



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
MINA

Utnyttelse av overskuddsenergi fra datasentre

- Avgjørende faktorer for utnyttelse av overskuddsenergi fra
datasentre til fjernvarmenett ved bruk av varmepumpeteknologi

Tore Kristian Aunevik
Fornybar Energi

1 FORORD

Utbygging av nye datasentre og bruk av elektrisk energi til dataservertorer vokser eksponentielt. Samtidig fokuserer stadig flere bedrifter på bærekraftige forretningsstrategier. Dette danner grunnlaget for å forske på hvordan overskuddsenergi fra datasentre kan utnyttas og integreres i eksisterende energisystemer. Formålet med denne masteroppgaven er å undersøke potensialet for å bruke varmepumpeteknologi til å utnytte overskuddsvarme fra datasenterindustrien til eksisterende fjernvarmenett.

Prosjektet hadde sin oppstart i januar 2019 hvor jeg fikk en dyktig veileder, Thomas Martinsen, førsteamanuensis ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning på NMBU. Ingeniørselskapet COWI og fjernvarmeleverandøren Fortum Oslo Varme har vært viktige bidragsyttere i prosjektet.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min veileder Thomas for flere gode samtaler på kjøkkenbenken og relevante tilbakemeldinger underveis. Videre vil jeg takke Alert Holtman i COWI og Anders Westin i Fortum Oslo Varme for innledende møter og en interessant diskusjon rundt oppgavens case. Stor takk til Oda Storhaug i Fortum Oslo Varme for lån av skrivebord i fire uker i Fortums lokaler. Du har gitt meg en god pedagogisk innføring i modelleringsverktøyet Termis som har vært avgjørende for arbeidet mitt. Til slutt vil jeg rette en enorm takk til min nærmeste familie for støtten dere har gitt meg underveis, og ikke minst til min fantastiske kjæreste Anette som har løftet humøret mitt utallige ganger gjennom skriveprosessen.

Sted: Oslo
Dato: 15.05.2019



Tore Kristian Aunevik

2 SAMMENDRAG

DigiPlex er et datasenter lokalisert på Ulven i Oslo. DigiPlex, som andre aktører i bransjen, er interessert i å drifte sine komponenter på en lønnsom og bærekraftig måte. Med utgangspunkt i denne etterspørselen har COWI og Fortum Oslo Varme gjennomført et forprosjekt for å undersøke mulighetene for å tilknytte datasenteret til Fortums fjernvarmenett ved bruk av varmepumpeteknologi. Forprosjektet danner grunnlaget for casen og problemstillingen i dette forskningsprosjektet:

Avgjørende faktorer for utnyttelse av overskuddsenergi fra datasentre til fjernvarmenett ved bruk av varmepumpeteknologi

- *Hvilke konsekvenser skaper ulik temperatur fra varmepumpen for, eksisterende kunder, når den er lavere enn temperaturen i turledningen i fjernvarmenettet?*
- *Hvor relevant er systemets plassering i fjernvarmenettet?*

Modelleringsverktøyet Termis er brukt som metode i prosjektet. Fortums grunnmodell over fjernvarmenettet i Oslo brukes som utgangspunkt for en ny modell med datasentertilknytning ved DigiPlex på Ulven og Klemetsrud. Ved disse to plasseringene gjennomføres simuleringer for tre ulike utetemperaturer og to forskjellige driftstemperaturer fra den datasentertilknyttede varmepumpen.

Basert på tolv simuleringer i Termis, kan det argumenteres for at en datasentertilknyttet varmepumpe på 9 MW, som leverer 85 °C til tilførselssiden i Fortums fjernvarmenett i Oslo, *ikke* gir utfordringer kundene. Dette gjelder ved utetemperaturer under 0 °C. Sannsynligvis vil det heller ikke oppstå utfordringer dersom varmepumpen leverer tilsvarende effekt og 70 °C til tilførselssiden. Det er derimot noe usikkerhet knyttet til denne antagelsen. Ved utetemperaturer opp mot 20 °C vil varmepumpen utgjøre en større forskjell på tilførselstemperaturen i nettet, og sannsynligvis ikke kunne levere 9 MW. Denne antagelsen er det knyttet stor grad av usikkerhet til grunnet feilmargin i metoden.

Plasseringen av den datasentertilknyttede varmepumpen har neglisjerbar betydning for resultatene.

3 ABSTRACT

DigiPlex is a data center located at Ulven in Oslo. DigiPlex, like other players in the market, is interested in operating its components in a profitable and sustainable manner. Based on this demand, COWI and Fortum Oslo Varme have carried out a preliminary project to investigate the possibilities of connecting the data center to Fortum's district heating network using heat pump technology. The preliminary project forms the basis for the case and the topic question in this research project:

Crucial factors for utilizing spillover energy from data centers to district heating networks using heat pump technology

- *What consequences do different temperatures from the heat pump create for existing costumers when it is lower than the temperature in the supply line in the district heating network?*
- *How relevant is the system's location in the district heating network?*

The modeling tool Termis is used as a method in the project. Fortum's basic model of the district heating network in Oslo is used as a starting point for a new model with data center connection at DigiPlex at Ulven and Klemetsrud. Simulations have been carried out for both locations, at three outdoor temperatures and two different operating temperatures from the heat pump that are associated with the data center - a total of twelve simulations.

Based on twelve simulations in Termis, it can be assumed that a data center-connected heat pump of 9 MW that delivers 85 ° C to the supply side in Fortum's district heating network in Oslo, does not present challenges for Fortum's customers. This applies to outdoor temperatures below 0 ° C. Likewise, there will probably not be any challenges if the heat pump delivers equivalent power and 70 ° C to the supply side, but there is a greater degree of uncertainty associated with this assumption. At outdoor temperatures up to 20 ° C, the heat pump will make a greater difference to the supply temperature in the grid and will probably not be able to deliver 9 MW. This assumption, on the other hand, is associated with a high degree of uncertainty.

The location of the data center and the heat pump has a negligible effect on the results.

Innholdsfortegnelse

1	FORORD.....	3
2	SAMMENDRAG.....	4
3	ABSTRACT	5
4	INNLEDNING	8
5	LITTERATUR.....	10
6	TEORI.....	11
6.1	FJERNVARME	11
6.2	KJØLING AV DATASENTRER.....	12
6.3	VARMEPUMPETEKNOLOGI.....	12
7	TERMIS.....	13
7.1	TERMIS SOM MODELLERINGSVERKTØY	13
7.2	FORTUM OSLO VARMES GRUNNMODELL	16
8	METODE	18
8.1	FRAMGANGSMÅTE FOR OPPBYGNING AV NY MODELL	18
9	CASE: DATASENTRER PÅ ULVEN OG KLEMETSROD.....	20
9.1	DAGENS KJØLELØSNING VED DIGI-PLEX PÅ ULVEN	20
9.2	DATAGRUNNLAG	21
9.3	SYSTEMBESKRIVELSE	22
9.4	VALG FORETATT I OPPBYGNING AV NY MODELL MED EN DATASENTER- TILKNYTTET VARMEPUMPE.....	24
9.5	SIMULERINGER GJENNOMFØRT I DEN NYE MODELLEN	28
10	RESULTATER	29
10.1	SIMULERING VED $T_{UTE} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	29
10.2	SIMULERING VED $T_{UTE} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	31
10.3	SIMULERING VED $T_{UTE} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	33
11	DISKUSJON	36
11.1	KONSEKVENSER VED LAV TILFØRSELSTEMPERATUR FRA VARMEPUMPEN	36
11.2	RELEVANSEN AV SYSTEMETS Plassering i fjernvarmenettet.....	38
11.3	GENERALISERBARE FUNN	39
11.4	FORDELER OG ULEMPER MED BRUK AV VARMEPUMPETEKNOLOGI	40
11.5	USIKKERHET	40
11.6	VEIEN VIDERE	42
12	KONKLUSJON.....	44
13	TERMINOLOGIOVERSIKT	45
14	BIBLIOGRAFI	46
15	VEDLEGG	47
	VEDLEGG 1: UTREGNING AV RØRDIMENSJON FOR SCENARIO MED $T_{VP} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	48

4 INNLEDNING

Datasenterindustrien er en av de raskest voksende næringene på verdensbasis. Mengden innsamlet og generert data vokser eksponentielt på internasjonalt nivå. Årlig global IP-trafikk ble i 2016 målt til 1,2 zettabytes (ZP). Dette tallet forventes å tredobles innen 2021 (Kleyman, 2018). Inntreffer prediksjonene fra analysen vil det resultere i en tilsvarende utbyggingsetterspørsel av nye datasentre og økt energietterspørsel fra den kraftkrevende industrien.

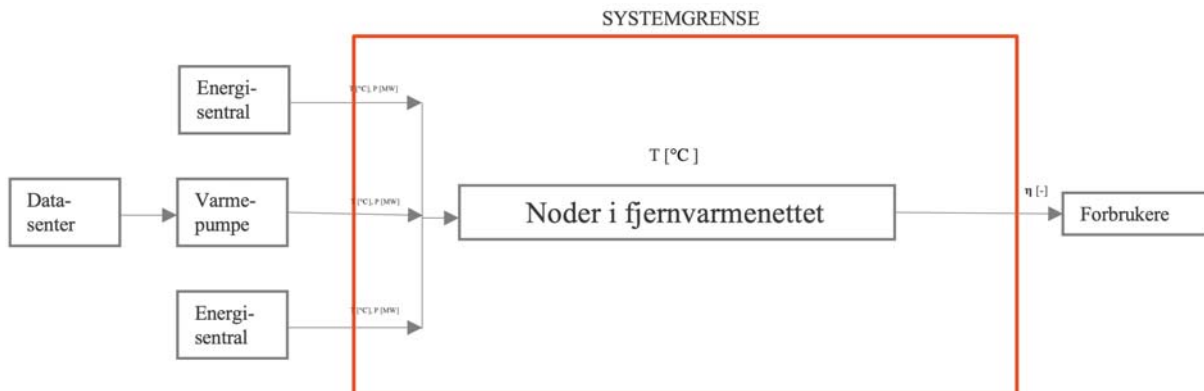
Norge ble i 2016 rangert som nr. to på Cushman & Wakefields risikoindeks over best egnede land for etablering av datasentre – like bak Island. Analysen baserer seg på parameterne som kraftpris, internasjonal båndvidde, skattesatser for bedrifter og et generelt mål på enkelheten til å drive næring i landet. Menon Economics gjennomførte også i 2017 en omfattende ringvirkningsanalyse for å undersøke hvilken økonomisk gevinst økt satsting på datasenterutbygging potensielt vil kunne gi Norge. Studien konkluderer med at et stort datasenter vil gi sysselsetting av over 6800 årsverk over en 12 års periode og gi en verdiskapning på over 5,2 milliarder kroner over den samme perioden (Grünfeld *et al.*, 2017). I «Meldt. St. 27» om Digital Agenda for Norge (2015-2016) presenterer Stortinget et tydelig mål om å stimulere til at Norge styrker sin posisjon som attraktiv lokasjon for etablering av grønne datasentre. Reduserte satser for el-avgiften til større datasentre ble i den forbindelse vedtatt som et økonomisk virkemiddel for en slik stimulering. I den samme stortingsmeldingen fastslår regjeringen at det skal «utarbeides en strategi for samfunnsøkonomisk lønnsom utvikling av store datasentre i Norge» (Meld. St. 27, 2015-2016, s.183).

Studier utført av blant annet Ebrahimi, K. *et al.* (2014) viser at termisk energi fra datasentre kan gjenvinnes gjennom direkte romoppvarming, sorptiv kjøling, kraftgenerering i en organisk Rankine-syklus og samlokalisering av biomasse for tørking. Hvis datasenteret plasseres i nærheten til eksisterende fjernvarmenett øker mulighetene for varmegjenvinning ytterligere. Det foreligger derimot lite forskning rundt tilknytning av datasenter til fjernvarmenett med høy driftstemperatur. Dette danner grunnlaget for oppgavens undertittel og problemstilling.

Avgjørende faktorer for utnyttelse av overskuddsenergi fra datasentre til fjernvarmenett ved bruk av varmepumpeteknologi

- *Hvilke konsekvenser skaper ulik temperatur fra varmepumpen for, eksisterende kunder, når den er lavere enn temperaturen i turledningen i fjernvarmenettet?*
- *Hvor relevant er systemets plassering i fjernvarmenettet?*

Systemet avgrenses fra varmepumpen ved datasenteret til forbrukerne i fjernvarmenettet. Dette er illustrert ved oransje ramme i *Figur 1*. Gjennomgående i oppgaven blir det referert til «varmepumpen» i entall. Det er ikke gitt at det vil være mest hensiktsmessig å bruke én enhet. Sannsynligvis vil det være mer lønnsomt å installere flere varmepumper med lavere effekt.



Figur 1: Oppgavens systemgrense. Oransje ramme markerer at nodene i fjernvarmenettet vil være hovedfokus i analysen. Tekniske detaljer rundt varmepumpen eller tilstanden ved de ulike forbrukerne vil ikke vektlegges.

5 LITTERATUR

Det er gjennomført studier på hvordan ulike fornybare energikilder bør tilknyttes fjernvarmenett med lav driftstemperatur (60-80 °C). Rapporter fra Finland konkluderer med at det vil være lønnsomt å introdusere flere større varmepumper til eksisterende nett i landet.

I Råma, M. og Sipilä, K (2017) sin analyse av overgang fra høytemperatur fjernvarmenett til lavtemperatur fjernvarmenett presenteres ulike konsekvenser ved å introdusere lavtemperatur fornybare energikilder til høytemperatur fjernvarmenett. Rapporten konkluderer på generelt grunnlag at redusert driftstemperatur vil øke systemets virkningsgrad og muliggjøre tilknytning av flere fornybare energikilder. Videre viser studien til hvordan redusert temperatur vil kunne gi effektproblemer for fjernvarmekunder og medføre behov for utbedringer på sekundærsiden av nettet. Avslutningsvis anbefaler forskerne å bruke rapportens resultater som grunnlag for en case studie.

Wahlroos, M. *et al.* (2017) gjennomførte en analyse av hvilken verdi datasentre kan bringe til lavtemperatur fjernvarmenett. Forskerne konkluderer at ved å introdusere varmepumper fra datasentre til fjernvarmenett, vil datasenteraktørene kunne spare 0,6-7,3 % i årlige driftskostnader avhengig av størrelse på avlevert energi (18,7 MW-58,5 MW).

Forskning utført av Ebrahimi, K. *et al.* (2014) over ulike teknologier for utnyttelse av spillvarme fra datasentre, trekker fram sorptiv kjøling og kraftgenerering gjennom en organisk Rankine-syklus som de best egnede teknologiene. Forskerne har ikke undersøkt muligheten for å knytte datasenteret opp mot et fjernvarmenett ved bruk av varmepumpeteknologi.

Overnevnte studier nevner hvordan varmepumper vil gi flere positive ringvirkninger for et fjernvarmenett med lav driftstemperatur. Videre tydeliggjøres potensialet for å utnytte overskuddsenergi fra datasentre ved bruk av ulike teknologier. Lite forskning foreligger rundt konsekvensene ved å introdusere en varmepumpe som leverer temperaturer under driftstemperaturen i fjernvarmenettet. Denne oppgaven vil derfor forsøke å tilføre kunnskap til hvordan varmepumper med slike egenskaper påvirker fjernvarmenett med høy driftstemperatur.

6 TEORI

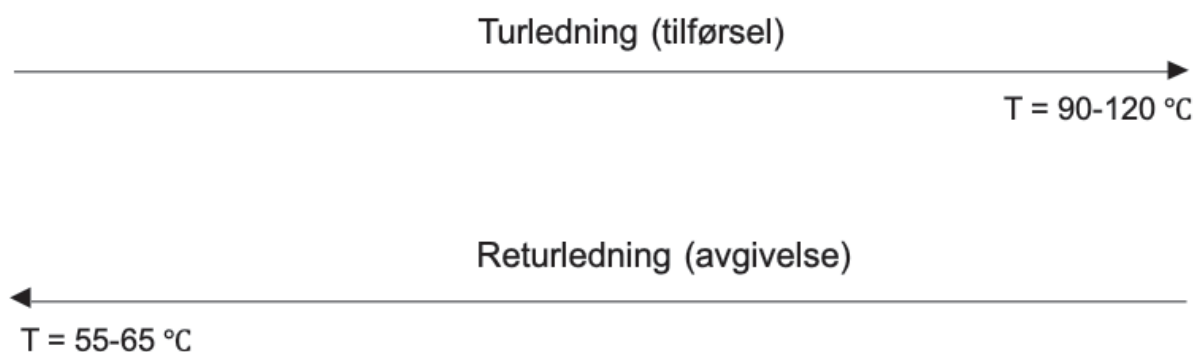
Teorikapittelet er delt inn i tre underkapitler. Først presenteres en generell beskrivelse av fjernvarmeteknologi. Videre beskrives vanlige kjølemetoder for datasentre. Avslutningsvis følger en kort forklaring av varmepumpers funksjonalitet og potensiale.

6.1 Fjernvarme

Fjernvarme baserer seg på prinsippet om å varme opp væske ved Lokasjon A og transportere væsken til Lokasjon B for utnyttelse av energien. I fjernvarmeleverandørens energisentral(er) varmes vann opp ved bruk av energikilder som biobrensel, geotermisk energi, fornybar energi og fossile brensler. Oppvarmet vann transporteres med sirkulasjonspumper til kundene i et lukket rørsystem. Tilførselsrøret, også kalt turledningen, i et høytemperaturnett vil vanligvis ha en temperatur på 90-120 °C. Parallelt med turledningen er det installert en returledning, som fører avkjølt vann tilbake til energisentralen for ny oppvarming. Returvannet holder vanligvis en temperatur på 50-70 °C. *Figur 2* viser hvordan tur- og returledningen ligger parallelt, men transporterer væsken i ulik retning.

Etterspørselen etter fjernvarme har korrelasjon til blant annet årstid, varierende utetemperatur og avstand til nærmeste energisentral.

En forutsetning for å være fjernvarmekunde er et vannbårent energisystem i bygget. Kundene har i tillegg en varmeveksler som knutepunkt mellom sitt bygg og nettet, som overfører energi uten fysisk kontakt mellom væskestrømmene.



Figur 2: Tur- og returledning i et fjernvarmenett.

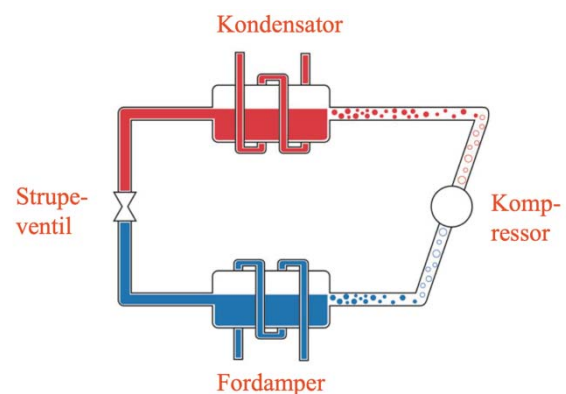
6.2 Kjøling av datasentre

Drift av datasentre er en kraftkrevende industri med stort kjølebehov, ettersom elektrisk energi blir omgjort til termisk energi i datasentrene. Overskuddsenergien må fjernes for å unngå overopphetning.

Flere datasentre i Norge bruker frikjøling i fjellet. I slike tilfeller driver en sirkulasjonspumpe kjølevæsken mellom grunnfjellet og kjøleavgiveren i datahallen. Tilsvarende kan sjøvann eller elver brukes til å senke temperaturen til en kjølekrets. I motsetning kan datasentre uten tilknytning til fjell eller vann, bruke tørrkjølere (vifter) som utnytter temperaturforskjellen i uteluften. Grunnet tørrkjøleres begrensede kapasitet vil det ofte være nødvendig med et sekundært kjølesystem. Eksempelvis kan dette være en kjølemaskin, som tas i bruk ved stigende utetemperaturer. Fjernkjølenett kan også fungere som primær kjøleløsning der tilknytningsmulighet foreligger.

6.3 Varmepumpeteknologi

Varmepumper utnytter termodynamiske prinsipper i faseendringen mellom væske og gass. Maskinen består av fire hovedkomponenter: en fordamper, kompressor, kondensator og strupeventil. Sammensetningen av de fire komponentene er illustrert i *Figur 3*.



Figur 3: De fire hovedkomponentene i en varmepumpe.

Fordamperen inneholder et arbeidsmedium med lavt kokepunkt. Her vil omgivelsene overføre termisk energi til væskens kokepunkt nåes.

Videre stiger arbeidsmediets energiinnhold når væsken fordamper. Kompressoren utfører mekanisk arbeid på systemet, som øker gassens trykk og temperatur. Arbeidsmediet føres videre til en kondensator som avgir termisk energi til omgivelsene. Her avgis det nok energi til at arbeidsmediet endrer fase fra gass til væske. Til slutt senker strupeventilen arbeidsmediets trykk og tilbakestillar arbeidsmediet til utgangspunktet før fordamperen.

En varmepumpe kan fungere som en kombinert kjøle- og oppvarmingsmaskin. Omgivelsene blir avkjølt ved fordamperen og oppvarmet ved kondensatoren.

7 TERMIS

Resultatene i oppgaven er generert fra simuleringer gjennomført i modelleringsprogrammet Termis. Termis er et hydraulisk modelleringsverktøy som simulerer termiske tilstander, trykk og væskestrømninger i et fjernvarmenett.

Gjennom historien har driftsoperatører av fjernvarmenett regulert energileveransen kun basert på temperatur, trykk og volumstrøm ved energisentralen. Informasjonen var begrenset til hvor mye energi som forlot sentralen i tilførselsledningen, og hvor mye som returnerte i returledningen. Utover dette var det problematisk å få oversikt over status ellers i nettet. Varsling om lekkasjer, unødvendig varmetap og øvrig informasjon var utilgjengelig.

Fjernvarmeselskaper som i dag bruker Termis, kan modellere og simulere driften til hele sitt fjernvarmenett. Verktøyet gir en detaljert oversikt over forventet tilstand i anlegget, hvor stikkprøver på strategiske punkter i rørsystemet kan indikere avvik fra forventet status. Ved tilknytning av nye forbrukere eller energisentraler, vil operatøren få mer informasjon om hvordan den nye installasjonen vil påvirke øvrig infrastruktur. Således gir verktøyet mulighet til å vurdere konsekvensen av nye tilkoblinger, og et bedre grunnlag for å optimalisere driften av anlegget.

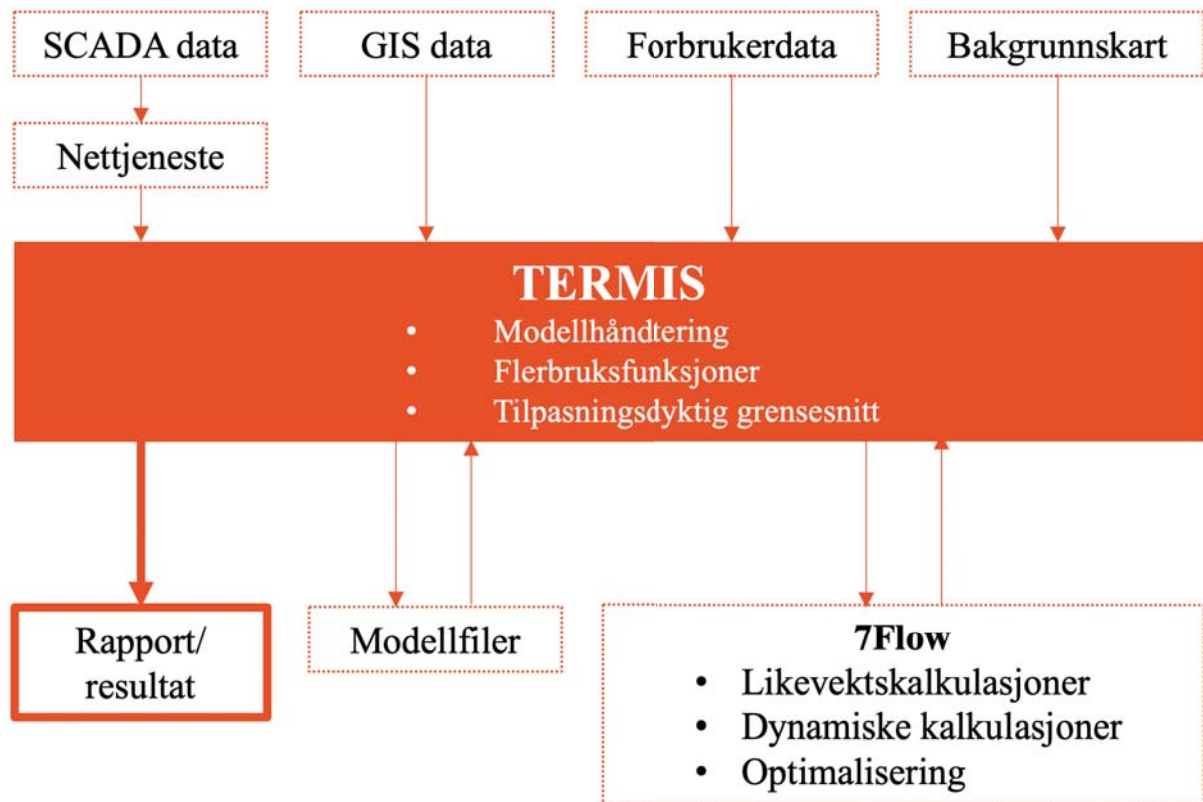
Termis ble sluppet på markedet i 1987 i samarbeid med ulike fjernvarmeaktører. I dag benyttes simuleringsprogrammet i over 500 distribusjonsnettverk på verdensbasis. Utviklerne av Termis estimerer at informasjonen ved energisentralen kun representerer 20 prosent av tilstanden i systemet. De påstår derimot at Termis med sine modelleringsfunksjoner gir driftsoperatørene tilgang til de resterende 80 prosentene av informasjonen i fjernvarmenettet.

Dette kapittelet inneholder en generell presentasjon av Termis som modelleringsverktøy og en beskrivelse av Fortums grunnmodell over fjernvarmenettet i Oslo. Sammen danner disse underkapitlene grunnlaget for metoden og casen i oppgaven.

7.1 Termis som modelleringsverktøy

Termis er et digitalt modelleringsprogram som beregner og simulerer scenarier basert på ulike inputparametere. I likhet med andre modelleringsverktøy avhenger kredibiliteten til resultatene av nøyaktigheten til inputparameterne. I denne sammenhengen henter Termis inputdata fra fire

hovedkategorier: (a) SCADA-data, (b) GIS-data, (c) forbrukerdata og (d) bakgrunnskart. *Figur 4* illustrerer hvordan programmet bruker disse parameterne til å regne ut resultater.



Figur 4: Flytskjema over Termis sin oppbygning og funksjonalitet. (Schneider Electric, 2012)

(a) SCADA er et begrep innenfor automasjon som omhandler overvåking og styring av industrielle prosesser. Dette er relevant data ved sykliske optimaliseringssimuleringer over tid, og ikke like relevant for øyeblikkssimuleringer i Termis. (b) GIS-data (geografisk informasjonssystem) er informasjon knyttet til en bestemt geografisk posisjon. Et eksempel på slik data er værdata (årsmiddeltemperatur) ved en node i fjernvarmenettet. For øyeblikkssimuleringer vil det være tilstrekkelig med GIS-data for enkeltscenarioet som skal simuleres – f. eks. normal drift i fjernvarmenettet ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$. Ved gjentakende sykliske simuleringer for beregnet energietterspørsel, vil det være nødvendig å knytte modellen opp mot stadig oppdatert informasjon fra en værdataleverandør. (c) Forbrukerdata er informasjon knyttet til energi- og effektforbruk ved alle kundesentraler i nettet. (d) Bakgrunnskartet i Termis hjelper å visualisere rørføringer og tilknytningspunkter på eksakt geografisk lokasjon. Det er mulig å bygge en fjernvarmemodell uten bakgrunnskart, men det vil da fungere som en prinsippmodell ettersom det ikke vil foreligge informasjon angående plasseringen til den aktuelle infrastrukturen.

I tillegg til inputdata inneholder Termis funksjoner for optimalisering og bruk av eksisterende modeller; (d) 7Flow og (e) Modellfiler. (d) 7Flow er navnet på funksjonaliteten i Termis som foretar tidsinnstilte optimaliseringssimuleringer. Eksempelvis vil en slik syklisk simulering være en daglig simulering av et fjernvarmenett med oppdaterte værdata som predikerer energietterspørselen til det aktuelle området én uke fram i tid. Eksisterende (e) modellfiler blir ofte benyttet som utgangspunkt for nye simuleringer i Termis, selv om det er mulig å bygge opp modeller i fra start. En modellfil vil ofte være den reelle modellen til et fjernvarmeselskap, som representerer fjernvarmenettet på nåværende tidspunkt. Basert på en slik grunnmodell vil man kunne tilføre eller fjerne elementer i modellen og undersøke hvilket utslag det gir for resultatene i rapportene.

Termis-utviklerne har laget en brukermanual (Schneider Electric, 2012) som gjennomgår oppbygningen av en modell, hvilke parametere som må defineres for ulike objekter og hvordan verktøyet skal anvendes for å oppnå ønsket resultat. De viktigste inputdataene knyttet til produksjon og forbruk i fjernvarmenettet presenteres i Tabell 1.

Tabell 1: Viktige parametere i en fjernvarmemodell i Termis.

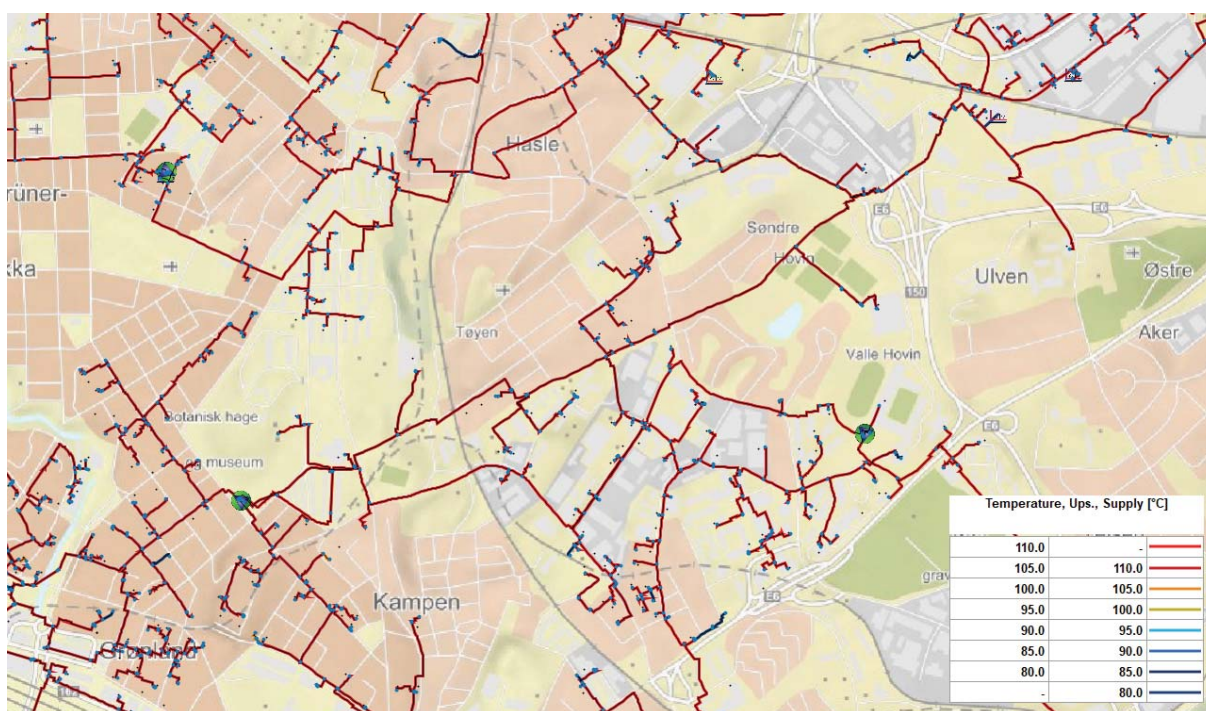
Objekt i Termis	Nødvendig informasjon	Enhet
Energisentral	Turtemperatur ut fra produksjonssentralen	[°C]
	Kapasitet til energisentralen	[W]
Rørstrekning	Dimensjon på turledningen	[mm]
	Dimensjon på returledningen	[mm]
Forbruker	Volumstrøm eller effektuttak	[m ³ /s eller kW]
	Returtemperatur eller temperaturdifferanse	[°C]
	Virkningsgraden til varmeveksleren	-

Energisentralene og rørstrekkene godt markert i programmet (se *Figur 5*). Termis opererer med noder som knutepunkter for forbrukerne i nettet. Av den grunn er fremstilles ikke detaljer om hver enkelt forbruker. Selv om samtlige kunder er lagt inn i modellen, vil det i de fleste tilfeller ikke være nødvendig å hente ut informasjon om hver forbruker i nettet. Termis er derfor bygget opp slik at forbrukere i nettet tilknyttes en node. Hver node kan i prinsippet være tilknyttet én til uendelig mange forbrukere. Normalt vil en node i gjennomsnitt være tilknytningspunkt for ca. 30 forbrukere. Nodene er kun et verktøy i modellen, og har ingen praktisk funksjon utover

å lage en felles rapport om kundesentralene i sitt nærområde. Dette gir effektiv komprimering av datagrunnlaget ved eksport av en modell. I stedet for å hente ut data fra 150 000 forbrukere, trenger man kun å hente ut data fra 5000 noder.

7.2 Fortum Oslo Varmes grunnmodell

Fortum Oslo Varme har bygget en grunnmodell over sitt fjernvarmenett i Oslo. Modellen er en digital representasjon av alle eksisterende energisentraler, rørstrekk og forbrukere (se *Figur 5*). Fortum bruker Termis som et effektivt verktøy for å simulere en foreslått endring opp mot infrastrukturen i resten av fjernvarmenettet.



Figur 5: Utsnitt av Fortums modell i Termis ved Ulven i Oslo. Nodene illustreres ved blå punkter. Forbrukerne (sort prikk) er tilknyttet ulike noder. Kilde: Skjerm bilde fra Fortums Termis-modell.

Fortums fjernvarmenett har begrenset kapasitet knyttet til produksjon i energisentralene, pumpedrift og rørføringer. Termis har ingen funksjon for å motta automatisk feilmelding ved overskridelse av skrankene. Med hensyn til dette må det gjennomføres en manuell kontroll av kritiske skranker som presenteres i Tabell 2.

Tabell 2: Skranker i Fortums fjernvarmenett i Oslo. Kilde: Fortum Oslo Varme

Beskrivelse			Enhet
Returtrykk Klemetsrud	>	200	kPa
Returtrykk Valle Hovin	>	200	kPa
Løftehøyde Valle Hovin	<=	850	kPa
Generelt turtrykk i nettet	<	25	bar
Generelt dif. trykk i nettet	>	50	kPa
Volumstrøm Klemetsrud	<	1900	m ³ /h
Væskehastighet i nettet	<	5	m/s

8 METODE

I dette kapittelet presenteres en generell beskrivelse av hvordan simuleringer av datasentre ved ulike scenarier gjennomføres i Termis. Beskrivelsen danner grunnlaget for valgene som er foretatt i casen i kapittel 9.4.

8.1 Framgangsmåte for oppbygning av ny modell

En ny Termis-modell med en datasentertilknyttet varmepumpe opprettes med utgangspunkt i Fortums grunnmodell. Beskrivelsen av fremgangsmåten deles inn i tre seksjoner:

1. Modellering av datasentertilknyttet varmepumpe ved ulike plasseringer i nettet
2. Justering av modellen etter ulike utetemperaturer
3. Øyeblikkssimulering ved ulike plasseringer og forskjellige utetemperaturer med varierende tilførselstemperatur fra varmepumpen

1. Modellering av datasentertilknyttet varmepumpe ved ulike plasseringer i nettet

Først installeres datasentrene ved ønskede lokasjoner i fjernvarmeleverandørens grunnmodell. Under følger en punktvis oversikt over prosessen.

- a. Installer en node (Node A) i hovedkretsen til fjernvarmenettet ved en slik plassering at avstanden til den nye energisentralen (datasenteret) blir kortest mulig.
- b. Sett inn en ny node (Node B) der datasenteret har sin eksakte posisjon. Definer høyden til Node B.
- c. Sett inn et rørstrekk av riktig dimensjon mellom Node A og Node B.
- d. Erstatt Node B med en «plant» (energisentral). Definer total effekt for energisentralen og hvilken tilførselstemperatur energisentralen vil forsyne turledningen med.

2. Justering av modellen etter ulike utetemperaturer

Videre opprettes ulike scenarier for ønsket antall utetemperaturer. Under følger en punktvis oversikt over fremgangsmåten.

- a. Juster energietterspørselen i fjernvarmenettet etter ønsket utetemperatur.
- b. Juster effekten og tilførselstemperaturen til de ulike energisentralene.
- c. Tilpass den generelle avkjølingen til forbrukerne i nettet.
- d. Tilpass pumpetrykket i nettet og kontroller at alle skranker er oppfylt.

3. Øyeblikkssimulering ved ulike plasseringer og forskjellige utetemperaturer med varierende tilførselstemperatur fra varmepumpen

Til slutt gjennomføres simuleringer ved hver lokasjon og hver utetemperatur for ulike driftstemperaturer fra varmepumpen. Under følger en punktvis oversikt over fremgangsmåten.

- a. Kontroller at datasenteret som skal simuleres står med ønsket installert effekt og tilførselstemperatur. Øvrig(e) datasenter(e) settes i standby på 0 MW. (Se Pkt. 1d.)
- b. Sjekk at energileveransen i nettet er innstilt etter riktig utetemperatur. Kontroller også at andre parametere stemmer overens med scenarioet som skal simuleres. (Se Pkt. 2a.-d.)
- c. Gjennomfør øyeblikkssimulering og eksporter data når simuleringen er ferdig.

Pkt. 3a.-c. gjentas til det er gjennomført simuleringer for alle ønskelige plasseringer, utetemperaturer og tilførselstemperaturer fra varmepumpen.

9 CASE: DATASENTRE PÅ ULVEN OG KLEMETSRUD

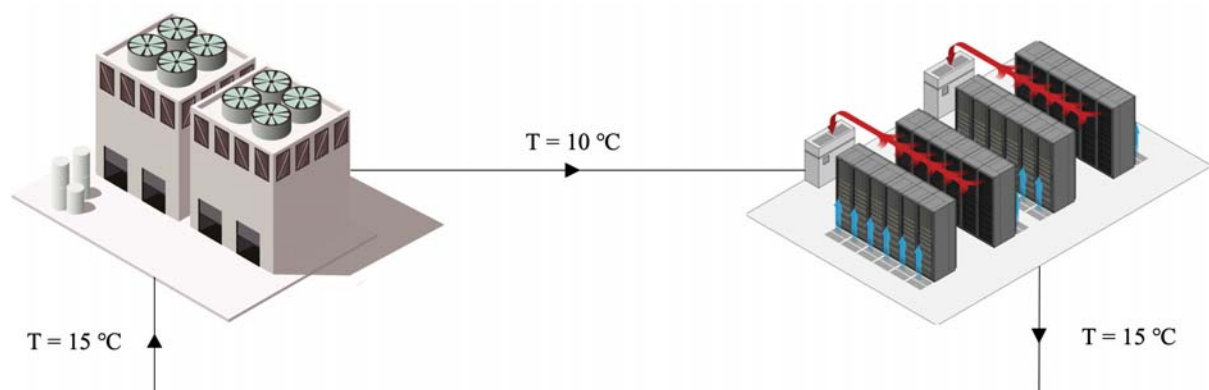
Dette kapittelet inneholder en beskrivelse av dagens kjøleløsning ved DigiPlex på Ulven, datagrunnlaget som brukes i casen, en systembeskrivelse av datasenteret, valg som er foretatt i oppbygning av ny modell og til slutt en oversikt over simuleringene som er gjennomført. Siste del av kapittelet er knyttet opp mot den punktvisse fremgangsmåten i kapittel 8.1.

9.1 Dagens kjøleløsning ved DigiPlex på Ulven

DigiPlex er en av Nordens største datasenteraktører. Selskapet er kjent for å etablere grønne datasentre basert på hundre prosent fornybar energi. Bedriften har 33 ansatte og har sitt hovedkontor på Ulven i Oslo.

Datasenteret til DigiPlex på Ulven utgjør en stabil last på kraftsystemet i Oslo. Implisitt betyr dette at kjølebehovet øker med stigende utetemperaturer. Kjøleløsningen ved datasenteret er basert på frikjølere på tak som avkjøler en gjennomstrømmende glykolblanding. Ved $T_{ute} > 5$ °C klarer ikke tørrkjølerne alene å kjøle væsken. Av den grunn er seks kjølemaskiner integrert i kjølekretsen, med total installert kapasitet på 6 MW. I selve datasenteret blir kjølvannet ført gjennom viftekonvektorer som senker romtemperaturen. Gjennom konvektoren stiger glykolblandingens temperatur fra 10 °C til ca. 15 °C. Videre transporteres kjølevæsken tilbake til tørrkjøleren og kjølemaskinene før den fortsetter i samme kretsløp (se *Figur 6*).

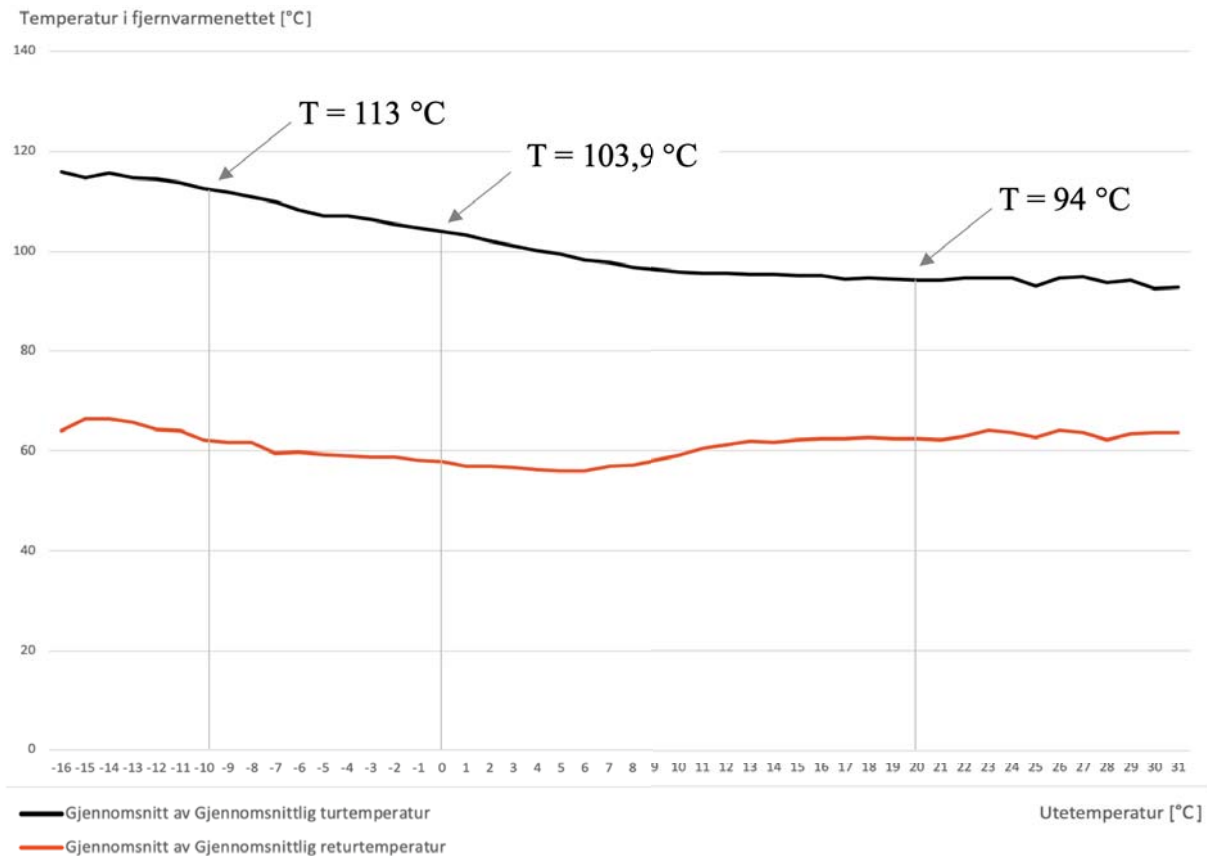
I kapittel 9.4 vil en varmepumpe bli tilknyttet dette datasenteret. Et identisk system modelleres energisentralen på Klemetsrud for å undersøke plasseringenes innvirkning på resultatene.



Figur 6: Prinsippskisse over dagens energisystem og kjøleløsning ved DigiPlex. Kjølemaskinene og tørrkjøleren (til venstre) leverer 10 °C til datasenteret (til høyre) som gir et temperaturløft til 15 °C før den transporteres tilbake for ny avkjøling.

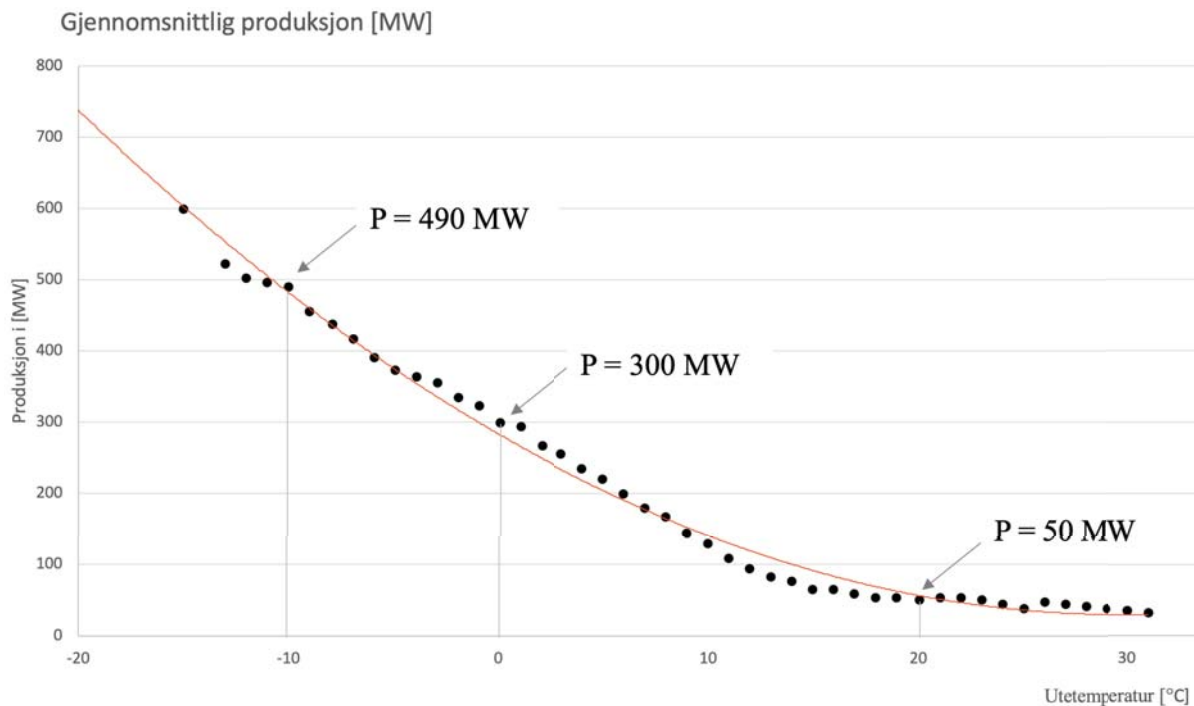
9.2 Datagrunnlag

Fortum Oslo Varme er en av Norges største fjernvarmeleverandører. I Oslo sørger selskapet for termisk energiforsyning til 160 000 boenheter, tilsvarende en årlig produksjon på 1,7 TWh eller 20% av oppvarmingsbehovet i byen. Fortums fjernvarmenett opererer med en turtemperatur mellom 90-115 °C avhengig av ulike utetemperaturer (se Figur 7).



Figur 7: Gjennomsnittlige tur- og returtemperaturer i Fortums fjernvarmenett. Tilførselstemperaturene ved utetemperatur på -10 °C, 0 °C og 20 °C er fremhevet for referering senere i oppgaven. Dataene er generert i tidsrommet 01.01.2016 til 28.02.2019. (Fortum Oslo Varme, 2019)

Selskapet har i dag en kjelpark bestående av elleve energisentraler med ulik plassering. Figur 8 viser Fortums estimerte produksjonskurve for fjernvarmenettet ved ulike utetemperaturer. Produksjonskurven er direkte knyttet opp mot etterspørselen i markedet. Derfor stiger oppvarmingsbehovet eksponentielt ved synkende utetemperaturer.

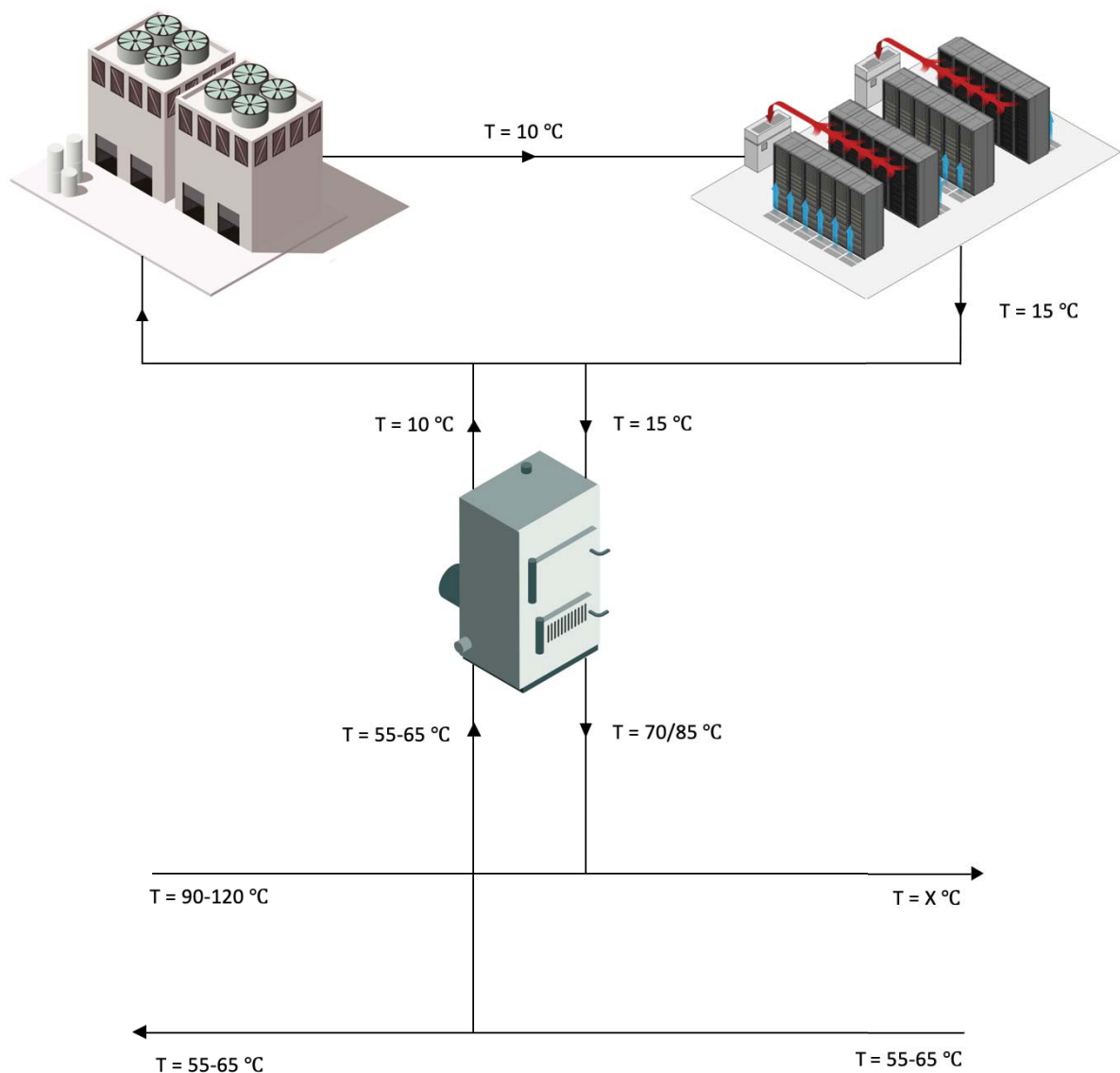


Figur 8: Driftsdata (sorte prikker) og estimert produksjonskurve (oransje kurve) for Fortums fjernvarmenett i Oslo. Effekten ved utetemperaturer på -10 °C, 0 °C og 20 °C er fremhevet for referering senere i kapitlet. (Fortum Oslo Varme, 2019)

9.3 Systembeskrivelse

For å undersøke konsekvensene ved ulike driftstemperaturer fra varmepumpen og plassering i fjernvarmenettet, er det nødvendig å bygge en ny modell. Den nye modellen bygges med utgangspunkt i Fortums eksisterende grunnmodell over fjernvarmenettet i Oslo.

I COWI og Fortums forprosjekt for DigiPlex ble det konkludert at bruk av en varmepumpe vil være en hensiktsmessig teknologi for utnyttelse av overskuddsenergien i datasenteret. Videre i prosjektbeskrivelsen ble det besluttet at varmepumpen skal tilkobles tilførselsledningen i fjernvarmenettet – ikke på returledningen. På den måten vil varmepumpen operere som øvrige energisentraler i nettet. Tilsvarende tilkoblingsløsning er benyttet i oppbygningen av den nye Termis-modellen. Figur 9 viser hvordan varmepumpen kobler sammen datasenterets kjølekrets og Fortums fjernvarmenett.



Figur 9: Prinsippskisse over energisystemet med datasentertilknyttet varmepumpe og fjernvarmenett. På kondensatorsiden (se varmepumpens underside i illustrasjonen) mottar varmepumpen vann med temperatur tilsvarende returledningen i fjernvarmenettet, og avgir 70 °C eller 85 °C tilbake til tilførselsledningen. På fordampersiden (se varmepumpens overside i illustrasjonen) mottar varmepumpen kjølevæske med 15 °C, som reduseres til 10 °C, før den sendes tilbake til kjølekretsen.

Energisystemet i Figur 9 modelleres ved to lokasjoner i fjernvarmenettet: DigiPlex på Ulven og energisentralen på Klemetsrud. Hver av lokasjonene simuleres ved tre ulike utetemperaturer: -10 °C, 0 °C og 20 °C. Til slutt utføres simuleringer for hver plassering, og hver utetemperatur ved to ulike driftstemperaturer fra varmepumpen (70 °C og 85 °C). På tross av at varmepumpen øker temperaturen til returvannet, vil det samme vannet ha en avkjølende virkning på turledningen.

Fortums gevinst ved energiløsningen er at varmepumpen sannsynligvis vil operere med en svært god virkningsgrad. Hvis varmepumpen er mer kostnadseffektiv enn deres eksisterende

oppvarmingsløsninger, vil den redusere væskestrømmen [m^3/h] som trenger å passere de andre energisentralene, og dermed senke Fortums driftskostnader. Dette forutsetter at løsningen ikke skaper driftsproblemer for eksisterende kunder.

9.4 Valg foretatt i oppbygning av ny modell med en datasentertilknyttet varmepumpe

Videre presenteres valg som er foretatt i oppbygningen av casens nye Termis-modell. Punktene som følger er direkte knyttet opp mot punktene i metoden i kapittel 8.1.

1. Modellering av datasentertilknyttet varmepumpe ved ulike plasseringer i nettet

Med utgangspunkt i Fortums grunnmodell plasseres datasenterets nye energisystem ved to ulike plasseringer i fjernvarmenettet: På Ulven og Klemetsrud.

- Node A plasseres i hovedkretsen til fjernvarmenettet med kortest mulig avstand til datasenteret på DigiPlex og ved Klemetsrud.
- Node B installeres ved DigiPlex sin eksakte posisjon. Ved Klemetsrud plasseres en tilsvarende node i samme avstand som ved DigiPlex. Det antas neglisjerbar høydeforskjell mellom hovedkretsen og datasenterets plassering. Node B settes til lik høyde som Node A ved begge plasseringer.
- Termis har en katalog over ulike rørdimensjoner med innlagte data over isolasjonsevne og andre tekniske spesifikasjoner. Feil rørdimensjon i nettet kan føre til at energisentralen ikke får avgitt nok energi, eller at sirkulasjonspumpen må arbeide hardere, grunnet større trykkfall i røret. For å velge riktig rørdimensjon foretas det en beregning. Denne beregningen utføres i henhold til Hazan-Willhelms forenklede metode i D. Zijdemans utgivelse Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer (2014, s.235). Metoden beskrives som en anerkjent formel for å beregne rørdimensjonen i en gitt krets:

$$(1) \quad D_i = 5,843 \cdot \frac{\dot{m}^{0,367}}{R^{0,215}}$$

Hvor:

D_i : Rørets indre diameter [mm]

$\dot{m}$: Massestrømmen i rørstrekket [kg/h]

R: Friksjonstapet i Pa/m. I følge Zijdemans tillater man normalt ikke dimensjonerende trykktap som overstiger 100-200 Pa/m. I denne utregningen forutsettes det at friksjonstapet i røret ikke skal overstige 100 Pa/m.

For å finne massestrømmen i røret benyttes den termodynamiske sammenhengen mellom effekt, massestrøm, temperaturendring og vannets spesifikke varmekapasitet:

$$(2) \quad \dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Hvor:

$\dot{Q}$: Effekt [J/s eller W]

$\dot{m}$: Massestrøm [kg/s]

c_p : Vannets spesifikke varmekapasitet [J/kgK]

ΔT : Temperaturdifferanse mellom to strømninger [K]

COWI og Fortum forutsetter en varmepumpeløsning med installert effekt på 9 MW i forprosjektet til DigiPlex. I Termis-modellen antas det derfor at varmepumpen vil forsyne fjernvarmenettet med en konstant effekt på 9 MW. Dimensjonerende temperaturdifferanse mellom returtemperaturen (65 °C eller 338 K) og tilførselstemperaturen (85 °C eller 358 K) er 20 °C. Likning (2) løses for $\dot{m}$:

$$(3) \quad \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{9 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s/h}}{4180 \text{ J/kgK} \cdot (358 \text{ K} - 338 \text{ K})} = 387\,720 \text{ kg/h}$$

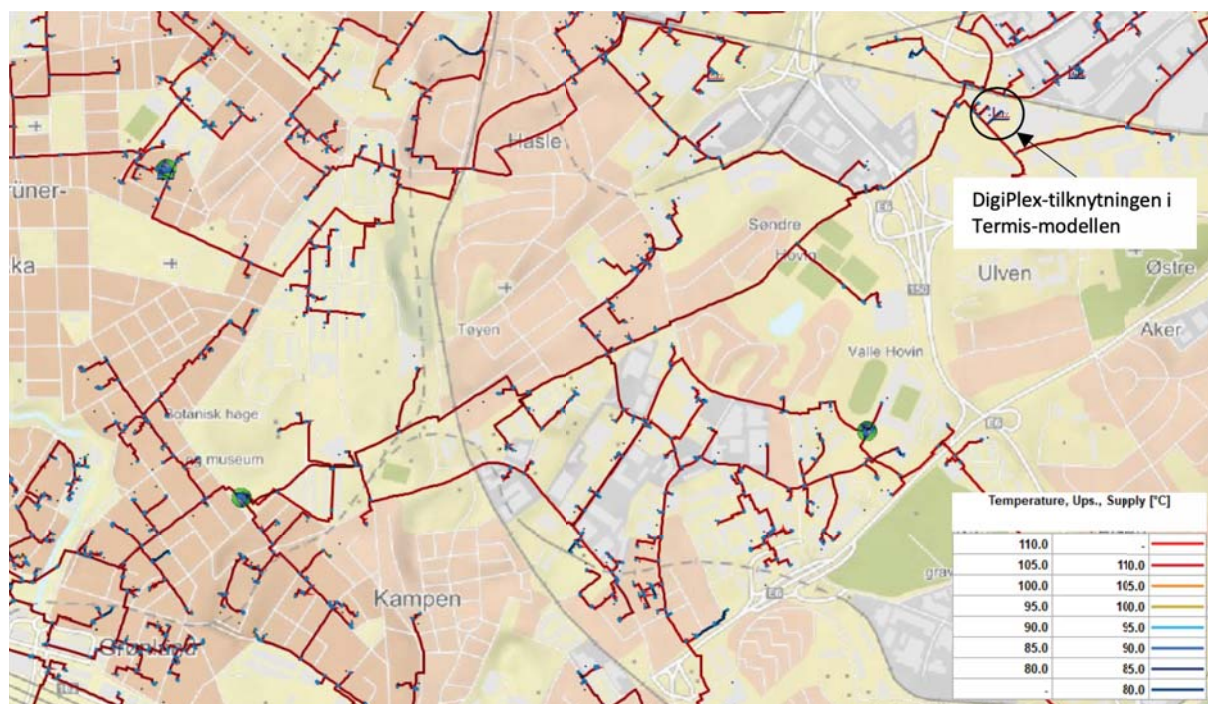
Tilslutt anvendes resultatet fra likning (3) inn i likning (1):

$$(4) \quad D_i = 5,843 \cdot \frac{\dot{m}^{0,367}}{R^{0,215}} = 5,843 \cdot \frac{387\,720^{0,367}}{100^{0,215}} = 244,1 \text{ mm}$$

Nærmeste kommersielle rørdimensjon på markedet er DN250 (250 mm). Ved valg av rørdiameter fra katalog i Termis vil programmet kopiere valget til tilsvarende dimensjon på returledningen. DN250 har innlagt informasjon om ruhet, varmekapasitetsfaktor og annen relevant teknisk data fra rørleverandøren. Den samme rørdimensjonen benyttes for simuleringene hvor varmepumpen leverer 70 °C. Avgjørelsen om å benytte

tilsvarende rørdimensjon ved $T_{vp} = 70\text{ °C}$ gir en usikkerhet i resultatene. Utfordringene knyttet til dette vil bli videre diskutert i kapittel 11.5.

- d. Til slutt erstattes Node B med en energisentral med kapasitet på 9 MW. Tilførselstemperaturen settes foreløpig lik 0 °C både ved Klemetsrud og DigiPlex. Med denne tilførselstemperaturen står energisentralen i «standby». Sentralen vil ikke ha innvirkning på simuleringene i denne modusen. Senere skal tilførselstemperaturen veksles mellom 70 °C og 85 °C avhengig av ulike scenarioer.



Figur 10: DigiPlex-tilknytning i Termis. Systemet er markert med sort ring øverst til høyre i bildet.

Gjennom steg 1a.-1d. har de to energisentralene blitt installert i modellen (se Figur 10). Videre presenteres framgangsmåten for konstruksjon av tre scenarioer for ulike utetemperaturer.

2. Justering av modellen etter tre ulike utetemperaturer

Tabell 3 viser en oppsummering av alle inputparameterne som inngår i den nye modellen. Begrunnelsen for valg av parametere fremkommer i punkt a-d under tabellen.

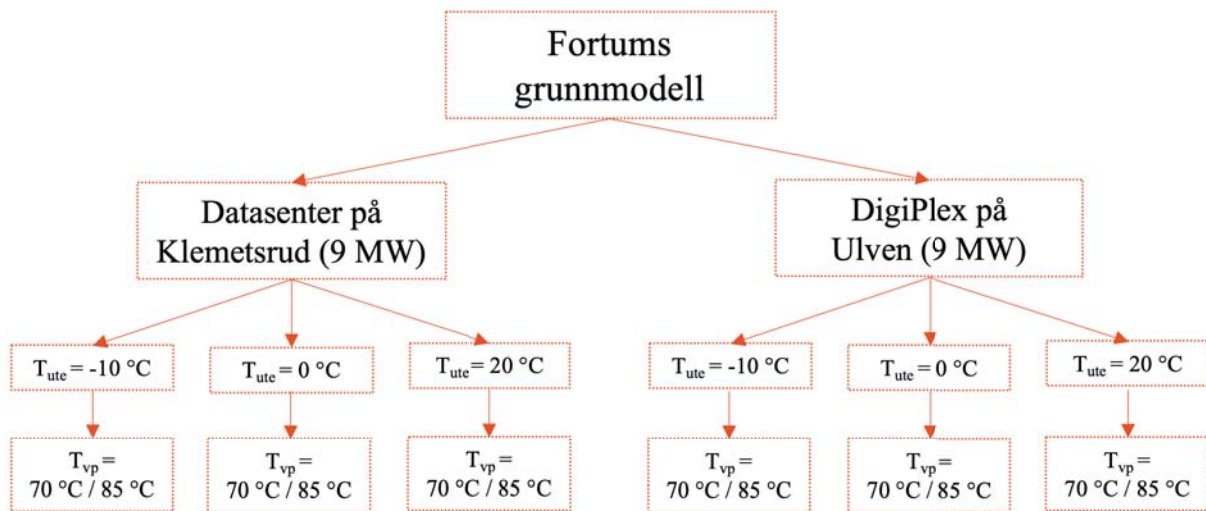
Tabell 3: Oppsummering av valgte parametere for den nye Termis-modellen med datasentertilknytning.

	$T_{ute} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{ute} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{ute} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Total energietterspørsel [MW]	490	300	50
Global factor [-]	0,68	0,42	0,06
Tilførselstemperatur i nettet [$^{\circ}\text{C}$]	113	103,9	94
Forbrukeravkjøling [$^{\circ}\text{C}$]	49	46	31
Sirkulasjonspumpe på Valle Hovin [kPa]	800	500	200

- Energileveransen er direkte knyttet opp mot den totale energietterspørselen i fjernvarmenettet. Tabell 3 presenterer data over total energietterspørsel i fjernvarmenettet ved de tre ulike utetemperaturer. Disse dataene er hentet fra *Figur 7* i kapittel 9.2. I Termis justeres total energileveranse etter «Global factor» (GF). GF er et mål på hvor stor del av total kapasitet som benyttes ved ulike utetemperaturer. Denne faktoren for ulike utetemperaturer er gitt i Tabell 3.
- Ved tilpassing av effekten til de ulike energisentralene har samtlige energisentraler blitt redusert med den samme faktoren. Tilførselstemperaturene i Tabell 3 er basert på data i *Figur 8* i kapittel 9.2. Ved bruk av temperaturene i Tabell 3 utelates eventuelt varmetap i fjernvarmenettet. Konsekvensene av dette diskuteres i kapittel 11.5.
- Avkjølingen ved forbrukerne synker ved stigende utetemperatur. I Termis settes avkjølingen lik for alle forbrukere i nettet, og må justeres manuelt. *Figur 7* i kapittel 9.2 viser sammenhengen mellom tur- og returtemperaturer i fjernvarmenettet. Her benyttes differensen mellom tur- og returtemperatur ved ulike utetemperaturer til å finne forbrukeravkjølingen som presenteres i Tabell 3.
- Pumpen på Valle Hovin justerer trykket i nettet, og må tilpasses for å tilfredsstille Fortums skranker ved ulike utetemperaturer. Her er det benyttet erfaringsbaserte tall fra Fortum som presenteres i Tabell 3.

9.5 Simuleringer gjennomført i den nye modellen

Flytskjemaet i Figur 10 gir en visuell oversikt over de tolv simuleringene som danner grunnlaget for resultatene som presenteres i neste kapittel. Pkt. 3a.-c. i kapittel 8.1 gjentas til det er gjennomført simuleringer for begge plasseringene, alle tre utetemperaturer og begge tilførselstemperaturene fra varmpumpen.



Figur 11: Flytskjema som illustrerer oppbygningen av de tolv Termis-simuleringene. Her illustreres sammenhengen mellom plasseringene, utetemperaturene (T_{ute}) og temperaturen som forlater varmpumpen (T_{vp}). Hver av de nederste boksene i flytskjemaet representerer to simuleringer.

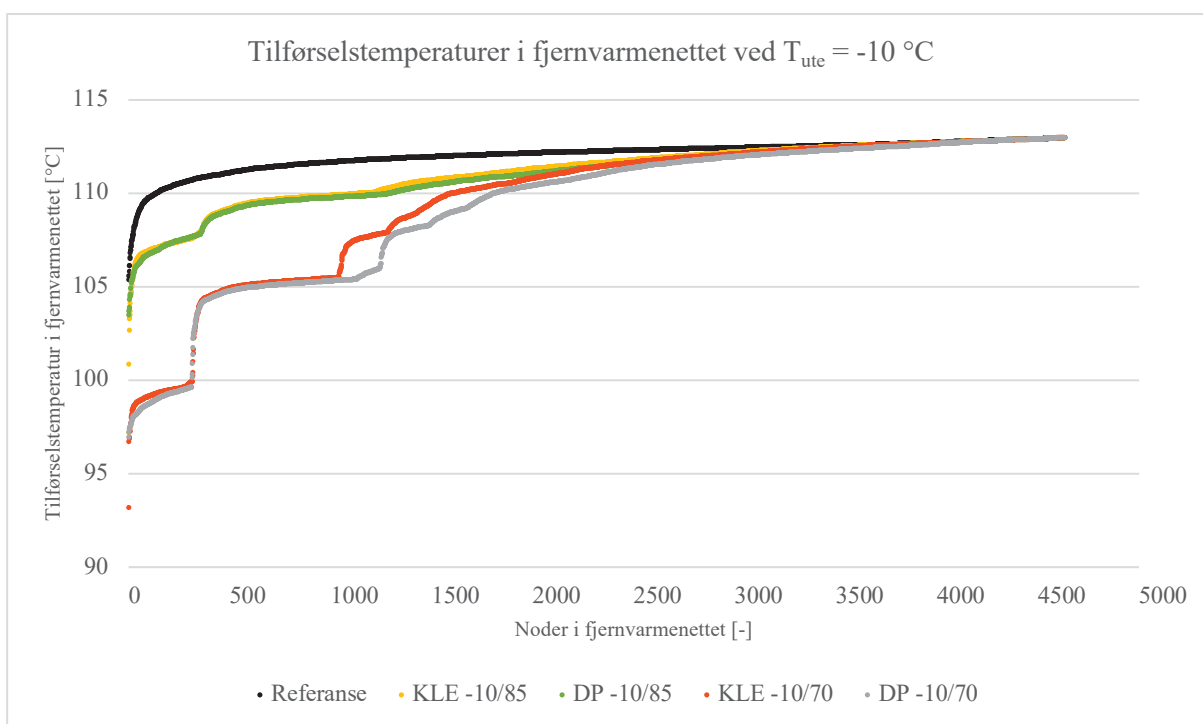
10 RESULTATER

Simuleringene i Termis har gitt tolv rapporter avhengig av ulike utetemperaturer, plassering i nettet og temperaturer fra varmpumpen. I tillegg er det hentet ut tre rapporter for referansescenarioet ved hver utetemperatur, uten datasentertilknytning. Referansescenariet brukes som sammenlikningsgrunnlag for å vurdere varmpumpens påvirkning på fjernvarmenettet. Innenfor hvert utetemperaturscenario vil det følge en grafisk presentasjon av resultatene, nøkkeltall i tabeller og en manuell kontroll av Fortums skranker.

10.1 Simulering ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$

Grafisk framstilling av tilførselstemperaturene ved ulike scenarier

Den sorte kurven i *Figur 12* representerer referansescenarioet ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$. Referansescenarioet er simuleringen av Fortums grunnmodell uten datasentertilknytning. Øvrige kurver representerer ulike driftstemperaturer fra varmpumpen og ulike plasseringer i nettet.



Figur 10: Tilførselstemperaturer i fjernvarmenettet ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$. Referansekurven viser simuleringen av fjernvarmenettet uten datasentertilknyttet varmpumpe. «DP -10/70» er forkortelse for DigiPlex' plassering ved en utetemperatur på -10 °C og en tilførselstemperatur fra varmpumpen på 70 °C . Tilsvarende er «KLE» en forkortelse for plasseringen på Klemetsrud.

Simuleringene hvor varmpumpen leverer 85 °C til fjernvarmenettet (grønn og gul kurve) gir et mindre avvik fra referansescenariet, enn simuleringene hvor tilførselstemperaturen fra varmpumpen er 70 °C (oransje og grå kurve). Klemetsrud-simuleringene gir en marginalt

høyere tilførselstemperatur enn DigiPlex-simuleringene. Plasseringen utgjør en større differanse for tilførselstemperaturen i nettet når varmpumpen leverer 70 °C, enn når den leverer 85 °C.

Nøkkeltall

I Tabell 4 fremstilles en oversikt over nøkkeltallene knyttet til hver simulering ved $T_{ute} = -10$ °C.

Tabell 4: Nøkkeltall over simuleringen ved $T_{ute} = -10$ °C.

	Referanse	DP -10/70	KLE -10/70	DP -10/85	KLE -10/85
Gjennomsnittlig temperatur i nettet [°C]	112,1	109,3	109,6	111	111,2
Gjennomsnittlig temperatur i de laveste 200 noder i nettet [°C]	109,4	98,7	99	106,5	106,6
Antall noder under $T = 110,35$ °C	206	1957	1767	1439	1310
Korrelasjon med referansescenariot	-	0,93	0,94	0,96	0,97

Sammenliknet med referansescenariet gir de ulike simuleringene små avvik i nodenes turtemperatur. Derimot er forskjellen mellom $T_{vp} = 70$ °C og $T_{vp} = 85$ °C større i de mest utsatte 200 nodene i fjernvarmenettet. Her er differansen mellom referansescenariet og DP -10/70 (DigiPlex ved $T_{ute} = -10$ °C og $T_{vp} = 70$ °C) 10,7 °C. Oppsummert viser tabellen at sammenliknet med referansescenariot reduseres tilførselstemperaturen ved de mest utsatte 200 nodene (ca. 6000 kunder) i gjennomsnitt 2,7% hvis varmpumpen leverer 85 °C, og 9,8% hvis varmpumpen leverer 70 °C.

Det fremkommer fra samme tabell at 1957 noder ligger under 110,35 °C i simuleringen med DP -10/70. Denne temperaturen representerer to standardavvik under den gjennomsnittlige temperaturen i referansescenariot. Simuleringene viser at færre noder ligger under $T = 110,35$ °C ved Klemetsrud sammenliknet med DigiPlex både ved $T_{vp} = 70$ °C og $T_{vp} = 85$ °C. Videre viser tabellen at Klemetsrud-simuleringene har en marginalt større korrelasjon til referansescenariet enn DigiPlex-simuleringene.

Fortum Varmes skranker

Fortums skranker må være tilfredsstilt i Termis-modellen, som nevnt i pkt. 2d. under kapittel 8.1. Tabell 5 viser at samtlige skranker er oppfylt ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$.

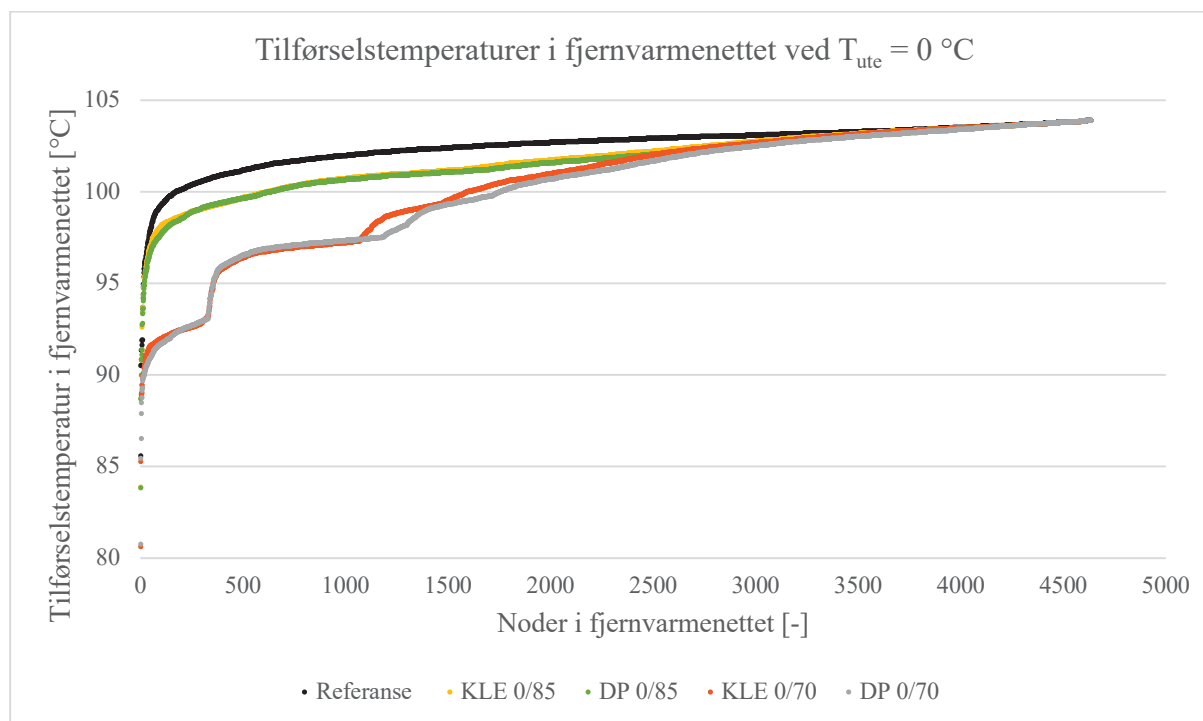
Tabell 5 Oversikt over tekniske data i fjernvarmenettet ved ulike simuleringer for tilknytting av datasenter med varmepumpe.

	DP -10/85	DP -10/70	KLE -10/85	KLE -10/70	Skranker fra Fortum	Skrankene tilfredstilt?
Returtrykk Klemetsrud	671 kPa	740 kPa	451 kPa	334 kPa	> 200 kPa	Ja
Returtrykk Valle Hovin	774 kPa	795 kPa	711 kPa	684 kPa	> 200 kPa	Ja
Differansetrykk ved Valle Hovin	490 kPa	21 kPa	138 kPa	182 kPa	<= 850 kPa	Ja
Generelt turtrykk i nettet	2260 kPa	2275 kPa	2243 kPa	2239 kPa	< 2500 kPa	Ja
Volumstrøm Klemetsrud	1546 m ³ /h	1457 m ³ /h	1483 m ³ /h	1365 m ³ /h	< 1900 m ³ /h	Ja
Vækehastighet i nettet	3,77 m/s	3,8 m/s	3,66 m/s	3,61 m/s	< 5 m/s	Ja

10.2 Simulering ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$

Grafisk framstilling av tilførselstemperaturene ved ulike scenarier

Den sorte kurven i *Figur 13* representerer referansescenariot ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$. Referansescenariot er simuleringen av Fortums grunnmodell uten datasentertilknytning. Øvrige kurver representerer ulike driftstemperatur fra varmepumpen og ulike plasseringer i nettet.



Figur 11: Tilførselstemperaturer i fjernvarmenettet ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$. Referansekurven viser simuleringen av fjernvarmenettet uten datasentertilknyttet varmepumpe. «DP 0/70» er forkortelse for DigiPlex sin plassering ved en utetemperatur på 0 °C og en tilførselstemperatur fra varmepumpen på 70 °C . Tilsvarende er «KLE» en forkortelse for plasseringen Klemetsrud.

Av *Figur 12* fremkommer det at tilførselstemperaturene generelt i fjernvarmenettet har en lavere temperatur ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$ enn ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$. Ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$ har kurvene relativt lik formasjon som ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$. Et viktig moment i *Figur 13* er hvordan enkelte noder får tilførselstemperaturer ned mot 80 °C . Resultatene gir videre støtte for at Klemetsrud-plasseringene gir en marginalt høyere tilførselstemperatur enn ved DigiPlex på Ulven. Differansen mellom Klemetsrud og Ulven er større i simuleringene hvor varmpumpen leverer 70 °C til nettet.

Nøkkeltall

I Tabell 6 presenteres nøkkeltall for simuleringene ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$.

Tabell 6: Nøkkeltall over simuleringen ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$.

	Referanse	DP 0/70	KLE 0/70	DP 0/85	KLE 0/85
Gjennomsnittlig temperatur i nettet [°C]	102,5	100,3	100,4	101,7	101,8
Gjennomsnittlig temperatur i de laveste 200 noder i nettet [°C]	98,5	91,4	91,7	97,1	97,4
Antall noder under $T = 100\text{ °C}$	172	1751	1592	633	618
Korrelasjon med referansescenarioet	-	0,92	0,92	0,97	0,97

Sammenliknet med referansescenariet gir de ulike simuleringene små avvik i nodenes turtemperatur. Derimot er forskjellen mellom $T_{vp} = 70\text{ °C}$ og $T_{vp} = 85\text{ °C}$ større i de mest utsatte 200 nodene i fjernvarmenettet. Her er differansen mellom referansescenariet og DP -10/70 (DigiPlex ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$ og $T_{vp} = 70\text{ °C}$) $7,1\text{ °C}$. Oppsummert viser tabellen at sammenliknet med referansescenarioet reduseres tilførselstemperaturen ved de mest utsatte 200 nodene (ca. 6000 kunder) i gjennomsnitt 1,4% hvis varmpumpen leverer 85 °C , og 7,2% hvis varmpumpen leverer 70 °C .

Det fremkommer fra samme tabell at 1751 noder ligger under $110,35\text{ °C}$ i simuleringen med DP -10/70. Denne temperaturen representerer to standardavvik under den gjennomsnittlige temperaturen i referansescenarioet. Simuleringene viser at færre noder ligger under $T = 100\text{ °C}$ ved Klemetsrud sammenliknet med DigiPlex både ved $T_{vp} = 70\text{ °C}$ og $T_{vp} = 85\text{ °C}$. Videre viser

tabellen at Klemetsrud-simuleringene har tilsvarende korrelasjon til referansescenariet som DigiPlex-simuleringene.

Fortum Varmes skranker

Tabell 7 viser at samtlige skranker er oppfylt ved de ulike simuleringene med $T_{ute} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

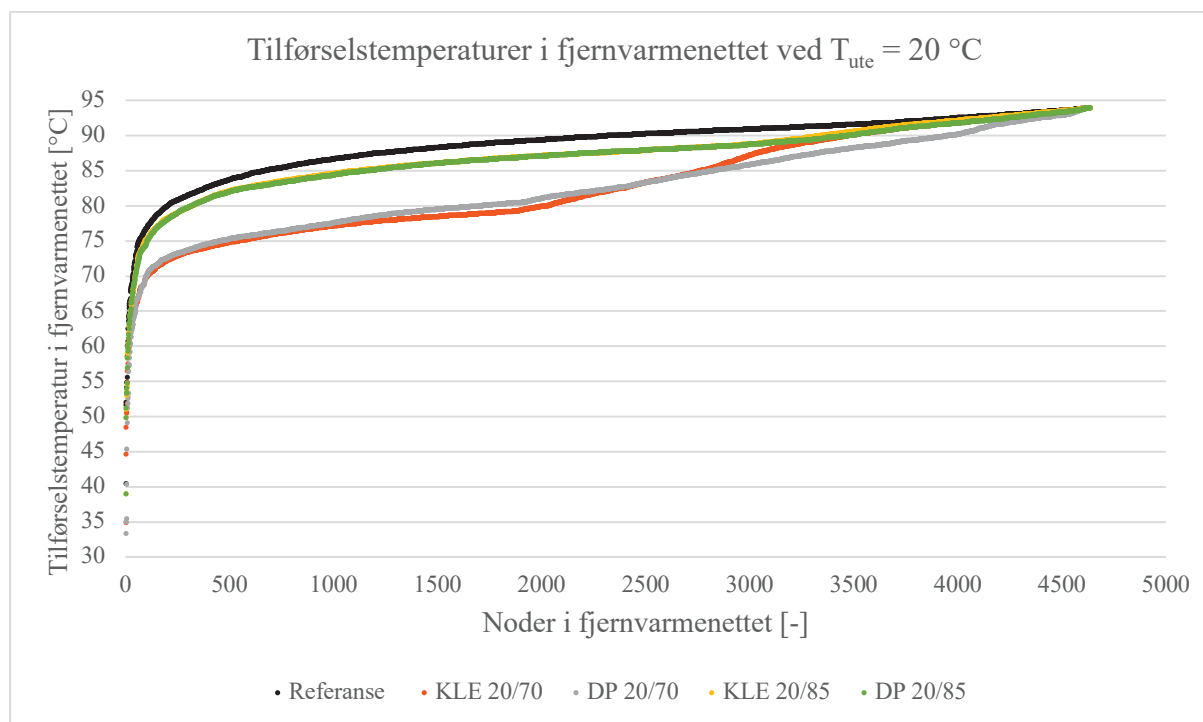
Tabell 7 Fortum varmes skranker.

	DP 0/85	DP 0/70	KLE 0/85	KLE 0/70	Skranker fra Fortum	Skrankene tilfredstilt?
Returtrykk Klemetsrud	527 kPa	547 kPa	403 kPa	353 kPa	> 200 kPa	Ja
Returtrykk Valle Hovin	689 kPa	695 kPa	655 kPa	644 kPa	> 200 kPa	Ja
Differansetrykk ved Valle Hovin	32 kPa	25 kPa	79 kPa	96 kPa	<= 850 kPa	Ja
Generelt turtrykk i nettet	2030 kPa	2033 kPa	2015 kPa	2012 kPa	< 2500 kPa	Ja
Volumstrøm Klemetsrud	989 m ³ /h	944 m ³ /h	969 m ³ /h	906 m ³ /h	< 1900 m ³ /h	Ja
Væskehastighet i nettet	2,33 m/s	2,34 m/s	2,24 m/s	2,22 m/s	< 5 m/s	Ja

10.3 Simulering ved $T_{ute} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Grafisk framstilling av tilførselstemperaturene ved ulike scenarier

Den sorte kurven i *Figur 14* representerer referansescenarioet ved $T_{ute} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Referansescenarioet er simuleringen av Fortums grunnmodell uten datasentertilknytning. Øvrige kurver representerer ulike driftstemperatur fra varmepumpen og ulike plassering i nettet.



Figur 12: Tilførselstemperaturer i fjernvarmenettet ved $T_{ute} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Referansekurven viser simuleringen av fjernvarmenettet uten datasentertilknyttet varmepumpe. «DP 20/70» er forkortelse for DigiPlex sin plassering ved en utetemperatur på $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ og en tilførselstemperatur fra varmepumpen på $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tilsvarende er «KLE» en forkortelse for plasseringen Klemetsrud.

Av *Figur 14* fremkommer det at tilførselstemperaturene generelt i fjernvarmenettet har en lavere temperatur ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$ enn ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$. Ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$ har kurvene jevnere form enn ved $T_{ute} = 0\text{ °C}$ i *Figur 13*. Et viktig moment i *Figur 14* er at flere noder faller under 80 °C . Resultatene med $T_{vp} = 70\text{ °C}$ viser at optimal plassering veksler mellom Klemetsrud og Ulven.

Nøkkeltall

Tabell 8 viser nøkkeltall for simuleringene ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$.

Tabell 8: Nøkkeltall over simuleringen ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$.

	Referanse	DP 20/70	KLE 20/70	DP 20/85	KLE 20/85
Gjennomsnittlig temperatur i nettet [°C]	88,8	82,7	83	87	87,2
Gjennomsnittlig temperatur i de laveste 200 noder i nettet [°C]	74,6	67,2	67,7	72,6	72,8
Antall noder under $T = 79,9\text{ °C}$	197	1653	1990	309	309
Korrelasjon med referansescenariot	-	0,94	0,9	0,99	0,99

Fra tabellen fremkommer det at gjennomsnittstemperaturen i ligger tett på referansescenariot i simuleringene hvor varmepumpen leverer 85 °C , og ca. 6 °C under referansescenariot hvor varmepumpen leverer 70 °C . Sammenliknet med referansescenariot øker differensen ved de mest utsatte 200 nodene. Den største temperaturdifferansen forekommer ved DP 20/70, hvor temperaturdifferansen er $7,4\text{ °C}$. Oppsummert viser tabellen at sammenliknet med referansescenariot reduseres tilførselstemperaturen ved de mest utsatte 200 nodene (ca. 6000 kunder) i gjennomsnitt $2,7\%$ hvis varmepumpen leverer 85 °C , og 10% hvis varmepumpen leverer 70 °C .

Det fremkommer fra samme tabell at 1990 noder ligger under $79,9\text{ °C}$ i simuleringen med KLE -10/70. Denne temperaturen representerer to standardavvik under den gjennomsnittlige temperaturen i referansescenariot. Simuleringene viser at færre noder ligger under $T = 79,9\text{ °C}$ ved DigiPlex, sammenliknet med Klemetsrud ved $T_{vp} = 70\text{ °C}$. Videre viser tabellen at

DigiPlex-simuleringene har marginalt større korrelasjon til referansescenariet enn Klemetsrud-simuleringene ved $T_{vp} = 85\text{ °C}$.

Fortum Varmes skranker

Tabell 8 viser at samtlige skranker er oppfylt ved de ulike simuleringene ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$

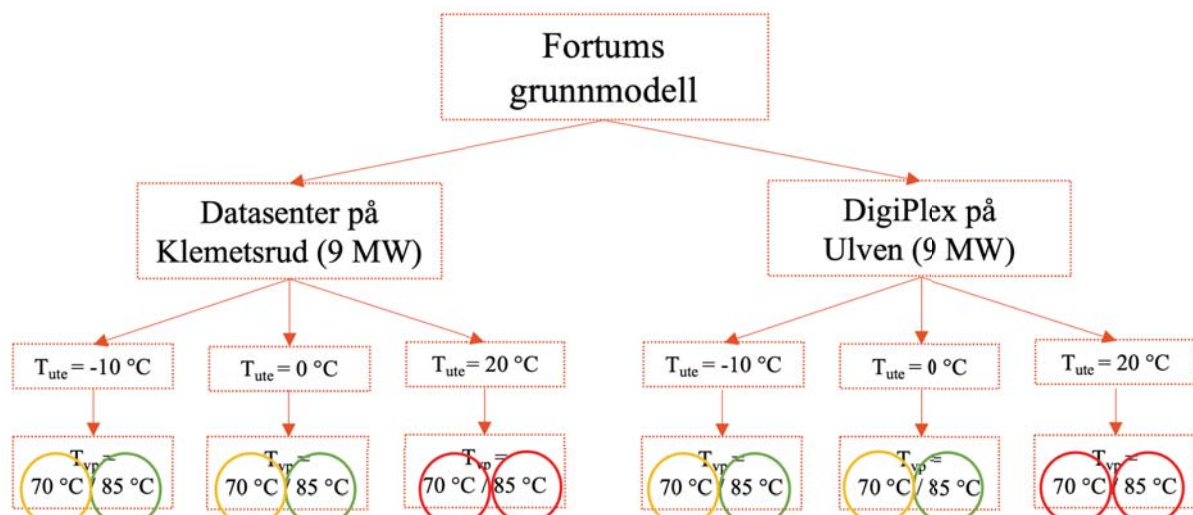
Tabell 8: Fortum Oslo Varmes skranker.

	DP 20/85	DP 20/70	KLE 20/85	KLE 20/70	Skranker fra Fortum	Skrankene tilfredstilt?
Returtrykk Klemetsrud	341 kPa	344 kPa	294 kPa	278 kPa	> 200 kPa	Ja
Returtrykk Valle Hovin	635 kPa	637 kPa	623 kPa	619 kPa	> 200 kPa	Ja
Differansetrykk ved Valle Hovin	133 kPa	133 kPa	149 kPa	153 kPa	<= 850 kPa	Ja
Generelt turtrykk i nettet	1885 kPa	1890 kPa	1877 kPa	1878 kPa	< 2500 kPa	Ja
Volumstrøm Klemetsrud	193 m ³ /h	178 m ³ /h	186 m ³ /h	156 m ³ /h	< 1900 m ³ /h	Ja
Væskehastighet i nettet	1,41 m/s	1,9 m/s	0,96 m/s	0,8 m/s	< 5 m/s	Ja

11 DISKUSJON

Diskusjonskapittelet innledes med å trekke fram oppgavens to problemstillinger knyttet til temperatur fra varmepumpen og plassering i nettet. På denne måten belyses avgjørende faktorer for utnyttelse av overskuddsenergi fra datasentre til fjernvarmenett ved bruk av varmepumpeteknologi. Videre vil det vurderes om det foreligger grunnlag for å kunne generalisere funnene i analysen. Fordeler og ulemper ved valgt teknologi vil drøftes, før det avslutningsvis presenteres usikkerhetsfaktorer i rapporten og en anbefaling til videre studier.

Grunnet usikkerhetsmomenter i oppgaven, som diskuteres i kapittel 11.5, deles simuleringene inn i fargekoder avhengig av resultatenes kredibilitet. Grønn farge i *Figur 15* illustrerer at det er knyttet lav grad av usikkerhet til resultatene. Tilsvarende representerer gul farge middels grad av usikkerhet, og rød farge stor grad av usikkerhet.



Figur 13: Med tanke på usikkerhet i metoden er simuleringene inndelt etter fargekoder. Fargekodene representerer resultatenes kredibilitet. Rød sirkel indikerer stor usikkerhet, gul sirkel middels usikkerhet og grønn sirkel illustrerer liten grad av usikkerhet knyttet til resultatene.

11.1 Konsekvenser ved lav tilførselstemperatur fra varmepumpen

Problemstilling 1: *Hvilke konsekvenser skaper ulik temperatur fra varmepumpen, for eksisterende kunder, når den er lavere enn turleningen i fjernvarmenettet?*

I samtlige simuleringer gir referansescenariet, uten datasentertilknytning, høyest tilførselstemperatur i fjernvarmenettet. Videre gir simuleringene hvor varmepumpen leverer 85 °C høyere tilførselstemperatur enn simuleringene hvor varmepumpen leverer 70 °C. I

diskusjonen av resultatene forutsettes det at forbrukerne i nettet opererer med et 60/80-system, hvor de er avhengig av å motta fjernvarme med minst 80 °C for å operere normalt.

Simuleringene ved $T_{ute} = -10$ °C

Ved $T_{ute} = -10$ °C representerer varmepumpen (9 MW) 1,8 % av fjernvarmenettets totale effekt (490 MW).

$T_{vp} = 85$ °C: Varmepumpen tilknyttet datasentrene vil sannsynligvis ikke gi utfordringer for fjernvarmenettets forbrukere når den leverer 85 °C til nettet, hverken ved DigiPlex eller Klemetsrud. Gjennomsnittlig tilførselstemperatur reduseres kun 2,7 % ved de mest utsatte 200 nodene (se Tabell 4 i kapittel 10.1). Gjennomsnittstemperaturen ved disse nodene er 106,5 °C. Ettersom forbrukerne i nettet er avhengig av en temperatur på 80 °C betraktes temperaturreduksjonen som neglisjerbar. Lav grad av usikkerhet i simuleringene bidrar til å styrke påstanden om at varmepumpen ikke skaper utfordringer for fjernvarmeleverandørens kunder ved full kapasitet (se *Figur 15* i kapittel 11).

$T_{vp} = 70$ °C: Sammenliknet med referansescenariet, reduseres tilførselstemperaturen i de 200 mest utsatte nodene med 9,8 %, ved DigiPlex og Klemetsrud, når varmepumpen leverer 70 °C til nettet (se Tabell 4 i kapittel 10.1). Gjennomsnittstemperaturen ved disse nodene er 98,7 °C, som indikerer at varmepumpen sannsynligvis ikke vil gi utfordringer, ettersom den er over kundenes nødvendige minimumstemperatur på 80 °C. Middels grad av usikkerhet er tilknyttet disse to simuleringene, som betyr at en endelig konklusjon angående konsekvensene for fjernvarmekundene er utenfor modellens rekkevidde (se *Figur 15* i kapittel 11).

Simuleringene ved $T_{ute} = 0$ °C

Ved $T_{ute} = 0$ °C representerer varmepumpen (9 MW) 3 % av fjernvarmenettets totale effekt (300 MW).

$T_{vp} = 85$ °C: Varmepumpen tilknyttet datasentrene vil sannsynligvis ikke gi utfordringer for fjernvarmenettets forbrukere når den leverer 85 °C til nettet, hverken ved DigiPlex eller Klemetsrud. Varmepumpetilknytningen gir en temperaturreduksjon på 1,4 % i de 200 mest utsatte nodene sammenliknet med referansescenariet (se Tabell 6 i kapittel 10.2). Gjennomsnittstemperaturen i disse nodene er 97,1 °C. Ettersom forbrukerne i nettet avhenger av en minimumstemperatur fra fjernvarmenettet på 80 °C i tilførselsledningen, anses differensen som neglisjerbar. Lav grad av usikkerhet i simuleringene styrker påstanden om at

varmepumpen ikke skaper utfordringer for fjernvarmeleverandørens drift (se *Figur 15* i kapittel 11).

$T_{vp} = 70\text{ °C}$: Tilførselstemperaturen i de mest utsatte 200 nodene ved DigiPlex og Klemetsrud reduseres med 7,2 %, sammenlignet med referansescenariet. Gjennomsnittstemperaturen ved disse nodene er 91,4 °C. Temperaturen tilsier at varmepumpen ikke gir konsekvenser for fjernvarmenettets kunder, ettersom kritisk tilførselstemperatur for forbrukerne er 80 °C. Likevel er det knyttet middels grad av usikkerhet til resultatene (se *Figur 15* i kapittel 11). Hvorvidt varmepumpen gir utfordringer for fjernvarmenettets kunder kan derfor ikke konstateres sikkert.

Simuleringene ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$

Ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$ representerer varmepumpen (9 MW) 18 % av fjernvarmenettets totale effekt (50 MW).

$T_{vp} = 85\text{ °C}$: Tilførselstemperaturen reduseres med 2,7 % fra referansescenarioet i de mest utsatte 200 nodene (se Tabell 8 i Kapittel 10.3). Tilførselstemperaturen ved de mest utsatte 200 nodene er på 74,6 °C. Denne temperaturen ligger under minimum tilførselstemperatur for forbrukerne (80 °C). Resultatet kan tilegnes stor grad av feilmargin grunnet usikkerhet i metoden. Denne usikkerheten drøftes i kapittel 11.5. Med utgangspunkt i dette er det problematisk å trekke en sikker konklusjon for hvorvidt datasenteret vil skape effektutfordringer for fjernvarmeleverandørens kunder (se *Figur 15* i kapittel 11).

$T_{vp} = 70\text{ °C}$: Tilførselstemperaturen i de mest utsatte 200 nodene ved DigiPlex og Klemetsrud reduseres med 10 %, sammenlignet med referansescenariet. Gjennomsnittstemperaturen ved disse nodene er 67,2 °C, som er under minimum tilførselstemperatur på 80 °C for Fortums fjernvarmekunder. Stor grad av usikkerhet er knyttet til simuleringene, som gjør det utfordrende å trekke noen konklusjon om hvorvidt varmepumpen gir konsekvenser for fjernvarmenettet ved de to plasseringene. Usikkerheten presenteres nærmere i kapittel 11.5 (se *Figur 15* i kapittel 11).

11.2 Relevansen av systemets plassering i fjernvarmenettet

Problemstilling 2: *Hvor relevant er systemets plassering i fjernvarmenettet?*

Med utgangspunkt i den nye Termis-modellen kan man argumentere for at ulik plassering i nettet påvirker resultatene i svært liten grad. Den største temperaturdifferansen i simuleringene

med lav usikkerhet, forekommer ved plasseringene DP 0/85 og KLE 0/85. Her er gjennomsnittlig temperaturdifferanse i de mest utsatte 200 nodene 0,3 °C (se Tabell 6 i kapittel 10.2). Dette anses som en neglisjerbar temperaturforskjell. I simuleringene med større grad av usikkerhet forekommer den største temperaturdifferansen mellom DP 20/70 og KLE 20/70, hvor temperaturdifferansen er 0,5 °C (se Tabell 8 i kapittel 10.3). Denne temperaturdifferansen anses ikke som signifikant.

Plasseringen på Klemetsrud kan være fordelaktig om Fortum velger å endre på driftsparameterne ved energisentralen på Klemetsrud, for å motvirke den avkjølende effekten varmpumpen har på turledningen. Den samme muligheten for temperaturøkning ved nærmeste energisentral vil være mer problematisk ved plasseringen til DigiPlex, ettersom det eksisterer kunder mellom datasenteret og nærmeste energisentral.

11.3 Generaliserbare funn

Flere fjernvarmeleverandører i Norden opererer med tilsvarende driftstemperaturer som Fortum. Resultatene kan gi en indikasjon på hvordan en tilkobling av en datasentertilknyttet varmpumpe vil påvirke fjernvarmenettets drift. Resultatenes overføringsgrad avhenger likevel ikke utelukkende av fjernvarmenettets driftstemperaturer. Tilsvarende er effektterspørselskurver, infrastruktur ved kundesentraler, rørdimensjoner og andre parametere viktige påvirkningsfaktorer for systemets funksjonalitet. Funnene indikerer at fjernvarmenett, med tilsvarende egenskaper som Fortums Oslo-nett, vil kunne koble til en varmpumpe som leverer 85 °C uten driftsproblemer. Dette gjelder ved utetemperatur opp til 0 °C. På tross av disse resultatene er grunn til å anta at varmpumpen kan operere med full effekt ved en noe høyere utetemperaturer. Denne påstanden har bakgrunn i at turtemperaturen i enkelte noder vil nærme seg 80 °C ved $T_{ute} = 0$ °C. Videre fremkommer det at en stor andel av Fortums kundemasse får effektproblemer ved $T_{ute} = 20$ °C. Mellom disse utetemperaturene foreligger det ikke nok evidens til å foreta en konklusjon.

Funnene i rapporten er ikke utelukkende relevant for kun datasentertilkoblede varmpumper. En tilsvarende varmpumpe vil kunne kobles til et næringsbygg og gi samme effekt til fjernvarmenettet. Fordelen med å koble varmpumpen til et datasenter er at datasentre henter en jevn last fra kraftnettet. Et næringsbygg vil ha varierende behov for kjøling gjennom dagen, hvor et datasenter har et mer stabilt behov for å fjerne overskuddsvarme. Varmepumpen kan derfor i større grad optimaliseres ved tilknytning til et datasenter, sammenliknet med et næringsbygg.

11.4 Fordeler og ulemper med bruk av varmepumpeteknologi

I litteraturen i kapittel 4 trekker Ebrahimi, K. *et al.* (2014) frem sorptiv kjøling som en av de beste teknologiene for utnyttelse av overskuddsenergi i datasentre. Sorptiv kjøling er en ventilasjonsteknisk kjølemetode som tar utgangspunkt i å tørke luften ved bruk av varme og en tørkerotor. Videre avkjøles luften adiabatisk ved tilsetning av fukt. Varmen som brukes til å øke temperaturen på ventilasjonsluften, før tørkerotoren, hentes som regel fra fjernvarmenettet. I et tilfelle som DigiPlex ville det vært mulig å bruke den termiske energien fra datasenteret inn i en varmepumpe. Deretter brukes varmeenergien inn i den sorptive kjøleprosessen, slik at fjernvarmetilknytning ikke vil være nødvendig. Begge teknologiene avhenger av en varmepumpe. Hvor sorptiv kjøling kun utnytter varmeprosessen i varmepumpen til å forsyne varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet, utnytter datasenteret hele varmepumpens potensial. Datasenteret bruker varmepumpens fordamperside til kjøling og kondensatorsiden til fjernvarme. Løsningen i DigiPlex-casen gir dermed en større utnyttelse av varmepumpen enn ved den sorptive kjøleprosessen.

Datasenteroperatøren vil, ved tilkobling til fjernvarmenettet, kunne la kjølemaskinene og tørrkjøleren stå i standby. Dette gir ekstra driftssikkerhet ved feil i fjernvarmenettet, og mindre slitasje på deres eksisterende kjøleløsning.

Fortum, som eier varmepumpen, er avhengig av at investeringen blir lønnsom over en gitt periode. Varmepumpen vil sannsynligvis være blant deres rimeligste energiløsninger, ettersom DigiPlex vil betale for kjøling, og Fortum får levert termisk energi til fjernvarmenettet. Jo lavere temperatur varmepumpen leverer desto høyere virkningsgrad oppnår den. Med utgangspunkt i dette er en av Fortums utfordringer å finne punktet hvor varmepumpen har høyest mulig COP (virkningsgrad), uten å gå på bekostning av deres forsyningssikkerhet.

11.5 Usikkerhet

Metoden for å modellere simuleringer hvor varmepumpen leverer 70 °C til nettet, representerer en av de største usikkerhetene i oppgaven. Under punkt 1c. i kapittel 9.4, ble det benyttet samme rørdimensjon for $T_{vp} = 85\text{ °C}$ og $T_{vp} = 70\text{ °C}$ for rørstrekket mellom datasenteret og fjernvarmenettet. Her ble det forutsatt et akseptabelt trykkfall på 100 Pa/m, hvor ulik ΔT i likning (3) ikke ble tatt hensyn til. Med en rørdimensjon på 250 mm og maksimalt trykkfall på 100 Pa/m vil ikke varmepumpen være i stand til å levere mer enn ca. 2,5 MW ved $T_{vp} = 70\text{ °C}$ (se utregning i Vedlegg 1). I Termis har det blitt benyttet en effekt på 9 MW og rørdimensjon på 250 mm. Dette gir et trykkfall på 1000 Pa/m (se utregning i Vedlegg 1). Økt trykkfall betyr

at sirkulasjonspumpen må arbeide på større effekt for å levere den samme energimengden. Riktig dimensjon ved $T_{vp} = 70\text{ °C}$ skulle vært 400 mm. Hvilke ytterligere konsekvenser dette skaper i Termis-modellen er uvisst. Det antas at denne feilmarginen introduserer middels grad av usikkerhet ved samtlige simuleringer med $T_{vp} = 70\text{ °C}$.

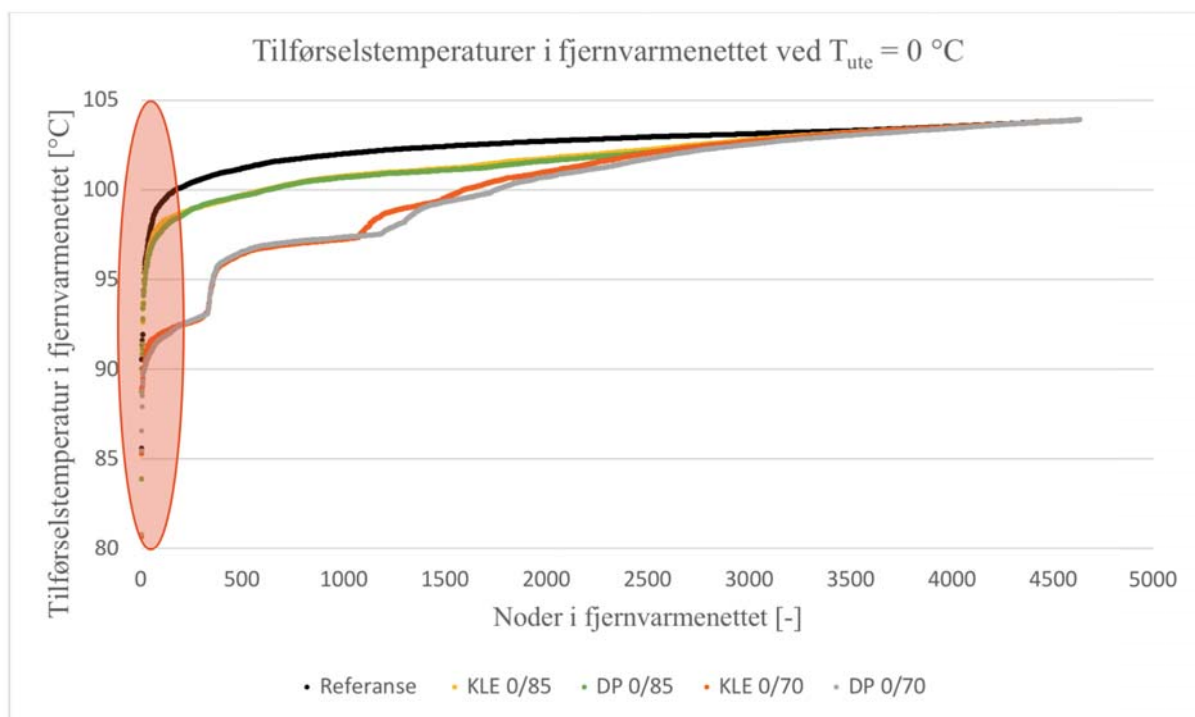
Avviket mellom gjennomsnittlig tilførselstemperatur i Fortums driftsdata (se *Figur 7* i kapittel 9.2) og gjennomsnittlig tilførselstemperatur i referansescenariene (se tabell 4, 6 og 8 i kapittel 10) utgjør en ytterligere usikkerhet i resultatene. Årsaken skyldes at energisentralene i Termis ble innstilt etter Fortums gjennomsnittlige tilførselstemperatur i nettet. Dette valget legger til grunn neglisjerbart varmetap i nettet. I scenarioene med utetemperatur på -10 °C og 0 °C er avviket mellom reelle driftsdata og simuleringene henholdsvis $0,9\text{ °C}$ og $1,4\text{ °C}$. Dette varmetapet regnes ikke som signifikant til å ha innvirkning på resultatene. Ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$ er derimot avviket $5,2\text{ °C}$. Dette får spesielt stort utslag ved referansescenariets mest utsatte 200 noder, hvor den gjennomsnittlige tilførselstemperaturen blir $74,6\text{ °C}$ (se Tabell 8 i kapittel 10.3). Av den grunn kan stor grad av usikkerhet til de fire simuleringene ved $T_{ute} = 20\text{ °C}$.

I Termis-modellen har installert effekt i energisentralene blitt redusert med samme prosentfaktor ved stigende utetemperaturer, selv om energisentralene i virkeligheten vil fases ut etter pris på energibæreren [kr/kW]. Ettersom informasjon om energisentralenes energibærere ikke har vært tilgjengelig, har energisentralene blitt redusert jevnt over hele nettet. Implikasjonene av dette vil være positiv dersom det opprettholdes høy effekt i området rundt datasenteret, og negativ hvis det fases ut mye effekt i energisentralene nær datasenteret.

Det er viktig å spesifisere at resultatene i denne rapporten gir indikasjoner på hvordan et datasenter med varmepumpetilknytning vil påvirke Fortums fjernvarmenett i Oslo. Forenklinger i Fortums grunnmodell, samt generelle usikkerhetsmomenter i simuleringene med datasentertilnknytningen gjør at resultatene bør benyttes som en del av en større totalvurdering av prosjektet. Ved generalisering av modellen vil det være fordelaktig å gjennomføre en analyse i et tilsvarende modelleringsverktøy. Slik kan man sammenlikne resultatene fra de to rapportene, og bedre foreta en avgjørelse angående teknologiens kredibilitet.

Ettersom simuleringsarbeid som ligger til grunn i oppgaven er tidkrevende, ble det besluttet å kommentere usikkerhetsmomentene i metoden, fremfor å foreta nye simuleringer.

I samtlige simuleringer faller temperaturen ved utsatte noder (se skravert felt i *Figur 16*). Fenomenet skyldes sannsynligvis innstillinger i Fortums grunnmodell, ettersom det samme fenomenet forekommer i referansescenariet uten datasentertilknytning. Usikkerheten videreføres fra Fortums grunnmodell til den nye modellen med datasentertilknytning. Dersom utslaget utelukkende hadde oppstått i simuleringene med datasentertilknytning ville det vært mer hensiktsmessig å finne årsaken til problemet.



Figur 14: Illustrasjon av temperaturfall ved simuleringenes mest utsatte noder. Fenomenet illustreres i simuleringene for $T_{ute} = 0\text{ °C}$, men forekommer også i øvrige scenarier.

11.6 Veien videre

For videre studier ville det vært interessant å gjøre en kvalitativ studie av enkeltforbrukere i fjernvarmenettet. Nodene i Termis-modellen gir kun en indikasjon på utordringene som vil oppstå ved kundesentralene i nettet. Varmetap mellom nodene og forbrukerne er ikke medregnet i denne rapporten. Ved gjennomføring av videre studier vil det anbefales å avsette tid til å rette opp punktene i usikkerhetskapittelet, og gjennomføre nye simuleringer.

OBOS prosjekterer i skrivende stund 3000 nye boliger og 2000 m² nye næringslokaler i svært nær beliggenhet til datasenteret. Selskapet har ytret at de ønsker å benytte seg av bærekraftige energiløsninger, og at bruk av overskuddsvarme fra nærliggende industri vil være interessant. Dette åpner muligheter for å opprette en ny lavtemperaturkrets i området på Ulven. En nærmere

analyse av potensialet for en slik tilknytning danner et interessant utgangspunkt for videre studier.

Dette er en teknisk rettet oppgave som har fokus på teknologi og energiaspektet ved datasentertilknytningen. Dermed vil det være spennende å gå videre inn i økonomien til casen i denne rapporten. Samtaler med kjøleentreprenøren ThermoControl indikerer at investeringskostnaden til varmepumpen vil ligge mellom 20-30 MNOK. Det ville vært interessant å undersøke hvilken økonomisk effekt ulik tilførselstemperatur fra varmepumpen gir. Avslutningsvis vil det være relevant å undersøke om besparelsen er større for Fortum, enn de eventuelle kostnadene for utbedring av kundesentraler som får effektproblemer.

12 KONKLUSJON

Basert på tolv simuleringer i Termis, kan det argumenteres for at en datasentertilknyttet varmepumpe på 9 MW, som leverer 85 °C til tilførselssiden i Fortums fjernvarmenett i Oslo, *ikke* gir utfordringer kundene. Dette gjelder ved utetemperaturer under 0 °C. Sannsynligvis vil det heller ikke oppstå utfordringer dersom varmepumpen leverer tilsvarende effekt og 70 °C til tilførselssiden. Det er derimot noe usikkerhet knyttet til denne antagelsen. Ved utetemperaturer opp mot 20 °C vil varmepumpen utgjøre en større forskjell på tilførselstemperaturen i nettet, og sannsynligvis ikke kunne levere 9 MW. Denne antagelsen er det knyttet stor grad av usikkerhet til grunnet feilmargin i metoden.

Plasseringen av den datasentertilknyttede varmepumpen har neglisjerbar innvirkning på resultatene. Med høy sannsynlighet spiller det liten rolle om systemet plasseres ved Klemetsrud eller DigiPlex på Ulven. Plasseringen ved Klemetsrud kan betraktes som mer strategisk på grunn av muligheten til å justere tilførselstemperaturen fra energisentralen for å nøytralisere avkjølingen fra varmepumpen.

Eventuelle feil utover nevnte usikkerhetsmomenter er studentens fulle ansvar. Resultatene i oppgaven gir en indikasjon på teknologiens innvirkning på Fortums fjernvarmenett, og oppgavens resultater bør sees i lys av annen forskning på feltet.

13 TERMINOLOGIOVERSIKT

DP -10/85 er en forkortelse datasentertilknytningen ved DigiPlex ved $T_{ute} = -10\text{ °C}$ og $T_{vp} = 85\text{ °C}$. Tilsvarende for de tolv andre simuleringene med oppbygningen «AB X/Y» står AB for plasseringen, X for T_{ute} og Y for T_{vp} .

Energisentral er i denne oppgaven benyttet som betegnelse for produksjonssentralene i fjernvarmenettet. Tilsvarende ord på engelsk vil være energy plant.

Kundesentral er brukt som begrep for varmeveksleren til forbrukerne i fjernvarmenettet.

Tilførselstemperatur fra varmepumpen er et uttrykk for temperaturen som forlater varmepumpen på kondensatorsiden og tilføres turledningen i fjernvarmenettet.

T_{ute} er en forkortelse for utetemperatur.

T_{vp} er en forkortelse for temperaturen som varmepumpen leverer til fjernvarmenettet. I oppgaven veksles denne temperaturen mellom 70 °C og 85 °C .

14 BIBLIOGRAFI

Ebrahimi, K., Jones, G. F. & Fleischer, A. S. (2014). *A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 622-638.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.007>

Grünfeld, L., Gierløff, C. W. & Eide, L. S (2017) *Gevinster knyttet til etablering av et hyperscale datasenter i Norge*. [Internett] Menon-Publikasjon Nr. 39. Menon Economics. Tilgjengelig fra: <<https://www.menon.no/wp-content/uploads/2017-39-Gevinster-knyttet-til-etablering-av-et-hyperscale-datasenter-i-Norge-1.pdf>> [Lest 5. februar 2019]

Fortum Oslo Varme

– Driftsdata: *Gjennomsnittlige tur- og returtemperaturer for ulike utetemperaturer* (2019)

– Driftsdata: *Energiproduksjon for ulike utetemperaturer* (2019)

Kleyman, B. (2018) *State of the Data Center Industry, 2018 – Where We are and What to Expect* [Internett]. Data Center Knowledge. Tilgjengelig fra:

<<https://www.datacenterknowledge.com/afcom/state-data-center-industry-2018-where-we-are-and-what-expect>> [Lest 1. mars 2019].

Meld. St. 27 (2015-2016). *Digital agenda for Norge: IKT for en enklere hverdag og økt produktivitet*.

Rämä, M. & Sipilä, K. (2017) *Transition to low temperature distribution in existing systems*. *Energy Procedia*, 116, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.055>

Rämä, M. & Wahlroos, M. (2018) *Introduction of new decentralised renewable heat supply in an existing district heating system*. *Energy*, 154, 68-79.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.105>

Schneider Electric (2012) *Termis User Guide*

Zijdemans D. *Vannbaserte oppvarmings og kjølesystemer*. 01.2014, 1. opplag. Asker: Skarland Press AS;2014.

15 VEDLEGG

Vedlegg 1: Utregning av rørdimensjon for scenario med $T_{vp} = 70\text{ °C}$

I dette vedlegget presenteres fremgangsmåten for å dimensjonere rørstrekket ved den nye varmepumpen, hvis varmepumpen leverer 70 °C til turledningen i nettet. Dimensjonering av diameter ved bruk av Hazan-Wilhelms forenklete metode er gitt ved:

$$(1) \quad D_i = 5,843 \cdot \frac{\dot{m}^{0,367}}{R^{0,215}}$$

Hvor:

D_i : Rørets indre diameter [mm]

$\dot{m}$: Massestrømmen i rørstrekket [kg/h]

R : Friksjonstapet i Pa/m. I følge Zijdemans tillater man normalt ikke dimensjonerende trykktap som overstiger 100-200 Pa/m. I denne utregningen forutsettes det at friksjonstapet i røret ikke skal overstige 100 Pa/m.

For å finne massestrømmen i røret benyttes den termodynamiske sammenhengen mellom effekt, massestrøm, temperaturendring og vannets spesifikke varmekapasitet:

$$(2) \quad \dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Hvor:

$\dot{Q}$: Effekt [J/s eller W]

$\dot{m}$: Massestrøm [kg/s]

c_p : Vannets spesifikke varmekapasitet [J/kgK]

ΔT : Temperaturdifferanse mellom to strømninger [K]

I Termis-modellen antas det at varmepumpen vil forsyne fjernvarmenettet med en konstant effekt på 9 MW. Dimensjonerende temperaturdifferanse mellom returtemperaturen (65 °C eller 338 K) og tilførselstemperaturen (70 °C eller 358 K) er 5 °C . Likning (2) løses for $\dot{m}$:

$$(3) \quad \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{9 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s/h}}{4180 \text{ J/kgK} \cdot (358 \text{ K} - 353 \text{ K})} = 1\,550\,239 \text{ kg/h}$$

Tilslutt anvendes resultatet fra likning (3) inn i likning (1):

$$(4) \quad D_i = 5,843 \cdot \frac{\dot{m}^{0,367}}{R^{0,215}} = 5,843 \cdot \frac{1\,550\,239^{0,367}}{100^{0,215}} = 405,1 \text{ mm}$$

Ut i fra beregningene skulle rørdimensjonen ved $T_{vp} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ vært 405 mm, eller DN400.

I stedet for å benytte denne rørdimensjonen er det blitt benyttet en rørdimensjon på 250 mm som gir et trykkfall på ca. 1000 Pa/m.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway