

Linn Kiara Nyebak Fauske  
Thea Kristine Hansen Tømmerås

# Energioptimalisering av datasentre gjennom utnyttelse av overskuddsvarme

Bacheloroppgave i Fornybar energi  
Veileder: Alemayehu Gebremedhin  
Mai 2024



Linn Kiara Nyebak Fauske  
Thea Kristine Hansen Tømmerås

# **Energioptimalisering av datasentre gjennom utnyttelse av overskuddsvarme**

Bacheloroppgave i Fornybar energi  
Veileder: Alemayehu Gebremedhin  
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden







# NTNU

Kunnskap for en bedre verden

## **Energioptimalisering av datasentre gjennom utnyttelse av overskuddsvarme**

### **Forfattere:**

Linn Kiara Nyebak Fauske

Thea Kristine Hansen Tømmerås

**Gradering:** Åpen

### **Bachelor i ingeniørfag – Fornybar energi**

Innlevert:

21. mai 2024

Veileder:

Alemayehu Gebremedhin

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel: Energioptimalisering av datasentre gjennom utnyttelse av overskuddsvarme	Dato: 21.05.2024		
	Antall sider: 59		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave:	X
Navn: Linn Kiara Nyebak Fasuke, Thea Kristine Hansen Tømmerås			
Veileder: Alemayehu Gebremedhin			
Eksterne faglige kontakter/veildere: Andreas Lotterud			

**Sammendrag:** Denne bacheloroppgaven utforsker energioptimalisering av datasentre gjennom utnyttelse av overskuddsvarme. Norge er et attraktivt land for etablering av datasentre. Regjeringens satsning som datasenternasjon fremhever viktigheten av å finne bruksområder for varme som ellers går tapt til omgivelsene.

Potensialet for utnyttelse av overskuddsvarme blir utforsket gjennom en ståstedsanalyse som tar for seg dagens status for norske datasentre, og en case-studie med ulike fokusområder for utnyttelse av overskuddsvarme. I tillegg gjøres det utregninger for å bevisstgjøre rundt fysiske utslipp fra bruk av datasentre.

I scenario 1 undersøkes det hvor effektivt det er å levere overskuddsvarmen til fjernvarmenettet. I scenario 2 utforskes ulike teknologier som kan brukes internt i datasenteret for å konvertere overskuddsvarme til elektrisitet. Resultatet peker på stirlingmotor og en ORC-teknologi som de eneste teknologiene med overskuddsproduksjon av elektrisitet. ORC-teknologien ble også funnet lønnsom i et økonomisk perspektiv.

Hovedproblemet med å utnytte overskuddsvarme er den lave temperaturen. Dette øker behovet for elektrisk energi brukt til å heve temperaturen med varmpumpe. Valg av kjølesystem er dermed essensielt for å gi høyest mulig returtemperatur fra datasenteret.

I scenario 3 ble det kartlagt bruksområder for utnyttelse av overskuddsvarme, basert på temperaturen. Mulighetene i scenariet og de begrensede mulighetene i scenario 2 fremhever viktigheten av en bærekraftig sirkulærøkonomi og samarbeid mellom ulike bransjer for å utnytte overskuddsvarmen.

Stikkord:

Datasentre
Overskuddsvarme
Bærekraft
Energieffektivisering

## Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet av to studenter ved Fakultet for ingeniørvitenskap, med spesialisering innen fornybar energi på NTNU i Gjøvik. Arbeidet er utført i løpet av vårsemester 2024. Bacheloroppgaven representerer et omfang på 20 studiepoeng. Innholdet i denne oppgaven står for forfatterenes regning

Vi vil rette en takk til professor Alemayehu Gebremedhin for hans veiledning og støtte gjennom hele arbeidsprosessen. I tillegg vil vi takke Andreas Lotterud for hans verdifulle bidrag og gode innspill. Vi er takknemlige for den verdifulle innsikten vi har fått gjennom intervjuer og besøk av datasentre rundt om i landet. Dette hadde ikke vært mulig å gjennomføre uten stipend fra Innlandet fylkeskommune.

Dato: Gjøvik 21.05.2024

Dato: Gjøvik 21.05.2024

Signatur: \_\_\_\_\_

Signatur: Thea K. H. Tamara's

## **Abstract**

This bachelor thesis explores energy optimization of data centers through the utilization of excess heat. Norway is an attractive country for establishing data centers. The government's focus on becoming a data center nation emphasizes the importance of finding applications for heat that would otherwise be lost to the environment.

The potential for utilizing excess heat is examined through a situational analysis that addresses the current status of Norwegian data centers, along with a case study focusing on various areas for utilizing excess heat. Additionally, calculations are performed to raise awareness about physical emissions from data center usage.

Scenario 1 investigates the effectiveness of delivering excess heat to the district heating network. In scenario 2, various technologies for converting excess heat into electricity within the data center are explored. The findings point to Stirling engines and ORC-technology as the only technologies with excess electricity production. The ORC-technology was also found to be profitable from an economic perspective.

The main challenge in utilizing excess heat is the low temperature. This increases the need for electrical energy used to raise the temperature with a heat pump. Therefore, the choice of cooling system is essential to provide the highest possible return temperature from the data center.

In scenario 3, potential applications for utilizing excess heat based on temperature were mapped out. The opportunities in this scenario and the limited options in scenario 2 highlight the importance of sustainable circular economy principles and collaboration between different industries to utilize excess heat.

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Figurer</b>	<b>viii</b>
<b>Tabeller</b>	<b>ix</b>
<b>Ordforklaring</b>	<b>x</b>
<b>Symboler</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn og motivasjon . . . . .	1
1.1.1 Bærekraft . . . . .	2
1.2 Problemstilling og omfang . . . . .	4
1.2.1 Rammer . . . . .	4
1.2.2 Oppgavens struktur . . . . .	5
<b>2 Teori</b>	<b>6</b>
2.1 Om datasenter . . . . .	6
2.2 Komponenter og variasjon i datasentertilgjengelighet . . . . .	6
2.3 Tilførsel . . . . .	7
2.3.1 Avlastning av strømmettet . . . . .	8
2.4 Mål på energieffektivitet . . . . .	9
2.5 Kjølemetoder . . . . .	10
2.5.1 Frikjøling . . . . .	10
2.5.2 Vannkjøling . . . . .	11
2.5.3 To-fase kjøling . . . . .	12
2.5.4 Kompressorkjøling . . . . .	12
2.6 Varme . . . . .	12
2.6.1 Om overskuddsvarme fra datasenter . . . . .	13

2.6.2	Varmepumpe . . . . .	13
2.6.3	Varmeveksler . . . . .	14
2.6.4	Fjernvarmenett . . . . .	14
2.7	Teknologier for utnyttelse av overskuddsvarme . . . . .	14
2.7.1	Rankinesyklus . . . . .	15
2.7.2	Organisk rankine syklus (ORC) . . . . .	15
2.7.3	Stirlingmotor . . . . .	16
2.7.4	Termoelektrisk generatorer (TEG) . . . . .	16
2.7.5	Piezoelektrisk generatorer (PEG) . . . . .	17
2.7.6	Absorpsjonskjølemaskin . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Industriell symbiose</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Økonomi</b>	<b>19</b>
4.1	Netto nåverdi . . . . .	19
4.2	Tilbakebetalingstid . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Bruksområder for datasentre</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Ståstedsanalyse</b>	<b>22</b>
6.1	Green Mountain . . . . .	22
6.1.1	DC1-Stavanger . . . . .	22
6.1.2	DC2-Telemark . . . . .	23
6.2	Google . . . . .	23
6.3	Bulk . . . . .	23
6.4	Green Edge Compute . . . . .	24
6.5	Blix Solutions . . . . .	24
6.6	Stack . . . . .	24
6.7	Bruken av teknologier . . . . .	25
6.7.1	PEG . . . . .	25
6.7.2	TEG . . . . .	25
6.7.3	ORC . . . . .	25

6.7.4	Stirlingmotor . . . . .	26
6.7.5	Absorpsjonskjølemaskin . . . . .	26
<b>7</b>	<b>Metode</b>	<b>27</b>
7.1	Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode . . . . .	27
7.2	Forskningsmetode . . . . .	27
7.3	Datainnsamling . . . . .	27
7.4	Intervju . . . . .	28
7.4.1	Intervjuobjektene . . . . .	29
7.4.2	Retningslinjer for intervju . . . . .	29
7.5	Ståstedsanalyse . . . . .	30
7.6	Bruksområdene til datasenteret . . . . .	31
7.7	Case-studie . . . . .	34
7.8	Scenario 1 . . . . .	35
7.9	Scenario 2 . . . . .	36
7.10	Scenario 3 . . . . .	38
<b>8</b>	<b>Resultater</b>	<b>39</b>
8.1	Bruksområdene til datasenteret . . . . .	39
8.2	Scenario 1 . . . . .	39
8.3	Scenario 2 . . . . .	40
8.4	Scenario 3 . . . . .	44
<b>9</b>	<b>Diskusjon og analyse</b>	<b>46</b>
9.1	Intervjuene . . . . .	46
9.2	Bruksområder for datasentre . . . . .	47
9.3	Case-studien . . . . .	48
9.3.1	Scenario 1 . . . . .	48
9.3.2	Scenario 2 . . . . .	50
9.3.3	Scenario 3 . . . . .	52
9.4	Kjølemetoder . . . . .	53

<b>10 Ideer til fremtidig forbedring</b>	<b>55</b>
10.1 Fremtidige datasentre . . . . .	55
<b>11 Konklusjon</b>	<b>58</b>
<b>Referanser</b>	<b>vii</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>vii</b>



## Figurer

1	Utvikling i kraftforbruk . . . . .	2
2	FN's bærekraftsmål . . . . .	3
3	Arbeidsprosessen . . . . .	5
4	Innsiden av datasenter C . . . . .	7
5	Energiforbruk i et datasenter . . . . .	9
6	Teknologier som omgjør varme til elektrisitet . . . . .	15
7	Overskuddsproduksjon av strøm ved ulike returtemperaturer med stirlingmotor	42
8	Overskuddsproduksjon av strøm ved ulike returtemperaturer med C3 . . . . .	43
9	Nåverdiprofil for ORC . . . . .	44

## Tabeller

1	Oversikt over brukte forkortelser med forklaringer . . . . .	x
2	Oversikt over brukte symboler med forklaringer . . . . .	xi
3	Intervjuobjektene . . . . .	29
4	Investeringskostnader . . . . .	37
5	Strømforbruk og utslipp til en e-post . . . . .	39
6	Overskuddsvarme fra datasenteret . . . . .	40
7	Levert varme og energiforbruk . . . . .	40
8	Forbruk og produksjon av elektrisitet ved indirekte frikjøling . . . . .	41
9	Forbruk og produksjon av elektrisitet ved vannkjøling . . . . .	42
10	Scenario 3 utnyttelse av overskuddsvarme . . . . .	45

# Ordforklaring

Tabell 1:  
Oversikt over brukte forkortelser med forklaringer

<b>Forkortelser</b>	<b>Begrep</b>
TWh	Terrawattimer
kWh	Kilowattimer
UPS	Uninterruptible power supply (Avbruddsfri strømforsyning)
CO <sub>2</sub> e	karbondioksid-ekvivalenter
PUE	Power usage effectivity
ERE	Energy Reuse Effectiveness
kW	Kilowatt
ORC	Organisk Rankine-syklus
TEG	Termoelektriske generatorer
PEG	Piezoelektriske generatorer
kB	Kilobyte
CISO	Chief Information Security Officer
MB	Megabyte
GB	Gigabyte
GWh	Gigawattimer
CISO	Chief Information Security Officer
NNV	Netto nåverdi [Kr]

# Symboler

Tabell 2:  
Oversikt over brukte symboler med forklaringer

Forkortelser	Forklaring
Q	Varmeeffekt [kW]
$c_p$	Spesifikk varmekapasitet [kJ/kg·K]
$\Delta T$	Temperaturdifferanden [K]
$\dot{m}$	Massestrøm [kg/s]
K	Kelvin
$Q_H$	Avgitt varmeeffekt [W]
W	Tilført elektrisk effekt [W]

# 1 Introduksjon

I dette kapittelet presenteres en oversikt over bakgrunn og motivasjon for valg av tema. I tillegg vil oppgavens problemstilling og mål med tilhørende omfang og avgrensninger presenteres. Oppgavens nytteverdi og bidrag blir også diskutert.

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

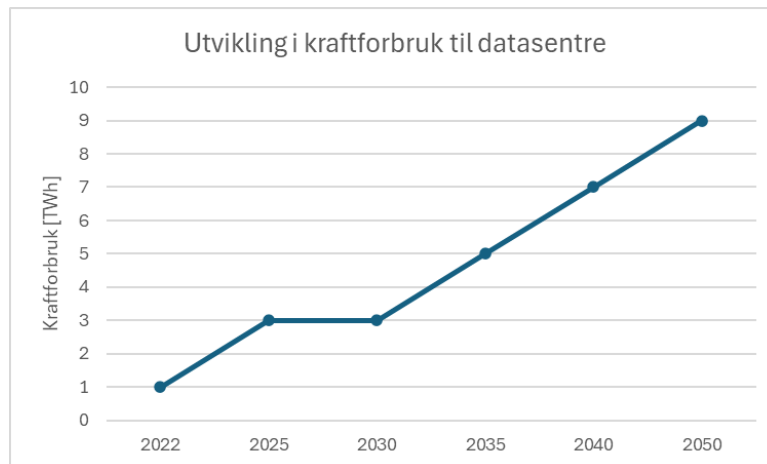
Det er et stort fokus på utvikling av fornybare energiteknologier som kan produsere ren elektrisitet. Samtidig sitter Norge på store mengder energi som går tapt til omgivelsene. Norsk industri alene produserer 20 TWh med overskuddsvarme. Dette tallet inkluderer hverken overskuddsvarmen fra store industribygg eller datasentre [1]. Til sammenligning var den totale energibruken i norsk industri 79,7 TWh i 2020 i følge Statistisk sentralbyrå [2].

Regjeringen ønsker at Norge skal bli et attraktivt land for datasenterindustrien. Derfor er Norge et av de første landene i verden som lanserte en egen datasenterstrategi: «Norge som datasenternasjon». Et overordnet mål er å jobbe med tiltak som kan bidra til både økonomisk og samfunnsrettet vekst. Dette innebærer å utvikle nye næringer, skape arbeidsplasser og vekst i datasenterbransjen og øke verdiskapning i Norge. Utviklingen skal skje på en bærekraftig måte med fokus på sirkulær økonomi [3].

Norge har mange forutsetninger for å være et svært attraktivt land å etablere datasentre i, med overskudd av fornybar energi, lave strømpriser, god digital infrastruktur, kjølig klima, politisk og økonomisk stabilitet og driftstrygghet. Norge kan tilby grønne og kostnadseffektive løsninger, og slik bidra til en mer bærekraftig økonomi i datasenterindustrien på verdensbasis [3]. I tiden fremover kommer datasenterindustrien til å vokse både i Norge og resten av verden. Datasentre blir en viktig del i å modernisere informasjonsteknologi som en bransje i Norge [4].

Figuren nedenfor viser en prognose for utviklingen av kraftforbruket til datasentre i Norge. Den er basert på tall hentet fra en markedsanalyse utført av Statnett. Figuren viser det mest

sannsynlige scenariet, med et kraftforbruk på 9 TWh i 2050. Prognosene indikerer også at kraftforbruket potensielt kan nå 15 TWh innen 2050 [5].



*Figur 1: Utvikling i kraftforbruk [5]*

Lignende har Norges vassdrags- og energidirektorat anslått at datasentre vil ha et forbruk på 4 til 14 TWh innen 2040 [6]. I tillegg har de laget en prognose for Norges totale kraftforbruk som anslår et forbruk på 163 TWh i 2040 [7]. Dette viser at datasentrene vil bruke omtrent 4,3 % av Norges totale strømforbruk. Statnett har spådd et høyere totalforbruk på 210 TWh, som gir en andel på 3,3 % brukt av datasentre [5].

### **1.1.1 Bærekraft**

FN har 17 globale utviklingsmål for bærekraft som skal nås innen 2030. Alle målene er med på å skape en bedre og mer rettferdig og bærekraftig verden, både sosialt, økonomisk og miljømessig. For den norske datasenterindustrien er det spesielt fire mål som fremstår som relevante. Nummer 8 heter ”Anstendig arbeid og økonomisk vekst”. Dette målet ønsker å fremme varig, inkluderende og bærekraftig økonomisk vekst og anstendig arbeid for alle. Mål nummer 9 heter ”Industri, innovasjon og infrastruktur” og handler om å bygge solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon. Mål nummer 11 heter ”Bærekraftige byer og lokalsamfunn” og handler om å

gjøre byer og lokalsamfunn inkluderende, trygge, robuste og bærekraftige. Mål nummer 13 heter ”Stoppe klimaendringene”. Dette målet handler om å handle umiddelbart for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem. Målet er å begrense den globale temperaturstigningen til godt under 2 °C [8].



Figur 2: FN's bærekraftsmål [9]

Som et av EUs energieffektiviseringsdirektiv, kom det i 2021 et forslag om en ny EU-forskrift som skal dokumentere utnyttelsen av overskuddsvarme fra datasentre. Gjennom direktivet forpliktes datasentre med en viss energibruk til å publisere årlig informasjon om blant annet strømforbruk og utnyttelse av overskuddsvarme. Dette ble vedtatt i september 2023 [10].

Den største aktøren innen norsk datasenterbransje representeres av IKT-Norges Datacenter Forum, som har tatt del i klimainitiativet fra Cloud Infrastructure Services Providers in Europe. Dette initiativet har som mål å gjøre europeiske datasentre CO<sub>2</sub>-nøytrale innen 2030. Avtalen fokuserer hovedsakelig på fem sentrale områder: energieffektivitet, klimavennlige energikilder, vann, sirkulærøkonomi og resirkulering av overskuddsvarme [3].

## **1.2 Problemstilling og omfang**

Oppgavens hovedfokus er å finne løsninger for å utnytte overskuddsvarmen fra datasentre. Gitt bacheloroppgavens kompleksitet og omfang, er det avgjørende å rette oppmerksomheten mot noen sentrale problemstillinger som skal utforskes og drøftes grundig.

Hovedmålet med oppgaven er å finne energieffektive metoder for å utnytte overskuddsvarmen fra datasentre. Hensikten er ikke å løse et konkret problem, men er heller å vise mulige metoder ved hjelp av case-studie og ståstedsanalyse. Et undermål er å utforske hvordan ulike kjølesystemer påvirker mulighetene til utnyttelse av overskuddsvarme. Kjølesystemene blir ikke vurdert i sin helhet, men for påvirkningen på mengden overskuddsvarme som kan utnyttes. Et annet mål med denne bacheloroppgaven er å undersøke bruksområder for et datasenter, for å se hvordan privatpersoners digitale aktiviteter kan påvirke miljøet.

Gruppen fikk forslag til tema og oppgaver fra kontaktperson i Lindbak, men ansvar for definisjon og utforming falt på gruppen. Selv om oppgaven hovedsakelig er nyttig for norsk industri og energisektor, kan en IT-bedrift også ha interesse av resultatet.

### **1.2.1 Rammer**

For å sikre at oppgaven fokuserer på problemstillingene er det nødvendig å sette rammer. I oppgaven har gruppen mottatt informasjon fra ulike kilder igjennom intervjuer. Mye av informasjonens opphav holdes konfidensiell etter intervjuobjektens ønske. Gruppen har motatt data fra et anonymt datasenter.

Økonomi er en viktig faktor i beslutningsprosessen ved investeringer i et anlegg. I case-studien vurderes den økonomiske investeringen for kun én teknologi for utnyttelse av overskuddsvarme. Dette er på grunn av utfordringer med å finne økonomisk data om de andre teknologiene.

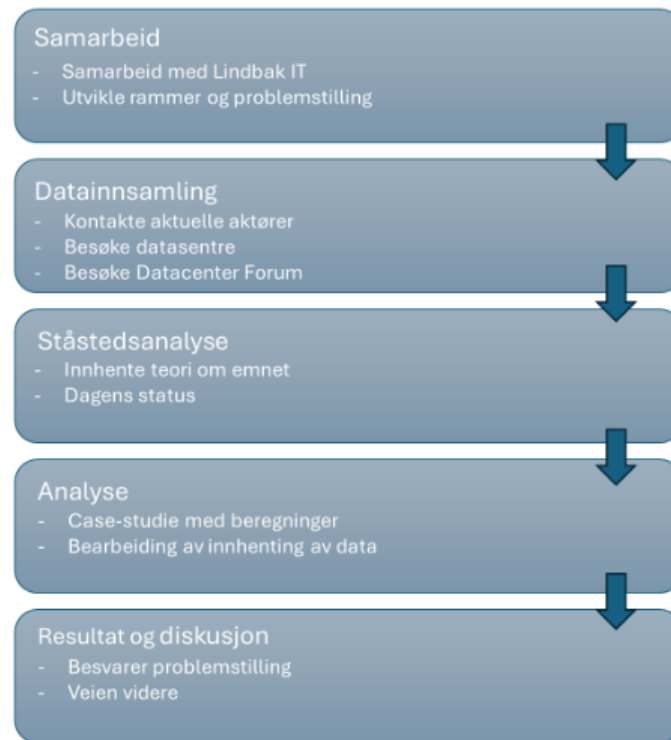
Det finnes flere ulike klassifiseringer av datasentre i Norge, men det anses ikke som hensiktsmessig å skille mellom klassifiseringene i denne bacheloroppgaven. Hovedfokuset



er å få en bedre forståelse av hvordan datasentre kan energioptimaliseres ved å utnytte overskuddsvarme.

### 1.2.2 Oppgavens struktur

For å gi en oversikt over hvordan problemstillingen ble løst blir arbeidsprosessen og struktureringen av bacheloroppgaven presentert i et flytskjema. Figur 3 nedenfor ble laget av gruppen.



*Figur 3: Arbeidsprosessen*

## 2 Teori

Dette kapittelet skal presentere relevant teori for å besvare problemstillingen. Det blir presentert teori om hva et datasenter er og hva det består av. Videre presenteres teori om kjølemetoder og relevant teori for varmeutnyttelse. Deretter presenteres ulike kraftproduserende teknologier som skal undersøkes videre i case-studie. I tillegg kommer relevant sosioøkonomisk teori. Til slutt kommer teori om bruksområder for datasentre.

### 2.1 Om datasenter

Et datasenter er en infrastruktur som lagrer og prosesserer digitale tjenester. Disse er med på å behandle, lagre og distribuere store mengder data [4].

Ved å bruke et datasenter er det enkelt for enkeltpersoner og bedrifter å skalere behovet for IT-kapasitet enten opp eller ned. Dette gir en fleksibel og kostnadseffektiv løsning. Datasenteret tilbyr kundene en sikker måte lagre og prosessere data, ved å installere brannmurer, tilgangskontroll og kryptering. Skulle det skje noe med kundenes anlegg har datasenteret backupløsninger [11]. Datasenteret bestemmer ikke hvordan kunder.

### 2.2 Komponenter og variasjon i datasentertilgjengelighet

Et ”vanlig” datasenter ser gjerne ut som et stort rektangulært betongbygg. Det består av flere ulike komponenter som dataskap, servere, nettverksutstyr, kjølesystem og strømforsyningsystem. Kjølesystemet er helt essensielt for å klare å opprettholde en stabil driftstemperatur for komponentene. Bruksområde til datasentrene er med på å bestemme hvor store sentrene skal være. De kan bestå av alt fra få dataskap til flere rom eller haller fylt med IT-utstyr. Bilde 4 viser innsiden av datasenter C, fotografert med deres tillatelse.



*Figur 4: Innsiden av datasenter C [12]*

I Norge deles datasenterene opp i to klasser, kommersielle og virksomhetsinterne. Innenfor kommersielle datasentre finnes det tre hovedtyper: hyperscale, colocation og edge [4]. Datasentre klassifisert som hyperscale er større anlegg som ofte er driftet og eid av store bedrifter som for eksempel Google, Microsoft og Facebook. Colocations er datasentre som blir driftet og eid av datasenteroperatører som som Green Mountain, Bulk og Stack (tidligere DigiPlex). Edge er mindre datasentre som gjerne plasseres i nærheten av der dataen genereres, som for eksempel hos IT-operatører eller teleselskap [3].

Datasentre blir i tillegg rangert fra Tier 1 til 4, der 1 er den laveste rangeringen. Dette er basert på faktorer rundt sikkerhet, tilgjengelighet, oppetid, redundans, effektivitet og kostnad [13].

### **2.3 Tilførsel**

Datasentre kobles til strømmettet, men kan også bruke egenprodusert strøm. For å forhindre at data går tapt er det lagt inn en backup løsning som slår inn om det skulle skje noe med strømmettet. Dette er for å hindre nedetid og sikre stabil strømtilgang til serverne. En slik backupløsning består gjerne av batterier og dieselgeneratorer [14].

Under besøk hos datasenter B ble det fortalt om backupløsninger. En dieselgenerator startes ved strømbrudd eller feil, men dette skjer ikke øyeblikkelig. Derfor brukes det i tillegg en avbruddsfri strømforsyning (UPS), bestående av batterier som slår inn momentant ved tap av strøm. Et slikt anlegg kan holde liv i et datasenter i en kort periode avhengig av datasenterets størrelse. UPS-anlegget har kapasitet til å drifte datasenteret i ca. 10 - 20 minutter før dieselgeneratorene overtar. Dette tar vanligvis 2 - 3 minutter.

Mange datasentre i Norge opererer på 100 % fornybar energi ved at de kjøper opprinnelsesgaranti på strømmen. Da blir det kjøpt en mengde fornybar energi som tilsvarer forbruket. Det betyr at strømmen som blir brukt av datasenteret ikke nødvendigvis er fra fornybar energi, men pengene betales til energiprodusentene. Denne ordningen ble innført i 2001 gjennom EUs første fornybardirektiv [15].

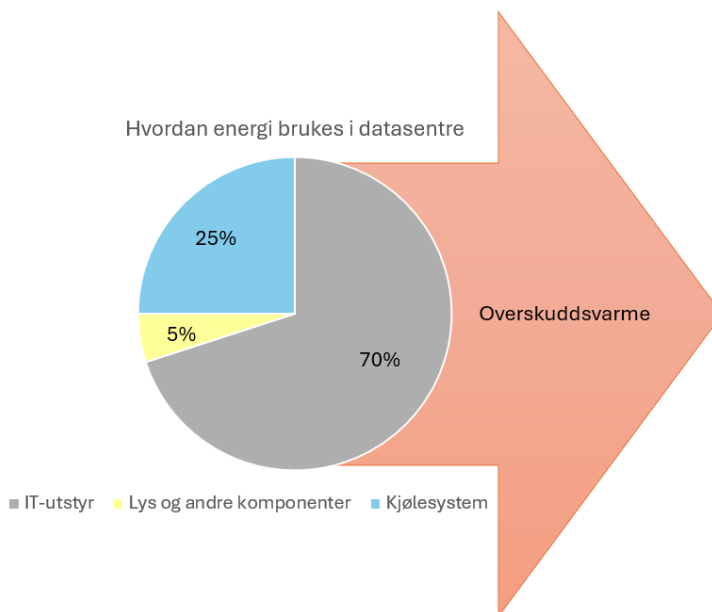
I Norge er mesteparten av den brukte strømmen fornybar. I 2022 kom 95 % fra fornybare energikilder. Dette gir en lav CO<sub>2</sub>-faktor på 19 g CO<sub>2</sub> e/kWh [16]. I Europa kommer en mindre andel av strømmen fra fornybare energikilder, som gir et utslipp på 242 g CO<sub>2</sub> e/kWh i 2023 [17].

### **2.3.1 Avlastning av strømmettet**

Norges strømmnett dekker store deler av landet, men kapasiteten varierer. På Østlandet er det veldig stabilt og har stor kapasitet sammenlignet med strømmettet i Nord-Norge [18]. Datasenterets tilkobling til strømmettet kan skape problemer noen steder, men de kan også være en avlastning for strømmettet. UPS-anlegget består av batterier som potensielt kan brukes for å avlaste strømmettet i korte perioder [19]. I tillegg kan datasentre gi overskuddsvarme til fjernvarmenettet. Dette avlaste strømmettet ved at det blir mindre behov for elektrisitet til oppvarming [20].

## 2.4 Mål på energieffektivitet

Strømforbruket til et datasenter går til drifting av IT-utstyr, kjøling og andre komponenter. Figuren nedenfor viser hvor stor andel som går til hvert forbruk. Den viser at hele 25 % av strømforbruket går til kjøling [21]. Figuren ble hentet fra en nettside hos SINTEF, men ble gjenspekt med norsk tekst.



Figur 5: Energiforbruk i et datasenter [22]

Datasenters energieffektivitet kan beskrives av faktoren PUE. Den beregnes ved å se på den totale energien som datasenteret bruker sammenlignet med energien som går til IT-utstyret, som vist i likning 1. Målet er å ha en PUE med verdi nærmest mulig 1, slik at minst mulig energi blir brukt på annet enn datautstyr [23]. Forbruket fra alle komponentene og PUE bør måles kontinuerlig for å sikre effektivisering [24]. Gjennomsnittlig PUE for nye datasentre i Skandinavia er mellom 1,1 til 1,5 [25].

$$PUE = \frac{\text{Totalt strømforbruk}}{\text{IT-utstyr strømforbruk}} \quad (1)$$

PUE tar ikke overskuddsenergi med i betraktning. Derfor har Energy Reuse Effectiveness (ERE) blitt foreslått som ny måleenhet [26]. Den tar hensyn til overskuddsvarmen som blir produsert i datasenteret. ERE kan bli definert på denne måten:

$$ERE = \frac{\text{Totalt strømforbruk} - \text{Gjenbrukt energi}}{\text{IT-utstyr energi}} \quad (2)$$

## 2.5 Kjølemetoder

Som tidligere beskrevet i underkapittel 2.2 består datasentre av dataskap fylt med IT-utstyr. En av de største truslene for det elektroniske utstyret i et datasenter er varme. Den optimale temperaturen til serverne ligger som regel mellom 21 - 24 °C, men må sjekkes opp mot anbefalingene fra leverandørene [24].

### 2.5.1 Frikjøling

Definisjonen på frikjøling er å hente kulde fra omgivelsene til nedkjøling. Kulden kan for eksempel hentes fra uteluften eller fra nærliggende elv og sjø. Ved bruk av frikjøling unngås behovet for elektrisitet til å drive en kompressor som vanligvis brukes i tradisjonelle klimaanlegg [27]. Frikjøling er vanligst i de nordiske landene på grunn av de kalde utetemperaturene. Dersom utetemperaturen er kaldere enn rundt 12 °C kan luften brukes til å kjøle ned serverne på datasenteret, forklarte intervjuobjektene fra datasenter A og C.

I de fleste datasentrene settes dataskapene i rekker. Annenhver rekke blir satt motsatt vei slik at man får en varm gang mellom skapene, der varmen konsentreres. Den andre siden blir kjølt ned av et kjøleanlegg. I disse områdene vil varmen bli overført til et medium som transporterer varmen [24].

Innen frikjøling er det to metoder som blir brukt, kalt fortrenningsfrikjøling og turbulent frikjøling [27]. Ved bruk av fortrenningsfrikjøling investerer man i et rimelig og tilnærmet støyfritt kjølesystem. Dette konseptet går ut på å tilføre kald luft med en lav hastighet ved

gulvnivå. Dette skaper en ”pute” med kald luft som tvinger den varme luften til å stige oppover. Den varme luften blir så trekt ut av datasenteret og nedkjølt av omgivelsestemperaturen. Et anlegg med dette kjøleanlegget må tilpasses slik at takhøyden ikke blir for stor [27].

Konseptet til turbulent frikjøling er at kald luft hentes fra utsiden og sirkuleres gjennom rommene, for så å trekkes ut igjen til omgivelsene. Denne kjølemetoden er bra for datasentre som vil opprettholde den samme temperaturen overalt i rommet. Fortrengningsfrikjøling er mer energibesparende enn turbulent frikjøling [27].

Innen frikjøling skilles det også mellom direkte og indirekte frikjøling. I direkte frikjøling brukes luft hentet direkte fra utsiden til å kjøle ned IT-utstyret. Dette kan brukes i datasentre som trenger at store mengder luft blir byttet ut. Kjølesystemet er effektivt, men det kan være vanskelig å ha kontroll på luftfuktigheten og luftkvaliteten.

Indirekte frikjøling bruker omgivelsestemperaturen til å kjøle ned et varmeoverføringsmedium, istedenfor å bruke luften direkte. Dette mediet er ofte vann og fraktes til datarommet der inneluften blir kjølt ned av vannrøret ved hjelp av vifte. Kald luft kjøler deretter ned IT-utstyret. Dette gjør at man har mer kontroll på kvaliteten og fuktigheten på luften. Sammenlignes dette med direkte frikjøling vil indirekte frikjøling være mindre effektiv siden det oppstår tap ved varmeoverføringen i overføringsmediet [28].

Det er ulike måter å distribuere luften på. Den kalde luften kan enten slippes ned fra taket, blåses opp fra gulvet eller blåses ut fra fastmonterte vifter mellom dataskapene.

### **2.5.2 Vannkjøling**

Vannkjøling er mer effektivt enn indirekte frikjøling fordi det har mindre termisk motstand og høyere varmekapasitet. Dette kjølesystemet fungerer ved at sløyfer med kaldt vann legges rundt serverne for å kjøle ned utstyret [29]. Vannet kan inneholde glykol for å forhindre frosne rør. Da vil egenskapene være noe forskjellig, på grunn av annen varmekapasitet [30].

En negativ side ved å bruke vannkjøling er at vann og elektronikk ikke passer bra sammen. Skulle det skje en feil med vannrørene kan det gjøre store skader på de elektriske komponentene som er plassert i dataskapet. Det kan bli veldig dyrt for kundene og datasenteret om noe slikt skulle skje. En annen fare med vannkjøling er at det kan oppstå fuktskader inni komponentene. På den positive siden vil vannkjøling lage mindre støy og det tar mye mindre plass [29].

### **2.5.3 To-fase kjøling**

To-fase kjølesystemer er ikke like utbredt, men brukes vanligvis i sentre med store arealer. Konseptet med denne kjølemetoden er at et flytende kjølemiddel fordampes med kjøleplaten og energien som blir frigjort blir lagret som latent varme. Datasentre med dette som kjøling har høyere returtemperatur og varmefluks på kjølemiddelet. Dette gjør at man kan implementere systemer som har høyere tetthet. Et slikt anlegg som utnytter faseovergang i kjølemiddelet der væske gjøres om til gass vil absorbere og slippe ut varme. Dette gjør et slikt anlegg mer effektivt og det kan brukes kjølesystemer som har større krafttetthet [22].

### **2.5.4 Kompressorkjøling**

Å benytte seg av kompressordrevne kjølemaskiner er blant de vanligste måtene å kjøle ned på. En kompressorkjølemaskin er integrert i kjøleanleggene. Kjølemaskinene består av en lukket krets med et kjølemedie som passerer en kompressor, kondensator, ekspansjonsventil og til slutt en fordampere [31]. En stor kompressorkjølemaskin kan ha en COP-verdi på 4 [32].

## **2.6 Varme**

Varme er energi som går fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur [33]. Varmen fra datasentre har en temperatur som skiller seg lite fra omgivelsene. Derfor regnes den som lavverdig energi. Det vil si at energien har lav andel eksergi og derfor er vanskelig å nyttegjøre. For å bruke energien kan for eksempel en varmepumpe brukes til å



heve temperaturen [34]. Varmeeffekten  $Q$  oppgis i kW og kan uttrykkes med følgende ligninger [35, s.28]:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

$\dot{m}$  er massestrøm i kg/s,  $c_p$  er spesifikk varmekapasitet gitt i kJ/kg·K,  $\Delta T$  er temperaturdifferanse i K.

### 2.6.1 Om overskuddsvarme fra datasenter

Overskuddsvarme er varmeenergi som ikke blir brukt til energiproduksjon, og som går tapt til omgivelsene [36]. Som nevnt i underkapittel 2.5 vil varme påvirke det elektroniske utstyret negativt. Varmen er altså et biprodukt, og er ikke nødvendig for datasenterets primære funksjon. Det er estimert at 95 til 98 % av energien tilført datasentrene blir omgjort til varme. Seniorforsker Hanne Kauko fra SINTEF uttalte: "All strøm som serverne i et datasenter bruker, blir gjort om til varme" [37]. Hvor mye overskuddsvarme som kan utnyttes avhenger av hvilken kjølemetode som brukes på datasenteret, da kjølemediet varmes opp i ulik grad. All overskuddsvarme fra datasentre klassifiseres som lavtemperatur overskuddsvarme. Dette er overskuddsvarme med temperatur under 200 °C [38]. Ved bruk av indirekte frikjøling, ligger returtemperaturen mellom 15 - 45 °C. Med vannkjøling ligger returtemperaturen på omtrent 40 - 60 °C [39]. Den lave temperaturen gjør det utfordrende å utnytte energien til andre formål.

### 2.6.2 Varmepumpe

Varmepumpe er en teknologi som bruker elektrisitet for å heve temperaturen i et fluid til et nivå som er anvendbart. Varmepumpen består av en krets der fluidet vekselvis ekspanderes og komprimeres. Kretsen består av en fordamper, varmeveksler, kompressor, kondensator, enda en varmeveksler og til slutt en reduksjonsventil for at prosessen skal kunne gjentas. Det skilles mellom luft - luft, luft - vann og vann - vann varmpumpe ettersom hvor varmen hentes fra [40].

Lavtemperatur overskuddsvarme kan anvendes som kilde i varmepumpe. Høyere temperatur på varmekilden gir en høyere virkningsgrad. Dette angis med en COP-verdi [38]. Eksempelvis vil en verdi på 4 bety at én del strøm gir fire deler varme. Dersom  $Q_H$  er avgitt varmeeffekt og  $W$  er tilført elektrisk effekt, vil likningen for COP-verdi se slik ut:

$$COP = \frac{Q_H}{W} \quad (4)$$

### 2.6.3 Varveksler

Varveksler er en teknologi brukt til å overføre varme mellom to gass- eller væskestrømmer med ulike temperaturer. Den kan brukes både for å varme opp og kjøle ned fluider uten at de kommer direkte i kontakt. Dette er en viktig teknologi for gjenvinning av varmeenergi [41].

### 2.6.4 Fjernvarmenett

Fjernvarmenett er en infrastruktur som blant annet gjør det mulig å produsere og distribuere varmeenergi. Grunnlasten kommer fra bioenergi, forskjellige overskuddsvarmekilder, avfallsforbrenning og elektrisitet i form av varmepumper, elektriske kjeler og solenergi [42].

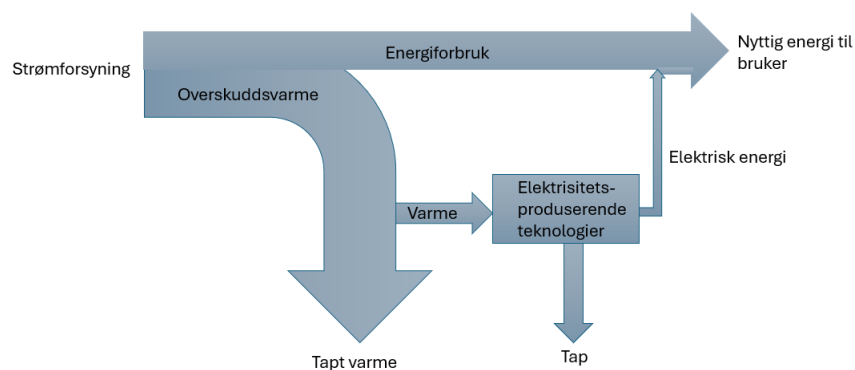
Tredjegerasjons fjernvarmenett har vann på 80 °C under trykk som energibærer. Fjerde generasjons fjernvarmenett utvikles i dag. Den største forskjellen fra tredjegerasjons fjernvarmenett er en lavere temperatur på vannet ned til 40 - 60 °C, som gjør det enklere å benytte lavtemperatur varmekilder [42].

## 2.7 Teknologier for utnyttelse av overskuddsvarme

Dette underkapittelet vil bestå av teori om ulike teknologier som kan være relevant i forbindelse med utnyttelse av overskuddsvarme. Overskuddsvarme kan enten omgjøres til

elektrisitet gjennom termodynamiske sykluser eller direkte elektrisk konvertering. Eksempler på bruk av disse teknologiene vil bli beskrevet i ståstedsanalysen i kapittel 6.

Figur 6 er hentet fra et utdrag av boken *Green Energy Advances* som er publisert på internett [43]. Gruppen valgte å oversette figuren til norsk. Figuren tar for seg en generell syklus for teknologier som omgjør varme til elektrisitet. Denne figuren gjelder for alle de nevnte teknologiene som blir beskrevet under, bortsett fra absorpsjonkjølemaskinen.



Figur 6: Teknologier som omgjør varme til elektrisitet [43]

### 2.7.1 Rankinesyklus

Rankinesyklus er en ideell termodynamisk modell som omdanner varme til mekanisk arbeid. Den er ofte brukt til å omdanne varme til elektrisitet. I en lukket syklus blir det tilført varme utenifra der væsken fordampes under høyt trykk. En dampturbin eller dampmotor gjør at den høytrykkede dampen blir omgjort til arbeid. Videre vil den dampen kjøles ned og bli kondensert slik at den kan brukes på nytt i en annen syklus. Arbeidsmedium i en rankinesyklus er oftest vann [44].

### 2.7.2 Organisk rankine syklus (ORC)

ORC er en utbredt teknologi for å utnytte lavtemperatur overskuddsvarme [45]. Det er en type rankinesyklus som bruker organiske stoffer med høyere damptrykk og lavere kokepunkt som

arbeidsmedium [46]. Dette gjør det mulig å bruke varme med lavere temperaturer ned mot 70 °C. Noen arbeidsmedier kan være skadelig for miljøet ved å skade ozonlaget eller ha et høyt globalt oppvarmingspotensial. Derfor er det viktig å velge et ORC-system som ikke forårsaker unødvendig skade [38]. En ORC har en virkningsgrad mellom 5 - 15 % [47].

Det finnes en ORC-teknologi for overskuddsvarmegjenvinning som konverterer lavtemperaturvarme til elektrisitet. Dette er basert på C3-teknologi og bruker temperaturforskjellen mellom varmt og kaldt vann til å produsere elektrisitet fra termisk energi. Den varmen kilden kan være overskuddsvarme på mellom 70 – 120 °C og kuldekilden er 0 – 35 °C. En modul har en kapasitet på 150 kW, men flere kan kobles sammen for å oppnå ønsket effekt [48].

### **2.7.3 Stirlingmotor**

En stirlingmotor utnytter ulike temperaturnivåer til å ekspandere og komprimere et arbeidsmedium. Det er volumendringer som styrer strømmingen til arbeidsmediet [49]. En stirlingmotor kan bruke varme mellom 60 - 140 °C. Den kan bruke de fleste type varmekilder fordi gassen blir varmet opp eksternt i varmeveksleren. Ved å bruke overskuddsvarmen som varmekilde kan termisk energi omdannes til mekanisk energi som videre konverteres dette til elektrisk energi med en generator. Stirlingmotoren har en virkningsgrad mellom 7 - 20 % [47].

### **2.7.4 Termoelektrisk generatorer (TEG)**

TEG brukes til å generere elektrisk energi. Den bruker forskjell i temperatur til å generere spenning ved hjelp av termionisk effekt [50]. Ved at det oppstår en spenningsforskjell mellom en kald og varm side vil elektronene i den varme delen bevege seg mer. De vil ta opp mer plass enn de som er i ro og bevege seg fra den varme siden til den kalde. Dette skaper to sider med forskjellig elektrisk potensiale og forskjellig ladning og genererer elektrisitet. TEG egner seg best ved bruk av lavtemperatur overskuddsvarme [45]. Virkningsgraden til en TEG er begrenset til omtrent 5 – 15 % [43].

### **2.7.5 Piezoelektrisk generatorer (PEG)**

En PEG bruker ikke overskuddsvarme direkte, men genererer elektrisitet ved bruk av trykkforskjeller eller vibrasjoner [51]. Vibrasjoner kan for eksempel komme fra bevegende ekspanderende gasser [46]. Det gjør at man ikke trenger høye temperaturforskjeller for at systemet skal fungere [51]. For at overskuddsvarmen skal kunne brukes i PEG må det brukes en resonant som skaper selvoppretholdende akustiske bølger ved en bestemt temperaturgradient. For at den akustiske energien skal kunne konverteres til elektrisk energi må PEG plasseres på den andre siden av resonanten [52].

Elektrisiteten genereres i et lukket kammer der det oppstår vekslende volumendringer ved faseendring. PEG har en virkningsgrad på rundt 8 - 10 % og en driftstemperatur fra 100 - 150 °C [45]. Det er noen utfordringer knyttet til PEG, blant annet høy intern impedans, høye kostnader knyttet til produksjonen og store krav til langsiktig holdbarhet. I tillegg finnes utfordringer knyttet til tilrettelegging for stabilitet, pålitelighet og kraftproduksjon [46].

### **2.7.6 Absorpsjonskjølemaskin**

En absorpsjonskjølemaskin er en kjølemaskin som kan utnytte varme til å produsere kjøling. Den består av en generator, kondensator, fordampner og absorber [32]. Typisk for absorpsjonskjølemaskin er at 1 kW kjøleeffekt trenger 1,5 kW varme og 0,003 kW elektrisitet. Da avgis det 2,5 kW varme [53]. Det kreves en temperatur på minst 80 °C for å benytte absorpsjonskjølemaskin.

### 3 Industriell symbiose

Sirkulær økonomi handler om å bruke ressurser effektivt i et kretsløp ved å legge til rette for gjenbruk. For å hindre at ressurser går tapt, må det designes systemer som støtter sirkulær økonomi. I datasentre vil overskuddsvarme være et biprodukt med potensial for å bli utnyttet som ressurs [54].

Synergier handler om samspill mellom ulike bidrag som skaper en helhet som er større enn bidragene hver for seg. Synergier er i likhet med industriell symbiose en måte å fremme og praktisere sirkulær økonomi. Industriell symbiose skjer ved at bedrifter innenfor et geografisk avgrenset område samarbeider for å skape synergier, utnytte ressurser effektivt og minimere avfall. Overskuddsvarme er et avfallsprodukt for datasenterindustrien, men kan være ressurs for andre industrier. Dette synergiske samspillet mellom forskjellige sektorer er avhengig av industrier eller sluttbrukere med etterspørsel etter lavtemperatur varme [55].

## 4 Økonomi

Dette kapittelet handler om økonomi knyttet til investeringer. Det kan brukes flere ulike metoder for å vurdere om et prosjekt er lønnsomt og man burde investere. Det vil fokuseres på netto nåverdi og tilbakebetalingstid.

### 4.1 Netto nåverdi

Netto nåverdi måler prosjektets lønnsomhet ved å se på dagens verdi av fremtidige kontantstrømmer. I denne beregningen må det også brukes en diskonteringsrente for å beregne fremtidige kontantstrømmer. Dette gir avkastningen prosjektet kan oppnå ved investering [56].

$$NNV = -k_0 + \sum_{t=1}^n \frac{k_t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

$k_0$  er investeringskostnadene,  $k_t$  er kontantstrømmen i år  $t$ ,  $r$  er diskonteringsrenten og  $n$  er prosjektets levetid.

Diskonteringsrenten som gir en netto nåverdi lik null i en kontantstrømanalyse kalles internrente. Den viser hvor stor en diskonteringsrente må være for at en investering skal være lønnsom [56].

### 4.2 Tilbakebetalingstid

Tilbakebetalingstiden er den perioden det tar før man får tilbake investeringskostnadene gjennom besparelsen [57].

$$\text{Tilbakebetaling} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Årlig netto inntjening}} \quad (6)$$

Ved en kortere eller lik tilbakebetalingstid sammenlignet med levetiden anses det som en bra investering. Skulle tilbakebetalingstiden bli lengre enn anleggets levetid vil ikke investeringen være lønnsom.



## 5 Bruksområder for datasentre

Som tidligere nevnt, er datasentre fylt med servere som lagrer og prosesserer data etter kundens behov. Et av flere bruksområder er å være vert for nettsider og webapplikasjoner. De gir den nødvendige infrastrukturen for å sikre at disse tjenestene er tilgjengelige, pålitelige og raske. Videre støtter datasentre kommunikasjonstjenester som e-post, videokonferanser og meldingsplattformer. De behandler store mengder data i sanntid for å sikre pålitelige tjenester, noe som er spesielt viktig i dagens globale og digitale arbeidsmiljø [58].

For å drifte et datasenter kreves det store mengder energi, som igjen gir betydelig mengde overskuddsvarme. Når en e-post blir sendt blir den lagret og prosessert gjennom en servere i datasentre. Den gjennomsnittlige e-posten er ca. 75 kB [59]. Dersom det i tillegg legges ved filer eller andre vedlegg vil størrelsen øke betraktelig. Å estimere det totale energiforbruket for til en e-post kan være utfordrende fordi energiforbruket fra serveren kun utgjør én del. Det totale strømforbruket avhenger av flere faktorer:

- Strømforbruket til e-postserveren og nettverksinfrastrukturen i datasenteret.
- Avstanden e-posten må reise gjennom nettverket.
- Energiforbruket til rutere, svitsjer og andre enheter som er involvert i dataoverføringen.
- Effektiviteten til datasenterets kjøle- og strømforsyningssystemer.
- Eventuelle redundante systemer som er i bruk for å sikre kontinuerlig drift.

I tillegg kommer et energiforbruk fra senderen som skriver og viser e-posten og mottakeren som får og åpne e-posten på mottakerens datasmaskin [58].

## 6 Ståstedsanalyse

Norge har et godt miljø for en voksende datasenterindustri. I dette kapitlet skal de største datasentrene i bransjen presenteres og måtene de bruker overskuddsvarmen på. Det skal også utforskes hvordan de strømproduserende teknologiene presentert i underkapittel 2.7 brukes i dag.

I dag ligger den største samlingen av datasentre på Østlandet. I følge kartlegging gjort av Norsk Dataindustri i 2020, var 40 % av den totale installerte kapasiteten i området rundt Oslo. Den resterende kapasiteten er spredt rundt i Midt-Norge og Sør-Norge [60]. De vanligste bruksområdene for overskuddsvarmen er å varme opp oppholdsrom, kontorer og andre rom i datasenteret forklarte intervjuobjektene i datasentrene A, B og C.

### 6.1 Green Mountain

Green Mountain er et stort selskap som driver, designer og bygger innovative, bærekraftige og energieffektive datasentre både i Norge og i Storbritannia. Datasentrene som blir bygget drives av 100 % fornybar kraft [21].

#### 6.1.1 DC1-Stavanger

Datasenteret som ligger i Stavanger har en kapasitet på 2 x 26 MW. Det er plassert nede ved fjorden og bruker den som kjøleløsning. Sjøvannet blir pumpet inn i senteret med en temperatur på rundt 8 °C og kjøler ned anlegget før vannet blir sluppet ut i fjorden med en temperatur på rundt 20 °C. Green Mountain har inngått en avtale med Norwegian Lobster Farm der overskuddsvarmen fra vannet skal brukes til å drifte verdens første landbaserte hummeroppdrett. For å optimalisere oppdrettet trenger hummerene en temperatur på 20 °C, som passer med datasenterets returtemperatur [61].

### **6.1.2 DC2-Telemark**

Datasenteret som ligger på Rjukan i Telemark har en kapasitet på 50 MW og går på 100 % vannkraft. Datasenteret bruker luften fra utsiden av datasenteret til frikjøling. Mediantemperaturen er på rundt 13 °C, som gir ca 330 dager med frikjøling [62]. Dette datasenteret har inngått en avtale med Hima Seafood, der de bruker overskuddsvarmen til å drifte verdens største landbaserte oppdrettsanlegg av ørret. Per år blir det produsert 9000 tonn ørret. Datasenteret sender oppvarmet vann gjennom et rørsystem. En varmeveksler gjør at Hima-anlegget henter den ønskelige mengden varme fra vannet. Dette vannet returneres til datasenteret med en lavere temperatur og kan brukes til kjøling av komponentene i datasenteret [63].

## **6.2 Google**

Google skal bygge et av verdens største datasentre i Skien, med en effekt på 240 MW i første fase [64]. Datasenteret skal driftes med 99 % karbonfri energi og være 1,5 ganger mer effektiv enn et vanlig datasentre [65]. Dette datasenteret skal hente vann fra Norsjø og bruke dette til naturlig nedkjøling av IT-utstyret. Det skal etter planen spyles ut 114 liter vann per sekund [66]. Et datasenter av denne størrelsen har store muligheter for energiomstilling og energisparing. Det er ikke planlagt bruk av overskuddsvarmen, men dersom den hadde blitt utnyttet kunne det potensielt dekt varmebehovet til ca 600 000 leiligheter ifølge forskningssjef i SINTEF [65] [66] [67].

## **6.3 Bulk**

Bulk er et selskap som driver robuste og bærekraftige datasentre både i Norge og Danmark og er drevet med fornybar energi. Disse datasentrene er effektive og har toppmoderne anlegg [68].

Bulk sitt datasenter-campus N01 ligger rett utenfor Kristiansand med en samlet kapasitet på 8 MW. Det er forsynt med 100 % fornybar energi fra flere vannkraftverk. Dette datasenteret

kjøler ned anlegget med både luft- og vannkjøling [69]. De har inngått en intensjonsavtale med Trekraft der overskuddsvarmen blir brukt til tørking av ved. Ved å bruke overskuddsvarme blir veden tørket fem ganger fortere enn ved normal tørking med friluft, som gjør dette til en mer miljøvennlig og effektiv måte. Det er planlagt at det skal produseres og tørkes 350 000 vedsekker per år [70].

## **6.4 Green Edge Compute**

Green Edge Compute har som plan å bygge ti nye datasentre i Norge. I Trondheim ble det bygget mindre datasentre på 1 - 5 MW i Statskraft sine lokaler, der overskuddsvarmen fra datasentrene blir sendt rett ut i fjernvarmenettet. Målet til selskapet er å etablere bærekraftige sentre som kan utnytte overskuddsvarmen og trenger lite plass. Disse skal bygges i eksisterende bygninger og overskuddsvarmen skal enten benyttes av nærliggende bygg eller mates inn på fjernvarmenettet [66].

## **6.5 Blix Solutions**

Blix Solutions har tre datasentre som er bygget i allerede eksisterende bygg. Et av datasentrene har 1 MW kapasitet og er plassert litt utenfor Oslo. Det henter kald luft utenfra som brukes til nedkjøling av IT-utstyret [71]. Overskuddsvarmen brukes internt hos datasenteret og som nærvarme, ved at det sendes til nærliggende bygg som Blix Solutions har avtale med. Dette ble fortalt da gruppen kontaktet datasenteret.

## **6.6 Stack**

Stack har datasentre over hele verden som alle går på 100 % fornybar energi. I Norge har de fem datasentre som alle ligger i Oslo.

Datasenteret OSL01A på 8 MW har eksport av varme gjennom fjernvarmenettet. Datasenteret

OSL02A på 4 MW bruker overskuddsvarmen under vintermånedene til å varme opp deres "campus". OSL04-campus med kapasitet på 18 MW har også gjenvinning av overskuddsvarme [72].

## **6.7 Bruken av teknologier**

Videre skal det utforskes hvordan de ulike teknologiene som omdanner varme til elektrisitet brukes i praksis i bransjen i dag.

### **6.7.1 PEG**

Siden en piezoelektrisk generator bruker trykk eller vibrasjoner for å generere elektrisitet kan en slik generator brukes i bygg som har store maskiner som avgir vibrasjon. Bygninger som genererer store mengder overskuddsvarme har gjerne maskiner som genererer mekaniske bevegelser eller vibrasjoner som kan brukes til å drive en piezoelektrisk generator [51].

### **6.7.2 TEG**

Forskning har vist at TEG kan bli brukt i ulike spillvarmescenarier, deriblant kjøretøyeksom og metallstøpeprosesser [73]. Likevel er det slik at TEG-teknologien har lav virkningsgrad og oppskaleringsevne. Et bedre formål er lokale elektrisitetsproduserende enheter til styringssystemer eller andre lavspenningsformål, mindre pumper eller effektivisering av systemer. På grunn av høye kostnader og lite fremgang i effektivisering, er TEG foreløpig ikke en kommersiell teknologi innen utnyttelse av lavtemperatur overskuddsvarme i industrien [45].

### **6.7.3 ORC**

ORC er en kommersielt tilgjengelig teknologi for utnyttelse av overskuddsvarme. Det har eksistert produsenter på markedet i 30 år. Det finnes flere produsenter i Europa og USA som leverer kommersielle ORC-systemer, enten justerbare eller modulvise. Disse opererer innen ulike temperaturer med ulike virkningsgrader med mulighet til å utnytte varmekilder fra rundt 80 °C og oppover, med effektområde fra 5 kW til flere MW [45]. Eidsiva Bioenergi i Elverum var først ut med bruk av ORC i Norge, med en årlig el-produksjon på 2,7 GWh [74].

Climeon er et svensk selskap som opererer innen energiteknologisektoren. De har en egen ORC-teknologi for overskuddsvarmegjenvinning som konverterer lavtemperaturvarme til elektrisitet. Climeon HeatPower-system basert på Climeons C3-teknologi og bruker temperaturforskjellen mellom varmt og kaldt vann til å produsere elektrisitet fra termisk energi. Den har en levetid på omtrent 30 år [48].

#### **6.7.4 Stirlingmotor**

En stirlingmotor kan brukes flere steder for å konvertere varme til elektrisitet. Denne teknologien er med på å generere strøm fra overskuddsvarmen som ellers ville gått tapt. Teknologikartlegging fra Rambøll Energi viser at det finnes teknologileverandører som har kommersiell produksjon av stirlingmotorer [45]. Stirlingmotor blir blant annet brukt i termiske solkraftverk og kjøleanlegg [47]. Et eksempel på en organisasjon som bruker stirlingmotor er NASA. De bruker den til å generere strøm ved rom- og utforskningsoppdrag. Oppdragene innebærer alt i fra å gi elektrisk kraft tillange romferder, roboter på månen, kommunikasjonsstasjoner og stasjonære kraftgeneratorer [75].

#### **6.7.5 Absorpsjonskjølemaskin**

Som beskrevet i under-underkapittel 2.7.6 brukes denne teknologien til å generere kulde fra varme. Et kontorbygg i Sør-Trøndelag fikk i 2017 vedtatt støtte fra Enova for å implementere absorpsjonskjøling gjennom fjernvarmenettet. Dette var for vise at det er mulig å bruke varme til å produsere kjøling. Det ble Norges første anlegg av av slik skala [76]. I Trondheim brukes denne teknologien flere steder. En absorpsjonsmaskin blir også brukt til å kjøle ned St.Olavs Hospital ved å utnytte kaldt elvevann [77].

## **7 Metode**

I denne delen presenteres den metodiske tilnærmingen som ble benyttet for å utforske og løse problemstillingen. Det blir først presentert overordnet metode for datainnsamling. Videre presenteres intervjuer, ståstedsanalyse og case-studie som forskningsmetoder.

### **7.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode**

Kvalitativ metode er med på å skape dybdekunnskap og helhetlig forståelse. Metoden går ut på å samle inn og analysere kvalitative data [78]. Kvantitativ metode handler om å samle inn og analysere data i form av tall eller andre mengder, ulikt kvalitativ metode der fokuset er på tekst [79].

### **7.2 Forskningsmetode**

Valget av metode falt på en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ tilnærming. Dette vil gi en helhetlig forståelse av problemstillingen ved å se på målbare aspekter, som datasenterets energiforbruk, men også rammebetingelser som påvirker utnyttelsen av overskuddsvarmen. Metoden består av en kombinasjon av intervjuer, ståstedsanalyse og case-studie, der datainnsamling er en essensiell del av alle metodene.

### **7.3 Datainnsamling**

Datainnsamlingen baserer seg hovedsaklig på informasjon som gruppen har tilegnet seg fra internett og intervjuene. I løpet av bacheloroppgaven besøkte gruppen Datacenter Forum som ble holdt i Oslo, hvor flere av de største datasentrene og bedrifter knyttet til datasenterindustrien var representert. Foredrag og personlig kommunikasjon dannet et informasjonsgrunnlag og fungerte som inspirasjonskilde. I tillegg ble det kontaktet flere forskjellige datasentre på ulike steder i Norge. Disse datasentrene har ulike løsninger på utnyttelse av overskuddsvarme. Informasjonen gruppen tilegnet seg i intervjuene med datasentrene og fagpersoner brukes

i denne oppgaven. Det har også blitt benyttet offentlige kilder, tidligere forskning og annen teori.

I oppstartsfasen av bacheloroppgaven tok gruppen kontakt med syv datasentre og 22 andre relevante aktører og fagfolk. Kontaktinformasjonen ble funnet på bedriftens nettsider og under besøket på Datacenter Forum. Av de som ble kontaktet var det kun tre datasentre og to eksterne fagpersoner som takket ja til intervju. De resterende svarte ikke eller avsto forespørsel. Intervjuene med datasentrene ble gjort personlig, mens intervjuene med fagpersonene ble gjort over Teams. Denne fasen med intervjuer varte fra 04.03.2024 til 29.04.2024. Etter intervjuene ble intervjuobjektene spurt om de ville holdes anonyme slik at datasikkerhet og personvern ble opprettholdt.

## 7.4 Intervju

Valget av intervju som metode for datainnsamling ble tatt for å innhente kvalitativ data og få innsikt fra aktører på markedet. Intervjuene med fagpersonene fra datasentrene hadde stor bredde i innhold, men omhandlet drift av datasentrene, med hovedfokus på:

- Generell info om datasenteret
- Strømforbruk
  - PUE
- Overskuddsvarme
- Kjølemetoder
- IT-utstyr
- Tiltak for bærekraft

Det ble diskutert fra et praktisk og teknisk perspektiv, men også fra et bærekraftsperspektiv. Et gjentagende diskusjonsområde rundt disse punktene var dagens utfordringer og fremtidige planer og utvikling.

Intervjuene med fagpersonene D og E fokuserte på et smalere temaområde. Fagperson D



har ekspertise innen termisk energi, og samtalen handlet hovedsakelig om utfordringene rundt utnyttelse av overskuddsvarme fra datasentre. Fagperson E har stor kompetanse innen IT, og samtalen handlet hovedsakelig om energiforbruk fra digitale aktiviteter, som å sende en e-post.

#### 7.4.1 Intervjuobjektene

Noen av intervjuobjektene ville selv være anonyme, eller holde bedriften sin anonym. For enkelhetens skyld, ble derfor alle intervjuobjektene anonymisert. Gruppen valgte å tildele hvert intervjuobjekt en bokstav slik at det ble enklere å skille mellom dem. Det ble gitt tillatelse fra intervjuobjektene til å bruke den gitte informasjonen fra intervjuet. Under besøket hos datasenter C fikk gruppen tillatelse til å ta bilder og bruke disse i oppgaven. Tabell 3 viser en oversikt over alle intervjuobjektene gruppen hadde under prosjektperioden.

*Tabell 3:  
Intervjuobjektene*

<b>Stilling</b>	<b>Besøkte datasentre</b>	<b>Anonymt navn på intervjuobjektene</b>
	Datasenter nr 1	A
	Datasenter nr 2	B
	Datasenter nr 3	C
Forsker		D
CISO		E

#### 7.4.2 Retningslinjer for intervju

For å øke nytten av intervjuene ble det gjort gode forberedelser i forkant. Forberedelsene besto av å gjøre forskning rundt bransjen og bedriften, og tilegne seg grunnkunnskap, som ville gjøre det lettere å utføre gode intervjuer. Det ble skrevet ned en liste med spørsmål med relevans til intervjuobjektene og deres fagfelt. Intervjuene ble satt opp slik at begge parter først

introduserte seg selv, for så å presentere problemstillingen og intervjuets ønskede retning.

Spørsmål som dukket opp ble stilt fortløpende etterhvert som det passet, da intervjuene ble holdt relativt flytende. Det ble også stilt spørsmål under fysisk omvisning på de tre besøkte datasentrene. Svarene gruppen fikk underveis i intervjuene ble notert ned i form av setninger og stikkord. På intervjuene hos datasentrene var det hovedfokus på bærekraft og energieffektivisering, med spørsmål om vanlig drift av datasenteret. Spørsmålene omhandlet kjølesystemer, IT-systemet, utnyttelse av overskuddsvarme og fremtidige planer.

For å verifisere gruppemedlemmenes notater ble de kryssjekket mot hverandre. Notater som ble nedskrevet uavhengig av hverandre øker sannsynligheten for korrekt informasjon. Eventuelle uoverensstemmelser ble diskutert. Dette ble kombinert med andre metoder for å sikre høyere nøyaktighet og pålitelighet i informasjonsinnhenting. Noen av notatene ble verifisert av intervjuobjektene i etterkant for å sikre at notatene er korrekte og for å gi intervjuobjektene mulighet til å komme med ytterligere kommentarer. Triangulering er en metode som ble brukt for å øke påliteligheten av resultatene, ved å benytte flere perspektiver eller kilder for å bekrefte informasjonen. Denne tilnærmingen kan være spesielt nyttig i kvalitativ forskning, inkludert intervjuer [80].

## **7.5 Ståstedsanalyse**

Ståstedsanalysen ga en oversikt over dagens status og utfordringer, som dannet grunnlaget for utforming av problemstillinger. I analysen ble det gjort en grundig undersøkelse av datasentre i Norge og deres utnyttelse av overskuddsvarme. Det skrives kun om de større, og mer kjente aktørene innen norsk datasenterindustri, da de har betydelig større ressurser og evne til å skape forandring. Det nevnes også datasentre som skal bli bygget. Det fokuseres på de ulike måtene datasentrene utnytter overskuddsvarmen på. I tillegg ble det sett på datasentrenes kjølemetoder. Det kunne vært interessant å gjøre en større kartlegging av datasentre i Norge, men her finnes det gode ressurser i rapport fra Norsk Datasenter Industri og diverse nettsted, så det ble ikke vektlagt i denne oppgaven [81] [82].

## 7.6 Bruksområdene til datasenteret

I dette underkapittelet presenteres metoden som brukes for å finne energiforbruket til en e-post og utslippene som genereres i denne prosessen etter ønske fra Lindbak. Dette skal løses ved å sette opp parametere og ved å beregne og analysere data som ble tilsendt fra datasenter C. Dette vil gi en bedre forståelse av hvordan hverdagslige digitale aktiviteter påvirker miljøet gjennom et fysisk datasenter. Intervjuobjekt E ble kontaktet for å gi innsikt i de nødvendige utregningene og bidro med veiledning om den mest hensiktsmessige fremgangsmåten.

Ved utregningen av CO<sub>2</sub>-utslipp tilknyttet e-poster, ble det brukt både kvalitativ og kvantitativ tilnærming. Videre ble det gjort en rekke antagelser og forenklinger. Det ble sett på både en gjennomsnittlig e-post og en større e-post.

I utregningene ble det tatt utgangspunkt i lokale servere, ikke skylagring. Denne oppgaven har kun tatt utgangspunkt i strømforbruket til serverne. Det er vanlig med backup-servere til lagring av e-post, men det tas ikke med i betraktning. Ved å se på strømforbruket til en gjennomsnittlig server og dens lagringskapasitet kan det strømbehovet per e-post estimeres.

Et lagringssystem hadde i januar et strømforbruk på 1166 kWh, der kapasiteten er 572 160 GB, og 486 275 GB er utnyttet. Det antas at strømforbruket er jevnt hele året. Som nevnt i kapittel 5 har en gjennomsnittlig e-post størrelse på 75 kB. Videre ble det gjort en antagelse om at en stor e-post har en størrelse på 5 MB. Disse tallene brukes til å regne ut strømforbruket til en gjennomsnittlig og stor e-post.

Det må tas med i betraktning at det gjerne brukes e-posttjenester som Gmail og Outlook, som drives av henholdsvis Google og Microsoft. Der brukes strømmen mye mer effektivt enn hos lokale datasentre. Microsoft eier flere av verdens største datasentre, med en estimert PUE på 1,185 i Europa, Midtøsten og Afrika (EMEA) [83].

Ettersom Microsoft ikke har sitt eget datasenter i Norge, har det blitt gjort en antagelse om at det er et europeisk datasentre som ble brukt til lagring av e-post fra norske brukere.

Derfor ble utslipp per kWh hentet fra europeisk energimiks. Det benyttes en karbonintensitet på 242 g CO<sub>2</sub> e/kWh, som nevnt i underkapittel 2.3 [17].

Nedenfor kommer formlene som ble brukt til utregning av CO<sub>2</sub>-utslippet til en gjennomsnittlig og stor e-post.

$$\text{Årlig strømforbruk} = \text{Månedlig strømforbruk} * 12 \text{ måneder} \quad (7)$$

Det gitte strømforbruket er per måned, så det regnes først et årlig forbruk, for å kunne finne det årlige CO<sub>2</sub>-utslippet til en e-post. De videre utregningene er derfor årlige, selv om det ikke står direkte i likningene.

$$\text{Strømforbruk per GB} = \frac{\text{Strømforbruk}}{\text{Lagringsplass}} \quad (8)$$

$$\text{Strømforbruk per e-post} = \text{Strømforbruk per GB} * \text{GB per e-post} \quad (9)$$

$$\text{CO}_2\text{-utslipp per e-post} = \text{CO}_2\text{-utslipp per kWh} * \text{Strømforbruk per e-post} \quad (10)$$

Det ble også regnet ut hvor store besparelser som kan oppnås dersom alle i Norge sletter en e-post, og hvis alle sletter en e-post daglig i ett år. Innbyggertallet i Norge i slutten av 2023 var 5 550 203 [84]. For å kunne se hvor mye dette utgjør i praksis, ble det sammenlignet med utslippet av CO<sub>2</sub>e fra en gjennomsnittlig personbil i Norge. Dette inkluderer også elbiler. I 2018 var utslippet omtrent 69,5 g CO<sub>2</sub>e per kjørte kilometer [85]. Det ble regnet ut hvor mange kilometer en bil kan kjøre for å tilsvare besparelsen fra at alle nordmenn sletter en e-post daglig i et år. Formlene er presentert nedenfor.

$$\text{CO}_2\text{-besparelse} = \text{Antall nordmenn} * 365 \text{ dager} * \text{CO}_2\text{-utslipp per e-post} \quad (11)$$

$$\text{Bespart kjørelengde} = \frac{\text{CO}_2\text{-besparelse}}{\text{CO}_2\text{-utslipp per km}} \quad (12)$$

## 7.7 Case-studie

En case-studie ble gjennomført for å få mer dybdeforståelse og vise teoretiske eksempler på hvordan datasentre på ulike plasseringer kan utnytte overskuddsvarmen. Det blir sett på et tre ulike scenarier for et fiktivt datasenter. Scenariene er ment for å illustrere muligheter og metoder rundt utnyttelse av overskuddsvarme uten å være knyttet til et spesifikk datasenter.

Tilnærmingen til denne case-studien er en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. Den kvalitative delen gir dybdeforståelse gjennom fiktive scenarier som illustrerer muligheter og metoder for utnyttelse av overskuddsvarme. Den kvantitative delen presenteres gjennom utregninger basert på teknologiske data. Scenariene er ment for å inspirere datasentre til å utforske måter å utnytte overskuddsvarmen på. De er hypotetiske og basert på eksisterende teknologier, med mål om å gi innsikt og inspirasjon framfor å gi direkte anvendbare løsninger.

I case-studien ble det brukt informasjon gitt av intervjuobjekt ved datasenter C. Selv om scenariene er hypotetiske, blir datagrunnlaget gitt fra datasenter C brukt til utregningene i scenario 1 og 2. Informasjonen ble godkjent til bruk i bacheloroppgaven. Den gjennomsnittlige kapasiteten til colocation-datasentre i Norge er 6 MW [60]. Dette brukes som kapasitet til det fiktive datasenteret. IT-kapasiteten til datasenter C er lavere, som gjør det nødvendig å finne forholdstall for at dataen fra datasenter C skal kunne benyttes. Utregningene ble gjort i dataprogrammene Excel og Python.

Rørsystemene til datasentre kan variere. Noen datasentre velger å isolere rørene som går på utsiden av bygget for å gjøre varmetapet lavest mulig. Andre velger å ikke isolere for å la utetemperaturen være med på å kjøle ned, som resulterer i mindre elektrisitet til kjøling. For scenariene i denne case-studien ble det ikke tatt hensyn til tap i rør. Kjølemediet i kjølekretsen til datasenteret består av en blanding av 80 % vann og 20 % glykol, basert på tall fra datasenter C.

Utregninger i scenario 1 og 2 ble basert på returtemperaturen til to ulike kjølemetoder, vannkjøling og indirekte frikjøling, da dette er blant de vanligste kjølemetodene. Brukes

indirekte frikjøling har returvannet fra datasenteret en temperatur på 15 - 25 °C, der 15 °C brukes i case-studien. Brukes vannkjøling har returvannet en temperatur på 40 - 60 °C, der 60 °C brukes.

I både scenario 1 og 2 ble det kalkulert hvor mye overskuddsvarme som var mulig å utnytte ved begge kjølemetodene. Basert på data fra datasenter C, har datasenteret behov for vann med turtemperatur på 12,5 °C til nedkjøling. Likning 3 ble brukt, der  $\Delta T$  ble 47,5 °C for vannkjøling og 2,5 °C for indirekte frikjøling. Dette gir varmen  $Q$  oppgitt i kW for én time. Den årlige overskuddsvarmen finnes ved å multiplisere med 8760 timer i året.

I begge scenariene benyttes en varmepumpe for å heve temperaturen, der COP verdi ble satt til 3,5. Antagelsen er basert på at industrivarmepumper gjerne har en COP-verdi mellom 3,4 - 4,1 [86].

## 7.8 Scenario 1

Scenario 1 plasseres datasenteret i nærheten av et fjernvarmeanlegg. Her vil det være naturlig å levere overskuddsvarmen fra datasenteret til det lokale fjernvarmenettet.

For å finne driftstemperaturen til fjernvarmenettet ble Eidsiva Bioenergi AS kontaktet. Driftsleder i Eidsiva Bioenergi AS fortalte at turtemperaturen varierer mellom 90 - 115 °C avhengig av årstid. Temperaturen burde være minimum 80 °C for å leveres til fjernvarmenettet, da tappevann holder en temperatur på 70 °C [87]. En Excel-fil fra Eidsiva Bioenergi AS viste tur- og returtemperaturene for hver time i 2019. Maks returtemperatur i løpet av året var 79,4 °C. Dette bekrefter at temperaturen på overskuddsvarmen fra datasenteret må heves til 80 °C. Dermed må returtemperaturene fra datasenteret heves med henholdsvis 65 °C og 20 °C for indirekte frikjøling og vannkjøling.

Overskuddsvarmen som kan leveres til fjernvarmenettet ble regnet ut ved hjelp av likning 3.

Den totale leverte varmen ble regnet ut ved å legge sammen overskuddsvarmen fra datasenteret med den avgitte varmen fra varmepumpen. Denne ble regnet ut med samme likning. Hvor mye elektrisitet som kreves av varmepumpen ble regnet ut ved hjelp av likning 4. Det ble antatt at datasenteret får levert all overskuddsvarmen til fjernvarmenettet, selv om sommeren. Vedlegg 2 viser Python-koden som ble brukt for utregningen for dette scenariet.

## 7.9 Scenario 2

I scenario 2 er datasenteret plassert langt fra bolig- eller industrielle strøk. På grunn av plasseringen er det kun mulig at overskuddsvarmen brukes internt i datasenteret. Utover oppvarming av for eksempel pauserom og kontorer har datasentre lite behov for varme. For datasenteret i dette scenariet ble det utforsket ulike teknologier for overskuddsvarmegjenvinning, som konverterer varme til elektrisitet. De ulike teknologiene har blitt beskrevet i underkapittel 2.7. Det ble også sett på den økonomiske lønnsomheten for den mest energieffektive teknologien ved å beregne nåverdi og tilbakebetalingsperiode.

Underkapittel 2.7 beskrives nødvendig driftstemperatur for de ulike teknologiene. Det måtte brukes varmepumpe for å heve temperaturen for alle teknologiene, men til ulik grad. For å regne ut elektrisiteten brukt for å heve temperaturen, ble det først regnet ut hvor stor økning i varmeenergi som var nødvendig. Dette ble gjort ved bruk av likning 3 og multiplisert med totalt antall timer i året for å bestemme et årlig forbruk. Strømforbruket regnes ut ved bruk av likning 4 [88].

Den totale varmeenergien ble regnet ut ved å kombinere overskuddsvarmen fra datasenteret med varmen fra varmepumpen. Deretter ble det regnet ut hvor mye elektrisitet som kunne produseres med de ulike teknologiene ved å benytte virkningsgraden til teknologiene. Det ble gjort en antagelse om at virkningsgraden forholder seg konstant ved temperaturvariasjon. For å se om dette var en lønnsom investering i form av effektiv energibruk, ble det regnet ut et forholdstall mellom produsert elektrisitet og brukt elektrisitet til varmepumpen. Dette regnes ut



for tre ulike COP-verdier på 3, 3,5 og 4 for å vise hvordan COP-verdien påvirker resultatet. I vedlegg 3, 4, 5, 6 viser Python-koden som ble brukt for utregningene i dette scenariet.

Ut i fra beregninger gjort for el-produksjon fra de ulike teknologiene, var det tydelig at kun stirlingmotor og ORC-C3 var lønnsomme. Dette vil bli utdypet i underkapittel 8.3 i resultatdelen. Derfor var det kun hensiktsmessig å gjøre økonomiske beregninger for disse teknologiene. På grunn av utfordringer med innhenting av økonomisk data, ble det kun gjort beregninger på ORC-teknologi av Climeon som skrevet om i under-underkapittel 6.7.3.

Ved beregning av den økonomiske lønnsomheten til Climeon sin ORC-baserte teknologi, ble det først funnet priser fra produsenten. Disse presenteres i tabellen nedenfor.

*Tabell 4:*  
*Investeringskostnader*

<b>Type kostnader</b>	<b>Kostnader</b>	<b>Kilder</b>
Investeringskostnad	340 000 [SEK/modul]	[89]
Service og support	7000 [Euro/år]	[48]
Climeon Live	5000 [Euro/år]	[48]

Kostnadene fra tabellen er omgjort fra Euro og SEK til NOK [90] [91]. Climeon Live er et valgfritt program og kontrollsystem som blant annet brukes til overvåkning og datainnsamling. Prisene gjelder per modul, så det blir derfor nødvendig å finne antall nødvendige moduler for datasenteret. Climeon selger moduler med 150 kW effekt per stykk, som kan være i drift tilnærmet hele året. Vedlikehold kan gjøres separat for hver modul for å redusere nedetid for hele systemet [48]. Ut i fra mengden strøm som kan produseres med ORC-systemet og antatte driftstimer på 1680 timer, trengs det over 2 moduler. Derfor blir det valgt 3 moduler som hver driftes omtrent 70% av året. Det antas en diskonteringsrente på 5%.

Den økonomiske lønnsomheten er avhengig av flere faktorer, som integrasjonskostnader

og strømpriser. Strømbesparelsene eller inntektene fra integrering av ORC-teknologi avhenger av mengden produsert strøm og strømprisene. Metoden rundt beregningene av produsert strøm har blitt beskrevet i underkapittel 7.9. Strømprisen blir hentet fra Fjordkraft for Sone 1, Øst-Norge. Gjennomsnittspris inkludert MVA var 94,83 øre per kWh i 2023 [92]. Denne brukes til å beregne besparelsene og finne kontantstrøm til bruk i likning 5 for nåverdiberegninger, og til likning 6 for tilbakebetalingsperioden. Utregningene ble gjort i Excel og presenteres i vedlegg 8.

## 7.10 Scenario 3

I scenario 3 plasseres datasenteret i et industrielt strøk. En mulig løsning er derfor å sende overskuddsvarmen til nærliggende industribygg. På et slikt område kan det være smart å planlegge et nettverk mellom industribyggene for å oppnå synergier og industriell symbiose.

I denne sammenhengen er det flere måter man kan bruke overskuddsvarmen på. Dette scenariet vil derfor handle om å utforske og kartlegge bruksområder for overskuddsvarmen. Det ble avgjort at det ikke ville være hensiktsmessig å gjøre bergeninger i dette scenariet, da det krever mer omfattende arbeid om hvert bruksområde.

Det ble utforsket bruksområder for overskuddsvarme i ulike temperaturområder, alt fra under 20 °C til over 140 °C. For bruksområder som krever lavere temperaturer vil overskuddsvarmen kunne benyttes direkte, mens ved høyere temperaturer kan det være nødvendig med ulike teknologier som mellomledd i varmeoverføringen.

## 8 Resultater

I denne delen skal resultatene presenteres. Først presenteres resultatene fra utregningen rundt utslipp fra e-poster. Deretter kommer resultatene for case-studien.

### 8.1 Bruksområdene til datasenteret

Resultatene for beregningen knyttet til en gjennomsnittlig og stor e-post presenteres i tabellen nedenfor.

*Tabell 5:  
Strømforbruk og utslipp til en e-post*

	<b>Strøm per e-post</b>	<b>Utslipp per e-post</b>
<b>Gjennomsnittlig e-post</b>	0,016 [Wh]	0,0039 [g CO <sub>2</sub> e]
<b>Stor e-post</b>	0,166 [Wh]	0,0403 [g CO <sub>2</sub> e]

Med et utslipp på 0,0039 g CO<sub>2</sub>e per gjennomsnittlige e-post ville det blitt spart 21,8 kg CO<sub>2</sub>e hvis alle i Norge hadde slettet én e-post hver. Dette tilsvarer en kjørelende på 314,2 km. Hvis alle i Norge hadde slettet en gjennomsnittlig e-post daglig hadde det blitt spart 7970,83 kg CO<sub>2</sub>. Dette tilsvarer en kjørelengde på 114 688 km.

### 8.2 Scenario 1

I scenario 1 ble det beregnet hvor mye elektrisk energi som kreves for å heve temperaturen til fjernvarmenettets høyeste returtemperatur. I tillegg ble det beregnet hvor mye varme som kan sendes inn på fjernvarmenettet, som en kombinasjon av overskuddsvarme og varmeenergi fra varmpumpen.

I tabell 6 presenteres mengden overskuddsvarme fra datasenteret som er mulig å utnytte

i løpet av et år, ved bruk av de ulike kjølemetodene. Dette er den samme mengden som kan utnyttes i scenario 2.

*Tabell 6:  
Overskuddsvarme fra datasenteret*

	<b>Overskuddsvarme</b>
<b>Indirekte frikjøling</b>	17.92 [GWh]
<b>Vannkjøling</b>	340.54 [GWh]

I tabell 7 blir det presentert levert varme og elektrisk forbruk ved bruk av både indirekte frikjøling og vannkjøling. Dette gjelder ved bruk av varmpumpe med COP-verdi på 3,5. Tallene som presenteres i første kolonne er den totale varmen som kan leveres til fjernvarmenettet. I kolonne to presenteres varmpumpens forbruk av elektrisitet.

*Tabell 7:  
Levert varme og energiforbruk*

	<b>Levert varme til fjernvarmenettet</b>	<b>El-forbruk</b>
<b>Indirekte frikjøling</b>	483.92 [GWh]	133.14 [GWh]
<b>Vannkjøling</b>	483.92 [GWh]	40.97 [GWh]

### 8.3 Scenario 2

I scenario 2 ble det sett på lønnsomheten til teknologier som benytter overskuddsvarme fra datasenteret. Det ble undersøkt om datasenteret produserte mer elektrisitet enn det som måtte brukes til å konvertere overskuddsvarmen. Resultatet viste at de fleste teknologiene vil være energimessig ulønnsomme, da de vil forbruke mer elektrisitet enn de klarer å produsere. Dette gjaldt ved bruk av begge kjølemetodene. Resultatene gjelder ved bruk av varmpumpe med

COP-verdi på 3,5

I tabell 8 blir det presentert resultater for de ulike teknologiene ved bruk av indirekte frikjøling. Kolonnen i midten viser hvor mye elektrisitet en varmepumpe må bruke for å heve temperaturen til teknologienes driftstemperaturer. I tredje kolonne presenteres elektrisitetsproduksjonen fra de ulike teknologiene.

*Tabell 8:  
Forbruk og produksjon av elektrisitet ved indirekte frikjøling*

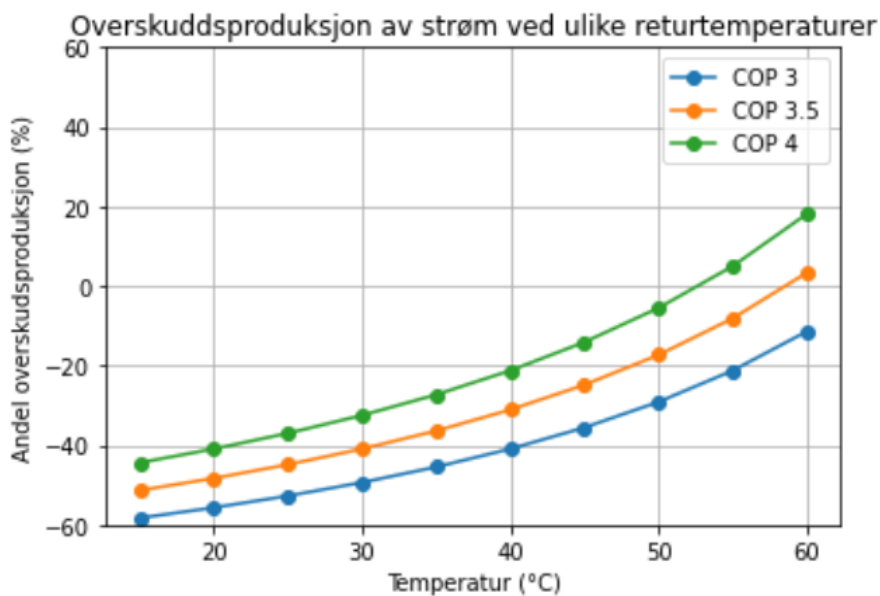
	<b>Forbruk av elektrisitet</b>	<b>Produsert elektrisitet</b>
<b>PEG</b>	174.11 [GWh]	56.46 [GWh]
<b>TEG</b>	481.36 [GWh]	85.13 [GWh]
<b>Stirlingmotor</b>	174.11 [GWh]	84.69 [GWh]
<b>ORC</b>	133.14 [GWh]	24.20 [GWh]
<b>ORC-C3</b>	112.66 [GWh]	28.86 [GWh]

I tabell 9 er resultatene fra utregning med vannkjøling presentert. Lik tabellen ovenfor viser kolonnen i midten hvor mye elektrisitet som brukes for å heve temperaturen. Den siste kolonnen viser den produserte elektrisiteten.

Tabell 9:  
Forbruk og produksjon av elektrisitet ved vannkjøling

	Forbruk av elektrisitet	Produsert elektrisitet
<b>PEG</b>	81.93 [GWh]	56.46 [GWh]
<b>TEG</b>	389.19 [GWh]	85.13 [GWh]
<b>Stirlingmotor</b>	81.93 [GWh]	84.69 [GWh]
<b>ORC</b>	40.97 [GWh]	24.20 [GWh]
<b>ORC-C3</b>	20.48 [GWh]	28.86 [GWh]

Figur 7 viser overskuddsproduksjon av strøm fra stirlingmotor ved ulike temperaturer på returvannet fra datasenteret. De ulike grafene viser resultatet dersom COP-verdien endres.

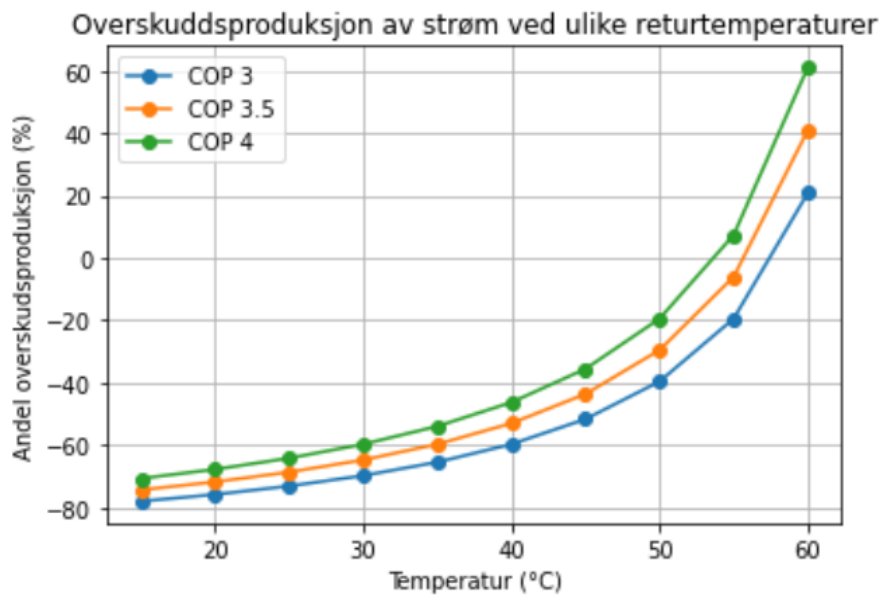


Figur 7: Overskuddsproduksjon av strøm ved ulike returtemperaturer med stirlingmotor

Like før 60 °C er overskuddsproduksjonen 0 %. Det vil si at teknologien krever like mye elektrisitet som den produserer, som gjør den energi-nøytral. Ved 60 °C er overskuddsproduksjonen ca. 3 %. Det vil si at teknologien produserer 3 % mer elektrisitet enn

det som forbrukes.

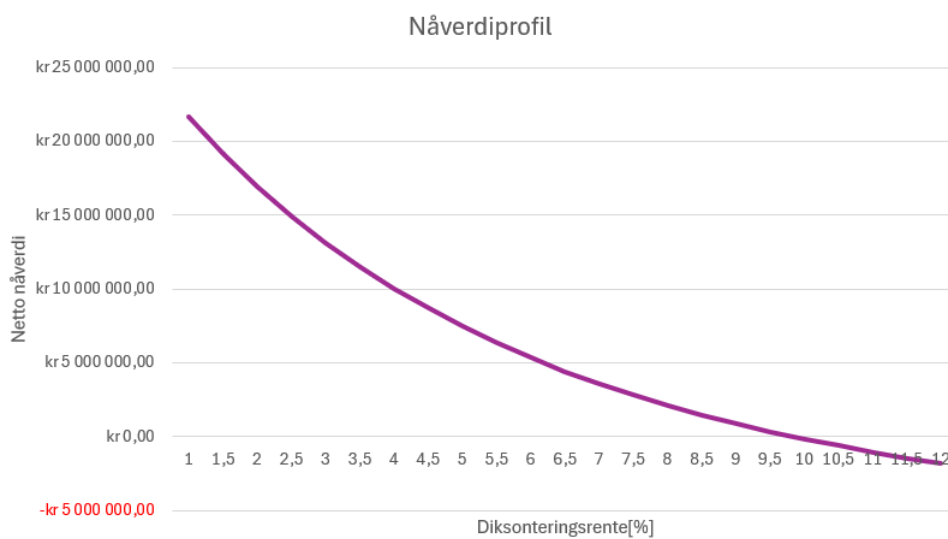
Figur 8 nedenfor viser overskuddsproduksjon av strøm fra Climeon sin ORC-teknologi ved ulike temperaturer på returvannet fra datasenteret. De ulike grafene viser resultatet dersom COP-verdien endres.



Figur 8: Overskuddsproduksjon av strøm ved ulike returtemperaturer med C3

Ved omtrent 55 °C er overskuddsproduksjonen 0 %. Det vil si at teknologien krever like mye elektrisitet som den produserer, som gjør den energi-nøytral. Ved 60 °C er overskuddsproduksjonen ca. 40 %. Det vil si at teknologien produserer 40 % mer elektrisitet enn det som forbrukes.

Tilbakebetalingsperioden til Climeon sin ORC-teknologi ble 7,3 år, som er perioden tar før man får tilbake investeringskostnadene gjennom besparelsen. Figur 9 viser resultatet fra nåverdiberegningene med ulike diskonteringsrenter. Internrenten som gir nåverdi lik null, er omtrent 10 %. Ved en antatt diskonteringsrente på 5 % blir netto nåverdi kr kr 7 446 675 kr.



*Figur 9: Nåverdiprofil for ORC*

## 8.4 Scenario 3

I scenario 3 kan overskuddsvarmen sendes til nærliggende industri. Som tidligere nevnt ble det ikke gjort utregninger for dette scenariet. Resultatet blir presentert i form av en tabell, med ulike bruksområder for overskuddsvarme og deres temperaturbehov. I tillegg vises hvilke teknologier som eventuelt må brukes for å fremskaffe den ønskede temperaturen.



Tabell 10:  
 Scenario 3 utnyttelse av overskuddsvarme

Temperatur	Teknologi	Bruksområde	Kilder
<20 °C	Varmeveksler	Snøsmelting	[38]
<20 °C	Varmeveksler	Kjøling	[38]
20 - 40 °C	Varmeveksler/varmepumpe	Drivhus	[38]
25 - 40 °C	Varmeveksler/varmepumpe	Fiskeopprett	[47]
25 - 40 °C	Varmeveksler/varmepumpe	Jordvarme	[47]
40 - 60 °C	Varmeveksler/varmepumpe	Pasteurisering øl	[38]
40 - 60 °C	Varmeveksler/varmepumpe	Lavtemperatur fjernvarmenett	[47]
60 - 80 °C	Varmepumpe	Tørking (murstein, alger, korn)	[38]
60 - 140 °C	Varmepumpe	Fjernvarmenett	[47]
60 - 140 °C	ORC	El-produksjon	[38] [47]
60 - 140 °C	Stirling-motor	El-produksjon	[47]
>80 °C	Absorpsjonkjølemaskin	Kjøling og varme	[93]
90 - 100 °C	Absorpsjonkjølemaskin	Snøproduksjon	[94]
80 - 100 °C	Varmepumpe	Pasteurisering meieri	[38]
120 - 150 °C	Varmepumpe	Tørking (tang, pellets, flis, tre)	[38]
120 - 150 °C	Varmepumpe	Ultrapasteurisering meieri	[38]
>140 °C	Damp turbin	El-produksjon	[47]

## 9 Diskusjon og analyse

I dette kapittelet skal resultatene fra kapittel 8 diskuteres. Det vil også skrives om feilkilder og usikkerheter med særlig fokus på antagelsene som utgjør en stor del av feilkildene. Til slutt vil det presenteres forslag til fremtidig forskning og forbedringer.

### 9.1 Intervjuene

Valg av intervju som en metodedel tilfører en del usikkerhet. Gruppen tilegnet seg store mengder informasjon fra intervjuobjektene, der noe blir brukt i oppgaven. Her er det flere ulike steder der det kan ha oppstått feil i informasjonskjeden. Det kan skyldes flere faktorer:

- Feiltolkning og misforståelser fra både gruppens og intervjuobjektets side
  - Unøyaktig formulering av spørsmål og/eller svar
  - Bias og subjektivitet som følge av egen agenda eller fordommer
  - Noteringsfeil fra gruppens side, som følge av feiltolkning eller utelatt informasjon
  - Dialektforskjeller eller andre kommunikasjonsproblemer som fører til misforståelser
- Minnefeil av både gruppen og/eller intervjuobjektet

Det ble skrevet en del notater underveis i intervjuet. Til tider ble det skrevet fort for å få med all viktig informasjon. Da er det mulig at det har blitt skrevet feil som følge av å ha hørt feil, tolket feil, eller fokusert på feil informasjon. Viktig informasjon kan ha blitt utelatt. Det kan også ha blitt skrevet for tvetydig eller lite detaljert informasjon som er mulig å mistolke.

Noe manglende informasjon har blitt notert i etterkant fra hukommelsen. Her er det en risiko for at det har blitt husket feil. Imidlertid ble den huskede informasjonen kryssjekket ved at begge gruppe medlemmene noterte det samme uavhengig av hverandre, som øker sannsynligheten for at informasjonen er korrekt. I tillegg ble triangulering brukt som forskningsmetode for å verifisere svarene fra intervjuobjektene, til den grad det var mulig. En ettertanke til forbedring

er at det kunne vært lurt å sjekke flere av notatene med intervjuobjektene i etterkant.

Intervju er en form for kvalitativ metode, og er en måte å oppnå dybdekunnskap og innsikt. Store mengder data som ble brukt i case-studien og til utregning av energiforbruk fra e-post ble hentet fra datasenter C. Informasjonen trenger ikke å representere alle datasentre, og kan i verste fall være misvisende i et større perspektiv.

## **9.2 Bruksområder for datasentre**

I beregningene for CO<sub>2</sub>-utslippet til en e-post, ble det gjort mange forenklinger og antagelser som påvirker resultatet. En antagelse var at e-posten ble lagret i et energieffektivt datasenter, og energiforbruket ble kalkulert med hensyn til dette. Den største feilkilden ligger imidlertid i forenklingene som ble gjort ved å kun vurdere energiforbruket knyttet til lagringen av en e-post. Disse beregningene inkluderer ikke det resterende energiforbruket til en e-post som beskrevet i delkapittel 5.

I utregningene for utslippet til en e-post ble det brukt energiforbruket til et dataskap i januar, ikke en gjennomsnittlig måned. Hvorvidt dette påvirker resultatet er ikke klart, da energiforbruket i januar kan være høyere eller lavere enn gjennomsnittet for hele året. Dette kan gi avvik i estimatene, men grunnet datasenterets relativt jevne IT-last antas det som neglisjerbart.

Det ble det funnet ut at en gjennomsnittlig personbil kan kjøre 314.2 km på det ”oppsparte” CO<sub>2</sub>-utslippet hvis alle nordmenn sletter én e-post hver. Dersom alle sletter en e-post daglig tilsvarer dette en gjennomsnittlig personbil som kjører 114 688 km. Den gjennomsnittlige personbilens utslipp inkluderer elbiler. Dette resulterer i et lavere totalutslipp og lengre kjørelengde enn hvis det hadde blitt sett på en gjennomsnittlig bensin- eller dieselbil.

Oppgaven har hovedfokus på hva et datasenter kan gjøre for å bli mer energieffektivt. Likevel kan det være aktuelt å diskutere hvem sitt ansvar det egentlig er å kutte ned på energiforbruket. I datasentre er infrastrukturen bygget for å lagre og prosessere store mengder data fra kunden. Mye av denne dataen kommer fra forbrukere som kanskje ikke er klar over sitt

energiforbruket til sin digitale aktivitet.

Selv om mengden CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fra å sende e-post virker tilsynelatende stor, er det ikke sikkert at å slette e-post utgjør en like stor forskjell i praksis. I realiteten vil en server ha et forbruk selv om den ikke blir brukt og står i standby-modus". Den trenger fortsatt energi til grunnleggende funksjoner som kjøling og strøm til komponenter, og da vil en slettet e-post her og der gjøre liten forskjell.

Det finnes flere andre nettaktiviteter med større utslipp. Utregningene skal dermed fungere som et eksempel for å bevisstgjøre både forbrukere og datasenterbransjen om konsekvensene av energiforbrukets knyttet til digital aktivitet. Slik kan også privatpersoner ta mer bærekraftige valg for å bidra til å redusere belastningen på planeten.

### **9.3 Case-studien**

Det fiktive datasenteret har en kapasitet på 6 MW. I praksis vil ikke datasentre nødvendigvis bruke 100 % av kapasiteten. Dette ble fortalt under besøk hos datasenter A, B og C. Ingen av disse datasentrne brukte 100 % av kapasiteten.

I arbeidet med scenariene ble det oppdaget at kjølesystemene spiller en viktig rolle for utnyttelse av overskuddsvarme og energioptimalisering. Kjølesystemene som brukes i sentrene må være kompatibelt for å hente ut varmeenergi med høyest mulig temperatur. I scenariene ble mengden overskuddsvarme som kunne benyttes ved bruk av de vanligste kjølesystemene sammenlignet. Formålet var å vise hvor stor forskjell returtemperaturen fra datasenteret utgjør for mulighetene til energioptimalisering ved hjelp av utnyttelse av overskuddsenergi

#### **9.3.1 Scenario 1**

I scenario 1 ble overskuddsvarmen fra datasenteret sendt inn på fjernvarmenettet. Tabell 7 viser det elektriske forbruket til varmepumpen ved bruk av de to kjølemetodene. Strømforbruket til

varmepumpen ved bruk av vannkjøling ble 40,97 GWh og 133,14 GWh ved bruk av indirekte frikjøling. Det vil si at varmepumpen bruker over 3 ganger mer elektrisitet ved indirekte frikjøling for å kunne levere like mye varme til fjernvarmenettet.

I utregningen som ligger i vedlegg 2 ble det brukt en COP-verdi på 3,5. Lavere COP-verdi ville gitt høyere forbruk av elektrisitet, mens en høyere COP-verdi ville gitt et mindre forbruk.

Resultatene som er presentert i tabell 6 viser hvor mye overskuddsvarme som er mulig å utnytte ved de ulike kjølemetodene. Med indirekte frikjøling blir det mulig å utnytte 17,92 GWh. Med vannkjøling er det mulig å utnytte 340,54 GWh som er 19 ganger mer overskuddsenergi enn ved indirekte frikjøling. Varmen som kan hentes ut fra datasenteret tar ikke høyde for tap til omgivelsene. Den beregnede varmen er med andre ord maksimal varme som kan hentes ut med de gitte parameterene.

Resultatene viser at det er mulig å utnytte 340,54 GWh med overskuddsvarme, ved å bruke 40,97 GWh med elektrisitet, dersom datasenteret har vannkjøling. Dette vil si at én del elektrisitet kan gi omtrent 8,3 deler varme som ellers ville gått tapt. Med luftkjøling må det brukes 133,14 GWh for å kunne utnytte 17,92 GWh overskuddsvarme. Dette tilsvarer en varmepumpe med COP-verdi på 0,13, som er ekstremt lite effektivt.

Tallene som er brukt til utregningen av mengden overskuddsvarme kommer fra datasenter C som har mindre IT-kapasitet enn gruppens fiktive datasenter. Det ble gjort en antagelse om at massestrømmen i kjølekretsen øker proporsjonalt med IT-kapasiteten. Dette er ikke helt nøyaktig. Som nevnt i delkapittel 5 har større datasentre gjerne lavere PUE enn mindre datasentre, som gjør de mer effektive. Dermed er det sannsynlig at de har mer effektive kjølesystemer som kan frakte bort større mengder varmeenergi. På grunn av manglende data, blir det dermed gjort en antagelse om at forholdet mellom IT-kapasitet er likt forholdet mellom massestrøm.

I case-studien ble det valgt å bruke kjølevæske med blanding av 80 % vann og 20 %

glykol basert på tall fra datasenter C. Dette blandingsforholdet kan blant annet variere basert på rørssystem og kjølemetode. Ettersom glykol har en lavere spesifikk varmekapasitet enn vann, vil økende andel glykol gi mindre tilgjengelig overskuddsvarme.

### 9.3.2 Scenario 2

Elektrisitetsproduksjonen med stirlingmotor blir energi-nøytral når temperaturen på returvannet fra datasenteret når omtrent 57,5 °C. Det vil si at teknologien lønner seg fra et energiperspektiv ved temperaturer høyere enn dette. Dette gjelder kun når COP-verdien på varmepumpen ligger på 3,5. Som grafene i figur 7 viste, kreves det høyere returtemperatur når COP-verdien minker. Ved COP-verdi på 3 er selv 60 °C for kaldt. Brukes en verdi på 3,5 rekker stirlingmotoren akkurat å produsere overskuddsenergi ved 60 °C. Ved COP-verdi på 4 og returtemperatur på 60 °C vil overskuddsproduksjonen være omtrent 20 % på det meste.

Elektrisitetsproduksjonen med ORC-C3 blir energi-nøytral når temperaturen på returvannet fra datasenteret er ca 55 °C. Dette gjelder kun når COP-verdien på varmepumpen er 3,5. Det vil si at teknologien lønner seg fra et energiperspektiv ved temperaturer høyere enn dette. Som grafene i figur 8 viser, vil COP-verdi på 4 og returtemperatur på 60 °C gi den største overskuddsproduksjonen på omtrent 60 %. Det vil si at det produseres 60 % mer elektrisitet enn det som brukes.

Grafene i figur 7 og 8, viser at med COP-verdi på 4 blir stirlingmoteren energi-nøytral ved omtrent samme temperatur som ORC-C3. Likevel har ORC-C3 omtrent 3 ganger høyere overskuddsproduksjon av strøm ved 60 °C. Dersom datasenteret har returtemperatur på 60 °C vil ORC-C3 gi høyere strømproduksjon og dermed være mer lønnsomt fra et energiperspektiv.

Forholdet mellom produsert og brukt elektrisitet ved indirekte frikjøling i tabell 8 viser at ingen av teknologiene blir lønnsomme fra et energiperspektiv. Grafene i figur 7 og 8 viser selv om den indirekte frikjølingen hadde gitt returtemperatur på 25 °C, hadde ikke det vært varmt nok, selv med en varmepumpe med COP-verdi på 4.

Fra et økonomisk perspektiv ble det kun gjort beregninger for en ORC-teknologi grunnet mangel på data for stirlingmotor. Tilbakebetalingstiden på 7,3 år indikerer at investeringen er lønnsom, da den totale levetiden er på 30 år. En svakhet er at denne utregningen ikke tar med diskonteringsrente, derfor danner nåverdiberegningene et bedre investeringsgrunnlag.

Figur 9 viser at investering i en ORC-C3 blir lønnsom med en diskonteringsrente under 10 %. Med den antatte diskonteringsrenten på 5 % blir netto nåverdi kr 7 446 675 kr. Strømprisen ble hentet fra 2023. Den vil antageligvis endre seg med årene, og endre besparelser.

I scenariet ble det samlet inn grundig informasjon for å finne den ideelle driftstemperaturen for hver teknologi. Når et temperaturområde ble funnet, ble den laveste temperaturen brukt i beregningene. For noen av teknologiene var det flere kilder som ga ulike temperaturspenn. Det ble antatt at dette ga den laveste virkningsgraden. Endring i driftstemperatur og virkningsgraden kan drastisk endre resultatene. Å bruke den laveste temperaturen kan være misvisende, da dette kan føre til urealistisk positive resultater.

I likhet med scenario 1 blir det ikke tatt høyde for noen tap ved beregning av overskuddsvarme fra datasenteret. De er derfor ideelle og viser den maksimale overskuddsvarmen som kan nyttiggjøres. I virkeligheten er tap uunngåelig, og må inkluderes i beregningene. Dette fører til at den produserte elektrisiteten fra de ulike teknologiene i scenario 2 sannsynligvis er noe høyere enn den ville ha vært i virkeligheten.

Elektrisitet er mer allsidig enn varme, men teknologiene har lav virkningsgrad sammenlignet med direkte bruk av varme. Nødvendig utstyr kan være kostbart og plasskrevende, noe som kan være en utfordring ved integrering i eksisterende prosesser. I tillegg viser ståstedanalysen at flere av teknologiene ikke er kommersielt tilgjengelig i større skala. Scenariet understreker behovet for teknologiutvikling innenfor kraftproduksjon fra lavtemperatur overskuddsvarmekilder.

### 9.3.3 Scenario 3

Scenario 3 viste flere ulike industrier som kan være mottakere for lavtemperatur overskuddsvarme. I likhet med scenario 1, viste scenariet at det er essensielt for utnyttelsen av varme å danne synergier i samfunnet.

Industrier og andre mottakere av overskuddsvarme har ulike behov for mengde varme. Noen mottakere vil kunne bruke overskuddsvarmen fra datasenteret direkte, mens andre har behov for ytterligere oppvarming. Dette er også avhengig av datasenterets kjølemetode. Høyere returtemperatur på vannet vil tilgjengeliggjøre mer overskuddsenergi for sending til nærliggende industrier. Fra datasenter C ble det fortalt at indirekte frikjøling er best dersom datasenteret ikke har mottakere av varmen, da det er billigere. Dermed blir planleggingsfasen essensiell for nye datasentre, for å finne mottakere av overskuddsvarmen og designe systemet for å best mulig utnytte overskuddsvarmen.

For å øke temperaturen på overskuddsvarmen, er det nødvendig å investere i en varmepumpe. Dette krever elektrisk energi, som gir et høyere strømforbruk. Ved at et datasenter investerer i dette vil dets PUE øke. Det vil se ut som at datasenteret er mindre energieffektivt, til tross for høyere grad av gjenvunnet varme. Begrepet ERE som diskutert i underkapittel 2.4 blir derfor en mer nøyaktig metode for å vurdere effektiviteten til datasenteret uten å skade omdømmet.

På grunn av varmepumpens COP-verdi er det en energieffektiv teknologi for oppvarming. Hvis overskuddsvarme i tillegg kan bli utnyttet vil dette være en lønnsom investering i forhold til bruk av varmepumpe alene eller elektrisk oppvarming.

Bruksområder for direkte bruk av overskuddsvarmen inkluderer snøsmelting og kjøling. Dette krever ingen videre oppvarming, selv med indirekte frikjøling som kjølemetode. Andre løsninger for direkte bruk inkluderer blant annet drivhus, fiskeoppdrett og lavtemperatur fjernvarmenett. Dette krever en kjølemetode som kan levere overskuddsvarme opp til 40 °C.

Absorpsjonskjølemaskin kan være en smart løsning for å senke energiforbruket som går til



kjøling. Den produserer kjøling fra overskuddsvarme ved hjelp av minimal mengde elektrisitet. Som skrevet om i under-underkapittel 6.7.5 i ståstedsanalysen brukes denne teknologien allerede i Trondheim. Den er effektiv dersom det finnes tilgjengelig overskuddsvarme, da det blir brukt mindre elektrisitet til oppvarming. Likevel vil det ikke løse problemet med ubrukt overskuddsvarme, da kjølemaskinen som nevnt i under-underkapittel 2.7.6 produserer 1,5 deler mer overskuddsvarme enn det den forbruker. Denne energien kan potensielt gjenbrukes, avhengig av temperaturen på overskuddsvarmen. Ved tilstrekkelig høy temperatur kan den være mulig å utnyttes av nærliggende industri.

Som beskrevet i kapittel 1 blir det stilt nye EU-krav til datasentre om dokumentasjon på bruk av overskuddsvarme. Dermed blir det viktigere å finne ulike teknologier som kan brukes for å utnytte overskuddsvarme, som varmpumper, absorpsjonskjøling, og direkte bruk i fjernvarmesystemer. Som vist i case-studien er det mange ulike måter å utnytte overskuddsvarmen på. Her vil samarbeid mellom industrier og effektive kjøleløsninger være viktige nøkkelord.

Selv om det ikke ble utført beregninger i dette scenariet, er det ønskelig å informere og oppfordre til bruk av overskuddsvarme. Analyser kan derfor være et verdifullt verktøy for datasentre til å bedre forstå og utnytte potensialet i overskuddsvarmen. Ved å utføre detaljerte beregninger, kan datasentre energieffektivisere ved å implementere løsninger for bruk av denne varmen.

## 9.4 Kjølemetoder

I Norge er det energieffektivt med frikjøling. For datasentre som ikke har en løsning for utnyttelse av overskuddsvarme er det best å bruke frikjøling da det er gratis, forklarte talsperson for datasenter C. Bruk av frikjøling vil gjøre det utfordrende å utnytte overskuddsvarmen fra datasenteret på grunn av den lave temperaturen på varmen. Vannkjøling gir høyere returtemperatur på opptil 60 °C, som åpner for opp for flere muligheter for bruk av overskuddsvarme. Derfor er det viktig å undersøke om kombinasjonen av vannkjøling og

utnyttelse av overskuddsvarme er mer energieffektiv enn frikjøling. Hvis denne kombinasjonen krever mer elektrisitet, kan den være mindre fordelaktig. Dette er fordi overskuddsvarme er lavverdig energi, mens elektrisitet er høyverdig energi.

Som skrevet om i scenario 1 og 2 i underkapittel 7.8 og 7.9 ble det brukt 12,5 °C som turtemperatur til kjøling av servere. Denne temperaturen ble brukt for begge kjølemetodene. Ettersom vannkjøling er mer effektivt, med sløyfer som ligger rundt serverne, er det muligens ikke behov for like lav temperatur. Dette vil være en stor feilkilde, da  $\Delta T$  i likning 3 kan være lavere enn den som ble brukt.

## 10 Ideer til fremtidig forbedring

I dette kapitlet blir fremtidige løsninger for datasentre diskutert. Det skal diskuteres hvordan datasenterbransjen vil utvikle seg, og hva utbyggere av datasentre burde tenke på når det skal planlegges eller bygges.

I intervjuet med forsker D ble nevnes arealeffektivisering som et forbedringspotensial. Dette er med på å ta vare på økosystemet, ved at datasenteret heller bygges i høyden og ikke i bredden. En annen positiv side med å ha serverrom høyere opp i luften er at det er kaldere og man kan bruke frikjøling mer effektivt.

Flere bedrifter velger å satse på fornybar energi enten med sol, vind eller vannkraft. Som tidligere nevnt i underkapittel 2.2 kan datasentre bli bygget som rektangulære bygg. Dette gir et stort potensial til å montere solceller på taket. Ved å montere solceller som retter seg mot sør produseres det mest energi, men monteres de vendt mot øst og vest vil det bli jevnere fordeling av den produserte energien i løpet av dagen, fortalte datasenter A.

Det kan være en fordel å bygge datasentre i de nordlige strøk i Norge, da det er kaldere i luften. Dette vil gjøre at datasentrene kan bruke frikjøling lengre før de må gå over til å bruke kompressorkjøling. Som tidligere nevnt i under-underkapittel 2.3.1 er ikke strømmettet i Nord-Norge like utbygget som på Østlandet. Ved satsing på vekst innen datasenterindustrien, bør et fokusområde være å forbedre eller bygge ut strømmettet. Forsyningssikkerheten utfordres av kraftintensiv industri som datasentre.

### 10.1 Fremtidige datasentre

Dette underkapitlet tar for seg fremtidige forbedringer innad i datasentret og kan være en pekepinn på hva som kan utforskes videre.

I følge kontaktperson i datasenter B og foredrag på Datacenter Forum er det en økning i antall kWh per dataskap for datasentre. Per dags dato består arealet av ca 50 % infrastruktur og

50 % IT-utstyr, men det vil endres drastisk. I tillegg til et mer arealintensivt energiforbruk, blir datasentre stadig større og flere. Dette gir behov for effektive kjølesystem, med muligheter for å utnytte overskuddsvarme.

Det mest relevante tiltaket for å spare energi er optimalisering av kjølesystem siden det står for cirka 25 % av elforbruket i datasentrene som tidligere vist i figur 5. En måte å effektivisere kjølesystemet når effektforbruket per dataskap øker, er å bruke vannkjøling. Dette er en mer effektiv måte å kjøle ned på. Som nevnt i under-underkapittel 2.5.2 legges vannrør mellom servere for å kjøle dem ned.

Som vist i ståstedsanalysen er det vanlig å benytte seg av indirekte frikjøling i Norge, der kjølig luft blåses over eller sirkulerer rundt serverne. Selv om disse kjølesystemene har utviklet seg og blitt mer effektive over tid, vil det kunne bli utfordringer med å håndtere den økte maskinvaretettheten og de tunge prosessbelastningene som forventes i fremtiden.

Det ble nevnt i under-underkapittel 2.5.1 at luften kan distribueres via gulv, tak eller ved fastmonterte vifter mellom dataskapene. Siden indirekte frikjøling er en vanlig kjølemetode for datasentre i Norge, kan det være hensiktsmessig å utforske måter å effektivisere denne kjølemetoden. En tilnærming kan være å optimalisere luftdistribusjonen til serveren. Dette kan bidra til å forbedre kjøleeffektiviteten.

For å redusere strømforbruk kan datasentre benytte seg av generelle energieffektiviseringstiltak, som for eksempel bruk av sensorer til slukking av lys og å skifte til LED for alle lyskilder.

For at kundene skal dra nytte av de beste løsningene, burde datasentrenes komponenter oppgraderes jevnlig for å sikre at teknologien ikke blir utdatert. I tillegg er det energieffektivt å bytte ut komponenter jevnlig, da nyere komponenter gjerne gir lavere strømforbruk. Dette er også kostnadseffektivt langsiktig. Likevel er det nødvendig å reflektere over om dette er ressursmessig bærekraftig og gunstig for miljøet. Dette understreker viktigheten av sirkulærøkonomi og resirkulering av materialer for å motvirke overforbruk og

bruk-og-kast-kultur.

En potensiell løsning for fremtiden kan være å kombinere flere av de ulike teknologiene. Dette kan potensielt samlet sett gi energibesparelse. Et eksempel på et slikt anlegg kan være kombinasjon mellom en stirlingmotor og en piezoelektrisk generator. Stirlingmotoren kan brukes til å drive en pumpe som beveger vannet i en lukket krets som kjøler ned serverne i datasenteret. PEG brukes for å generere elektrisitet fra for eksempel vannets bevegelse gjennom røret. For å finne ut om dette er en mer effektiv og lønnsom løsning, kreves det egne studier. Dette ligger utenfor bacheloroppgavens omfang og blir derfor ikke sett på i denne oppgaven.

Som beskrevet i underkapittel 2.3 er opprinnelsesgaranti en garanti på at en mengde kjøpt strøm produseres fra fornybare energikilder. Ved kjøp av disse kan datasentre lokke med "100 % ren energi". Selve strømmen som blir brukt er det vanskelig å si noe om hvor kommer fra. I praksis kan strømmen være produsert på fossil energi.

Veien videre for datasentre kan inkludere integrering av KI. KI i seg selv krever enormt mye datakraft og er nok ikke energibesparende med dagens teknologier, men den kan brukes i fremtiden til å energioptimalisere datasentre. Nedenfor er det nevnt noen av måtene KI kan brukes:

- Analyse av data
- Styre kjøleanleggene ved bruk av momentane belastninger
- Veksle på strømbelastninger slik at en fase ikke blir belastet mer enn andre for å unngå strømbrudd
- Feilsøking
- Overvåke systemene og varsle om feil eller vedlikehold

Informasjonen som står i listen over ble fortalt da gruppen var på Datacenter Forum.

## 11 Konklusjon

EU-kravene om dokumentasjon av overskuddsvarme i datasentre viser et potensial for å utnytte denne varmen som en verdifull ressurs. Det er et stort potensial for økt utnyttelse av overskuddsvarme fra datasentre i Norge og det finnes allerede gode eksempler på hvordan datasentre kan støtte verdiskaping i andre sektorer.

Dette synergiske samspillet mellom forskjellige sektorer er avhengig av industrier eller sluttbrukere med etterspørsel etter lavtemperatur varme. I scenario 1 ble det vist at det er en god ide å sende overskuddsvarmen til fjernvarmenettet dersom returtemperaturen fra datasenteret er høy nok. I scenario 3 ble det funnet mange ulike bruksområder for overskuddsvarme som kan utforskes videre.

Scenario 2 utforsket lønnsomheten til ulike elektrisitetsproduserende teknologier fra et energiperspektiv. Det var kun stirlingmotor og Climeon sin ORC-teknologi som ga lovende resultater. Også fra et økonomisk perspektiv ble ORC-teknologien funnet lønnsom, med positiv nåverdi og kortere tilbakebetalingstid enn anleggets levetid. Scenariet understreker behovet for teknologiutvikling innenfor kraftproduksjon fra lavtemperatur overskuddsvarmekilder.

Mangelen på flere teknologier som effektivt kan konvertere lavtemperatur overskuddsvarme til elektrisitet forteller om viktigheten av plasseringen av datasenteret. Dette bekrefter viktigheten av planlegging og tilrettelegging for industriell symbiose for å styrke sirkulærøkonomien og redusere energiforbruket. Dersom Norge skal satse på vekst innen datasenternæringen er det viktig å legge tilrette for at datasentrene plasseres i nærhet til annen industri.

Gjennom hele oppgaven ble det funnet at valg av kjølesystem er avgjørende for mengden overskuddsvarme som kan utnyttes. Kjøling som gir høyere returtemperaturer vil gi flere muligheter for utnyttelse av overskuddsvarmen uten behov for ekstra oppvarming med varmepumpe. Dermed vil det være mulig å bruke overskuddsvarmen uten å bruke ekstra elektrisitet, som reduserer energikostnader og miljøpåvirkningen. En investering i effektive kjølemetoder dermed bidra til energioptimalisering av datasentre ved utnyttelse av

overskuddsvarme.

Ved å energioptimalisere datasentre gjennom utnyttelse av overskuddsvarme, kan Norge nærme seg målet om en bærekraftig og datadrevet økonomi. Samlet sett er det behov for en helhetlig tilnærming som involverer teknologiske innovasjoner, tverrfaglig samarbeid og økt bevissthet hos forbrukere om miljøpåvirkningen til digitale aktiviteter. Her vil samarbeid mellom industrier, teknologiutvikling og effektive kjøleløsninger være viktige nøkkelord.

## Referanser

- [1] Ingrid C. Claussen Ann Kristin Kvellheim Hanne Kauko, Magnus Rotan. Overskuddsvarme som varmekilde. Report, 2022.
- [2] John Sondre Sikkeland Tove H. Løvbak. Økt energibruk i industrien.  
Hentet fra: "<https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/energibruk-i-industrien/artikler/okt-energibruk-i-industrien>", 2022.
- [3] Kommunal-og moderniseringsdepartementet. Norske datasenter. Report, 2021.
- [4] NSM Nasjonalt cybersikkerhetssenter. Temarapport om norske datasentre og digital autonomi.  
Hentet fra: "<https://nsm.no/regelverk-og-hjelp/rapporter/temarapport-om-norske-datasentre-og-digital-autonomi/hva-er-et-datasenter/>".
- [5] Julie Gunnerød og Anders Kringstad Lasse Christiansen, Rolf Korneliussen. Forbruksutvikling i norge 2022-2050. Report, Statnett, 2023.
- [6] NVE. Energibruk i datasentre i norge.  
Hentet fra: "[https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019\\_13.pdf](https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_13.pdf)", 2019.
- [7] Frida H. Aulie Dag Spilde Ingvild Vestre Sem, Jarand Hole, Eirik Veirød Carl Andreas Veie Fredrik Arnesen, Silje Jelsness, Astrid Gunhild Maria Sidelnikova, Mette Eltvik Henriksen, and Stavseng. Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2020 – 2040. Report, 2020.
- [8] FN-sambandet. Fns bærekraftsmål.  
Hentet fra: "<https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>", 2024.
- [9] Norad. Dette er fns bærekraftsmål.  
Hentet fra: "<https://www.norad.no/om-bistand/dette-er-fns-baerekraftsmaal/>".
- [10] Energidepartementet. Energieffektiviseringsdirektivet (eed 2023).  
Hentet fra: "<https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2024/feb/energieffektiviseringsdirektivet-eed-2023/id3029175/>", 2024.
- [11] LinkedIn. Bak kulissene: Hvordan fungerer et datasenter?  
Hentet fra: "<https://no.linkedin.com/pulse/bak-kulissene-hvordan-fungerer-et-datasenter-storespeed-h3xaf>", 2023.
- [12] Linn Kiara Fauske. Bilde av datasenter c, 15.04.2024 2024.
- [13] Andreja Velimirovic. Data center tiers explained.  
Hentet fra: "<https://phoenixnap.com/blog/data-center-tiers-classification>", 2021.



- [14] Knut Hofstad Knut A. Rosvold. avbruddsfri strømforsyning.  
Hentet fra: "[https://snl.no/avbruddsfri\\_str%C3%B8mforsyning](https://snl.no/avbruddsfri_str%C3%B8mforsyning)", 2024.
- [15] NVE. Opprinnelsesgarantier og varedeklarasjon for strømleverandører.  
Hentet fra: "<https://www.nve.no/energi/virkemidler/opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjon-for-stroemleverandoerer/>", 2023.
- [16] Jørgen Kristoffer Tuset. Hvor kommer strømmen fra?  
Hentet fra: "<https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/>", 20.03.2024 2020.
- [17] Olav A. Øvrebø. Live-data: Strøm og co.  
Hentet fra: "<https://www.energiogklima.no/klimavakten/live-data-strom-og-co2>", 2024.
- [18] NVE. Nve atlas.  
Hentet fra: "<https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>".
- [19] Energi Aktuelt. Datasentre kan avlaste strømmettet.  
Hentet fra: "<https://www.energiaktuelt.no/-datasentre-kan-avlaste-stroem-nettet.6622844-575505.html>", 2023.
- [20] Hafslund Oslo Celsio. Hafslund oslo celsio: Fjernvarme avlaster kraftnettet og frigjør kraft til elektrifisering av samfunnet.  
Hentet fra: "<https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/17954746/hafslund-oslo-celsio-fjernvarme-avlaster-kraftnettet-og-frigjor-kraft-til-elektrifisering-av-samfunnet?publisherId=17848166>", 2023.
- [21] Green Mountain. About green mountain.  
Hentet fra: "<https://greenmountain.no/about-us/>".
- [22] Ole Marius Moen. Slik gjør vi datasentre mer miljøvennlige.  
Hentet fra: "<https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/slik-gjor-vi-datase-nter-mer-miljovenlig/>", 2021.
- [23] Theastrologypage. Hva er effektiv bruk av strøm (pue)? - definisjon fra techopedia.  
Hentet fra: "<https://no.theastrologypage.com/power-usage-effectiveness>", 2024.
- [24] Direktoratet for forvaltning og økonomistyring. Energibruk.  
Hentet fra: "<https://anskaffelser.no/nn/hva-skal-du-kjope/it/it-drift/miljo-og-energi-it-drift/energibruk>", 2023.
- [25] Jarand Hole og Hallgeir Horne. Energibruk fra datasentre i norge. Report, NVE, 2019.
- [26] Intel Mike Patterson. Ere: A metric for measuring the benefit of reuse energy from a data center. Report, 2010.

- [27] Danthermgroup. Frikjøling den beste løsningen for telekomoppbevaring?  
Hentet fra: "<https://www.danthermgroup.com/nn-no/dantherm/frikj%C3%B8ling-den-beste-l%C3%B8sningen-for-telekomoppbevaring>", 2023.
- [28] SWEGON. Løsninger med høy energieffektivitet for datasentraller.  
Hentet fra: "<https://www.swegon.com/no/guider/guider-for-ulike-bygnings typer/datasenter/>".
- [29] Bjørn Lønnum Andreassen. Sparer miljøet med vannbåren kjøling av datasenter.  
Hentet fra: "<http://www.arbeidslivinorden.org/nyheter/nyheter-2023/article.2023-05-27.0575031029>", 2023.
- [30] PURMO. Varmesystem og effekten av glykol.  
Hentet fra: "<https://www.purmo.com/nb-no/the-indoors/vannbaren-varme/varmesystem-og-effekten-av-glykol>".
- [31] Swegon. Frikjøling eller kompressorkjøling?  
Hentet fra: "<https://www.swegon.com/no/guider/tekniske-guider/frikjoling-eller-kompressorkjoling/>".
- [32] Geir Eggen. Absorpsjonskjøleanlegg -ny mulighet i forbindelse med fjernkjøleanlegg. Report, 2013.
- [33] Bjørn Pedersen. Varme.  
Hentet fra: "<https://snl.no/varme>", 2023.
- [34] Knut Hofstad. lavverdig energi.  
Hentet fra: "[https://snl.no/lavverdig\\_energi](https://snl.no/lavverdig_energi)", 2018.
- [35] Samir Kumar Khanal Yebo Li. *Bioenergy: Principles and applications*. John Wiley Sons, Inc, New Jersey, 2017.
- [36] Knut Hofstad Knut A. Rosvold. Spillvarme.  
Hentet fra: "<https://snl.no/spillvarme>", 2022.
- [37] Georg Mathisen. Datasenter er vår tids «varme kilder».  
Hentet fra: "<https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/datasenter-er-var-tids-varme-kilder/>", 2021.
- [38] Daniel Andreas Monsen Gløsen Sigmund Langedal Breivik. Muligheter for å utnytte lavtemperatur spillvarme fra prosessindustrien i grenland. Report, 2019.
- [39] Jukka Manner Sanna Syri Mikko Wahlroos, Matti Pärssinen. Utilizing data center waste heat in district heating – impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks, energy. 140:1228–1238, 2017.
- [40] Knut Hofstad. varmpumpe.  
Hentet fra: "<https://snl.no/varmpumpe>", 2023.

- [41] Jan Henrik Johnsen. Varmevekslere.  
Hentet fra: "<https://ndla.no/nb/subject:1:6951e039-c23e-483f-94bf-2194a1fb197d/topic:7aac6afb-7517-4bf0-8cbe-aade658012be/resource:1:150087>", 2017.
- [42] Norsk Fjernvarme. Fjerdegenerasjons fjernvarme.  
Hentet fra: "<https://www.fjernvarme.no/fakta/fjerdegenerasjons-fjernvarme>".
- [43] Diana Enescu. Thermoelectric energy harvesting: Basic principles and applications. Report, 2019.
- [44] Knut Hofstad. Rankine-syklus.  
Hentet fra: "<https://snl.no/Rankine-syklus>", 2021.
- [45] Espen Borgir Christophersen Marius Monsen Ragnøy, Niels Houbak. Teknologikartlegging kraftgjenvinning fra lavtemperatur spillvarme. Report, 2014.
- [46] Sulaiman Almahmoud Bertrand Delpéch Amisha Chauhan Savvas A. Tassou Hussam Jouhara, Navid Khordehghah. *Waste heat recovery technologies and applications*, pages 275–276. 2018.
- [47] Hans Even Helgerud Geir Sollesnes. Utnyttelse av spillvarme fra norsk industri. Report, 2009.
- [48] Climeon. Climeon annual report 2018. Report, 2018.
- [49] Arthur Sarsten. stirlingmotor.  
Hentet fra: "<https://snl.no/stirlingmotor>", 2019.
- [50] Øyvind Grøn Trygve Holtebekk. termionisk strømgenerator.  
Hentet fra: "[https://snl.no/termionisk\\_str%C3%B8mgenerator](https://snl.no/termionisk_str%C3%B8mgenerator)", 2020.
- [51] APC INTERNATIONAL. Piezoelectric generators: Applications.  
Hentet fra: "<https://www.americanpiezo.com/piezo-theory/generators.html>".
- [52] O. Aldraihem; A. Baz J. Smoker, M. Nouh. Energy harvesting from a standing wave thermoacoustic-piezoelectric resonator. 2012.
- [53] Ruzhu Wang Quanwen Pan, Jiajie Peng. Experimental study of an adsorption chiller for extra low temperature waste heat utilization. *Applied Thermal Engineering*, 163, 2019.
- [54] Miljødirektoratet. Sirkulær økonomi.  
Hentet fra: "<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>".
- [55] Norsk Senter for Sirkulær Økonomi. Sirkulær økonomi i praksis – gjennom industriell symbiose.  
Hentet fra: "<https://ncce.no/no/sirkulaer-okonomi-i-praksis-gjennom-industriell-symbiose/>", 2020.

- [56] Jusleksikon.no og Store norske leksikon. Nåverdimetoden.  
Hentet fra: "<https://snl.no/n%C3%A5verdimetoden>", 2024.
- [57] Levi Gårseth-Nesbakk. payback.  
Hentet fra: "<https://snl.no/payback>", 2022.
- [58] CISCO. What is a data center?  
Hentet fra: "<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html>", 2024.
- [59] Ian Baker. How big is email?  
Hentet fra: "<https://medium.com/@raindrift/how-big-is-email-305bbdb69776>", 2014.
- [60] Kommunal-og moderniseringsdepartementet. Datasentre i norge. Report, 2020.
- [61] Green Mountain. Land-based lobster farming will use waste heat from data center.  
Hentet fra: "<https://greenmountain.no/data-center-heat-reuse/>", 2021.
- [62] Green Mountain. Rju1-rjukan.  
Hentet fra: "<https://greenmountain.no/data-center/rju1-rjukan/>".
- [63] Green Mountain. Land-based trout farm will use data center waste heat.  
Hentet fra: "<https://greenmountain.no/land-based-trout-farm-will-use-data-center-waste-heat/>", 2021.
- [64] Anders Lie Brenna. Google bygger datasenteret med 240 mw effektuttak i skien: – et datasenter er der internettet bor.  
Hentet fra: "[https://energiwatch.no/nyheter/nett\\_teknologi/article16826772.ece](https://energiwatch.no/nyheter/nett_teknologi/article16826772.ece)", 2024.
- [65] Cnytt.no. Google forbereder utnyttelse av overskuddsvarme fra gigantanlegg.  
Hentet fra: "<https://www.fjernvarme.no/google-forbereder-utnyttelse-av-overskuddsvarme-fra-gigantanlegg>", 2024.
- [66] Cnytt.no. Venter 90 prosent energigjenvinning fra grønne datasentre.  
Hentet fra: "<https://www.fjernvarme.no/venter-90-prosent-energigjenvinning-fra-gronne-datasentre>", 2021.
- [67] Petter Egil Røkke. Vi kan ikke la google fyre for kråkene.  
Hentet fra: "<https://www.sintef.no/siste-nytt/2024/vi-kan-ikke-la-google-fyre-for-krakene/>", 2024.
- [68] Bulk Data Center. Bulk data centers locations.  
Hentet fra: "<https://bulkinfrastructure.com/data-centers/locations>".
- [69] Bulk Data Center. Norge datasenter campus - n01.  
Hentet fra: "<https://bulkinfrastructure.com/data-centers/locations/n01>".

- [70] Trekraft. Vi skal tørke 350.000 sekker med ved i året med spillvarme fra datasenter.  
Hentet fra: "<https://trekraft.no/skal-produsere-350-000-vedsekker-i-aret-med-spillvarme-fra-datasenter/>".
- [71] Blix Solutions. Blix data center (bdc).  
Hentet fra: "<https://www.blix.com/blix-data-center-as/>".
- [72] STACK INFRASTRUCTURE. Oslo.  
Hentet fra: "[https://www.stackinfra.com/locations/oslo/?data\\_center=osl01a](https://www.stackinfra.com/locations/oslo/?data_center=osl01a)", 2024.
- [73] Jianlin Wu Yin Zhang Jiehua Wu Guoqiang Liu Haoyang Hu Jun Hu Xiaojian Tan Shi He Jun Jiang Di Xiao, Peng Sun. Thermoelectric generator design and characterization for industrial pipe waste heat recovery. Report, 2023.
- [74] Enova. Elproduksjon ved elverum varmesentral (orc).  
Hentet fra: "<https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiporrefoljen/elproduksjon-ved-elverum-varmesentral-orc/>".
- [75] National Aeronautics Administration and Space. Advanced stirling radioisotope generator for nasa space science and exploration missions.  
Hentet fra: "[https://web.archive.org/web/20120929064709/http://www.grc.nasa.gov/WWW/TECB/RPS\\_ASRG\\_%20Handout.pdf](https://web.archive.org/web/20120929064709/http://www.grc.nasa.gov/WWW/TECB/RPS_ASRG_%20Handout.pdf)".
- [76] Enova. Absorpsjonskjøling i kontorbygg.  
Hentet fra: "<https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiporrefoljen/absorpsjonskjoling-i-kontorbygg/>".
- [77] Statkraft. Absorpsjonskjøling - en behagelig nyhet for kontorbygg.  
Hentet fra: "<https://www.statkraftvarme.no/prosjekter/kundereferanser/naringsbygg/absorpsjonskjoling-i-signalbygget/>".
- [78] Sigmund Grønmo. Kvalitativ metode.  
Hentet fra: "[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)", 2023.
- [79] Sigmund Grønmo. Kvantitativ metode.  
Hentet fra: "[https://snl.no/kvantitativ\\_metode](https://snl.no/kvantitativ_metode)", 2023.
- [80] Erik Bolstad. triangulere.  
Hentet fra: "<https://snl.no/triangulere>", 2020.
- [81] Norsk Datasenter Industri. Datasenterindustrien i norge 2023-2024. Report, 2024.
- [82] Data Center Map. Norway data centers.  
Hentet fra: "<https://www.datacentermap.com/norway/>".
- [83] Noelle Walsh. How microsoft measures datacenter water and energy use to improve azure cloud sustainability.  
Hentet fra: "<https://azure.microsoft.com/en-us/blog/how-microsoft-measures-datacenter-water-and-energy-use-to-improve-azure-cloud-sustainability/>", 2022.

- [84] Statistisk sentralbyrå. Befolkning.  
Hentet fra: "<https://www.ssb.no/befolkning/folketall/statistikk/befolkning>".
- [85] MONA I. A. ENGEDAL. Elbiler reduserer utslipp per personkilometer, 2019.
- [86] Hydro Solar. Nordic w series liquid to water heat pumps.  
Hentet fra: "<https://hydrosolar.ca/collections/nordic-w-series-residential-liquid-to-water-heat-pump?page=1>", 2024.
- [87] Espen Tveit. Personlig kontakt med *Eidsiva Bioenergi AS*, 06.05.2024.
- [88] LARA CASTILLO. Data centers and heat pumps: a winning combination.  
Hentet fra: "<https://www.araner.com/blog/data-centers-and-heat-pumps>", 2024.
- [89] Jonathan Winther. *Power production from excess heat in a district heating system*.  
Master's thesis, 2018.
- [90] Exchangerates. Euro to norwegian krone spot exchange rates for 2018.  
Hentet fra: "<https://www.exchangerates.org.uk/EUR-NOK-spot-exchange-rates-history-2018.html>".
- [91] Exchangerates. Swedish krona to norwegian krone spot exchange rates for 2017.  
Hentet fra: "<https://www.exchangerates.org.uk/SEK-NOK-spot-exchange-rates-history-2017.html>".
- [92] Fjordkraft. Historiske strømpriser.  
Hentet fra: "<https://www.fjordkraft.no/strom/strompriser/historiske-strompriser/>", 2024.
- [93] Ole Øiene Smedegård Jørn Stene. Hensiktsmessige varme- og kjøleløsninger i bygninger.  
Report, 2013.
- [94] Ole Marius Moen. Utnyttelse av overskuddsvarme til snøproduksjon. Report, 2021.

# Vedlegg 1

## Generell info for alle scenarioene

```
Cp_vann = 4.19
Cp_glykol = 2.4
Cp_blanding = 0.8 * Cp_vann + 0.2 * Cp_glykol

Tetthet_vann = 1000
Tetthet_glykol = 1110
Tetthet_blanding = 0.8 * Tetthet_vann + 0.2 * Tetthet_glykol

Massestrøm_ds_C_1 = 163
Massestrøm_ds_C = (Tetthet_blanding * Massestrøm_ds_C_1) / 3600
Massestrøm = Massestrøm_ds_C * (6 / 1.3)

# Temperaturer
Temp_l = 15
Temp_v = 60
Delta_T_l = Temp_l - 12.5
Delta_T_v = Temp_v - 12.5
COP = 3.5
t = 8760

# kJ/kg*K
# kJ/kg*K
# kJ/kg*K (Kjølemediet inneholder 20% glykol og 80% vann)

# kg/m^3
# kg/m^3
# kg/m^3

# m^3/h
# kg/s (Omgjøring fra m^3/h til kg/s)
# kg/s (Datasenter C har kapasitet på 1,3 MW, mens det fiktive datasentret har 6 MW)

# °C (Temperatur på returstrøm)
# °C (Temperatur på returstrøm)
# °C (Datasenteret ønsker 12,5 grader på kjølemediet)
# °C (Datasenteret ønsker 12,5 grader på kjølemediet)
# COP verdi for varmepumpe
# h (Driftstimer)
```

Vedlegg 1: Generell info for alle scenarioene

## Scenario 1

```
# Temperatur på fjernvarmenettet:
T_s1 = 80
Delta_T_luft = T_s1 - Temp_l
Delta_T_vann = T_s1 - Temp_v

# Overskuddsvarme produsert
Q_sv_luft_s1 = (Cp_blanding * Massestrøm * (Delta_T_l) * t) / 10**6
Q_sv_vann_s1 = (Cp_blanding * Massestrøm * (Delta_T_v) * t) / 10**6

# Varmen varmpumpen må tilføre for å heve temperaturen
Q_luft_s1 = (Cp_blanding * Massestrøm * Delta_T_luft * t) / 10**6
Q_vann_s1 = (Cp_blanding * Massestrøm * Delta_T_vann * t) / 10**6

# Total varme levert til fjernvarmenettet
Q_luft_s1_tot = Q_sv_luft_s1 + Q_luft_s1
Q_vann_s1_tot = Q_sv_vann_s1 + Q_vann_s1

# Elektrisitetten varmpumpen bruker for å heve temperaturen
EI_luft_s1 = (Q_luft_s1 / COP)
EI_vann_s1 = (Q_vann_s1 / COP)
```

# °C (Returtemperatur)

# °C

# °C

# GWh

# GWh

# GWh

# GWh

# GWh

# GWh

# GWh

# GWh



## Scenario 2

```
# Med Luftkjøling
Q_luft = Cp_blanding * Delta_T_1 * Massestrøm * t

# Virkningsgrad
PEG_n_1 = 9
TEG_n_1 = 5
Stirling_n_1 = 13.5
ORC_n_1 = 5
ORC_C3_n_1 = 7

# Temperatur
PEG_t_1 = 100
TEG_t_1 = 250
Stirling_t_1 = 100
ORC_t_1 = 80
ORC_C3_t_1 = 70

# Varmen varmpumpen må tilføre for å heve temperaturen
PEG_Qv_1 = Cp_blanding * Massestrøm * (PEG_t_1 - Temp_1) * t
TEG_Qv_1 = Cp_blanding * Massestrøm * (TEG_t_1 - Temp_1) * t
Stirling_Qv_1 = Cp_blanding * Massestrøm * (Stirling_t_1 - Temp_1) * t
ORC_Qv_1 = Cp_blanding * Massestrøm * (ORC_t_1 - Temp_1) * t
ORC_C3_Qv_1 = Cp_blanding * Massestrøm * (ORC_C3_t_1 - Temp_1) * t

# Elektrisiteten varmpumpen bruker for å heve temperaturen
PEG_Q_1 = (PEG_Qv_1 / COP) / 10**6
TEG_Q_1 = (TEG_Qv_1 / COP) / 10**6
Stirling_Q_1 = (Stirling_Qv_1 / COP) / 10**6
ORC_Q_1 = (ORC_Qv_1 / COP) / 10**6
ORC_C3_Q_1 = (ORC_C3_Qv_1 / COP) / 10**6

# Produksjon av elektrisitet
PEG_el_1 = ((PEG_Qv_1 + Q_luft) * (PEG_n_1 / 100)) / 10**6
TEG_el_1 = ((TEG_Qv_1 + Q_luft) * (TEG_n_1 / 100)) / 10**6
Stirling_el_1 = ((Stirling_Qv_1 + Q_luft) * (Stirling_n_1 / 100)) / 10**6
ORC_el_1 = ((ORC_Qv_1 + Q_luft) * (ORC_n_1 / 100)) / 10**6
ORC_C3_el_1 = ((ORC_C3_Qv_1 + Q_luft) * (ORC_C3_n_1 / 100)) / 10**6

# kWh (Overskuddsvarme som kan hentes direkte fra returstrøm)
# %
# %
# %
# %
# %

# °C
# °C
# °C
# °C
# °C

# kWh
# kWh
# kWh
# kWh
# kWh

# GWh
# GWh
# GWh
# GWh
# GWh

# GWh
# GWh
# GWh
# GWh
# GWh
```

## Vedlegg 3: Scenario 2 del 1

```

# Med vann:
Q_luft_v = Cp_blanding * Delta_T_v * Massestrøm * t

# Virkningsgrad
PEG_n_v = 9
TEG_n_v = 5
Stirling_n_v = 13.5
ORC_n_v = 5
ORC_C3_n_v = 7

# Temperatur
PEG_t_v = 100
TEG_t_v = 250
Stirling_t_v = 100
ORC_t_v = 80
ORC_C3_t_v = 70

# Varmen varmpumpen må tilføre for å heve temperaturen
PEG_Qv_v = Cp_blanding * Massestrøm * (PEG_t_v - Temp_v) * t
TEG_Qv_v = Cp_blanding * Massestrøm * (TEG_t_v - Temp_v) * t
Stirling_Qv_v = Cp_blanding * Massestrøm * (Stirling_t_v - Temp_v) * t
ORC_Qv_v = Cp_blanding * Massestrøm * (ORC_t_v - Temp_v) * t
ORC_C3_Qv_v = Cp_blanding * Massestrøm * (ORC_C3_t_v - Temp_v) * t

# Elektrisiteten varmpumpen bruker for å heve temperaturen
PEG_Q_v = (PEG_Qv_v / COP) / 10**6
TEG_Q_v = (TEG_Qv_v / COP) / 10**6
Stirling_Q_v = (Stirling_Qv_v / COP) / 10**6
ORC_Q_v = (ORC_Qv_v / COP) / 10**6
ORC_C3_Q_v = (ORC_C3_Qv_v / COP) / 10**6

# Produksjon av elektrisitet
PEG_el_v = ((PEG_Qv_v + Q_luft_v) * (PEG_n_v / 100)) / 10**6
TEG_el_v = ((TEG_Qv_v + Q_luft_v) * (TEG_n_v / 100)) / 10**6
Stirling_el_v = ((Stirling_Qv_v + Q_luft_v) * (Stirling_n_v / 100)) / 10**6
ORC_el_v = ((ORC_Qv_v + Q_luft_v) * (ORC_n_v / 100)) / 10**6
ORC_C3_el_v = ((ORC_C3_Qv_v + Q_luft_v) * (ORC_C3_n_v / 100)) / 10**6

```

# kWh (Varme som kan hentes direkte fra returstrøm)

# %  
# %  
# %  
# %  
# %

# °C  
# °C  
# °C  
# °C  
# °C

# kWh  
# kWh  
# kWh  
# kWh  
# kWh

# GWh  
# GWh  
# GWh  
# GWh  
# GWh

# GWh  
# GWh  
# GWh  
# GWh  
# GWh

## Vedlegg 4: Scenario 2 del 1

## Graf for stirlingmotor

```
# Stirlingmotor med vannkjøling:
COP_1 = 3
COP_2 = 3.5
COP_3 = 4

# Temperaturer
Temperaturer = [15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60]
Temperaturer_diff_100 = [100 - temp for temp in Temperaturer]
Temperaturer_diff = [temp - 12.5 for temp in Temperaturer]

# Varmen varmpumpen må tilføre for å heve temperaturen
Q_vann = [Cp_blanding * Massestrøm * diff for diff in Temperaturer_diff]
Q_varmpumpe = [Cp_blanding * Massestrøm * diff for diff in Temperaturer_diff_100]

# Elektrisiteten varmpumpen bruker for å heve temperaturen
El_varmpumpe_1 = [Q / COP_1 for Q in Q_varmpumpe]
El_varmpumpe_2 = [Q / COP_2 for Q in Q_varmpumpe]
El_varmpumpe_3 = [Q / COP_3 for Q in Q_varmpumpe]

# Produksjon av elektrisitet
El_produksjon_1 = [(Q_vann + Q_varmpumpe) * (Stirling_n_v / 100) for Q_vann, Q_varmpumpe in zip(Q_vann, Q_varmpumpe)]
El_produksjon_2 = [(Q_vann + Q_varmpumpe) * (Stirling_n_v / 100) for Q_vann, Q_varmpumpe in zip(Q_vann, Q_varmpumpe)]
El_produksjon_3 = [(Q_vann + Q_varmpumpe) * (Stirling_n_v / 100) for Q_vann, Q_varmpumpe in zip(Q_vann, Q_varmpumpe)]

# Forhold mellom strømforbruk og produsert strøm
Forholdstall_desimal_1 = [El_produksjon_1 / El_varmpumpe_1 for El_produksjon_1, El_varmpumpe_1 in zip(El_produksjon_1, El_varmpumpe_1)]
Forholdstall_prosent_1 = [forhold * 100 for forhold in Forholdstall_desimal_1]
Overproduksjon_1 = [forhold - 100 for forhold in Forholdstall_prosent_1]

Forholdstall_desimal_2 = [El_produksjon_2 / El_varmpumpe_2 for El_produksjon_2, El_varmpumpe_2 in zip(El_produksjon_2, El_varmpumpe_2)]
Forholdstall_prosent_2 = [forhold * 100 for forhold in Forholdstall_desimal_2]
Overproduksjon_2 = [forhold - 100 for forhold in Forholdstall_prosent_2]

Forholdstall_desimal_3 = [El_produksjon_3 / El_varmpumpe_3 for El_produksjon_3, El_varmpumpe_3 in zip(El_produksjon_3, El_varmpumpe_3)]
Forholdstall_prosent_3 = [forhold * 100 for forhold in Forholdstall_desimal_3]
Overproduksjon_3 = [forhold - 100 for forhold in Forholdstall_prosent_3]

import matplotlib.pyplot as plt

# Plot
plt.plot(Temperaturer, Overproduksjon_1, marker='o', linestyle='-', label = "COP 3")
plt.plot(Temperaturer, Overproduksjon_2, marker='o', linestyle='-', label = "COP 3.5")
plt.plot(Temperaturer, Overproduksjon_3, marker='o', linestyle='-', label = "COP 4")
plt.xlabel('Temperatur (°C)')
plt.ylabel('Andel overskuddsproduksjon (%)')
plt.title('Overskuddsproduksjon av strøm ved ulike returtemperaturer')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.ylim(-60, 60)
plt.show()
```

Vedlegg 5: Graf for stirlingmotor

## Graf ORC\_C3

```
# ORC_C3 med vannkjøling:
COP_ORC_1 = 3
COP_ORC_2 = 3.5
COP_ORC_3 = 4

# Temperaturer
Temperaturer_ORC = [15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60] # °C (Temperatur på returstrøm)
Temperaturer_diff_70_ORC = [70 - temp for temp in Temperaturer_ORC] # °C
Temperaturer_diff_ORC = [temp - 12.5 for temp in Temperaturer_ORC] # °C

# Varmen varmpumpen må tilføre for å heve temperaturen
Q_vann_ORC = [Cp_blanding * Massestrøm * diff for diff in Temperaturer_diff_ORC]
Q_varmpumpe_ORC = [Cp_blanding * Massestrøm * diff for diff in Temperaturer_diff_70_ORC]

# Elektrisiteten varmpumpen bruker for å heve temperaturen
EI_varmpumpe_ORC_1 = [Q / COP_ORC_1 for Q in Q_varmpumpe_ORC]
EI_varmpumpe_ORC_2 = [Q / COP_ORC_2 for Q in Q_varmpumpe_ORC]
EI_varmpumpe_ORC_3 = [Q / COP_ORC_3 for Q in Q_varmpumpe_ORC]

# Produksjon av elektrisitet
EI_produksjon_ORC_1 = [(Q_vann_ORC + Q_varmpumpe_ORC) * (ORC_C3_n_v / 100) for Q_vann_ORC, Q_varmpumpe_ORC in zip(Q_vann_ORC, Q_varmpumpe_ORC)]
EI_produksjon_ORC_2 = [(Q_vann_ORC + Q_varmpumpe_ORC) * (ORC_C3_n_v / 100) for Q_vann_ORC, Q_varmpumpe_ORC in zip(Q_vann_ORC, Q_varmpumpe_ORC)]
EI_produksjon_ORC_3 = [(Q_vann_ORC + Q_varmpumpe_ORC) * (ORC_C3_n_v / 100) for Q_vann_ORC, Q_varmpumpe_ORC in zip(Q_vann_ORC, Q_varmpumpe_ORC)]

# Forhold mellom strømforbruk og produsent strøm
Forholdstall_desimal_ORC_1 = [EI_produksjon_ORC_1 / EI_varmpumpe_ORC_1 for EI_produksjon_ORC_1, EI_varmpumpe_ORC_1 in zip(EI_produksjon_ORC_1, EI_varmpumpe_ORC_1)]
Forholdstall_prosent_ORC_1 = [forhold * 100 for forhold in Forholdstall_desimal_ORC_1]
Overproduksjon_ORC_1 = [forhold - 100 for forhold in Forholdstall_prosent_ORC_1]

Forholdstall_desimal_ORC_2 = [EI_produksjon_ORC_2 / EI_varmpumpe_ORC_2 for EI_produksjon_ORC_2, EI_varmpumpe_ORC_2 in zip(EI_produksjon_ORC_2, EI_varmpumpe_ORC_2)]
Forholdstall_prosent_ORC_2 = [forhold * 100 for forhold in Forholdstall_desimal_ORC_2]
Overproduksjon_ORC_2 = [forhold - 100 for forhold in Forholdstall_prosent_ORC_2]

Forholdstall_desimal_ORC_3 = [EI_produksjon_ORC_3 / EI_varmpumpe_ORC_3 for EI_produksjon_ORC_3, EI_varmpumpe_ORC_3 in zip(EI_produksjon_ORC_3, EI_varmpumpe_ORC_3)]
Forholdstall_prosent_ORC_3 = [forhold * 100 for forhold in Forholdstall_desimal_ORC_3]
Overproduksjon_ORC_3 = [forhold - 100 for forhold in Forholdstall_prosent_ORC_3]

import matplotlib.pyplot as plt

# Plot
plt.plot(Temperaturer_ORC, Overproduksjon_ORC_1, marker='o', linestyle='-', label = "COP 3")
plt.plot(Temperaturer_ORC, Overproduksjon_ORC_2, marker='o', linestyle='-', label = "COP 3.5")
plt.plot(Temperaturer_ORC, Overproduksjon_ORC_3, marker='o', linestyle='-', label = "COP 4")
plt.xlabel('Temperatur (°C)')
plt.ylabel('Andel overskudsproduksjon (%)')
plt.title('Overskudsproduksjon av strøm ved ulike returtemperaturer')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

Vedlegg 6: Graf for ORC-C3

## Utregning e-post

```
El_forbruk = 1166
PUE_M = 1.185
LK = 572160
Brukt_1 = 486275

# Strøm per GB
Strøm_GB = (El_forbruk / Brukt_1) * PUE_M
Strøm_GB_år = Strøm_GB * 12

# Størrelsen på e-postene
Ep_gjen_1 = 500
Ep_gjen = 500 / (1024 * 1024)
Ep_stor_1 = 5
Ep_stor = 5 / 1024

# Strøm for de ulike størrelsene på e-postene
Strøm_ep_gjen = (Strøm_GB_år * Ep_gjen) * 10**3
Strøm_ep_stor = (Strøm_GB_år * Ep_stor) * 10**3

# Utslipp
U_e = 242

# Utslipp for de ulike størrelsene på e-postene
U_ep_gjen = (U_e * Strøm_ep_gjen)
U_ep_stor = (U_e * Strøm_ep_stor)

# "Besparte" utslipp hvis folk sletter e-poster
Innb_n = 5550203
A_s_ep_gjen = (U_ep_gjen * Innb_n * 365) / 1000
A_s_ep_stor = (U_ep_stor * Innb_n

# Utslipp fra en personbil for sammenligning
U_b = 69.5 / 1000

# Antall km bilen kan kjøre
B_k_gjen_d = A_s_ep_gjen / U_b
B_k_gjen_en = A_s_ep_gjen_en / U_b

# kWh (For et rack per måned)
# (Microsoft sin PUE)
# GB (Lagringsskapasiteten for ett rack)
# GB (Brukt Lagring)

# kWh/GB (Strømforbruket per GB per måned)
# kWh/GB (Strømforbruket per GB per år)

# kB (Gjennomsnittlig e-post)
# GB (Gjennomsnittlig e-post. Det er 1024 kB i en MB)
# MB (Stor e-post)
# MB (Stor e-post. Det er 1024 MB i en GB)

# Wh (Strømmen en gjennomsnittlig e-post bruker)
# Wh (Strømmen en stor e-post bruker)

# g CO2e/kWh (CO2-ekvivalenten for utslipp i Europa)

# kg CO2e (Utslipp fra en gjennomsnittlig e-post)
# kg CO2e (Utslipp fra en stor e-post)

# Antall innbygere i Norge
# kg CO2e (Hvis alle i Norge sletter en e-post daglig i et år)
# kg CO2e (Alle sletter én e-post)

# kg CO2e/km (Utslippet fra en gjennomsnittlig personbil)

# km (Viser hvor langt en bil kan kjøre hvis alle i Norge sletter en e-post daglig i et år)
# km (Viser hvor langt en bil kan kjøre hvis alle i Norge sletter kun én e-post)
```

Vedlegg 7: CO2 utslipp fra e-post

Valutakurs EUR to NOK	9,6073		Totalt antall år	Kontantstrøm	Diskonteringsrente	Nåverdi
Valutakurs SEK to NOK	0,9685		0	-12878700	100	
Investeringskostnad [NOK/modul] 2017	3292900		1	1346415,72	1	kr 21 652 677,27
Installasjonskostnad [NOK/modul]	1000000		2	1346415,72	1,5	kr 19 169 065,83
Service & support [NOK/år]	67251,1		3	1346415,72	2	kr 16 937 490,03
ClimateOn Live [NOK/år]	48036,5		4	1346415,72	2,5	kr 14 928 951,19
			5	1346415,72	3	kr 13 118 099,37
			6	1346415,72	3,5	kr 11 482 743,06
ORC effekt [kW/år]	1647,04	(fra el-prod. ORC-C3)	7	1346415,72	4	kr 10 003 428,33
Timer ORC/varmepumpe i året [h/år]	1680	Antatt driftstid	8	1346415,72	4,5	kr 8 663 077,13
ORC produsert elektrisitet [kWh/år]	2767027,2		9	1346415,72	5	kr 7 446 675,92
Varmpumpe forbruk elektrisitet [kWh/år]	1374928,8	(fra el varmpumpe ORC-C3)	10	1346415,72	5,5	kr 6 341 007,55
ORC netto elektrisitet [kWh/år]	1392098,4		11	1346415,72	6	kr 5 334 419,85
			12	1346415,72	6,5	kr 4 416 625,84
Strømpris [NOK/kWh]	1,05		13	1346415,72	7	kr 3 578 530,95
Besparelse strøm [NOK/år]	1461703,32		14	1346415,72	7,5	kr 2 812 083,47
			15	1346415,72	8	kr 2 110 144,88
Modul effekt [kW/modul]	150		16	1346415,72	8,5	kr 1 466 377,38
Timer i året [h/år]	8760		17	1346415,72	9	kr 875 146,15
Antall moduler	2.10580457		18	1346415,72	9,5	kr 331 434,32
Antall moduler (heltall)	3		19	1346415,72	10	-kr 169 231,06
Modul driftstimer [h/år]	6148,94933		20	1346415,72	10,5	-kr 630 843,60
			21	1346415,72	11	-kr 1 056 973,89
Tilbakebetalingsperiode [År]	7,33703555		22	1346415,72	11,5	-kr 1 450 818,74
			23	1346415,72	12	-kr 1 815 244,36
			24	1346415,72		
			25	1346415,72		
			26	1346415,72		
			27	1346415,72		
			28	1346415,72		
			29	1346415,72		
			30	1346415,72		

Vedlegg 8: CO2 utslipp fra e-post

