningene egner seg til bruk i leiligheter.

2.5.1 Ventilasjonkjøling

Ventilasjonkjøling er den vanlige formen for komfortkjøling i dag. Ventilasjonkjøling går ut på å installere et kjølebatteri i ventilasjonsaggregatet eller i tilluftskanalen. I kjølebatteriet sirkuleres kaldt vann som kjøler ned luften som passerer over kjøleflaten. Kjølebatteri kan også utføres som et DX-system ved at fordampere fra en varmepumpe plasseres i aggregatet eller ventilasjonskanalen (Dokka, et al., 2001), i denne løsningen er det arbeidsmediet til varmepumpen som sirkuleres i motsetning til vann. Kjøleeffekten til et kjølebatteri avhenger

av overflatearealet på batteriet, vanntemperaturen inn til batteriet, lufttemperaturen før og etter, samt mengden luft som passerer. Typiske tilluftstemperaturer inn til rommet ligger vanligvis mellom 15-17°C (Dokka, et al., 2001) Et sorptivt kjøleaggregat er en type ventilasjonskjøling.

2.5.2 Lokal kjøling

Lokal kjøling brukes i bygg som har store varmelaster eller strenge krav til termisk komfort. (Dokka, et al., 2001).

Kjølebaffler er lokale romkjølere som installeres fritthengende under tak eller integrert i himlingen. Disse fungerer ved å kjøle ned luften som passerer kjøleelementet i baffelen. Kjølebaffler kan enten kobles direkte på tilluftskanalen eller drives av egenkonvekksjon hvor de termiske oppdriftskreftene sirkulerer luften gjennom baffelen. (Dokka, et al., 2001)

Viftekonvektorer (fancoils) brukes som regel i lokaler som har store varmelaster. Disse er ikke koblet på tilluften, men bruker en vifte til å sirkulere romluften over et kjølebatteri. Kjølebatteriet kan enten være vannbårent eller utført som DX-system. Kjølingen skjer tilnærmet 100% via konvekksjon. (Dokka, et al., 2001)

Kjøletak fungerer som en kaldtvannsradiator, men installert i taket. Kjøletaket drives av isvann og avgir mesteparten av kjølingen gjennom stråling, og vil derfor passe godt i rom med stor solinnstråling (Dokka, et al., 2001).

Felles for alle lokale kjølere er at de kun kjøler ned rommet/sonen der de er installert. Dersom man ønsker å kjøle ned flere rom må det installeres flere kjølere eller sørge for at luften har mulighet til å sirkulere fritt til nærliggende rom. Det er også mulig å montere ventilasjonskanaler på viftekonvektoren for distribusjon til flere rom (Sabiana, 2021).

2.5.3 Kjøling via bygningsflater

I motsetning til ventilasjonskjøling skjer kjøling via bygningsflater i hovedsak gjennom stråling. Både vegger, tak og gulv kan benyttes til å kjøle ned et bygg ved at det installeres rør som sirkulerer kaldt vann i bygningsflatene. Det er viktig å bemerke seg at det skilles mellom hvorvidt man benytter seg av bygningskonstruksjonens varmekapasitet eller ikke som en del av kjøleløsningen (Olesen, 2000).

2.5.3.1 Termisk Aktiv Bygnings System (TABS)

TABS fungerer ved at rør støpes inn gulv-, tak- eller veggkonstruksjoner som kan brukes til oppvarming og nedkjøling. Det finnes også løsninger hvor temperert luft benyttes fremfor vann, samt en kombinasjon av begge. (Haase & Inger, 2007). Oppgaven begrenser seg til systemer som kun bruker vann, samt er installert i tak, da denne er mest benyttet. Kjøleeffekten avhenger av flere faktorer slik som avstand mellom rørene og dets diameter, tykkelse på betongen, hvor rørene er plassert i dekket, vanntemperatur og volumstrøm, samt temperaturdifferansen mellom rommet og bygningskonstruksjonen (Haase & Inger, 2007).

2.5.3.2 Kjøling via gulvvarmesystem

Kjøling via gulvsystem fungerer ved at rørsøyfer av PEX, Alupex el. er lagt i gulvet hvor kaldt vann sirkulerer. (SINTEF Byggforsk, April 2020).

I motsetning til TABS brukes ikke byggets masser til å lagre termisk energi. Kjøleeffekten til systemet er avhengig av røravstand, diameter, vanntemperatur og volumstrøm, og differanse mellom vann og romtemperatur.

Rør installeres etter to prinsipper, tørr eller våt (støpt) løsning. Tørr installasjon skjer ved å legge ferdige prefabrikkerte plater av EPS el. på bærende konstruksjonen. Disse består av spor i platen hvor varmfordelingsplaten og rørene legges. Gulvet bygges så opp av et eventuelt glidesjikt og gulvbelegg. (SINTEF Byggforsk, April 2020). Ved våt installasjon støpes varmerørene inn i betong. Oppbyggingen av gulvets sjikt er nesten identisk med tørr installasjon med unntak av at glidet sjiktet er flyttet ned, samt at det legges en form for varmeisolasjon mellom den bærende konstruksjonen og støpen. (SINTEF Byggforsk, April 2020). Våte løsning vil p.g.a. varmeledningsevnen ha større kjøleeffekt enn tørre løsninger.

3 Metode

Kapittelet presenterer og redegjør for de metodiske valgene benyttet for å besvare problemstillingen. Første del omhandler metoden for oppbygging av modellen, benyttet for å finne et eventuelt kjølebehov, samt hvordan simuleringen er gjennomført. Deretter belyses metode benyttet for å vurdere de ulike kjøleteknologien opp mot hverandre. Til slutt skal vi se på metodene brukt i vurderingen av de ulike distribusjonsløsningene.

3.1 Modell

For å finne det eventuelle kjølebehovet og dets omfang, laget vi en modell basert på statistisk data fra SSB og informasjon om boligprosjekter i Trondheim. Data fra SSB omhandler størrelser (vedlegg B), samt antall boliger i en boligblokk lokalisert i Trondheim (Vedlegg C). Data fra SSB er basert på informasjon fra matrikkelen som er Norges offisielle eiendomsregister (Kartverket, 2021). For valg av plan og fasadeløsninger, samt vindusareal benyttes data fra SSB for å finne tilsvarende prosjekter i Trondheim, gjennom Finn.no og prosjektenes hjemmeside. Dette sammen med minstekravene i TEK17 §14-2. Krav til energieffektivitet legger grunnlaget for modellen.

Basert på overnevnt metode er det konstruert en modell som er grunnlaget for videre utregninger. Modellen er en hjørneleilighet med to solutsatte fasader mot nord-vest og nord-øst. Resterende vegger grenser mot andre leiligheter og gang i boligblokken. Balkongen har levegger på hver side. Tilsvarende balkong finnes i etasjen over og skjermer for solinnstråling. Det totale romvolumet utgjør 174 m³ med en takhøyde på 2,4 m og har et gulvareal på 72,5 m². Det totale vindusarealet utgjør ca 12,4 m² av det totale yttervegg arealet på 39,7 m².



Figur 3 - Modellen

Begrensninger og usikkerhet

Grunnet oppgavens omfang og tidsbegrensninger er det ikke hensiktsmessig å se på alle de ulike kombinasjoner av størrelser, plan og fasadeløsninger, antall rom og vindusstørrelser. Dette gir usikkerheter som kan ha betydning for videre resultater. Dog har gruppen prøvd å lage en modell som i størst mulig grad representerer de dataene som er innsamlet.

3.1.1 Optimal operativ temperatur

For å finne den temperaturen for høyest komfort på sommerstid er det benyttet NS-EN ISO7730:2005. Det er antatt et aktivitetsnivå 1,2 met iht. til Table B.1, og en bekledding på 0,5 clo jmf. Table 1.C. Dette gir et krysningspunkt i diagrammet for «Local Thermal Discomfort» kategori B på $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Selv om optimal operativ temperatur er basert på forskning kan personlige preferanser være høyere eller lavere enn $24,5^{\circ}\text{C}$.

3.1.2 Luftmengder

Luftmengder dimensjoneres etter gitte minimumsverdier i TEK17 §13-2.Ventilasjon i boligbygg. Utrekninger i vedlegg A.

3.2 SIMIEN

SIMIEN er et norskutviklet simuleringsprogram som benyttes til å energiberegninger. Programmet er validert iht til EN 15265 og harmonisert til NS3031. Programmet brukes til dynamiske beregninger av energibehov, inneklima, samt dimensjonering av oppvarming og kjøleanlegg (Tekna, 2021). Det finnes andre programmer som TEK-sjekk Energi og IDA-ICE som også kan benyttes til dimensjonering, men basert på tidligere erfaringer med SIMIEN, og mangel på tilgang til IDA-ICE og begrensningene i TEK-Sjekk energi, ble det valgt å benytte SIMIEN. Gruppen utelukker ikke at de ulike programmene kan gi noe ulike beregninger da kompleksiteten mellom programmene varierer. Dog vurderes SIMIEN som tilstrekkelig for å dekke behovet i denne oppgaven.

Oppgavens omfang og tidsbegrensninger gjør det nødvendiggjør enkelte forenklinger og antagelser. Selv om modellen er tegnet med innvendige skillekonstruksjoner, er det valgt å simulere hele leiligheten som et rom, for å redusere kompleksiteten til simuleringen. Dette kan påvirke kjølebehovet da det ikke nødvendigvis er behov eller ønske om kjøling i alle rom. Dette gjelder spesielt dersom det ikke er ønskelig med kjøling på soverommene som er spesielt utsatt for varmetilskudd, da det grenser til yttervegger. Videre antas det at boligen har installert CAV ventilasjon med kontinuerlig drift i hele simuleringsperioden og en tilluftstemperatur på 15 °C. Personbelastning og internlaster har en antatt driftstid på mellom kl. 07:00 – 23:00. Driftstidene kan variere basert på hvordan boligen brukes, vi har derfor tatt utgangspunkt i at en eller flere beboere er hjemme gjennom døgnet.

I samtaler med programutviklerne, ble det anbefalt å installere en romkjøler med en konvektiv andel på 1,0 for å simulere kjølebehovet. Den konvektive andelen sier hvor mye kjøleeffekt som går til stråling og konveksjon. En konveksjonsandel på 1,0 forutsetter at all kjølingen skjer via konveksjon, noe som gir en lavere dimensjonerende kjøleeffekt. Dette er ifølge utviklerne, den verdien som gir mest mulig korrekt simulering da den konvektive andelen er forutsatt hvilken kjøleavgiver som brukes. Ved sommersimulering er det nødvendig å oppgi antall simulerte døgn. Dette viser hvor mange dager på rad det er med fint vær. Gruppen lyktes ikke

i å finne statistisk data for Trondheim på dette, og det er derfor tatt utgangspunkt i 5 døgn. Dette er gjort i samråd med utviklerne av programmet som opplyser at 5 dager er normalen. Dette vil påvirke varmeakkumuleringen i bygget, som igjen påvirker den dimensjonerende kjøleeffekten.

For solskjerming er det antatt innvendige persienner med 28 mm lameller på alle vinduer på langsiden av bygget. For balkongvindu og dør er det antatt fast konstant solskjerming.

Tabellen under viser en oversikt over viktige inndata og kilder som er benyttet til å finne disse. All annen data er iht. til standardverdiene i SIMIEN ved simulering i boligblokk med unntak av de i listen under. For komplett inndata se vedlegg.

Inndata	Kilde
Gulvareal	Modell
Vindusareal	Modell
Antall yttervegger	Modell
Himmelretning	Modell
Tilluftsmengde	TEK17 §13-2. Ventilasjon i boligbygg
Tilluftstemperatur	SINTEF (KILDE)
Romtemperatur	TEK17 §13-4. Termisk inneklime og Optimal operativ temperatur
Konvektiv andel	Programbyggerne
Bygningskonstruksjoner	TEK17 §14-2. Krav til energieffektivitet
Solskjerming	Antagelser
Antall simulerte døgn	Programbyggerne
Driftstid	Antagelser

Tabell 1 - Inndata

For å finne betydningen solstråling har for kjølebehovet er det valgt å gjøre flere simuleringen. Bygget skal roteres fire ganger med 90 grader for å se hvorvidt det er forskjell i dimensjonerende kjøleeffekt basert på himmelretning. Alle simuleringer er gjort for perioden 1.juni til 31.august.

Usikkerheter

Som nevnt er det variabler som kan gi utslag for hvorvidt det er et kjølebehov og hvor stort dette måtte være. Dette gjør at simuleringene som utføres i denne oppgaven kun vil være representativ for vår modell, og bygg med andre variabler må simuleres etter de faktiske forholdene.

Noen ytterligere usikkerheter knyttet til simuleringen kan være brukerfeil i programmet, ukorrekt inndata eller feiltolkning av resultater. Dette er mulige feil som kan påvirke det endelige resultatet. For å minimere muligheten for feil er det benyttet veiledere på programmets hjemmeside (wiki), hjelpefunksjon innebygget i programmet, gjennomgang med intern veileder, og gjentatt rådføring med utviklerne av programmet. Dette utelukker likevel ikke muligheten for at feil har oppstått.

3.3 Metode for vurdering av kjøleteknologier

For å kunne vurdere de ulike kjøleteknologiene opp mot hverandre er det nødvendig å ta for seg et scenario. Det er valgt å se på et tilfelle hvor en boligblokk med 27 leiligheter trenger en maksimal installert kjøleeffekt på 19 kW og et energibehov på 3871 kWh. Tallene stammer fra en simulering som ble gjort tidlig i studien. Sener i prosessen ble det gjort nye energiberegninger, derfor er tallene kun brukt for vurdering av kjøleteknologier. De dimensjonerende tallene vil ikke ha betydning for resultatet da det er differansen som skal vurderes.

3.3.1 Investerings- og vedlikeholdskostnader

Priser for kjøleteknologiene er innhentet fra ulike kilder som andre studier, leverandører, kunder og Statkraft Varmes energikalkulator. Prisene som ikke stemte med kjølebehovet til oppgavens boligbygg, ble omregnet til pris per effekt, som gjør prisene lettere å sammenligne.

Da brorparten er bestillingsvare etter nødvendig kjølekapasitet har vi i tilfeller der konkrete priser ikke kan gjengis, gjort et prisanslag basert på informasjon fra overnevnte. Dette kan medføre at de reelle kostnadene blir høyere eller lavere. Der det har vært mulig å innhente pris er dette oppgitt med listepris.

I kalkuleringen inngår årlige kostnader for drift og vedlikehold, samt investeringskostnader. Av hensyn til varierende bygningsstørrelse og plassering av teknisk rom, er installasjonskostnadene ikke inkludert. Det er avgifter knyttet til bruk av kuldemedier, disse er ikke inkludert grunnet stor variasjon i type kuldemedier og fyllmengde. Teknologienes forventet levetid er hentet fra HVAC and solar energy engineering calculations (HVAC-eng, 2021), med unntak av sorptiv kjøleaggregat da dette er antatt, grunnet manglede data. Grunnet krav om ventilasjon jmf. TEK17 i alle boliger skal kostnad for ventilasjonsaggregat med en kapasitet på 5800 m³/h inkluderes. Luftmengden til aggregatet er basert på forsert til de 27 leilighetene i boligbygget.

Varierende avtaler og teknologier, gjør det vanskelig å finne konkrete norske vedlikeholdskostnader. Benyttet vedlikeholds pris er hentet fra Statkraft Varmes energikalkulator, ved å plote inn ønsket kjølebehov for kontorbygg i energikalkulatoren, da ikke boligbygg var et alternativ.

3.3.2 Energiberegninger

Energiberegningene er basert på dokumentstudier fra ulike relevante nettsider og offentlige dokumenter, samt relevante informanter. Kildene er i størst mulig grad valgt ut fra deres troverdighet, ekspertområde og tilgjengelighet. Energibehovet for perioden divideres på COP-faktoren for å finne forbruket til hver teknologi, deretter multipliseres tallet med energiprisen. Tallet som kommer ut av beregningene er da energikostnaden. Excel ble benyttet som dataverktøy for energiberegningen av kjøleteknologiene.

Usikkerhet rundt energiberegningene kan forkomme som følge av at COP-graden til teknologiene varierer etter ulike forhold.

Prisen for fjernvarme er lik strømprisen for samme periode. Det er tatt utgangspunkt i 3. kvartal i perioden 2016-2019 brukes som grunnlag for utregningene.

3.3.3 Miljøberegninger

Miljøberegningene er som energiberegningene basert på dokumentstudier og relevante informanter. Energibruken for et år er multiplisert med karbondioksidutslippet per kWh for strøm og fjernvarme. Utslipp fra kjølemedium regnes ikke i miljøpåvirkningstabellen, grunnet typevariasjon og manglede data på fyllmengde. Resultatet fremstiller mengden miljøet blir

belastet ved bruk av kjøle metodene. Det er ikke tatt med miljøberegninger gjort for produksjonen av kjøleteknologiene.

Av hensyn til variert utslippsberegning, foretas to tilleggsberegninger. Utslipp hvis kun spillvarme blir brukt, og utslipp knyttet til produksjon, import og eksport av strøm. Spillvarme regnes ikke som utslipp ved bruk i fjernvarmenettet. Grunnet konsesjonen som forbyr at avfall deponeres og må derfor brennes (Selfors & Bølling Kocbach, 2011). Beregningsgrunnlag finnes i vedlegg D.

Mulige usikkerhetsmomenter rundt miljøberegninger er variasjon i hvordan utslippstall beregnes i miljøregnskapet, da kilder baserer tallene på forskjellige grunnlag. Noen kilder tar med utslippstallene for produksjon av utsyr for produksjon av strøm, mens andre ser bort ifra dette. Dette fører til at resultatet varierer etter hvilket tall som benyttes.

3.3.4 Heimdal varmesentral

For å se konsekvensene som kommer fra den uutnyttet spillvarmen i perioden juni-august fra Heimdal varmesentral, er data om overskuddsenergi i vedlegg 3, oppgitt fra Statkraft Varme under korrespondanse med gruppen.

Tilgjengelig effekt fra juni til august er omregnet til CO₂-ekvivalet, for å betrakte miljøpåvirkning ved uutnyttet energi. Omregningen er gjort ved å bruke effekten i månedene multiplisert med antall timer, deretter regnet det om til tonn avfall og CO₂ utslipp. Beregninger finnes i vedlegg 3.

I tillegg skal vi se på hvor mange leiligheter som kan nyttiggjøre seg av overskuddsvarmen fra Heimdal varmesentral, basert på W/m².

3.4 Vurdering av kjøleavgivere

For vurdering av kjøleeffekten til luft har vi benyttet oss av formelen for effektbehov for tilstandsendringer. Formelen er hentet fra s. 143 i boken Ventilasjonsteknikk del 1 av Sturla Ingebrigsten.

$$Q = m_L * (h_2 - h_1)$$

$$Q = \text{Kjøleeffekt [kW]}$$

$$m = V * \rho \text{ [kg/s]}$$

$$V = \text{Volumstrømmen til luft [m}^3\text{/s]}$$

$$\rho = \text{Massetettheten til luft [kg/m}^3\text{]}$$

$$\Delta h = \text{Entalpi endring tilluft [kJ/kg]}$$

Entalpiendringen som benyttes er entalpien til luften i rommet minus entalpien til luften som tilføres rommet. For entalpiverdier er det benyttet Termodynamiske tabeller hentet fra "Çengel, Y.A., Boles, M.A. Thermodynamics: An Engineering Approach, 8. utg. New York: McGraw-Hill Education; 2015. I tilfeller der det ikke er mulig å finne korrekt entalpi for luften er det benyttet formelen for interpolasjon for å finne korrekt verdi.

Kjøleeffekten til TABS og gulvkjøling er vanskelig å regne manuelt grunnet kompleksiteten knyttet til varmeoverføringene gjennom konstruksjonen og inn til rørene. Det skal her benyttes informasjon om kjøleeffekten oppgitt av produsenter, datablader og tidligere forskning. Videre skal det benyttes litteraturstudier til å kartlegge hvorvidt løsningene passer seg til bruk i leiligheter.

4 Resultater

Kapitlet presenterer resultatene fra benyttet metode. Vi starter med å vise resultatene fra SIMIEN, deretter investerings- og vedlikeholdskostnader, energiberegninger, miljøberegninger og Heimdal varmesentral. Til slutt ser vi på effekten til de ulike kjøleavgiverene.

4.1 Kjølebehov

Diagram 1 vises dimensjonerende verdi for maks samtidig kjøleeffekt og energiforbruk ved ulike himmelretninger og romtemperaturer for perioden 1.juni til 31.august. Grafen leses ved å velge ønsket romtemperatur og himmelretninger for boligen. Ønsker man en romtemperatur på 24,5°C med en himmelretning mot nordvest (NV) og nordøst (NØ) er dimensjonerende kjøleeffekt 613W og energiforbruket er på 80kWh. For detaljerte resultater se vedlegg E.

Vi ser store variasjoner i nødvendig maksimal kjøleeffekt etter hvilken retning leiligheten vender, samt ønskede romtemperaturer. Størst differanse finner vi ved en romtemperatur på 26°C mellom NV, NØ og SØ, SV. Det er her en differanse mellom maksimal nødvendig kjøleeffekt på 713W.

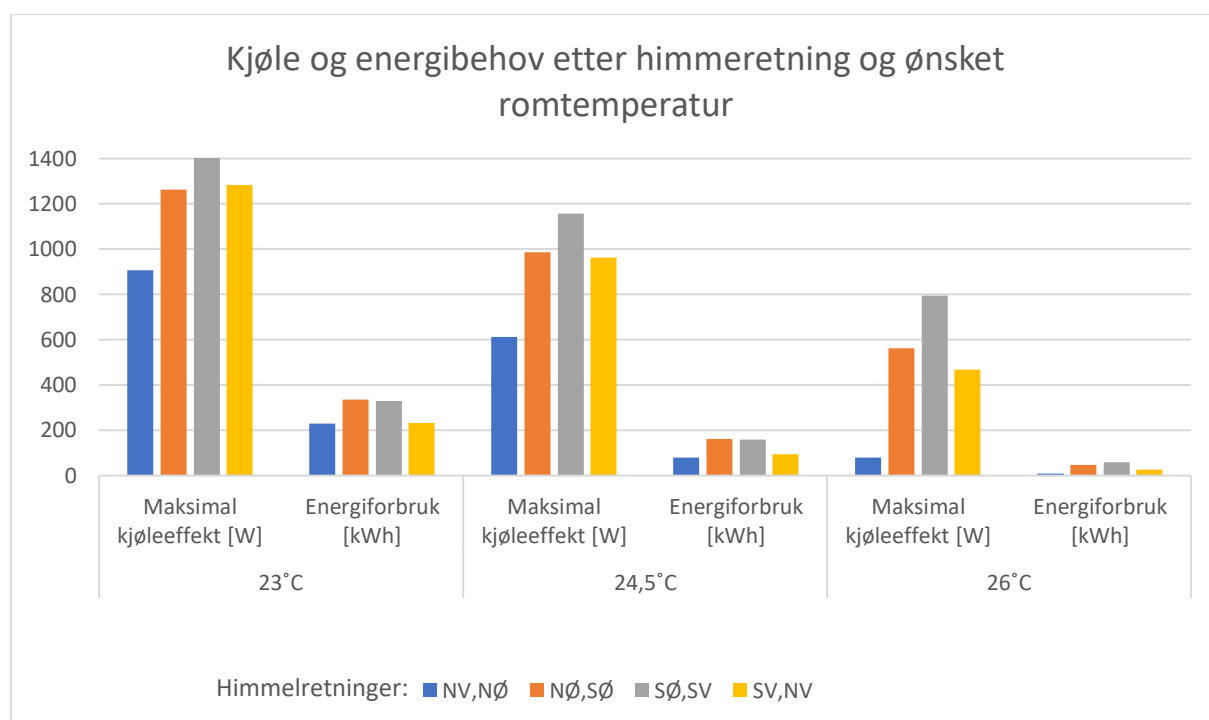


Diagram 1 - Kjøle og energibehov etter himmelretning og romtemperatur

I diagram 2 ser vi antall timer i løpet av et år som overstiger 26°C gitt at det ikke er installert kjøling. Hver søyle representere ulike himmelretninger og hvor mange timer temperatur for disse overstiger 26°C.

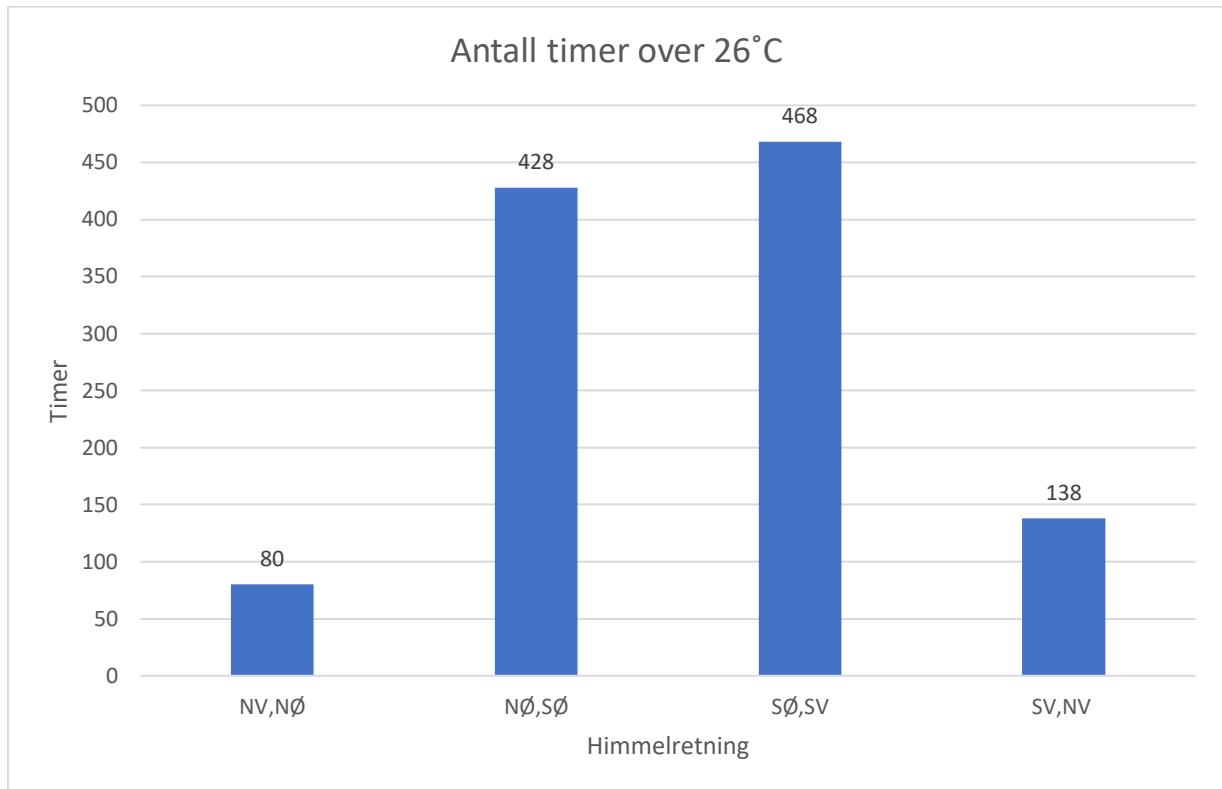


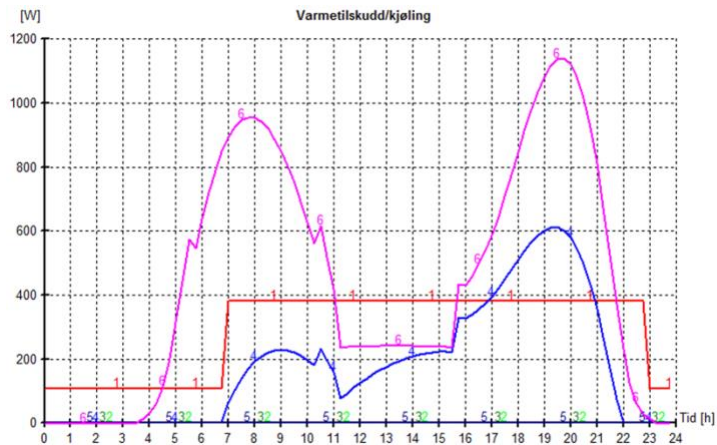
Diagram 2 - Antall timer over 26°C

Simuleringer gjort med installert romkjøler viste at vi klarte å senke antall timer over 26°C fra 80 timer til 37 timer gitt en himmelretning på NV, NØ. De samme simuleringene ble gjort for de andre himmelretningene, ingen klarte å komme under 50 timer selv med kjøling installert.

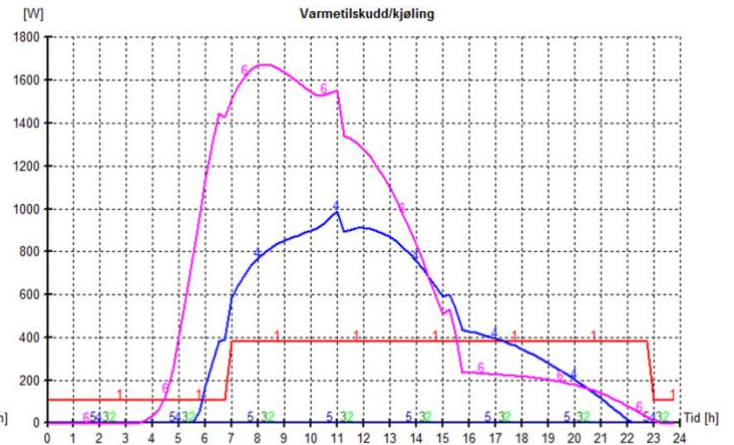
I forsøk hvor balkongen ble fjernet så vi at antall timer over 26°C for NV, NØ økte til 1600 timer i løpet av et år, og det samtidige maksimale kjølebehovet økte til 1267W.

I et annet forsøk simulerte vi ekstra solskjerming i form av persienner med 28 mm lameller på alle vinduer og himmelretning NV,NØ. Dette ga et dimensjonerende samtidig kjølebehov på 438 W som ga en reduksjon fra 80 timer til 12 timer over 26 °C. I dette tilfellet klarte vi å overholde kravet til TEK17 uten kjøling.

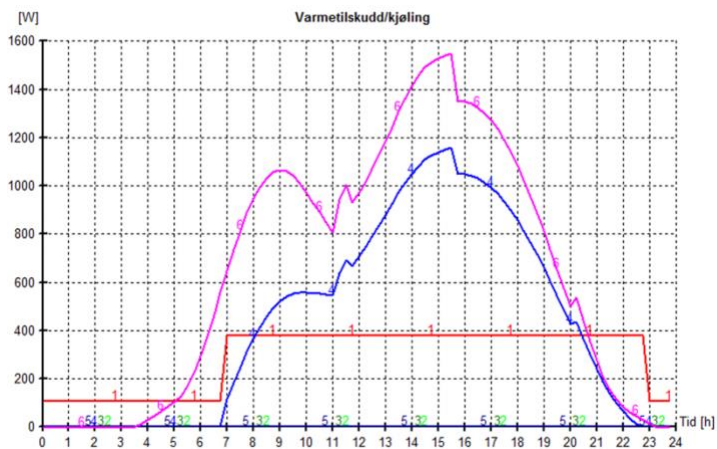
Grafene under viser hvordan varmetilskuddet og kjøleeffekten endres etter hvilken retning fasadene vender. Lilla viser varmetilskudd fra solstråling, rødt viser varmetilskudd fra internlaster og blå viser kjøleeffekt. Vi ser størst varmetilskuddet når boligen vender mot SØ, SV (graf 3) etterfulgt av NØ, SØ (graf 2).



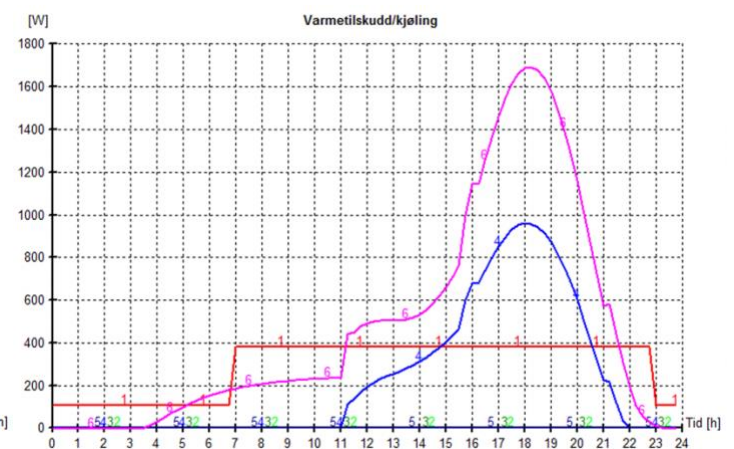
Graf 1 - Varmetilskudd/kjøling NV-NØ



Graf 2 - Varmetilskudd/kjøling NØ-SØ



Graf 3 - Varmetilskudd/kjøling SØ-SV



Graf 4 - Varmetilskudd/kjøling SV-NV

4.2 Investerings- og vedlikeholdskostnader

For bedre oversikt er investerings- og vedlikeholdskostnader delt opp i flere delkapitler. Under investeringskostnader er en samling av kostnader andre studier eller kilder har funnet, inkludert prisene som vi har funnet/beregnet. Under drift- og vedlikeholdskostnader er kostnadene som skal benyttes videre. I delkapitlene under er prisene vi har funnet eller beregnet.

4.2.1 Investeringskostnader for sorptiv og DX

Et sorptiv kjøleaggregat har en investeringskostnad på ca. Det dobbelte av et vanlig ventilasjonsaggregat, i lik størrelse, ifølge samtaler med Qviller AS. Det utgjør en totalpris på 252000 kr, dette med utgangspunkt i at prisen for et ventilasjonsaggregat på 5800 m³/h er 126 000 kr (Systemair, 2021) . Vannforbruk er ikke beregnet i oppgaven, derfor antas en symbolsk sum på 1000 kr/år. Det er ikke funnet noen kilder som angir levetid til et sorptiv kjøleaggregat, men forventet levetid for et tradisjonelt ventilasjonsaggregat ligger på 25 år (Solberg & Fossan, 2021). Grunnet flere komponenter i et sorptiv kjøleaggregat antar vi 20 år.

Listepris for DX med kjøleeffekt på 65 kW er 140000. Prisen er hentet fra en selger hos GK inneklime. Prisen er dividert på effekten for å finne pris per kW og deretter multiplisert med kjølebehovet til oppgavens bygg. Ca pris på tørrkjøler ligger på 21000 kr (Schlösser Møller Kulde AS, 2021). Investeringskostnad for DX inkludert tørrkjøler kommer på 42000 kr. Et kjølebatteri koster i området av 18000 kr (Systemair, 2021). DX-kjølers forventet levertid er 15 år (HVAC-eng, 2021).

4.2.2 Investeringskostnader absorpsjonsmaskin og isvannsmaskin

Ved kjøleteknologier som distribuerer kjøling via væske med strøm som energikilde vil et alternativ være luftkjølt isvannsmaskin for utendørsmontasje. En isvannsmaskin med kjøleeffekt på 19 kW inkludert varmeavgiver ligger ca. På 60400 kr (Schlösser Møller Kulde AS, 2021) . Det er kun maskinen med integrert tørrkjøler som er medregnet i prisen. Isvannsmaskins forventet levetid er 23 år (HVAC-eng, 2021).

En absorpsjonskjølemaskin vil koste ca. 3000 kr/kW. Prisen er oppgitt av Statkraft Varme og baserer seg på deres kostnader for absorpsjonskjølere ved Øya fjernkjølertentral. For oppgavens bygg vil maskinkostnaden komme på 57000 kr. I tillegg vil kostnader påløpe ved mengden tørrkjølere som må benyttes. Utfra samtaler med Statkraft behøves i overkant av dobbelt

kapasitet med tørrkjølere sammenlignet med isvannsmaskin. Grunnet behovet for flere tørrkjølere antas en totalpris på 99000 kr. Absorpsjonsmaskinens forventet levetid er satt til 23 år (HVAC-eng, 2021).

4.2.3 Investeringskostnad

Under vises en oversikt over forventet pris i norske kroner ved investering i de ulike kjøleteknologiene. Øverste del viser effektpriser, hentet fra Statkraft Varmes energikalkulator. De konkrete tall er hentet fra excel som genereres ved bruk av kalkulatoren (Statkraft, 2021). I den midtre delen av tabellen viser priser hentet fra en svensk studie. Vi har her regnet ut pris/kilowatt med ders oppgitte priser (Eliasson, 2017). Siste del er priser gruppen har fått oppgitt i samtaler med leverandører og Statkraft Varme. For komplette utregning med tall fra svensk studie se vedlegg F.

	Absorpsjonsmaskin + tørrkjøler	Sorptiv	DX	Isvannsmaskin
Hentet fra:				
Statkraft Varme kalkulator				
Pris for 19kW kjøleeffekt [kr]	209000	262124	76000	76000
Effektpris [kr/kW]	11000	13796	4000	4000
Hentet fra:				
Svensk studie				
Pris for 19kW kjøleeffekt [kr]	91200	190000	123700	39900
Effektpris [kr/kW]	4800	10000	6511	2100
Hentet fra				
Leverandører Norge				
Pris for 19kW kjøleeffekt [kr]	99000	252000	59000	64000
Effektpris [kr/kW]	5211	13263	3105	3368

Tabell 2 -Investeringskostnader

Prisvariasjonen mellom absorpsjonsmaskinen fra den svenske studien og Statkraft Varmes energikalkulator er over 100000 kr. Stor prisvariasjon er det også for sorptiv kjøleaggregat og varmpumpene.

4.2.4 Drift- og vedlikeholdskostnader

Drift- og vedlikeholdskostnader, som vises under, er hentet fra Statkraft Varmes Energikalkulator (Statkraft, 2021). Kalkulatoren presenterte ikke isvannsmaskin som et alternativ. Det er da antatt like kostnader som DX, grunnet begge teknologiene benytter kompressor og kuldemedium.

Drift og vedlikehold	Absorpsjonsmaskin	Sorptiv	DX	Isvannsmaskin
kr/år	1500	6300	3800	3800

Tabell 3 -Drift- og vedlikeholdskostnader

4.3 Energiberegninger

Under er gjennomsnittlig strømpris inkludert nettleie og avgifter i tredje kvartal hvert år fra 2015 til 2020 (SSB, 2021). Tredjekvartal er valgt for å få tilnærmet lik pris som en kan forvente rundt sommertider.

	2015K3	2016K3	2017K3	2018K3	2019K3	2020K3
Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh)	73,9	90,5	95,2	123,4	108,8	72,9

Gjennomsnittlig pris er 94 øre/kWh.

4.4 Miljøberegninger

Ny CO₂-ekvivalent for strøm, inkludert utslipp ved produksjon, er utregnet under. Total strømproduksjon er hentet fra SSB (SSB, 2021), andel av energikilder er hentet fra NVE (NVE, 2020). Karbonintensitet er hentet fra notater i NTNU faget Verdens klima- & miljøsituasjon, laget av Håvard Karoliussen & Tor Hennum.

Kilde	Prosentandel	Andel [MWh]	Karbonintensitet (g CO ₂ -ekv/ kWh)	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv]
Total produksjon 134634628 MWh				
Vannkraft	87 %	117132126	6	702793
Vindkraft	6 %	8078078	20	161562
Kjernekraft	2 %	2692693	13	35005
Solenergi	1 %	1346346	30	40390
Gass	1 %	1346346	176	236957
Kull	1 %	1346346	795	1070345
Annen fossil	2 %	2692693	337	907437
Totalt		134634628		3154489
Ny CO ₂ -ekv / kWh	23,4			

Tabell 4 -Ny CO₂-ekv/kWh

4.5 Heimdal varmesentral

Diagram 3 viser antall leiligheter tilsvarende vår modell som kan nedkjøles ved ulike kjølebehov. Energien som er lagt til grunn er gjennomsnittlig overskuddsvarmen produsert ved Heimdal varmesentral i juli måned de tre siste årene. Tabellen tar hensyn til COP-faktoren til absorpsjonsmaskinen (0,7) og sorptiv kjøleaggregatet (0,67).

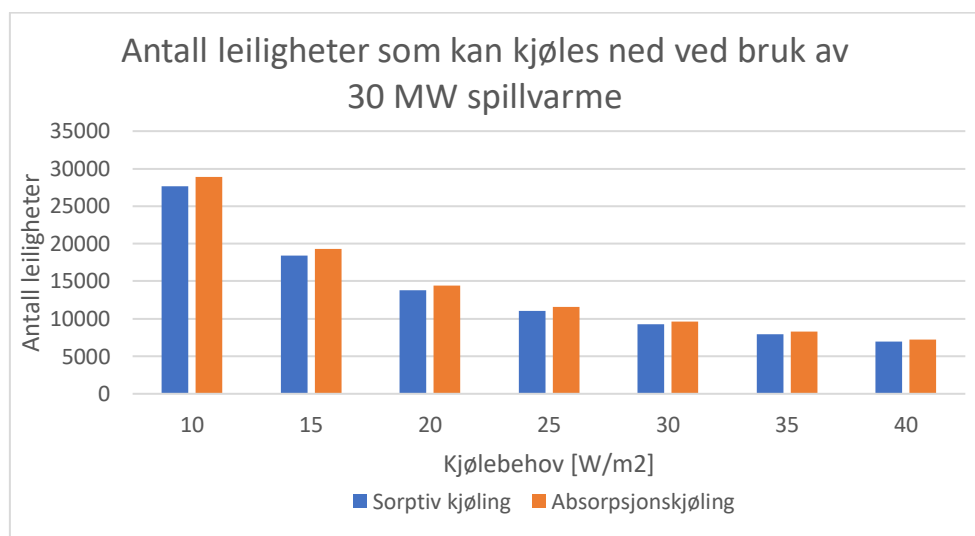


Diagram 3 -Antall leiligheter som kan kjøles ned ved bruk av 30 MW spillvarme

Gjennomsnittlig utslipp fra uutnyttet spillvarme i månedene juni til august for 2018-2020 var 5088 tonn CO₂-evivalent. Se vedlegg G.

4.6 Ventilasjonkjøling

Diagram 4 viser hvor store luftmengder og ved hvilke temperaturer som er tilstrekkelig for å produsere gitte kjøleeffekter gitt en romtemperatur på 24,5°C. Vi ser her at lavere tilluftstemperaturer gir høyere kjøleeffekt og nødvendig luftmengde.

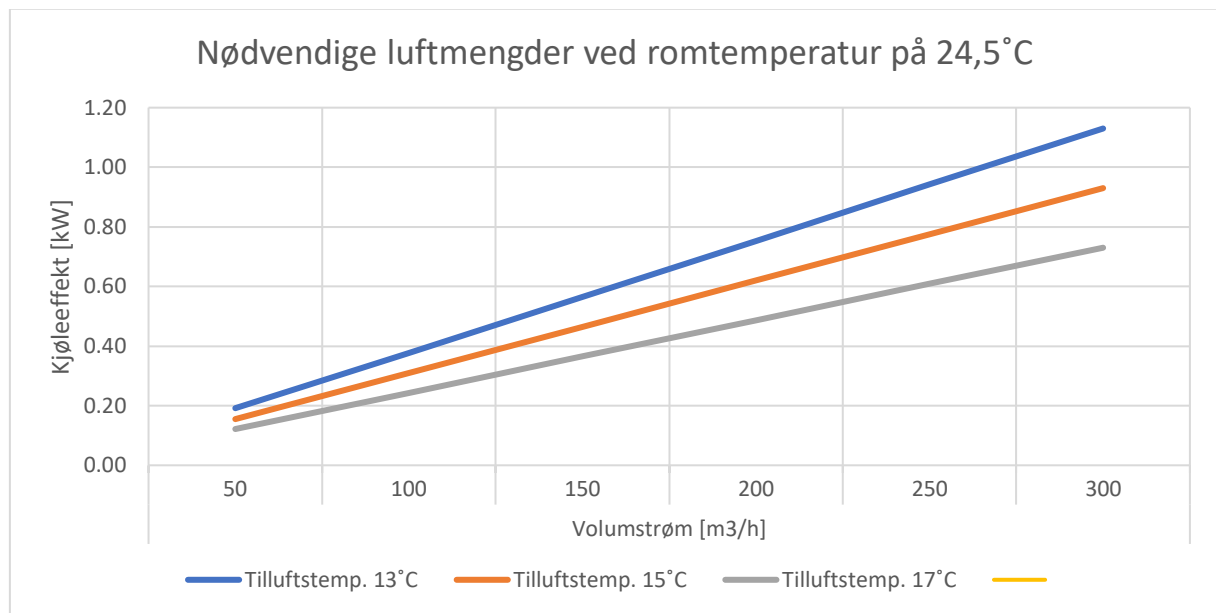


Diagram 4 -Nødvendige luftmengder

Grafen over kan benyttes for både kjøling via kjølebatteri, DX-kjøling og sorptiv kjøling. Som nevnt i metode er utregninger basert på formel for effekt for endring i luftens tilstand.

4.7 Kjøleeffekt gulvkjøling

Kjøleeffekt til gulvkjøling er hentet fra Uponor AS og Roth AS. Datablader om systemene er derfor hentet fra dere utenlandske sider.

Uponors Minitec støpes i 15mm avtretningsmasse og kan levere en teoretisk kjøleeffekt opptil 56w/m² basert på midlere temperaturdifferanse, røravstand og termisk motstand i gulvbelegget. (Uponor Minitec Technical Guide, u.d.) (vedlegg H)

Roth sitt Original Tracker System støpes inn i 45mm avtretningsmasse, og kan levere en teoretisk kjøleeffekt på opptil 24W/m² basert på midlere temperaturdifferanse, røravstand og termisk motstand i gulvbelegget. (Roth AS, u.d.) (vedlegg I)

4.8 Kjøleeffekt TABS

Utregninger gjort av Bjarne W. Olesen viser at systemet har en kjølekapasitet på 99W/m² gitt at kjøling skjer via tak og en romtemperatur på 26 grader. (Olesen, 2000). Uponor som er leverandør av slike systemer opplyser i VVSaktuelt at deres system i Stålgården og på Deichmanske har en kjølekapasitet på mellom 40-60W/m². (VVS Aktuelt, 2016)

5 Diskusjon

I kapitelet drøftes funn og resultater. I Første del skal vi kort diskutere kjølebehovet vi fant, deretter skal vi diskutere resultatene knyttet til investeringskostnader, energiforbruk og miljøutslipp. Til slutt skal hvorvidt de ulike kjøleavgiverne egner seg til bruk i leiligheter.

5.1 Kjølebehov

Det finnes lite informasjon om kjølebehovet til leiligheter i Norge. Gjennom arbeidet med oppgaven ble det gjort omfattende forsøk på å finne informasjon uten å lykkes. Det ble derfor nødvendig å gjennomføre egne simuleringer for å finne ut om det er behov for kjøling, og hvor stort dette eventuelt er.

Våre simuleringer viser at kjølebehovet varierer mye basert på himmelretning og solskjerming. Selv med den himmelretningen som gir minst solinnstråling og med moderat solskjerming er det 80 timer i året hvor innetemperaturen overstiger 26 °C. Dette er 30 timer mer enn det som er tillatt i kravene fra TEK17. Ved andre himmelretninger ser vi at antall timer hvor temperaturen overstiger 26 °C øker betraktelig. Dette har en direkte tilknytning til varmetilskudd fra sol som vi ser i de ulike grafene på side 25.

I simulering med persienner på alle vinduer klarer vi å få antall timer over 26 °C ned til 12 timer i året, gitt at fasadene vender mot nordvest og nordøst. Dette er nok ikke en realistisk situasjon da vi kan anta et ønske om naturlig lys i boligen.

I vårt tilfelle med moderat solskjerming vil det være behov for kjøling for å oppfylle kravene satt av TEK17. Hvor stor kjøleeffekt som er nødvendig varierer etter hvilken retning fasadene vender og hvilke romtemperaturer som er ønskelig. Basert på optimal operativ temperatur for sommeren gitt i NS-EN ISO7730:2005 bør temperaturen ligge på mellom 23 og 26 grader. Dette gir en dimensjonerende kjøleeffekt mellom 81W og 1,4kW basert på himmelretning og ønsket romtemperatur.

Siden alle bygg er forskjellige kan vi ikke ut fra våre simuleringer si hvorvidt det vil være et kjølebehov i andre boligblokker, da for mange faktorer avgjør dette. I samtaler med AF Gruppen vedrørende deres prosjekter i Bjørvika ble det opplyst om en dimensjonerende kjøleeffekt på 30W/m². I våre simuleringer var den største nødvendige kjøleeffekten på ca. 19W/m². Gruppen vet ikke hvorfor kjølebehovet i Bjørvika er såpass mye større enn våre simuleringer, men basert på bilder av prosjektene kan vi anta at dette skyldes mindre solskjerming enn vår modell, samt at prosjektene befinner seg lengre sør i landet. Det kan også skyldes at vår metode for å finne kjølebehovet ikke nødvendigvis gir det mest realistiske resultatet.

5.2 Kjøleteknologier

I denne diskusjonsdelen vurderes resultatene knyttet til kostnader, energibruk og miljøpåvirkninger for kjøleteknologiene. Kapittelet starter med å se på kostnadene knyttet til de ulike teknologiene, deretter betraktes miljøpåvirkningene. Deretter skal vi diskutere resultatene fra energiberegningene vi har gjort, før delkapittelet avsluttes med å se på miljøutslippene.

5.2.1 Investeringskostnad

Prissammenligningen som vist tidligere i tabell 2 viser ulike teknologipriser samlet inn igjennom oppgavens periode. Statkraft Varmes energikalkulator (Statkraft, 2021) ga en investeringspris for absorpsjonskjøler på over 100 000 kr mer enn prisene vi har funnet og som er oppgitt i den svenske studien (Eliasson, 2017). Det var også store sprik på kostnad for sorptiv kjøleaggregat.

Prisen for absorpsjonsmaskin og sorptiv kjøleaggregat vil variere for bruksområdet og modell. Tilgangen på priser i Norge er liten, med få leverandører. Det er derfor vanskelig å oppgi konkret og korrekt pris. Den svenske studien fikk oppgitt priser fra Munters AS, som er leverandør av bl.a. sorptiv kjøleaggregat. Dog kan prisen være lavere i Sverige enn i Norge. Prisen for sorptiv kjøleaggregat var derimot ganske likt den prisen vi hadde beregnet, med informasjon fra Qviller AS. Selv om prisen var et grovestimat med utgangspunkt i to ganger listepriis for et standard ventilasjonaggregat.

Absorpsjonsmaskinens pris oppgitt av Statkraft Varmes energikalkulator og våre beregninger er i samme området. Dette skyldes trolig at beregningsgrunnlaget baserer seg på informasjon fra Statkraft Varme for absorpsjonsmaskin uten tørrkjøler. Prisene for isvannsmaskin og DX varierer også veldig. Dette skyldes nok mange leverandører med mange ulike modeller.

En mulig årsak for uoverensstemmende prisene kan ha med hvordan prisene ble sammenlignet, da vi beregnet pris per effekt uten å ta hensyn til modelltype eller bruksområder. Statkraft Varmes energikalkulator ga pris ved 19 kW, men vi vet ikke om de opererer med rabatterte priser. Vi velger derfor å benytte prisene vi har beregnet eller funnet listepriis på videre i oppgaven.

5.2.2 Vedlikeholdskostnader

Vedlikeholdskostnadene presentert i tabell 3 under resultat, er hentet fra Statkraft Varmes energikalkulator. Disse viser at sorptiv kjøleaggregat har høyest årlig kostnad. Dette er trolig grunnet at sorptiv kjøling er like mye et ventilasjonsaggregat som kjølemaskin og vil derfor ha vedlikeholdskostnader knyttet til vifter, filter, spjeld ol. Varmepumpene har høyere kostnad enn absorpsjonskjøleren. Vi antar at dette skyldes avgifter og utgifter knyttet til påfylling av kuldemedium.

5.2.3 Investering og årlige kostnader

Under vises resultatene av budsjett for de ulike teknologiene. p står for perioden vi ser på som er juni- august. Alle priser er eksklusiv moms.

Kjøleeffekt 19kW	Budsjett			
	Luftkjøling		Vannkjøling	
Generelt	DX	Sorptiv kjølig	Absopsjon kjøling	Isvannsmaskin
Levetid [år]	15	20	23	23
Innvestering				
Ventilasjonsaggregat [kr]	126000	-	126000	126000
Tørrkjøler [kr]	- [2]	-	42000	-[2]
Kjøle batteri [kr]	18000	-	-	-
Kjøleteknologi [kr]	41000	252000	57000	60400
Total investering, kun kjøleenhet [kr]	59000	252000	99000	60400
Total investering kjøling + ventilasjon [kr]	186000	252000	225000	186400
Årlige kostnader				
Fjernvarme [kr]	-	6065	5198	-
Vann [kr]	-	1000	-	-
Strøm [kr]	910	-	-	1213
Vedlikehold [kr]	3800	6300	1500	3800
Årlige kostnader [kr/p]	4710	13365	6698	5013
[2] Pris tørrkjøler er inkludert i pris kjøleteknologi				

Tabell 5 -Investering og årlige kostnader

Resultatet fra budsjettet viser at sorptiv kjøling har høyere investeringskostnad og vedlikeholdskostnad enn DX-kjøling, samt får en tilleggskostnad på vannforbruk. Sorptiv kjøling har 5 år lenger levetid enn DX kjøling, så hvis investeringskostnad fordeles på levetiden er ikke forskjellen like stor, kun 400 kr/år skiller teknologiene. Inkluderes kostnaden for utskifting ved endt levetid for teknologiene blir forskjellene enda mindre.

Av alternativene som produserer kaldt vann til kjøling har isvannsmaskinen lavest investeringskostnad, samt lavest årlig driftskostnader.

Kjøleteknologien som benytter fjernvarme er driftssikker og har lave vedlikeholdskostnader, men et stort energiforbruk og en høy investeringskostnad gjør teknologien lite

konkurransedyktig på pris. Redusert fjernvarmepris ville senket energikostnaden for fjernvarme til kjøling, og gjort teknologien mer lukrativ. En større markedsandel ville trolig medført lavere priser på teknologien, som følge av økt konkurranse.

Ved beregning av prisen for kuldemedium ville investeringskostnad for DX og isvannsmaskin økt, men stor variasjon av kuldemedium og fyllmengde, gjør det vanskelig å fastslå et representativt tall for prisøkningen. Vi kan anta at avgiftene knyttet til kuldemediet ikke utgjøre en formidabel prisforskjell sammenlignet med kjøleteknologien som benytter fjernvarme. Vi tror ikke at avgiftene alene tar igjen prisdifferansen på nesten 100 000 kr.

At kjøleteknologiene som benytter elektrisitet har lave investeringskostnad var forventet, men lignende oppgaver fra Sverige tyder på at fjernvarmekjøling har lavere kostnad over tid grunnet mindre vedlikeholds- og energikostnader. De svenske oppgavene tok utgangspunkt i lavere årlige vedlikeholdskostnad sammenlignet med denne oppgaven, samt en annen energipris. Den Svenske oppgaven har fått tilgang på flere vedlikeholdspriser enn vi har gjort, så trolig vil årlig vedlikehold være noe lavere enn det vi har funnet. (Gøransson & Carlsten, 2009)

Metoden vi brukte for å finne kostnadene ga færre resultater enn forventet. Dette kan gi et uklart bilde av de faktiske kostnadene knyttet til investering og vedlikehold for de ulike kjølemaskinene.

5.2.4 Energibruk

COP har stor effekt på energibruken til kjølemaskinene. DX-kjølere og isvannsmaskiner har generelt en høyere COP faktor enn absorpsjonsmaskiner og sorptiv kjøleaggregater. Dette gjør at de kan produsere mer energi per tilført kWh enn det som er mulig for absorpsjonsmaskin og sorptiv kjøleaggregat som har langt lavere COP. I tabellen under er kostnader til energiforbruk illustrert. I tabellen under har vi sammenlignet kostnadene knyttet til energibruk for et kjølebehov på 3871 kWh.

Energikostnader				
Kjølebehov 3871 kWh/p				
	Luftkjøling		Vannkjøling	
	DX	Sorptiv kjølig	Absorpsjon kjøling	Isvannsmaskin
Fjernvarme				
COP		0.67	0.7	
Forbruk [kWh/p]		6452	5530	
Pris [kr/kWh]		0,94	0,94	
Kostnad [kr/p]		6065	5198	
Strøm				
COP	4			3
Forbruk [kWh/p]	968			1290
Pris [kr/kWh]	0,94			0,94
Kostnad [kr/p]	910			1213
Totalt kostnad [kr/p]	910	6065	5198	1213

Tabell 6 -Energikostnader

Som vist i tabellen over vil absorpsjonsmaskin og sorptiv kjøleaggregat føre til betydelig høyere kostnader sammenlignet med DX og isvannsmaskin. Prisen gjenspeiler COP faktoren til de ulike kjølemaskinene. Vi ser her at DX-maskinen kan produsere seks ganger energibehovet knyttet til kjøling for samme pris som et sorptiv kjøleaggregat trenger for å levere 3871 kWh.

Sorptiv kjøling kan i ytterst få tilfeller oppnå en COP-faktor på 1,5 med lav utetemperatur. Et anlegg i Nice, Frankrike rapporterte dog om gjennomsnittlig COP-faktorer nede i 0,3 og 0,4 (Eicker, 2009). Våre innsamlede data tyder på at gjennomsnittlig COP-faktor vil være omkring 0,67. Hvis COP-faktoren i vårt eksempel hadde vært lik den i Nice ville kostnaden økt ytterligere.

Energikvalitet også kalt eksergi baserer seg på andelen energimengde som kan bli omgjøres til arbeid. Strøm har 100 % eksergi, som vil si at 100 % av elektrisiteten kan bli gjort om til mekanisk arbeid. Fjernvarme derimot har en lavere andel eksergi, nøyaktig andel vil variere med temperaturen (Ertsvåg & Mielnik, 1999).

Grunnet forskjell i energikvalitet vil det ikke være helt riktig å sammenligne 1 kWh strøm med 1 kWh fjernvarme, da strøm har høyere eksergimengde enn fjernvarme. Det er derfor akseptabelt med noe høyere forbruk av fjernvarme kontra elektrisitet, gitt at eksergimengden tilført er lik.

Basert på metoden vi har benyttet til å finne kilder kan vi med relativt stor sikkerhet si at energikostnaden vil være høyere for sorptiv kjøleaggregat og absorpsjonskjøling. Felles for alle kilder vi har funnet er det enighet om at COP- faktoren for sorptiv kjøleaggregat og absorpsjonskjølinger er lavere enn tradisjonelle kjølemaskiner. Det skal likevel bemerkes at COP-faktoren til tradisjonelle kan variere på lik linje med de overnevnte løsningene.

5.2.5 Miljøpåvirkning

Under presenteres karbondioksidutslippet til de ulike kjølemetodene med utslippstall for strøm på 23,4 g CO₂/kWh og fjernvarme på 18,6 g CO₂/kWh. Forbrukstall er hentet fra tidligere energiberegninger gjort i oppgaven, se vedlegg 3 for beregninger. I tabell 8 er utslippstallene byttet ut med 0 g CO₂/ kWh for fjernvarme og 17 g CO₂/ kWh for strøm. Dette er gjort grunnet variasjon i hvordan utslippstall beregnes i miljøregnskapet.

Miljøpåvirkning	Luftkjøling		Vannkjøling	
	DX R407C	Sorptiv kjølig	Absorpsjon kjøling	Isvannsmaskin R-32
Miljø				
Strøm [g CO ₂ -e/kWh]	23,4			23,4
Forbruk [kWh]	968			1290
Fjernvarme [g CO ₂ -e/kWh]		18,6	18,6	
Forbruk [kWh]		6452	5530	
Totalt CO₂ utslipp [kg/p]	23	120	103	30

Tabell 7 -Miljøpåvirkning #1

Tabellen over viser at dersom man bruker fjernvarme til kjøling får man omtrent seks ganger så høyt utslipp som elektrisitet. Dette er grunnet et høyt forbruk, som følge av lav COP, og litt høyere CO₂-ekv per kWh. Som skrevet i kapittel 2.5.3 har Norge en stor andel fornybare energikilder for strømproduksjon, og har derfor et lavt utslipp knyttet til produksjonen. Gjennomsnittlig utslipp for strøm i Europa er 256 gram CO₂-ekv/kWh. Det er 15 ganger høyre enn gjennomsnittet for norsk strøm (Energi og Klima, 2021). Fjernvarmen i Trondheim har et utslipp på 18,6 gram CO₂-ekv/kWh, og har derfor lave utslipp sammenlignet med EUs karbonutslipp knyttet til strømproduksjon.

I en rapport levert på vegne av Grønn Byggallianse beregnet de en utslippsfaktor for strøm på 132 g CO₂-ekv/kWh for Norge. Tallet er en gjennomsnittlig antagelse på utslipp per år de neste 60 årene. Rapporten ble beregnet med europeisk utslippstall fra 2010 som var på 361 g CO₂-

ekv/ kWh, og har antatt at norsk strøm er en del av europeisk strømnettverk (Førland Larsen, et al., 2013). Har rapporten rett i sine beregninger, vil bruk av elektrisk kjøleteknologi ha et høyere årlig miljøavtrykk enn dagens kjøleløsninger som benytter fjernvarme. Tallet har ikke blitt brukt i denne oppgaven da vi kun ser på kjøling i Norge som benytter 90% norskprodusert strøm (SSB, 2021).

Ved investering i en DX-kjøler eller isvannsmaskin trengs et kuldemedium for å drive prosessen. Bruk av kuldemedium med lav GWP har blitt mer aktuelt de siste årene. Utfasing av de mest skadelige kjølemediene har begynt, og R407C som er et populært kuldemedium er planlagt innen 2030 (VVSFORUM, 2016). Det er ikke uvanlig med små lekkasjer av kuldemedier. Storbritannias regjering leverte i 2010 en rapport som estimerte en årlig lekkasjeandel fra private og kommersielle varmepumper på 8,5 % av fyllmengde (DECC & Defra, 2010), og 4-5 % årlig estimat i en rapport levert av IPCC (IPCC/TEAP, 2018). Selv med små lekkasjer av f.eks. R407C (Linde, 2021), vil bidra til høye utslipp. Lekkasje på 100 gram av dette kuldemediet gir en miljøbelastning på 177 kg CO₂-ekv.

For DX-kjøling med fyllmengde på 10kg og årlig lekkasjeandel på 8.5 % vil et kuldemedium med GWP-verdi over 114 føre til høyere årlig utslipp enn sorptiv kjøling. Tilsvarende for isvannsmaskin vil kuldemedium med GWP-verdi over 259 ha et større årlig utslipp sammenlignet med absorpsjonsmaskinen som bruker LiBr som har lav GWP (Dixit, 2018). Grunnen til dette er at COPen på maskiner som bruker fjernvarme er lavere enn en maskiner som benytter elektrisitet. Det vil ikke forekomme lekkasje i kjøleprosessen fra et sorptiv kjøleaggregat, da dette ikke benytter kuldemedium til kjøling. Det samme gjelder for absorpsjonsmaskinen da kjøleprosessen opererer i vakuum.

Benyttes kun spillvarme til kjøling vil utslippene knyttet til energibruk bli 0, vist i tabell under. Dette er grunnet spillvarme er energigjenvinning og regnes som nullutslipp ved bruk som fjernvarme. NVE sin CO₂-ekv for strøm er benyttet i tabellen. CO₂-ekv er lavere enn vårt tall fordi vi har beregnet med utslippene fra produksjonen av strøm.

Miljøpåvirkning	Luftkjøling		Vannkjøling	
	DX R407C	Sorptiv kjølig	Absorpsjon kjøling	Isvannsmaskin R-32
Miljø				
Strøm [g CO ₂ -e/kWh]	17,0			17,0
Forbruk [kWh]	968			1290
Fjernvarme [g CO ₂ -e/kWh]		0,0	0,0	
Forbruk [kWh]		6452	5530	
Totalt CO₂ utslipp [kg/p]	16	0	0	22

Tabell 8 -Miljøpåvirkning #2

5.2.6 Heimdal varmesentral

Heimdal varmesentral har et utslipp per år på ca. 5088 tonn CO₂-evivalent som følge av uutnyttet spillvarme i de tre sommermånedene juni til august, i perioden 2018-2020. Brukes spillvarmen til kjøling av leiligheter kan dette dekke kjølebehovet til, som vist i diagram 3, et antall leiligheter mellom 29000 og 26000 på lik størrelse og kjølebehov med oppgavens. Dersom man velger å ikke benytte seg av denne energien, men fortsatt benytter kjøling drevet av elektrisitet vil dette være med å øke det totale utslippet til Norge. Dette fordi produksjonen av fjernvarme må fortsette grunnet lovpålagt avfallsdestruksjon.

Ved å senke prisen på fjernvarme til en sjettedel i perioder med overskudd av spillvarme, kan kjølemaskiner knyttet til fjernvarme bli mer attraktivt å bruke. Dette vil gagne samfunnet ved at man får brukt opp energien som allerede er tilgjengelig, og man kan redusere det totale utslippet knyttet til kjøling.

Strømforbruket i Norge har økt betraktelig de siste årene, grunnet stor digitalisering av samfunnet sammen med en økt interesse i elektriske biler, busser og ferger. Økningen ser ikke ut til å avta og det vil etter hvert kreve store oppgraderinger av strømmettet for å håndtere etterspørselen (NVE, 2017). Benyttes fjernvarme til kjøling vil trykket på strømmettet reduseres.

5.3 Oppsummering av kjøleteknologiene

I figur 5 nedenfor ser vi en oppsummering av de mest sentrale fordelene og ulempene med de ulike kjøleteknologiene.

	Teknologi			
	Sorptiv kjøleaggregat	Absorpsjonsmaskin	Isvannsmaskin	DX
Energikilde	Fjernvarme	Fjernvarme	Elektrisitet	Elektrisitet
COP	0.67	0.7	3	4
Distribusjon	Luft	Væske	Væske	Luft
Fordeler				
	Ingen bruk av kuldemedium	Miljøvennlig kuldemedium	Stor variasjon av modeller	Stor variasjon av modeller
	Bruk av lavenergi	Bruk av lavenergi	God COP	God COP
	Regulering av luftfuktighet	Lang levetid	Lang levetid	Rimelig investeringskostnad
	Driftsikker	Driftsikker	Rimelig investeringskostnad	Plasseffektiv på tekniskrom
	Frigir takareal	Kan kombineres med forskjellige kjøleavgivere	Kan kombineres med forskjellige kjøleavgivere	Valgfri varmeveksler for overskuddsvarme
	Ingen behov for varmeveksler for overskuddsvarme	Valgfri varmeveksler for overskuddsvarme	Valgfri varmeveksler for overskuddsvarme	
Ulemper				
	Dyr investeringskostnad	Dyr investeringskostnad	Bruk av kuldemedium	Bruk av kuldemedium
	Få leverandører	Få leverandører	Kan ikke benytte lavenergi	Kan ikke benytte lavenergi
	Fare for fuktproblematikk	Plasskrevende	Lange rørføringer	Begrenset av luftmengde
	Fare for legionellaproblematikk	Må kvitte seg med overskuddsvarme	Må kvitte seg med overskuddsvarme	Lange rørføringer
	Begrenset av luftmengde	Lange rørføringer		Må kvitte seg med overskuddsvarme
	Lav COP	Lav COP		

Figur 4 - Oppsummering av kjøleteknologier

5.4 Kjøleavgivere

Denne diskusjonsdelen gjennomgår kjøleeffekt de ulike kjøleavgiverene kan levere, og hva som begrenser kjøleeffekten. Vi skal deretter diskutere hvorvidt ulike kjøleavgivere egner seg i leiligheter basert på innsamlet informasjon.

5.4.1 Ventilasjonkjøling

Som vi så i kapittel 4.6 er kjøleeffekten ved ventilasjonkjøling avhengig av temperaturen på tilluften og romluften, samt luftmengden som tilføres. I vår simulering med lavest dimensjonerende kjøleeffekt ved 24,5°C er det nødvendig med en tilluftsmengde på 163m³/h

dersom tilluftstemperaturen er på 13 grader. Tar vi derimot utgangspunkt i simuleringen med høyest dimensjonerende kjøleffekt ved 24,5°C må vi øke tilluftsmengden til 307m³/h for å dekke kjølebehovet. Dette er mye høyere enn den dimensjonerende luftmengde til leiligheten som er på 133m³/h. Det er mulig å senke tilluftstemperaturen ytterligere for å redusere tilluftsmengden noe, men man er da avhengig av tilstrekkelig omrøring av tilluften før den treffer oppholdssonen. Oppnås ikke dette, kan brukeren oppleve ubehag i form av kald trekk (Ingebrigsten, 2020). Større luftmengder krever også at man øker dimensjonene på ventilasjonskanaler og aggregater. Dersom man ikke øker dimensjonene på ventilasjonskanalene kan man oppleve støy og trekk (Ingebrigsten, 2020). Dette vil øke prisen på løsningene, samt ta opp mer plass noe som i mange tilfeller allerede er begrenset.

Grunnen til at ventilasjonskjøling fungerer i nærings- og industribygg er at luftmengdene gjerne er opptil 10 ganger større enn i boliger (Systemair, 2021). Det er ikke umulig å kjøle leiligheter via ventilasjon, men løsningene blir veldig fort upraktiske ettersom nødvendig kjøleffekt øker.

5.4.2 Lokal romkjøling

Et alternativ til ventilasjonskjøling er bruk av romkjølere. Kjølebafler og kjøletak er nok lite aktuelt å bruke i boliger da de bør installeres minimum 2,8 meter over gulvet (Ingebrigsten, 2020), samt at deres estetiske design ikke nødvendigvis passer inn i private hjem. En løsning som kan egne seg til bruk i leiligheter er viftekonvektorer. Disse er i motsetning til ventilasjonskjøling ikke avhengig av tilluftsmengden da de sirkulerer luften som allerede er i rommet. Dette gjør at man slipper å øke kanal og aggregatdimensjonene. Det finnes flere typer viftekonvektorer på markedet i dag som er tilpasset bruk i boliger. AF Gruppen har i sine prosjekter i Bjørvika (Dronninglunden og Vannkunsten) levert viftekonvektorer for oppvarming og kjøling. Disse er av typen Sabiana CRC 43+2. Disse kan levere en kjøleffekt mellom 395 og 2111W. Kjøleffekt de kan levere baserer seg på viftehastighet, lufttemperatur og fysisk størrelse.

På lik linje med ventilasjonskjøling vil også viftekonvektorer ha behov for relativt store luftmengder og lav tilluftstemperatur for å kunne levere tilstrekkelig effekt. Dette kan gi utfordringer knyttet til støy og trekk. Viftekonvektorer gir vanligvis kjøling kun til et rom, men det finnes løsninger som muliggjør installasjon av kanaler som distribuerer til flere rom. I Bjørvika er det installert 2-3 viftekonvektorer i hver leilighet. Gruppen vet ikke hvorfor, men antar at dette er gjort for å redusere støy og trekk som følge av høy viftehastigheten. Hvor godt

systemet fungerer i Bjørvika vet vi ikke, men basert på informasjon vi har funnet kan vi anta at viftekonvektorer er et bedre alternativ enn ventilasjonskjøling.

5.4.3 TABS

TABS er relativt nytt i Norge, men er utbredt i næringsbygg i utlandet. Uponor, en leverandøren av slike system har installert over 1100 system rundt i Europa. (VVS Aktuelt, 2016). I Norge er det derimot få bygg som benytter seg av denne teknologien. Stålgården i Trondheim er et av byggene som benytter seg av TABS både til kjøling og oppvarming. (Byggeindustrien, 2015)

Som vi ser fra resultatene av dokumentstudiet om kjøleeffekt, oppgir ulike kilder varierende kapasiteten til systemet, men vi antar at kjøleeffekten ligger mellom 40 og 99 W/m². Selv en kjøleeffekt på 40 W/m² vil være tilstrekkelig for å dekke behovet i vår leilighet uavhengig av himmelretning. Dette gjelder også uten solskjerming fra balkong, som gir en maksimal nødvendig kjøleeffekt på 32,7 W/m². De teoretiske utregningene gjort av Olesen er en del høyere enn de effekten som er opplyst av Uponor.

Siden TABS støpes inn i bygningskonstruksjonene høye varmekapasiteten til konstruksjonen utnyttes, og dermed jevne ut effekttoppene som oppstår ved følge av varmetilskuddet fra solstråling, intern og personbelastninger på dagtid (Haase & Inger, 2007). Dette muliggjør også relativt høye vanntemperaturer for kjøling, som ligger nært ønsket romtemperatur. Dette medfører at kjølemaskinene kan produsere vann med høyere temperatur, som reduserer energiforbruket (Haase & Inger, 2007). SINTEF har gjennomført simuleringer av et kontorbygg i Trondheim hvor TABS og frikjøling kombineres. De fant her ut at det meste av kjølebehovet kunne dekkes gjennom frikjøling, og at kun de varmeste dagene gav behov for mekanisk kjøling. Med en varmebelastning på under 50W/m² kunne 100% av kjølebehovet bli dekket av frikjøling. (Murphy, 2010).

Utfordringene med TABS som kjøleavgiver er at de store termiske massene gjør systemet tregt å regulere. Dette kan føre til over og underkjøling dersom varmelasten er forskjellige i deler av bygget. Dette fordi systemet vil regulere seg etter rommet med størst varmelast. Det er gjort noe forskning på regulering av TABS, og funnene viser at å dele opp systemet etter ulike soner, i stor grad løser problemet. (Chung, et al., 2017). Dog tillater dette ikke at temperaturen reguleres av hver enkelt beboer. Andre utfordringer knyttet til TABS er faren for kondensering

dersom vanntemperaturen er lavere enn duggpunktstemperaturen, temperaturen må derfor alltid holdes over duggpunktstemperaturen. TABS kan heller ikke kombineres med nedsenket tak da systemet er avhengig av mest mulig eksponert betong for å kunne virke tilstrekkelig. Dette gjør det vanskelig å installere tekniske installasjoner som takspotter, samt at det kan gi utfordringer rundt akustikken i bygget. (Haase & Inger, 2007).

TABS er allerede benyttet til kjøling av boligkomplekser i Praha, og basert på informasjonen vi har samlet inn om kjøleavgiveren virker den til å kunne passe godt til bruk i leiligheter.

5.4.4 Vannbåren gulvkjøling

Vannbåren kjøling i gulv kan benyttes for å kjøle ned boliger. Kjøling kan kombineres med samme system som til vannbåren oppvarming. Vi har funnet to ulike systemer som kan levere en kjøleeffekt på opptil henholdsvis 24 W/m² og 56 W/m². Gulvkjølesystemer kan levere relativt store effekter, og gir mulighet for individuell regulering i hver leilighet. Ved å kombinere oppvarming og kjøling i samme system, kan installasjonskostnadene reduseres. Siden systemet ikke utnytter de termiske kapasiteten til konstruksjonen på lik linje med TABS er systemet med responsivt på endringer i temperatur.

Systemets kjøleeffekt er i stor grad avhengig av hvorvidt de legges som våt- eller tørrløsning. Våt løsning gir større kjøleeffekt grunnet varmeledningsevnen til støpen. Tykkelsen på støp og termisk motstand til gulvbelegget vil også påvirke kjøleeffekten. Det samme gjelder for hvor lav temperatur man tillater inn i rørene. (Roth AS, u.d.)

Utfordringen med et vannbårent gulvkjølingssystem er faren for kondensering ved lave temperaturer på lik linje med TABS, det må derfor installeres fuktmålere som kan regulere kjøleeffekten etter duggpunktstemperaturen. Ved høye kjøleeffekter vil det være behov for lav temperatur på vannet i forhold til romtemperatur. (Roth AS, u.d.) Dette kan føre til lave overflatetemperaturer på gulvet som kan føre til ubehag. Ser vi på figur 3 i NS-EN ISO7730:2005 må overflatetemperaturen være på mellom 19 og 26 grader for at mindre enn 10% skal være misfornøyd med temperaturen. En annen ulempe med gulvkjøling er at det kan oppstå kalde sjikt langs gulvet som følge av at kald luft er tyngre enn varm luft. Uten tilstrekkelig sirkulasjon av luften kan dette føre til ubehag.

Roth utførte i 2016 et pilotprosjekt av en privat bolig i Danmark som fikk installert vannbårenkjølig og oppvarming. Gjennom en periode på to måneder vurderte de hvor godt systemet fungerte. Systemet var satt til å starte kjøling når romtemperaturen nådde 24 °C. Resultatene fra pilotprosjektet viste at systemet for det meste kunne holde temperaturen under 26°C. Dog svingte romtemperaturen mellom 21°C og 26°C i løpet av et døgn, og var sjeldent stabil. Eieren klaget også på at gulvet ble for kaldt på de varmeste dagene. (Roth, u.d.)

For hvorvidt systemet egner seg i bruk i leiligheter avhenger i stor grad av at man klarer å holde overflatetemperaturen over 19°C. Ved temperaturer lavere enn dette vil det fort bli ubehagelig å gå på gulvet, og kjølingen går på bekostning av komforten. Dette setter begrensninger for hvor stor kjøleeffekt systemet i realiteten kan levere før det blir tilnærmet ubrukelig mtp komfort.

6 Konklusjon

Oppgavens problemstilling var «Hvordan kan fjernvarme brukes til kjøling av leiligheter, og kan en slik løsning være konkurransedyktig i forhold til tradisjonelle løsninger med henblikk på kostnader, energiforbruk og miljøpåvirkning»

Vi har gjennom oppgaven sett at det er mulig å bruke fjernvarme til kjøling så lenge man har kjøleavgivere som kan levere tilfredsstillende kjøleeffekt. Sorptiv kjøleaggregat egner seg dårlig til bruk i leiligheter med store kjølebehov som følge av de store luftmengdene som er nødvendig for å levere tilfredsstillende kjøleeffekt. En mulig løsning på dette er å bruke viftekonvektorer som drives av en absorpsjonskjøler. TABS viser også potensiale til å kjøle leiligheter og er allerede prøvd i Praha.

Resultater viser at kjølemaskiner som benytter fjernvarme ikke er konkurransedyktig på pris knyttet til investering og vedlikehold, samt energieffektivitet. Det er usikkert hvor mye utslipp som er knyttet til de forskjellige kjølemaskinene da utslippstall varierer basert på kilder og hvilke faktorer de har tatt med i miljøregnskapet. Dette kan i enkelte tilfeller, basert på hvilke tall man benytter, tilsa at fjernvarme er mer miljøvennlig. Dette avhenger dog av hvilke kuldemedier som benyttes i de tradisjonelle kjølemaskinene og hvor stor lekkasje av kuldemedium disse har.

Vi kan konkludere med at sorptiv kjøleaggregat og absorpsjonsmaskin er mindre energieffektiv og har større kostnader enn tradisjonelle løsninger. Vi kan derimot ikke konkludere med utslippet knyttet til de ulike kjøleteknologiene da data for miljøutslipp spriker for mye. Vi kan også konkludere med at en absorpsjonsmaskin er best egnet til å kjøle ned leiligheter da den ikke kjøler via luft, samt at det finnes flere kjøleavgivere som kan benyttes i kombinasjon med disse.

Å utnytte de energikildene som er tilgjengelig vil gagne samfunnet gjennom reduserte utslipp. I en verden som kjemper mot klokka for å nå klimamålene, kan det å utnytte spillvarmen som er til overs være med å bidra til at vi når klimamålene.

6.1 Videre arbeid

Det er muligheter for videre arbeid i denne oppgaven. Arbeidet gjort er kun teoretisk. Det hadde derfor vært interessant å gjøre forsøk i leiligheter med sorptiv kjølig og absorpsjonskjøling, med TABS eller gulvkjøling, for å måle komforten og reelt energiforbruk. Dersom dette blir utført på en skikkelig og systematisk måte, kan våre beregninger og konklusjoner enten underbygges og støttes, eller forkastes om det skulle vise seg å være feil.

Å navigere gjennom utslippstallene var ikke lett, da det er mange måter å beregne miljøpåvirkning på. Det hadde vært interessant å se hvilke resultater oppgaven vår hadde fått dersom vi hadde hatt flere konkrete tall. På denne måten kunne vi kanskje konkludert med hvilken løsning som var best med tanke på utslipp.

7 Referanser

- Byggeindustrien, (2015). *Stålgården*. Byggeindustrien bygg.no
<https://www.bygg.no/article/1243808?image=dp-image66831-1243866>
- Chung, W. J., Park, S. H., Yeo, M. S. & Kim, K. W. (2017) *Control of Thermally Activated Building System Considering Zone Load Characteristics*, s.l.: MDPI.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/586>
- DECC & Defra, (2010). *2010 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting.*:
http://www.sthc.co.uk/documents/DEFRA-guidelines-ghg-conversion-factors_2010.pdf
- TEK17, (2017). *Direktoratet for byggt teknisk forskrift*.
<https://dibk.no/regelverk/byggt teknisk-forskrift-tek17/>
- Direktoratet for byggkvalitet, (2021). *Generelle krav til luft*. (FOR-2017-13-13-9)
Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggt teknisk-forskrift-tek17/13/vi/13-9/>
- Dixit, R., (2018, 15 November). *Absorption 101 Lithium Bromide-Water Cycle*.
<https://www.districtenergy.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=802b5bae-b03c-d8fb-de49-dceba01137e1&forceDialog=0>
- Dokka, T. H., Lien, A. G. & Thyholt, M., (2001). *Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg*, (Rapport nr. STF22 A01525) SINTEF.
https://www.sintef.no/globalassets/upload/a01525_mekanisk_kjoeling.pdf
- Eliasson, D. (2017). *Kyla med Varme*. [Eksamensarbeid, Høyskolen i Gavle]
<http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf>
- Energi og Klima. (2021). *Live-data: Strøm og CO2*.
<https://energiogklima.no/klimavakten/live-data-strom-og-co2/>
- Ertsvåg, I. S. & Mielnik, M. (1999). *Energiutnyttning i Noreg* (TRNR. A4991) Sintef
<https://folk.ntnu.no/ivarse/EksergiNoreg.pdf>
- Fedoryshyn, N. (2015). *Statistisk sentralbyrå*.
https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/_attachment/216702?_ts=14b3a6839a0
- FHI, (2020). *Fordelingsnett til dusjer og andre aerosoldannende tappepunkter*.
<https://www.fhi.no/nettpub/legionellaveilederen/temakapitler/interne-vannfordelingsnett-som-forsyner-dusjer-og-andre-aerosoldannende-tappepunkter/?term=&h=1>
- Førland Larsen, A., Bramslev, K. T. & Hammer, E. A., (2013). *Nullutslippsbygg - er det mulig?*, Byggalliansen.
<https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Nullutslippsbygg-Veileder.pdf>
- Grinrød, J., (2014, 15.10). *Varmebasert kjøling*. Norsk Energi
<https://www.energi.no/docman/diverse/242-varmebasert-kjoling-fjernvarmedagene-2014/file>
- Gøransson, F. & Carlsten, J., (2009). *Sorptionsteknik - Kylteknik*, [Eksamensarbeid, Malmø Høyskole]
<http://muep.mau.se/bitstream/handle/2043/8456/Examensarbete%20Sorptionsteknik%20-%20Kylteknik,%20Jonas%20Carlsten%20&%20Filip%20G%20F6ransson.pdf?sequence=1>
- HVAC-eng, (2021). *HVACR Equipment Life Expectancy*. HVAC and Solar Energy Engineering Calculations.
<https://hvac-eng.com/hvacr-equipment-life-expectancy/>
- Haase, M. & Inger, A., (2007). *Thermal Mass Concept*, (SBF BK A07030). SINTEF.
https://www.sintef.no/globalassets/sintef-byggforsk/coin/sintef-reports/sbf-bk-a07030_thermal-mass-activation.pdf

- Ingebrigsten, S.. (2020). *Ventilasjonsteknikk Del 1*. VVS-foreningen/Nemitek
- IPCC/TEAP. (2018). *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System*. World Meteorological Organization. <https://www.ipcc.ch/report/safeguarding-the-ozone-layer-and-the-global-climate-system/>
- Kartverket. (2021). *Matrikkelen - Norges eiendomsregister*. Kartverket
<https://www.kartverket.no/eiendom/eiendomsgrenser/matrikkelen-norgeseiendomsregister>
- Kubberød, T. (2016, 03.11) . *Velger sorptiv kjøling*. VVSaktuelt
<https://www.vvsaktuelt.no/velger-sorptiv-kjoling-104870/nyhet.html>
- Linde. (2021). *R407C*. Linde
https://www.linde-gas.no/no/products_ren/refrigerants/hfc_gases/r407c/index.html
- Mamen, J. (2019, 17.07). *globale oppvarmingspotensialer*. Store Norske Leksikon
https://snl.no/globale_oppvarmingspotensialer
- Miljødirektoratet, (2019, 28.11). *Tabell for omregning til CO2-ekvivalenter*. Miljødirektoratet
<https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimatearbeid/kutte-utslipp-av-klimageasser/klimate-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/>
- Munters, (2021). *Cooling*. Munters
Available at: <https://www.munters.com/en/solutions/cooling/>
- Murphy, M., (2010). *LECO Thermo-active Ceilings & Free Cooling*, (52) SINTEF Building and infrastructure, LECO.
- Nemitek, (2019, 10 04). *Disse er først ute med kjøling basert på varme*. NemiTek
<https://nemitek.no/byggdrift-fortum-kulde/disse-er-forst-ute-med-kjoling-basert-pa-varme/103461>
- Novema Kulde , (2020). *Kuldemedier og EU*. *Novema Kulde*
https://novemakulde.no/01/dot20_228.pdf
- Skotland, C.H, Høivik, Ø. F., (2017). *Elektriske biler, busser og ferger gir økte nettinvesteringer*. (77-2017) NVE. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_77.pdf
- NVE, (2019, 11.06). *Konsesjonsbehandling av fjernvarme*. NVE
<https://www.nve.no/konsesjonssaker/konsesjonsbehandling-av-fjernvarme/>
- NVE, (2020, 15.06). *Hvor kommer strømmen fra?*. NVE
<https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/?ref=mainmenu>
- NVE, (2021, 05.03). *Klagerett på fjernvarmepris*. NVE
<https://www.nve.no/energiforsyning/varme/klagerett-pa-fjernvarmepris/?ref=mainmenu>
- Olesen, B. W., (2000). *Cooling and Heating of Buildings by Activating their Thermal Mass with Embedded Hydronic Pipe Systems*. ASHRAE-CIBSE.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.590.5375&rep=rep1&type=pdf>
- Olje- og energidepartementet , (2020). *Lavt klimaavtrykk av å bruke strøm i Norge i 2019*. Regjeringen.no.
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-side2/id2722277/>
- Pedersen, B., (2019). *varmekapasitet*. Store norske leksikon
Available at: <https://snl.no/varmekapasitet>
- Roth AS, (u.d.) *Original Tracker System*.
https://www.roth-uk.com/en/files/Roth-UK/Technical%20information_Roth_Original%20Tracker-System_20190529.pdf
- Roth, (u.d.) *Passiv kjøling - Høyere komfort i nye huse*, Roth.

- Sabiana, (2021). *Carisma CRSL-ECM - Ducted*. Sabina
<https://www.sabiana.it/en/products/carisma-crs-ecm-ducted/fan-coils>
- Schløsser Møller Kulde AS, (2021). *Prisbok 2021*. Schløsser Møller Kulde AS
https://viewer.ipaper.io/schløsser-møller/smk_prisbok_pa_net/?fbclid=IwAR0-KEf3KGVz150WBOZsYFo1BPfnX5EfNzKbgyxwHKeU06AOT4-mBKJ_dIo&page=1
- Selfors, A. & Bølling Kocbach, J., (2011). *Rammer for utbygging og drift*. NVE
Available at: https://publikasjoner.nve.no/veileder/2011/veileder2011_03.pdf
- Sigenthaler, J., (2018). Comparing COPs. *Renewable Heating design*
https://www.pmengineer.com/ext/resources/PME/2018/April/010-011-pme0418_siggy.pdf
- SINTEF, (2020). Vannbåret gulvvarme. Oppbygging av gulv, *Byggforsk*.
https://www.byggforsk.no/dokument/522/vannbaaret_gulvvarme_roersystem_og_dimensjonering
- SINTEF, (2017). Termisk inneklime. Betingelser, tilrettelegging, og målinger. *Byggforsk*.
https://www.byggforsk.no/dokument/193/termisk_inneklime_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger
- Solberg, T. C. & Fossan, A., (2021). *Inneklime og ENØK*. Ventilasjon og inneklime.
<https://vi-as.no/inneklime-og-enok/>
- SSB, (2021). *Elektrisitet*. SSB
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet>
- SSB, (2021). *Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger 2012K1 - 2021K1*, SSB.
<https://www.ssb.no/elkraftpris>
- Statkraft Varme AS, (2020). *kjøling i kombinasjon med fjernvarme*. Statkraft Varme AS
<https://www.statkraftvarme.no/globalassets/0/statkraft-varme/utbygging/veiledere/kjoling-v1.0.pdf>
- Statkraft Varme, (2015). *TEKNISKE BESTEMMELSER FOR FJERNVARME KUNDESENTRALER OG INNVENDIG RØRANLEGG*.
<https://www.statkraft.no/globalassets/2-statkraft-varme/statkraft-varme-norge/bestemmelser-bionorden-no-rev---juni-2015.pdf>
- Statkraft, (2021). *Energikalkulator*. Statkraft Varme
https://www.statkraftvarme.no/utbygging/valg-av-energiløsning/energikalkulator/kalkulator/?fbclid=IwAR12JyqeFWBdrHNT2MpNX9i_3oCWKG3WMC67PI0QJChF3f4Ynzz7zNyi6mw
- Duggpunkt, (2021). *duggpunkt*. Store Norske Leksikon
<https://snl.no/duggpunkt>
- Systemair, (2021). *Kjøling og oppvarming av boliger*. Systemair
<https://www.systemair.com/no/support/verdt-aa-vite/kjoeling-og-oppvarming-av-boliger/>
- Systemair, (2021). *Topvex TC60-R-EL32,4-B*. Systemair
<https://shop.systemair.com/no-NO/topvex--tc60--r--el324--b/p479454>
- Tekna, (2021). *Dette trenger du for å gjøre en energiberegning*. Tekna
<https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/dette-trenger-du-for-a-gjore-en-energiberegning/>
- Tempra, (u.d). *Tørrkjøler* Tempra
https://tempra.no/kjol_frys/torrkjoler/

The Engineering Mindset, (2017). *Absorption Chiller, How it works - working principle hvac*. Youtube.com
<https://www.youtube.com/watch?v=0R84hLprO5s>

Uponor Minitec Technical Guide, (u.d). *Minitec Wet installation*. Uponor
<https://www.uponor.com/int/products/underfloor-heating-and-cooling/minitec-wet-installation>

VVS Aktuelt, (2016). Uponor kjøler og varmer Deichmanske med TABS. *VVS aktuelt*
Available at: <https://www.vvsaktuelt.no/uponor-kjoler-og-varmer-deichmanske-med-tabs-102480/nyhet.html>

VVS Foreningen, (2019). *Disse er først ute med kjøling basert på varme*. Nemitek
<https://nemitek.no/byggdrift-fortum-kulde/disse-er-forst-ute-med-kjoling-basert-pa-varme/103461>

VVSFORUM, (2016). Fire år igjen for R404A. *VVSforum*
<https://www.vvsforum.no/2016/fire-ar-igjen-for-r404a/>

8 Vedlegg

Vedlegg A – Dimensjonering av luftmengder

Dimensjonering av luftmengder skjer i henhold til luftmengende gitt i TEK17 nevnt i kapittel 2.2.

Rom	Areal (m2)	Tilluft (m3/h)	Avtrekk (m3/h)	Forsert (m3/h)
Stue/kjøkken	39,5	1,2	36	108
Soverom 1	11	2*26		
Soverom 2	7,9	26		
Bad	5,0		54	108
Gang	6,1	1,2		
Bod	3			
SUM	72,5	133	90	216

Tilluften er dimensjonerende faktor med 133 m3/time. Forsert mengde er større enn tilluften, men brukes ikke til dimensjonering. Anlegget må likevel ha kapasitet til å levere 216 m3/timen når det er behov for forsert mengde.

Vedlegg B – Statistisk data om størrelser på leiligheter

06513: Boliger, etter region, bruksareal, statistikkvariabel, år og bygningstype

Boliger (beboede og ubeboede)	
2021	
Boligblokk	
K-5001 Trondheim	
Under 30 kvm	2 155
30-39 kvm	3 647
40-49 kvm	6 342
50-59 kvm	6 712
60-79 kvm	13 306
80-99 kvm	8 811
100-119 kvm	3 248
120-139 kvm	867
140-159 kvm	332
160-199 kvm	253
200-249 kvm	67
250-299 kvm	9
300-349 kvm	4
350 kvm eller større	8
Ukjent	1

Vedlegg C – Statistisk data antall leiligheter i en boligblokk

06933: Boligblokker, etter statistikkvariabel, region, antall boliger i bygningen og år

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Boligblokker														
16 Sør-Trøndelag (-2017)														
5 eller færre boliger	765	796	781	786	700	632	641	650	668	670	0	0	0	0
6-10 boliger	942	962	973	987	1 009	1 019	1 029	1 050	1 073	1 097	0	0	0	0
11-20 boliger	689	713	708	710	725	742	790	804	829	843	0	0	0	0
21-30 boliger	267	276	282	282	284	296	308	323	335	352	0	0	0	0
31-40 boliger	110	110	112	114	110	112	114	118	125	131	0	0	0	0
41-60 boliger	65	64	65	65	69	70	71	73	75	80	0	0	0	0
61-100 boliger	20	20	20	20	20	22	23	23	24	26	0	0	0	0
Flere enn 100 boliger	7	6	6	6	6	5	5	5	5	6	0	0	0	0

Vedlegg D – Utslippstall

Kilde	Prosentandel	Andel [MWh]	Karbonintensitet (g CO2-ekv/ kWh)	Utslipp [g CO2-ekv]
Total produksjon	134634628 MWh			
Vannkraft	87 %	117132126	6	702792758160
Vindkraft	6 %	8078078	20	161561553600
Kjernekraft	2 %	2692693	13	35005003280
Solenergi	1 %	1346346	30	40390388400
Gass	1 %	1346346	176	236956945280
Kull	1 %	1346346	795	1070345292600
Annen fossil	2 %	2692693	337	907437392720
Totalt		134634628		3154489334040
Ny CO2-ekv / kWh	23,4			

Vedlegg E – Resultater fra SIMIEN

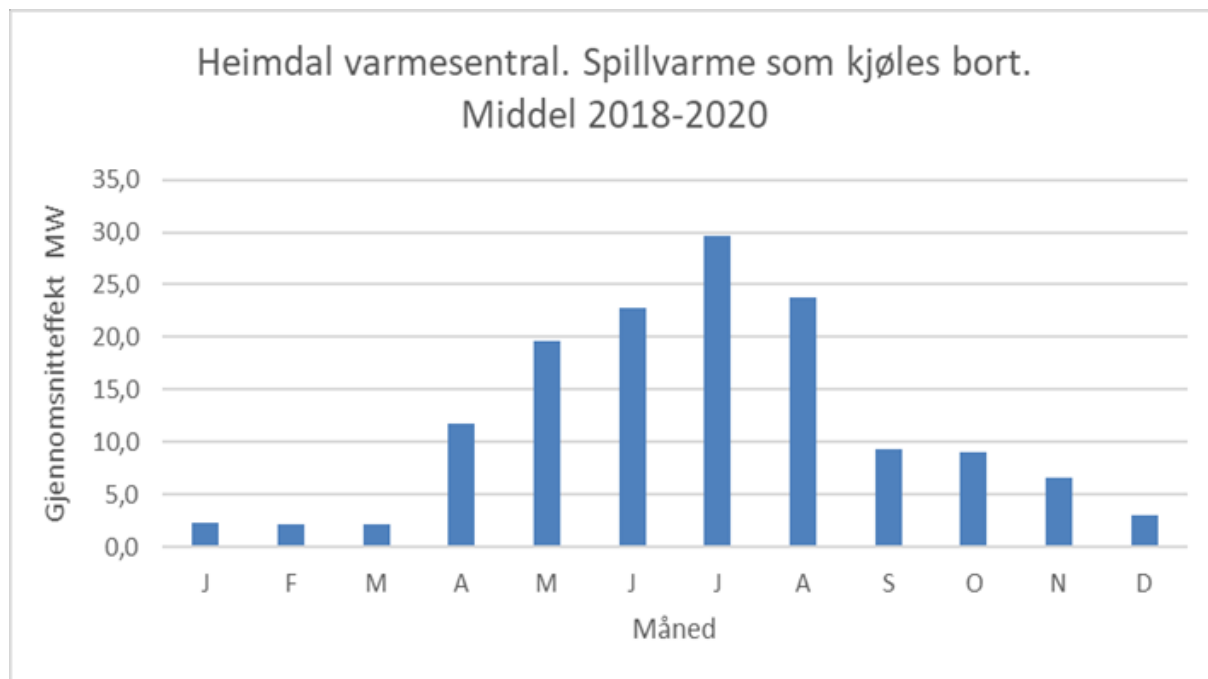


Ønsket operativ temperatur							
Forsøk	23°C		24,5°C		26°C		>26°C
	Watt	kWh	Watt	kWh	Watt	kWh	Timer
<u>NV,NØ</u>	906	231	613	80	81	9	80
<u>NØ,SØ</u>	1263	335	987	161	562	48	428
<u>SØ,SV</u>	1411	329	1158	160	794	60	468
<u>SV,NV</u>	1284	234	962	93	467	27	138

Vedlegg F – Priser fra svensk studie

Teknologi	Pris	Effekt	(SEK) Pris/kW	(NOK) Pris/kW	Kilde
Isvannsmaskin	1100000	665	1654	1601	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Isvannsmaskin	270000	100	2700	2614	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Absorpsjonsskjøler	404000	105	3848	3725	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Absorpsjonsskjøler	996000	231	4312	4174	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Absorpsjonsskjøler	996000	329	3027	2931	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Absorpsjonsskjøler	454593	100	4546	4401	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Absorpsjonsskjøler	1123854	90	12487	12089	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Absorpsjonsskjøler	1092959	660	1656	1603	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Scriptive Aggregat	1000000	100	10000	9681	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Tørksjøler	135730	150	905	876	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Tørksjøler	110000	100	1100	1065	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Varmepumpe luft/luft	925000	142	6514	6514	http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1110813/FULLTEXT01.pdf
Teknologi	kr/kW	Effekt	Total pris		
Scriptiv	10000	19	190000		Kurs
Absorpsjon	4800	19	91200		100NOK = 96,80 SEK
Varmepumpe luft/luft	6514	19	123768		
Isvannsmaskin	2100	19	39900		

Vedlegg G – Overskuddsvarme fra Heimdal fjernvarmesentral



Juni: 22,5 MW × 30 dager = 675 MWdager

Juli: 30 MW × 31 dager = 930 MWdager

August: 24 MW × 31 dager = 744 MWdager

Totalt andel spillvarme som ikke blir nyttiggjort: 2349 MWdager = 56376 MWh

Utvinningsandel: 1 tonn søppel = 3 MWh

Tonn avfall: 56376MWh/3 = 18792tonn

Andel fossilt avfall: 50 %

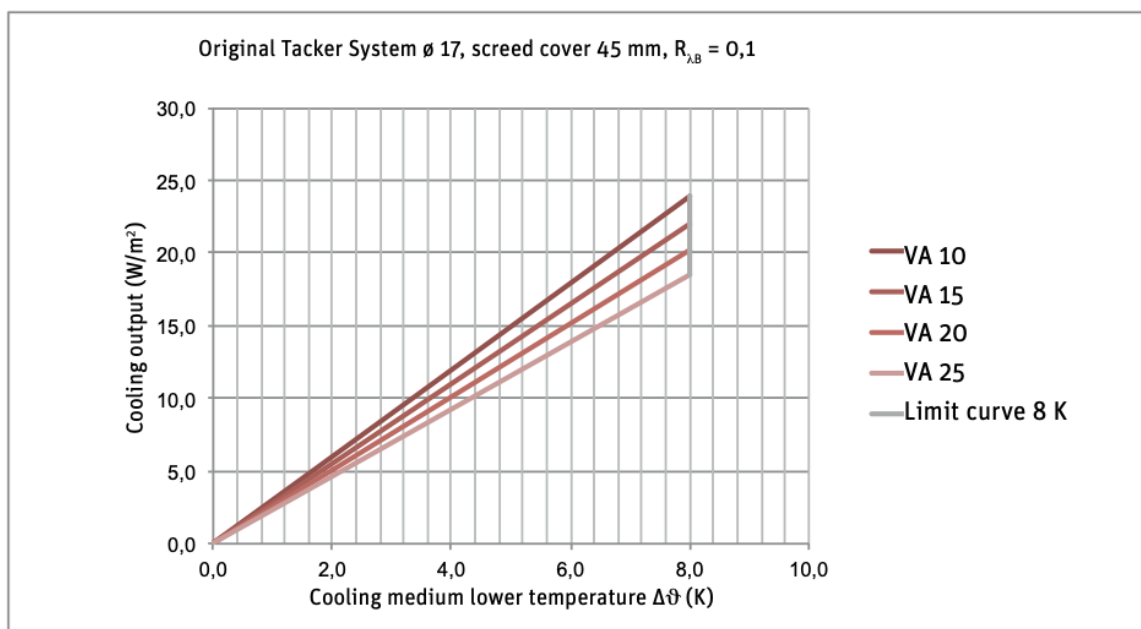
Utslipp fossilt: 541,5 kg CO₂ per tonn avfall

Andel fossilt: 18792tonn × 0.5 = 9296tonn

Utslipp spillvarme: 9296tonn × 541,5 kg CO₂ per tonn = 5087934 kg CO₂

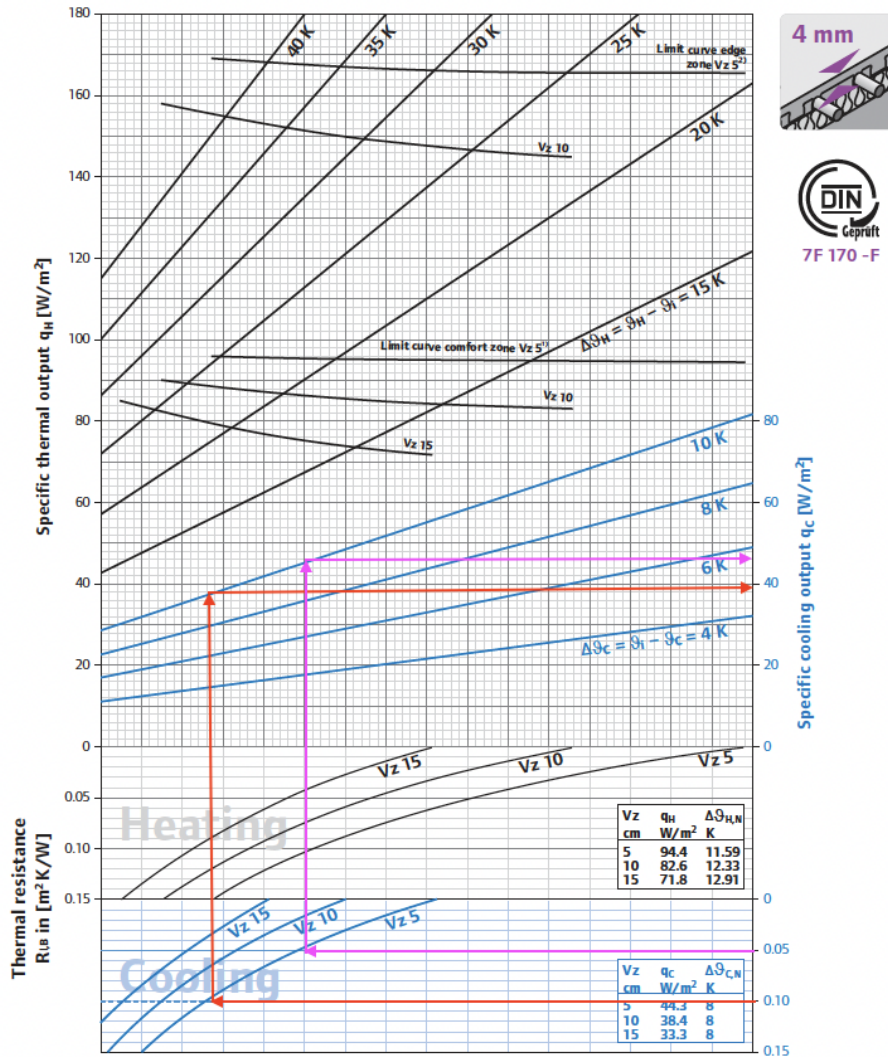
Vedlegg H – Roth Original Tracker dimensjoneringsgraf

$R_{\lambda,B} = 0,1$ $\varnothing 17$	Cooling	Occupied area, $\varnothing 17$ [ΔT 8 K]	
Installation spacing T [mm]	Offset coefficient K_c	Cooling output Q_c [W/m ²]	Cooling medium lower temperature $\Delta\vartheta_{CN}$ [K]
VA 10	3,0	24	8
VA 15	2,7	22	8
VA 20	2,5	20	8
VA 25	2,3	19	8



Vedlegg I – Uponor Mintec dimensjoneringsgraf

Design diagram heating/cooling Uponor Mintec with 15 mm levelling layer ($s_0 = 4$ mm with $l_0 = 1.0$ W/mK)



¹⁾ Limit curve valid for $\theta_{r,20}$ °C and $\theta_{r,max}$ 29 °C or $\theta_{r,24}$ °C and $\theta_{r,max}$ 33 °C

²⁾ Limit curve valid for $\theta_{r,20}$ °C and $\theta_{r,max}$ 35 °C

Note: According to DIN EN 1264 are baths, showers and toilets not included. The limit curves must not be exceeded.

The design supply water temperature must maximum be: $\theta_{V,des} = \Delta\theta_{H,g} + \theta_{r} + 2.5$ K

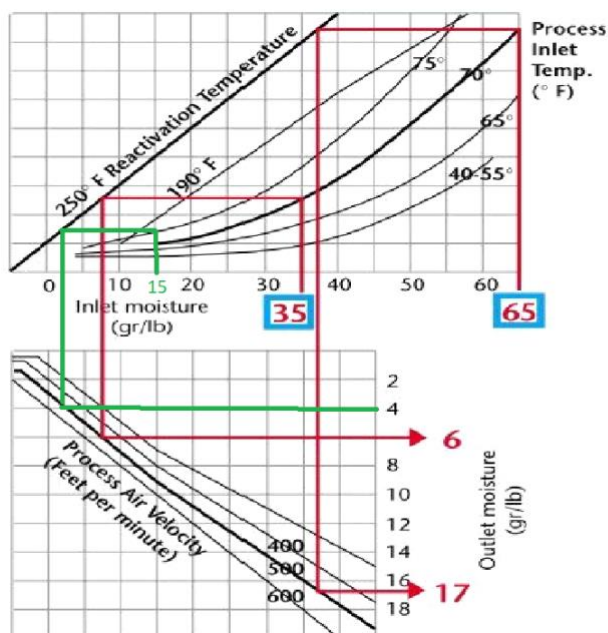
$\Delta\theta_{H,g}$ is found by the limit curve for the occupied zone with the smallest pipe spacing.

At cooling the supply temperature to be controlled by dew point temperature, humidity sensor to be included.

Vedlegg J – Prosessforløp eksempel ved sorptiv kjøling

Uteluft er basert på værdata fra sintef/byggforsk på varmeste dag i løpet av året:

1. Uteluft: 25°C og 0.007 gram vann/ kg luft.
 2. Roterende avfukter: Grunnet tilnærmet lik null varmeoverføring vil luften ha en konstant entalpi. Følger derfor molliersdigram til temperatur 30°C og 0.0052 gram vann/ kg luft.
- Utetemperatur: 78°F
 - Luftfuktighet ute: 15 gr/lb
 - Får tørket luften 4 gr/lb tilnærmet lik 1.8



Kilde: munters

3. Roterende gjenvinner: Virkningsgrad antas å være 0.8, som er minstekravet fra Tek 17. Ikke noe vann blir fjernet eller tilført tilstanden etter varmegjenvinneren er da 22°C og 0.0052 gram vann/ kg luft.

$$\eta = (T_3 - T_2)/(T_6 - T_2) \rightarrow 0.8 = (T_3 - 30^\circ\text{C})/(20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \rightarrow T_3 = 22^\circ\text{C}$$

4. Individuell Befukter: Tilføres en gitt vannmengde for å senke temperaturen ned til ønsket temperatur nivå. I denne beregningen antas ønsket temperaturen å være 22 °C. Tilsetter 1.8 gram vann/kg luft som senker temperaturen til 17.2 °C og 0.007 gram vann/ kg luft.
5. Rommet: Tilstanden etter rommet antas å være 22 °C og 0.007 gram vann/kg luft.
6. Befukter i avtrekket: tilfører 1 gram vann/kg luft. Tilstand etter er da 20 °C og 0.008 gram vann/kg luft.
7. Roterende varmegjenvinner: Entalpiendingen er lik fra tilstand 2-3 og 6-7 siden varmeoverføring ut eller inn i varmegjenvinneren er neglisjerbar. Tilstand etter er da 28 °C og 0.008 gram vann/ kg luft.
8. Varmebatteri: Varmer opp luften til 55 °C og 0.008 gram vann/kg luft.
9. Roterende avfukter: Absorberer 1.8 gram vann. Tilstanden etter er da 50°C og 0.0098 gram vann/ kg luft.

