



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGÅVE

Nytenking rundt bruk av overskotsvarme –
Teknoøkonomisk undersøking ved bruk av overskotsvarme
frå eit planlagd datasenter i Luster Kommune

Rethinking waste heat usage – Techno-economic
investigation into waste heat usage of a planned datacenter
in Luster Municipality

**Jørgen Kløvjan Ringstad, Hans Rogne Strømmen & Andrine
Roska Vallestad**

FE403 Bacheloroppgåve i Fornybar Energi

Fakultet for ingeniør- og naturvitskap/Institutt for miljø- og
naturvitskap/Fornybar Energi

Rettleiar: Jan P. Zeiss

03.06.2022

Eg stadfestar at arbeidet er sjølvstendig utarbeida, og at referansar/kjeldetilvisingar til alle
kjelder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1

Forord

Vi er tre studentar ved Høgskulen på Vestlandet som studera Fornybar Energi. Dette prosjektet markera slutten på vår bachelorgrad. Prosjektet vårt er svært dagsaktuelt, og det har vore veldig spanande å jobbe med. Vi har hatt stort læringsutbytte undervegs, og håpar prosjektet kan kome til nytte for Luster kommune eller andre interesserte.

Vår største takk går til Jan P. Zeiss. Han har vore ein fantastisk retteleiar som har vert svært behjelpeleg og engasjert i prosjektet vårt. Vi retter også ei stor takk til Oliver Bjørndal i Luster kommune, samt Kent Monsen og Siv Merete Marås i Lustrabadet for godt samarbeid.

Vi ynskjer også å rette ei takk til Ole Marius Moen i SINTEF Energi, som gav oss nyttige og fagleg tips, samt anbefalingar til relevant litteratur. Takk til Bertil Endresen for innhenting av prisar til fjernvarmerøyr og andre tips undervegs i prosjektet. Til slutt vil vi takke venar og familie for korrekturlesing.


God lesing!

Stad: Sogndal

Dato: 03.06.2022



Jørgen Kløvjan Ringstad



Hans Rogne Strømmen



Andrine Roska Vallestad

Samandrag

Global auke i datatrafikk gir behov for nye store datasenter. Desse brukar mykje energi, særleg til kjøling. Om lag 80-90 % av energiforbruket til eit datasenter kjem ut som overskotsvarme. Denne varmen kan og bør nyttast vidare. I Luster kommune, nærmare sagt Hausamoen, har Sognekraft ilag med andre interessantar uttrykt ynskje om å etablere eit 100 MW datasenter. Plasseringa er omtrent 5 km frå Gaupne og er valt på grunnlag av Hausamoen sin gode tilgang på rein og stabil kraft.

Dette fører til følgjande problemstilling: **(I)** Er det teknisk og økonomisk hensiktsmessig å nytte overskotsvarme frå eit datasenter til oppvarming av Lustrabadet? **(II)** Er det mogleg å etablere eit større fjernvarmenettverk i Gaupne basert på overskotsvarme frå datasenter? For å svare på problemstillinga har vi nytta teori frå litteratur samt datainnsamling gjennom møter med sentrale aktørar. Denne informasjonen har vi nytta i modelleringsverktøyet THERMOS, for å designe eit fjernvarmenett for tre ulike scenario i Gaupne. Resultatet i prosjektet er:

Totalkostnaden for scenario 1 er 14,55 Mkr, med ei årleg prosentvis nytting på 0,2 %.

Totalkostnaden for scenario 2 er 17,55 Mkr, med ei årleg prosentvis nytting på 0,3 %.

Totalkostnaden for scenario 3 er 186,31 Mkr, med ei årleg prosentvis nytting på 6,1 %.

Ein får ein svært låg årleg prosentvis nytting av overskotsvarme frå datasenteret, uavhengig av scenario. Datasenterets effekt er for høg samanlikna med kor mykje overskotsvarme Gaupne kan nytte. Får ein ikkje nytte overskotsvarme, bør ein heller ikkje etablere eit datasenter.

Abstract

Global increase in data traffic creates a need for new and large data centers. These use a lot of energy, especially for cooling. About 80-90 % of the energy consumption of a data center comes out as waste heat. This heat can and should be used further. In Luster municipality, more precisely Hausamoen, Sognekraft, together with other stakeholders, has expressed a desire to establish a 100 MW data center. The location is about 5 km from Gaupne and is chosen based on Hausamoen's good access to clean and stable power.

This leads to the following research questions: **(I)** Is it technically and economically appropriate to use waste heat from a data center for heating Lustrabadet? **(II)** Is it possible to establish a larger district heating network in Gaupne based on waste heat from the data center? To answer these questions, we use literature as well as data collection through meetings with professionals in the field. We use this information in the modelling tool THERMOS to design a district heating network for three different scenarios in Gaupne. The result of this project is:

The total cost for scenario 1 is NOK 14.55 million, with an annual percentage utilization of 0,2 %. The total cost for scenario 2 is NOK 17.55 million, with an annual percentage utilization of 0,3 %. The total cost for scenario 3 is NOK 186.31 million, with an annual percentage utilization of 6,1 %.

Regardless of the scenario, there is a very low annual percentage utilization of waste heat from the data center. The data center's capacity is too high compared to how much waste heat Gaupne can benefit from. If waste heat is not utilized, a data center should not be established either.

Innholdsliste

Forord	I
Samandrag	II
Abstract	III
Figurliste.....	VII
Tabelliste	IX
Ordforklaring.....	X
1. Innleiing	1
2. Teori	3
2.1. Energieffektivisering	3
2.2. Fjernvarme.....	5
2.2.1. Generelt om fjernvarme	5
2.2.2. Bruken av fjernvarme.....	6
2.2.3. Komponentar	11
2.2.4. Økonomiske aspekt ved fjernvarme	15
2.2.5. Lønsemd	15
2.3. Datasenter	16
2.3.1. Generelt om datasenter	16
2.3.2. Type datasenter	18
2.3.3. Oppbygging	19
2.3.4. Eit effektivt og berekraftig datasenter	22

2.3.5.	Overskotsvarmens verdi	23
3.	Studieområdet.....	25
3.1.	Luster Kommune	25
3.2.	Sogn Datasenter AS	27
3.3.	Lustrabadet	28
3.4.	Potensialet i Gaupne	30
4.	Metode.....	31
4.1.	Val av metode	31
4.2.	Val av modelleringsverktøy.....	31
4.3.	THERMOS	33
4.4.	Innsamling av data.....	35
4.4.1.	Lustrabadet	35
4.4.2.	Luster kommune.....	36
4.4.3.	Parameter til THERMOS	37
4.5.	Scenario	40
4.5.1.	Felles innstillinger	40
4.5.2.	Ekskluderte parameter	41
4.5.3.	Scenario 1	41
4.5.4.	Scenario 2	41
4.5.5.	Scenario 3	42
5.	Resultat.....	43

5.1.	Scenario 1	43
5.2.	Scenario 2	44
5.3.	Scenario 3	45
6.	Diskusjon.....	48
6.1.	Samanlikning av dei ulike scenario	48
6.1.1.	Teknisk aspekt.....	48
6.1.2.	Økonomisk aspekt	49
6.2.	Alternativ	52
6.3.	Berekraft	53
6.4.	Etikk.....	55
6.5.	Feilkjelde	56
6.6.	Vidare studie.....	58
7.	Konklusjon	60
	Referanseliste	62
	Vedlegg	69

Figurliste

Figur 1: Produksjon av fjernvarme. Data henta frå IEA (2021d).....	6
Figur 2: Utslepp ved produksjon av fjernvarme jamfør NZE. Data henta frå IEA (2021d).	7
Figur 3: Investering i fjernvarme i Noreg frå 1987-2020. Data henta frå SSB (2021b).	9
Figur 4: Nettoproduksjon av fjernvarme i Noreg etter varmesentral. Data henta frå SSB (2021c).	10
Figur 5: Fjernvarme levert til ulike forbrukargrupper i Noreg. Data henta frå SSB (2021a). .	10
Figur 6: Illustrasjon av eit enkelt fjernvarmenett. Illustrasjon: (Norsk Fjernvarme, u.å.).	11
Figur 7: Pre-isolert stivt stålrør med PUR. Bilde henta frå: (Armour Valve, u.å.).	12
Figur 8: Døme på eit fjernvarmenettverk med dei ulike røyra. Kjelde: (Nussbaumer et al., 2020, fig. 4.6)	13
Figur 9: Bruttoprodukt i datasenternæringa i millionar kroner, fordelt geografisk i Noreg. Kjelde: Statistisk sentralbyrå.....	17
Figur 10: Oversikt over studieområdet. Utarbeida i QGIS.	25
Figur 11: Kartet illustrerer potensielle næringsområde som kan nytte overskotsvarme frå industri/datasenter. Kartet er tilsendt frå Oliver Bjørndal i Luster kommune.....	26
Figur 12: Straumforbruk for Lustrabadet 2017. Grunnlag for 2017 er grunna ufullstendige målingar andre år. Henta frå EM-Systemer.	29
Figur 13: Straumforbruk gjennom ein måned, januar 2017. Henta frå EM-Systemer.	29
Figur 14: Straumforbruk gjennom ein måned, juli 2017. Henta frå EM-Systemer.....	29
Figur 15: Oversiktskart over Luster ungdomsskule, Lustrabadet og Pyramiden.	30
Figur 16: Varmevekslaren for tilkopling til fjernvarmenett i Lustrabadet. Foto: Privat.....	36
Figur 17: Innstillingane for innhenting av HDD. Skjermdump av nettstaden til BizEE (u.å.).	39

Figur 18: Illustrasjonsbilete av fjernvarmenettet for scenario 3. Dei oransje linjene illustrera røyra i nettverket. Bygget som er markert lysegrått i sør, er Avery Dennison NTP som er ekskludert frå nettverket. Utklipp frå THERMOS. 46

Figur 19: Illustrasjonsbilete av fjernvarmenettverket i Gaupne for scenario 3. Dei oransje linjene illustrera røyra i nettverket. Utklipp frå THERMOS. 47

Tabelliste

Tabell 1: Felles innstillingar/parameter for alle scenario.....	40
Tabell 2: Detaljert informasjon om fjernvarmenettet i scenario 1. Utklipp frå THERMOS....	43
Tabell 3: Detaljert informasjon for dei ulike røyrdimensjonane for scenario 2. Utklipp frå THERMOS.....	44
Tabell 4: Detaljert informasjon for dei ulike røyrdimensjonane for scenario 3. Utklipp frå THERMOS.....	45
Tabell 5: Utrekning for scenario 1.	50
Tabell 6: Utrekning for scenario 2.	50
Tabell 7: Utrekning for scenario 3.	51

Ordforklaring

GIS	=	Geografisk Informasjons System
OSM	=	Open Street Map
HDD	=	Heating Degree Days
API	=	Application Programming Interface
PUE	=	Power Usage Effectivness
ERE	=	Energy Reuse Effectiveness
kWh	=	Kilowatt time
MWh	=	Megawatt time
GWh	=	Gigawatt time
EJ	=	ExaJoule
Mkr	=	Millionar kroner
SSB	=	Statistisk sentralbyrå
NVE	=	Norges vassdrag- og energidirektorat
OED	=	Olje- og energidepartementet
IPCC	=	Intergovermental Panel on Climate Change/FNs klimapanel
IEA	=	International Energy Agency
CHP	=	Varmekraftverk/Combined Heat and Power
NZE	=	Net Zero Emissions/Nettonull utslepp
δt	=	Differanse mellom tur- og returtemperatur
CRAC	=	Computer Rack Air Cooling
CRAH	=	Computer Rack Air Handling
PUR	=	Polyuretanskum

1. Innleiing

Den globale gjennomsnittstemperaturen har auka med 1,1°C sidan førindustriell tid. I fylgje FNs klimapanel, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), er menneskeleg aktivitet årsaka til den globale oppvarminga, og konsekvensane av klimaendringane er alvorleg (IPCC, 2021). Oppvarminga har blant anna ført til rekordhøge CO₂-verdiar i atmosfæren, høgare havnivå og hyppigare ekstremvêr. Utsleppa vil ikkje stoppe med det fyrste, og målet om å redusere klimagassutsleppa vil difor bli stadig vanskelegare å nå (IPCC, 2021). For å avgrense klimaendringane er det naudsynt med globale løysningar. IPCC publiserte 9. April 2021 fyrste delen av den sjette hovudrapporten (IPCC, 2021). Der kjem det fram at det fastsette 1,5°C målet krev ei ytterlegare reduksjon i oppvarming. Dette vil føre til omfattande tiltak og store endringar i alle samfunnsområde. For at den globale oppvarminga skal halde seg under 2°C er det naudsynt med netto null utslepp av klimagassar innan 2050.

Vi er i ei tid med store omstillingar i energisystemet i Europa. Noreg har gjennom Parisavtalen forplikta seg til å bidra til å nå målet om eit lågutsleppssamfunn innan 2030 (Innst. 325 S (2020–2021), 2021). I tillegg til å kutte utslepp, må det satsast på fornybar energi, karbonfangst- og lagring, nye industrielle system og endring i infrastruktur (FN, 2022b). Grunna utfasing av fossil energi, fører dette også til ei auke i kraftteterspørselen (NVE, 2021).

FNs berekraftsmål nummer 7, «Rein energi til alle», og delmål 7.3 tilseier at forbetringa av energieffektiviteten på verdsbasis skal doblast innan 2030 (FN, 2022b). Energieffektivisering er eit satsingsområde som bidreg til å dempe kraftforbruket i Europa. Noreg har eit høgt energieffektiviseringspotensial, men ein høg investeringskostnad skapar likevel ei barriere for gjennomføringa (NVE, 2021). Ein viktig del av energieffektivisering er nytting av overskotsvarme.

Nytting av overskotsvarme er svært relevant for datasenter. I eit datasenter er behovet for energi jamt og høgt, då det er mange komponentar og prosessar som produsera varme. Dette fører til eit konstant behov for nedkjøling, som igjen gir ein stor mengde med overskotsvarme. Grunna jamn produksjon av overskotsvarme kan dette nyttast i eit fjernvarmenettverk. Volumet på data som blir produsert på verdsbasis er i ein enorm vekst. Berre i 2020 auka datatrafikken med 40 % på grunn av videostrømming, videokonferansar, nettspel og sosiale nettverk (IEA, 2021c). Dei siste to åra har det blitt produsert meir data enn i menneskets historie. Det er difor ein auka

etterspørsel etter datasentertjenester i verda.

Noreg har gode føresetnader for å være eit attraktivt land for etablering av datasenter. I tillegg har Noreg eit kaldt klima som kan tilby billig fornybar kraft. I kraftkommunen Luster har investorar/utbyggjarar tatt kontakt for utbygging av eit nytt datasenter i området Hausamoen. Området er eit knutepunkt for straumforsyning, og Statnett er i fullt arbeid med å utvide høgspenningsanlegget og omplassering av transformatorstasjonen i området. Området er attraktivt for kraftkrevjande industri då det er god tilgang på rein og stabil kraft (Luster kommune, 2020). 5,5 km sør for Hausamoen ligg kommunesenteret Gaupne. Sentrum av Gaupne er lite og kompakt, og består av fleire offentlege- og industribygg. Omtrent i midten av Gaupne finn ein badeanlegget Lustrabadet, eit anlegg som krev mykje energi til oppvarming.

Luster kommune ynskjer å undersøke korleis eit eventuelt varmeoverskot frå eit nytt datasenter kan nyttast. I dette prosjektet ynskjer vi å ta dette vidare ved å bruke Lustrabadet som hovudkonsument i eit fjernvarmenettverk. Dermed har vi fylgjande problemstilling: **(I)** Er det teknisk og økonomisk hensiktsmessig å nytte overskotsvarme frå eit datasenter til oppvarming av Lustrabadet? **(II)** Er det mogleg å etablere eit større fjernvarmenettverk i Gaupne basert på overskotsvarme frå datasenter?

Prosjektet er svært dagsaktuelt. For å oppnå berekraftig utvikling med den omstillinga og det omfanget av energi ein har i dag, avhenger det av to aspekt: Måten ein produsera energi, og måten ein nyttar energi. Begge er svært viktige, men sistnemnde er vårt hovudfokus i dette prosjektet. Ved å nytte overskotsvarme frå datasenter effektivisera ein bruken av energi.

I prosjektet legg vi fram relevant teori om energieffektivisering, fjernvarme og datasenter. I kapittel tre kjem vi inn på kvifor Luster kommune er aktuelt for etablering av eit nytt datasenter. Videre i kapittel fire legg vi fram kva metode vi nyttar for å svare på problemstillinga, og i kapittel fem presenterast resultatet. Avslutningsvis diskutera vi resultatet i kapittel seks, og til slutt kjem vi med ein konklusjon.

2. Teori

I teorien går vi inn på sentrale tema som skal hjelpe oss til å svare på problemstillinga. Kapitlet er delt inn i tre underkapittel. I fyrste del vil vi beskrive energieffektivisering og viktigheita knytt til dette. Deretter går vi inn på fjernvarme som kan vere ein effektiv måte å distribuere varme på. Til slutt forklarar vi kva eit datasenter er, og kvifor det er ein viktig varmekjelde.

2.1. Energieffektivisering

Energieffektivisering går ut på å nytte seg av energien på best mogleg vis, slik at ein får nytta ressursane effektivt. I 2015 vedtok FN sine medlemsland 17 berekraftsmål og 169 delmål. Desse skal vere verdas felles arbeidsplan for utrydding av fattigdom, kjempe mot ulikheit og stoppe klimaendringar (FN, 2022c). Berekraftsmål nummer 7 - rein energi for alle, og delmål 7.3 - doble energieffektivitetsraten på verdsbasis innan 2030 (FN, 2022a), stadfesta viktigheita med energieffektivisering. Å nytte energien effektivt er viktig for å nå klimamåla, samt at ein unngår å byggje ut unødig kraftproduksjon. Forbetringa i energieffektivitet dempar etterspørselen etter drivstoff og elektrisitet.

Tempoet for forbetring av energieffektivisering minkar, men potensialet for forbetring i verda er enorme. International Energy Agency (IEA) har difor oppretta ein høgtstående global kommisjon for å ta energieffektivisering på alvor. Denne kommisjonen skal komme med anbefalingar og retningslinjer som skal føre til ein rask framgang gjennom politisk handling (IEA, 2019b).

Netto nullutslepp (NZE) er eit mål om å redusere dei globale utsleppa av CO₂ til netto null innan 2050. Det betyr ein enorm nedgang i bruk av fossilt brensel og auka bruk av fornybar energi. Dette krev ei endring i måten ein produserer, transporterer og nyttar energi (IEA, 2021a). Netto nullutslepp er designa for å maksimere teknisk gjennomføring, kostnadseffektivitet og sosial aksept, samtidig som at den skal tilfredsstille den økonomiske veksten, og sikre energiforsyning (IEA, 2021a). Veggen for å nå dette målet krev at ein brukar tilgjengelege reine og effektive energiteknologiar. Dette er nøkkelen til å motverke dei verste effektane av klimaendringane (IEA, 2021a).

I Noreg vil regjeringa leggje til rette for effektivisering av energi for eit betre samspel mellom

kraftsystemet, fjernvarmesystemet og moglegheita for forbruksfleksibilitet (Meld. St. 36 (2020–2021), 2021). Elektrifisering, energieffektivisering og overgang til lågkarbonkjelder kan alle bidra til å gjere energi rimelegare. Dette krev ofte store investeringar, men vil vere lønnsamt over tid (IEA, 2021b). Effektivisering av energi er eit tiltak som allereie blir gjennomført i norske bygningar, transport og industri. Med venta auke i kraftforbruket i Noreg, vil energieffektivisering bidra til eit lågare kraftbehov. Effektiv bruk av energi er eit avgjerande tiltak for framtidens energisystem (NVE, 2022).

Omlag 46 % av varmen som blir produsert i verda går til oppvarming av bygningar (IEA, 2019a). Det er dermed eit stort potensiale for energieffektivisering i denne sektoren. Føreskriftene for bygg har dei siste åra blitt strengare. Den nyaste byggestandaren i Noreg er TEK 17, og denne set krav til isolering av nye hus. Etterisolering av eldre hus er også viktig for å spare energi. Å byte til nye isolerte vindauge og dører er viktige, samt enkle tiltak for å redusere energibruken. Regjeringa har eit mål om å spare 10 TWh energi ved hjelp av energieffektiviseringstiltak i eksisterande bygg innan 2030 (Meld. St. 36 (2020–2021), 2021).

Billig fornybar kraft har påverknad på energieffektivisering. EU sine konkrete forpliktingar om auka effektivisering er vanskelagre å oppnå om tilgangen på billig fornybar kraft er god. Energieffektiviseringstiltak er ikkje lønsame om prisen er under eit vist nivå. Vi har i dag eit mål om både fornybar kraft og energieffektivisering. Med god tilgang på billig fornybar kraft minka dette framgangen mot måla vi har for energieffektivisering (Statistisk sentralbyrå, 2013).

2.2. Fjernvarme

Fjernvarme kan vere ein viktig teknologi innanfor energieffektivisering. I dette kapittelet går vi inn på teknologien fjernvarme, bruken av fjernvarme, ulike komponentar og det økonomiske aspektet knytt til fjernvarme.

2.2.1. Generelt om fjernvarme

Fjernvarme er eit oppvarmingssystem der varmt vatn frå ein oppvarmingssentral vert overført i isolerte røyr til brukaren (Rosvold, 2021). Fjernvarme forsyner varme ved hjelp av energi i varm væske, og kan brukast til å varme opp til dømes hus eller bydelar.

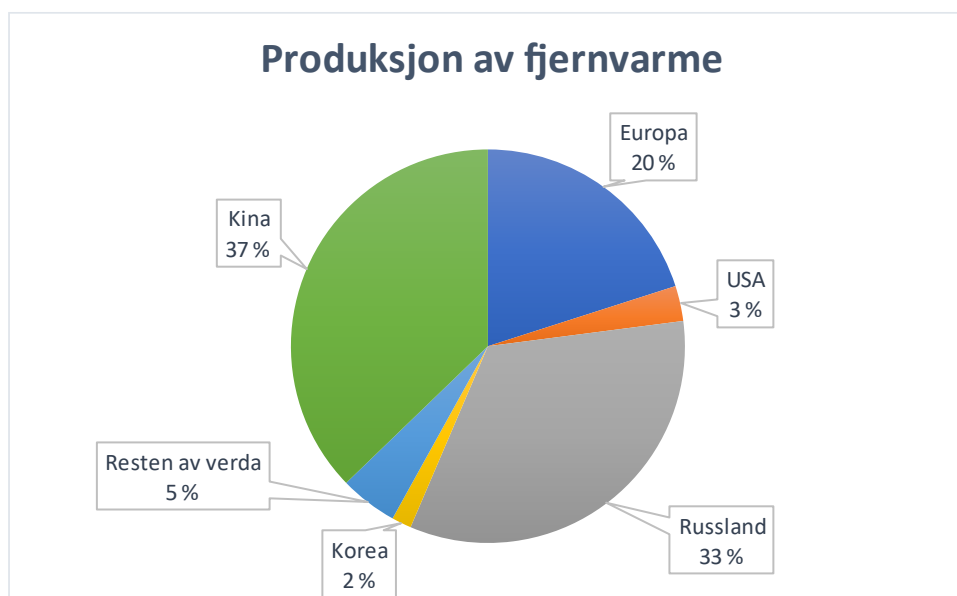
Det kan vere fleire ulike varmekjelder for oppvarming, noko som gjer fjernvarme fleksibelt. Til dømes kan kjeldene vere flisfyring, avfallsforbrenning, kolkraft eller overskotsvarme frå industri. Å nytte varme frå fjernvarme kan potensielt vere meir klimavenleg og energieffektivt enn å få varme frå andre kjelde. Dette avheng av korleis varmen blir produsert. Fjernvarmenett med kolfyring som kjelde er ein måte som ikkje er klimavenleg med tanke på CO₂-utslepp. Ein har også kraftvarmeverk (CHP) som produsera både elektrisk- og termisk energi. Energien i brenselet som blir brukt, blir omforma til både elektrisitet og varme. Varmen blir vanlegvis levert i form av damp eller varmevatn som gjer at ein kan nytte dette vidare i fjernvarmenett (Rosvold & Hofstad, 2019). Om varmen ikkje blir handtert vil verdifull energi gå tapt. Sjølv om produksjonen naudsynt ikkje er klimavenleg, er dette varme som allereie blir produsert og kan difor nyttast til andre formål. Eit anna døme, er overskotsvarme frå eit datasenter. Om datasenter får kraft frå fornybare kjelder, produsera ein klimavenleg overskotsvarme. På denne måten får ein klimavenleg og energieffektiv varmeproduksjon.

Produsera ein varme på ein klimavenleg måte og effektivisera energibruken ved å nytte overskotsvarme, kan fjernvarme ha ein stor fordel med tanke på å nå klimamåla. Å få nytta energi som elles går tapt, handlar om å få ei høgare nyttingsgrad noko som er viktig då energi er eit knappheitsgode. Ein annan viktig fordel med fjernvarme er at ein får auka forsyningssikkerheita der sentralnettet er belasta (Haugerud et al., 2014).

2.2.2. Bruken av fjernvarme

2.2.2.1. Globalt

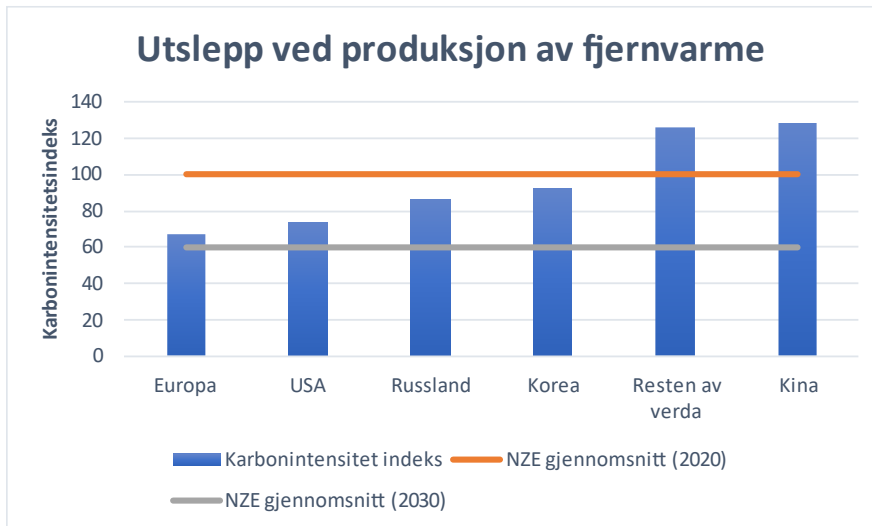
Fjernvarme er utbreidd i store delar av verda, særleg i tett busetnad der etterspørsel etter varme er høg og jamn året rundt (IEA, 2021d). Bruken er størst i Kina og Russland, medan Europa ligger eit stykke bak (figur 1). Det er i desse tre stadane 90 % av fjernvarmen blir produsert. Verdas totale fjernvarmeproduksjon låg på 16 EJ (ExaJoule) i 2020 og aukar stadig. Dette er om lag 3 % av verdas totale energiproduksjon. Store delar, omtrent 40 % av den produserte fjernvarmen, går til industrien. Mengde fjernvarme til oppvarming av bygningar er derimot ikkje så høg, berre 8,5 % globalt. Sjølv om mengda er låg globalt er det enkelte land som har ein relativ høg grad av bruk av fjernvarme til oppvarming av bygningar. I Sverige og Danmark er varme til bygningar levert frå fjernvarmeanlegg på over 45 % (IEA, 2021d).



Figur 1: Produksjon av fjernvarme. Data henta frå IEA (2021d).

I fylgje IEA (2021d) er fjernvarme sentral for å avkarbonisere energibruken til bygningar. Ein stor fordel med fjernvarme er nettopp det at ein kan bruke mange ulike kjelde for oppvarming, som til dømes fornybar energi og overskotsvarme. Likevel kjem det fram at omtrent 90 % av den globale produksjonen kjem frå fossilt brensel som kol og naturgass. Dei siste 20 åra har fjernvarme produsert av kol auka, mykje på grunn av Kina. Dette fører til at deira produksjon av fjernvarme har den høgaste mengda utslepp av CO₂, som illustrert i figur 2. Ein ser også at Kina og resten av verda slepp ut alt for mykje CO₂ jamfør til nettonull (NZE) delemål for 2020. Produksjonen av fjernvarme må gjerast meir klimavenleg og potensialet er stort. I Helsinki, hovudstaden i Finland, bruker dei avlaupsvatn for å drifte varmpumper for byen sitt

fjernvarmenett. I Wien (Austerrike) brukar dei elektrisitet produsert frå vindmølle i eit kraft-til-varme anlegg. Der blir elektrisiteten konvertert til varme som kan brukast i fjernvarmenettet (IEA, 2021d; Wien Energie, 2018). Dette er tiltak som hjelper på vegen mot null utslepp knytt til fjernvarmeproduksjon.



Figur 2: Utslepp ved produksjon av fjernvarme jamført NZE. Data henta frå IEA (2021d).

Sverige, Danmark og Finland har nytta fjernvarme i langt større grad enn i Noreg. I Noreg har utviklinga av vasskrafta mellom 50- og 80-tallet ført til stor tilgang på rimeleg og rein elektrisitet. Der Noreg fekk stor tilgang på elektrisitet var ikkje fokuset på å utvikle fjernvarme så høgt som i nabolanda. Danmark var tidleg ute med fjernvarme, allereie rundt 1920. Finland og Sverige kom litt seinare då mangelen på elektrisitet og oppvarming etter andre verdskrig blei eit tema (Sandberg & Trømborg, 2016). Fleksibiliteten til fjernvarme med tanke på ressursar har gjort denne teknologien populær, særleg då ein kan bli mindre avhengig av import av andre ressursar (Sandberg & Trømborg, 2016). Fjernvarme har i seinare tid kome meir i fokus då det kan redusere utslepp av klimagassar, og dette kan i framtida vere viktig for å nå klimamåla.

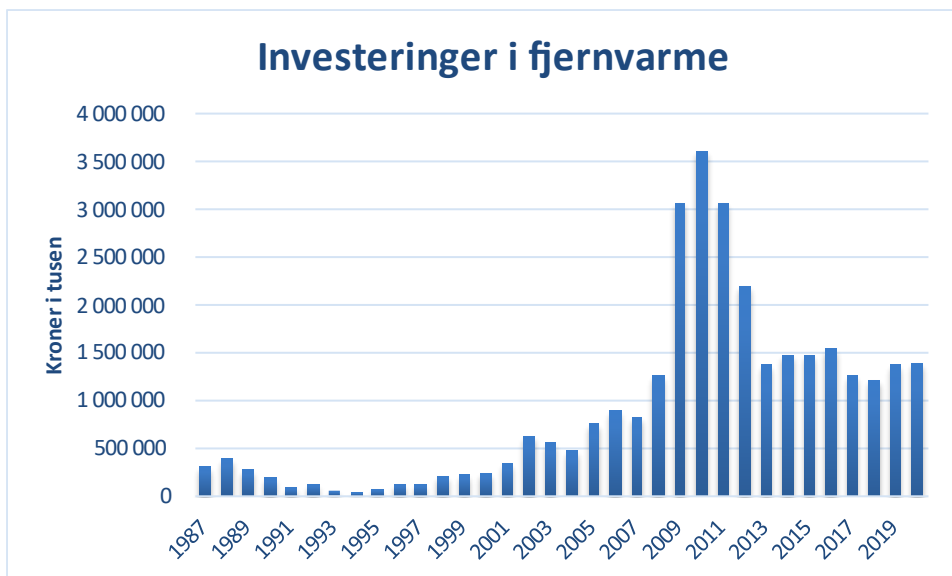
I arbeid med energieffektivisering og reduksjon av utslepp har EU gjennom sitt forskings- og innovasjonsfinansieringsprogram, EU Horizon 2020, finansiert fleire prosjekt som omhandla fjernvarme (CORDIS, u.å.). Til dømes har dei gjennom prosjektet KeepWarm (CORDIS, 2021a) arbeida aktivt for å modernisere fjernvarmenettverket i Aust- og Mellom-Europa (IEA, 2021d), då store delar av det eksisterande fjernvarmenettet er gamalt og ineffektivt. Prosjektet REWARDHeat (CORDIS, 2022a), også støtta av EU Horizon 2020, introdusera ein ny generasjon av fjernvarmenett der ein utnytta lågare temperaturar enn det som ein tidlegare har klart. Her vil ein ha ein større moglegheit til gjenbruk av overskotsvarme og fornybare kjelder

(IEA, 2021d; REWARDHeat, 2020). WEDISTRIC (CORDIS, 2022b) er eit prosjekt med 21 medlemsland, inkludert Noreg, som jobbar for å få eit 100 % fossilfritt fjernvarme- og fjernkjølingssystem. Fokuset til dette prosjektet er å bruke fleire fornybare kjelder, nytte meir overskotsvarme frå datasenter, utvikle smart teknologi for å auke driftseffektivitet og lagring av termisk varme (WEDISTRIC, u.å.). Det er satt i gang fire prosjekt der testing av ny teknologi vil bli utprøvd i land som Sverige, Romania, Polen og Spania. I tillegg har ein prosjektet THERMOS. Dette vart oppretta for å utvikle metodar, data og verktøy for offentlege institusjonar og andre interessentar for å kunne designe og planleggje termiske energisystem, på ein langt enklare og rimelegare måte enn tidlegare (CORDIS, 2021b). Verktøyet THERMOS som er utvikla i prosjektet med same namn, er programmet som blir brukt i dette prosjektet. Korleis dette programmet fungera kjem ein nærmare inn på i kapittel 4.3.

Med alle desse EU finansierte prosjekta har EU verkeleg vist at fjernvarme er noko for framtida, og ein viktig del for å nå klimamåla samt energieffektivisere dagens Europa.

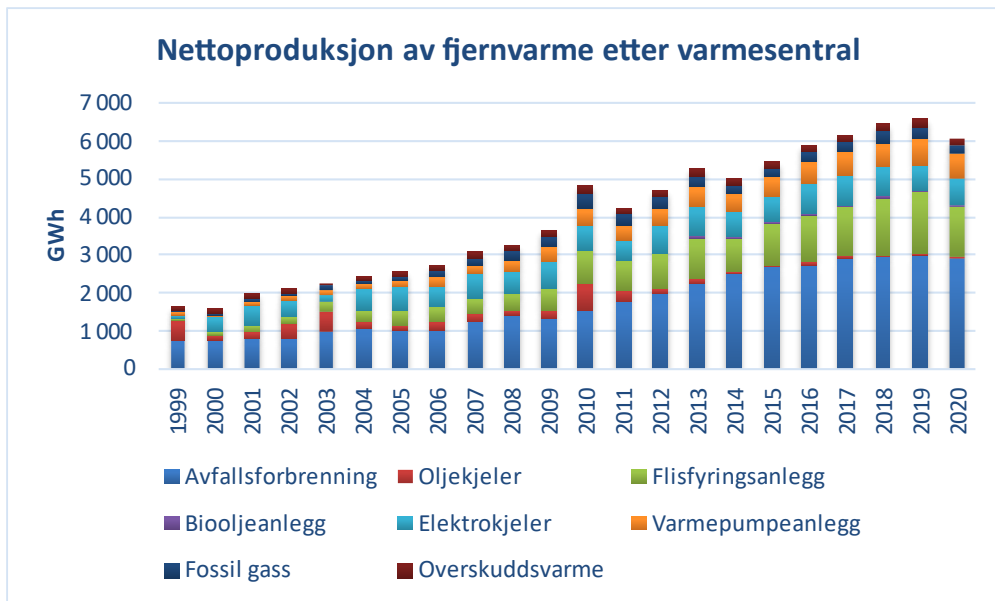
2.2.2.2. Noreg

Bruk og investering i fjernvarme i Noreg har stege jamt dei siste åra og har nesten firedobla seg sidan 2000-talet (Bøeng, 2021). I fylgje ein rapport av Statistisk sentralbyrå (SSB) som omhandla fjernvarme og fjernkjøling i Noreg (Statistisk sentralbyrå, 2014), kjem det fram at det er ulike faktorar som avgjer bruk og investering i fjernvarme. Produksjon av fjernvarme var låg før byrjinga av 90-talet. Utover 90-talet auka investeringa gradvis (figur 3). Grunnen til dette er ifylgje rapporten aukande straumprisar. Sidan fjernvarme er eit alternativ til oppvarming for elektrisitet, auka investeringa til fjernvarme. Fjernvarmeprisane fylg elektrisitetsprisane, og ved auka elektrisitetspris auka fjernvarmeprisen. Dette fører til meir pengar i kassa for dei som drifta eit fjernvarmenett, som igjen føre til auka investeringskapital. Samtidig er det lovfesta i energilova (Energiloven, 1990) at prisen på fjernvarme ikkje skal overstige prisen for elektrisk oppvarming innanfor eit forsyningsområde. Dette skal gjere det meir attraktivt for kundar å velje fjernvarme til oppvarming framfor elektrisitet.



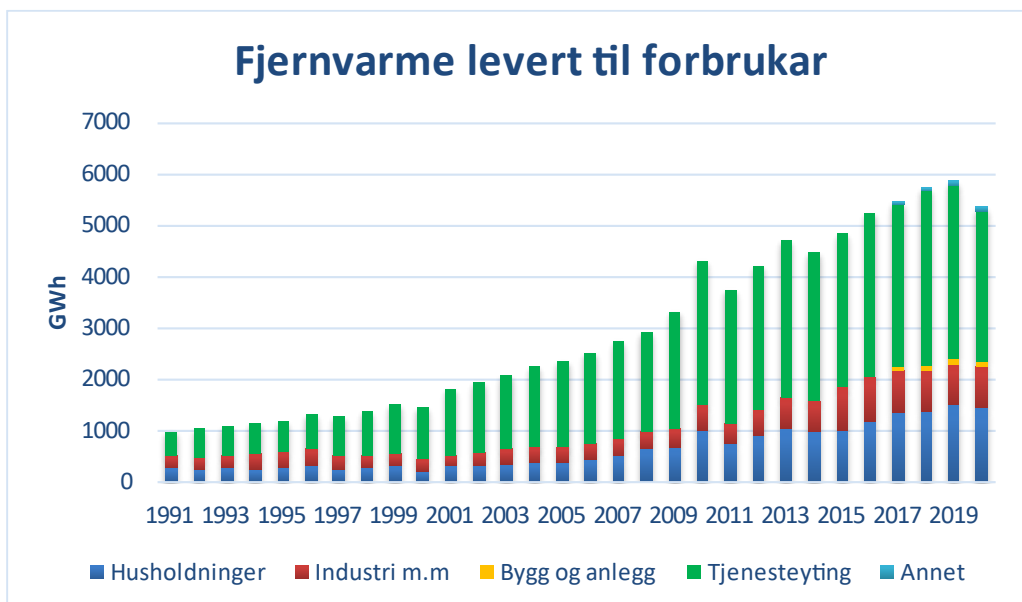
Figur 3: Investering i fjernvarme i Noreg frå 1987-2020. Data henta frå SSB (2021b).

Sidan mesteparten av fjernvarmeforbruket går til oppvarming, er forbruket veldig avhengig av vær og temperatur (Bøeng, 2021). Som ein ser i figur 4, var det ein tydelig auke i produksjon av fjernvarme i 2010 medan ein nedgang i 2020. Dette skyldast i at 2010 var eit ganske kaldt år medan 2020 var unormal varm. I tillegg var 2020 eit veldig vått år som førte til lågare straumprisar (Bøeng, 2021). Andre viktige faktorar som påverka bruk og investering i fjernvarme er politiske vedtak. Mesteparten av fjernvarme i Noreg frå avfallsforbrenning (figur 4). I 2009 kom der ei lov som gjorde det ulovleg å deponere nedbrytbart avfall. Auka behov for avfallsforbrenning, har ført til fleire investeringar i avfallsforbrenningsanlegg (Statistisk sentralbyrå, 2014). I framtida kan også liknande lovforslag vere avgjerande for bruk av fjernvarme. I 2021 sendte Olje- og energidepartementet (OED) energieffektiviseringsdirektiv artikkel 14.5 på høyring. Med dette ynskjer departementet at energilova skal kunne pålegge dei som driv eller planlegg enkelte energianlegg, skal gjennomføre ein kost-nytteanalyse for nytting av overskotsvarme. Dette inkluderer også nye datasenter over 2 MW samla elektrisk effekt (Olje- og energidepartementet, 2021). Kravet som OED foreslår, går lenger enn EU sin energieffektiviseringsdirektiv. Slike signal kan føre til ei høgare satsing på fjernvarme i Noreg, og legge press på at EU må setje same krava.



Figur 4: Nettoproduksjon av fjernvarme i Noreg etter varmesentral. Data henta frå SSB (2021c).

Bruk og investering av fjernvarme avhenger som nemnt av fleire faktorar. Aukande straumpris på 90-talet var som kjent ein av faktorane for auka satsing på fjernvarme i Noreg. Med dei aukande straumprisane som ein har opplevd det siste året, kan ein tenkje at bruk av fjernvarme vil auke i framtida. I Noreg er det forbrukargruppa tenesteyting som nytta mest fjernvarme (figur 5). Dette er bygg som til dømes hotell, skular og badeanlegg. Oftast blir fjernvarme nytta i større byar der det er ein meir konsentrert busetnad og fleire forbrukarar (Bøeng, 2019).



Figur 5: Fjernvarme levert til ulike forbrukargrupper i Noreg. Data henta frå SSB (2021a).

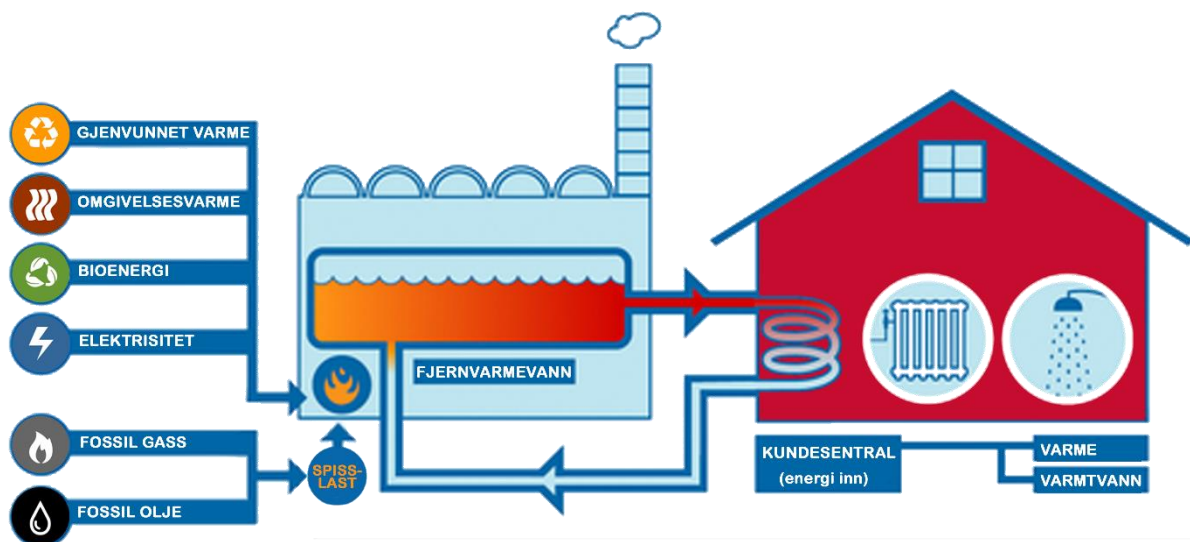
Overskottsvarme frå industri har lenge vore ein stor del av produksjonen av fjernvarme. I dei siste åra med auke av store datasenter har dette blitt sett på som ei ny kjelde til fjernvarme. Til

dømes har Stack Infrastructure (tidlegare DigiPlex) eit datasenter lokalisert på Ulven i Oslo, tilkopla Oslo sitt fjernvarmenett. Dette fjernvarmenettet distribuera omtrent 20 % av Oslo sine innbyggjarar sitt årlege varmebehov. Overskotsvarmen frå datasenteret er med på å produsere varme for omtrent 5000 husstandar (COWI AS, 2020).

2.2.3. Komponentar

I denne delen vil vi gå nærmare inn på korleis eit fjernvarmenettverk er bygd opp, og kva som er viktig å tenkje på ved design av eit framtidig fjernvarmenettverk. Til dette har vi nytta Nussbaumer et al., sin handbok for planlegging av fjernvarmenettverk (Nussbaumer et al., 2020). Handboka er utarbeidd for det sveitsiske energidepartementet av ingeniørar og ekspertar innanfor termisk energi.

Eit fjernvarmeanlegg består av ei rekkje ulike komponentar. Felles for desse er at dei alle har ei varmekjelde som sender varmt vatn ut i eit nett av isolerte røyrleidningar. Når det varme vatnet når kunden går det gjennom ein varmevekslar som overfører varme til brukaren. Deretter vert vatnet sendt i røyr tilbake til varmekjelda for å bli varma opp igjen. Slik fungerer eit fjernvarmeanlegg som eit lukka system som illustrert i figur 6 (Nussbaumer et al., 2020). Komponentane til eit fjernvarmenett avhenge etter storleik, temperatur, trykk i systemet og generelle reglar som gjeld for området.



Figur 6: Illustrasjon av eit enkelt fjernvarmenett. Illustrasjon: (Norsk Fjernvarme, u.å.).

Røyr er ein vesentleg komponent i fjernvarmenettet. Det finns også ein heil masse med ulike røyrtypar. Den mest kommersielle røyrtypen i dagens marknad er fleire lags komposittørør

anten av metall eller plast (figur 7). Desse er preisolerte med eit stivt polyuretanskum (PUR). Denne type røyr er mest brukt grunna sin robustheit, låge pris og standard, særleg over diameter DN 100 og større (Nussbaumer et al., 2020). For tilkopling til hus og anna underfordeling er det også vanleg å bruke preisolerte PEX røyr og preisolerte fleksible stål røyr.



Figur 7: Pre-isolert stivt stålrøyr med PUR. Bilde henta frå: (Armour Valve, u.å.).

Ein komponent som er heilt avgjerande er varmevekslaren. Det er komponenten som gjer det mogleg å overføre varme mellom to væske- eller gasstrøymar som har ulik temperatur (B. Pedersen, 2017). For at ein konsument skal kople seg til eit fjernvarmenett må dei ha ein energisentral med ein varmevekslaren, i lag med eit vassboren energisystem.

2.2.3.1. Forsyning

Kor effektivt eit fjernvarmeanlegg er kjem ann på ei rekkje faktorar. Storleik på røyr, isolasjon, ruheit i røyr, trykk, bakketemperatur, lufttemperatur, temperatur frå varmekjelda og temperaturen på returvatnet. Dette er faktorar ein må ta med i berekninga når ein skal planleggje eit fjernvarmenett og som ein nemnar meir om i kapittel 2.2.3.2.

Ein kan potensielt ha ulike produsentar i eit fjernvarmenett og produsentane har ulik produksjonsprofil. Nokre produsera for å supplere eit fjernvarmenett som gjer at dei kan justere seg etter behovet for varme. Når behovet for varme er høgt, til dømes på vinteren, kan dei produsere enda meir varme for å supplere nettet (til dømes brenne meir avfall). Kjelder som eit datasenter, produsera jamn varme året rundt. Med ein slik produsent har ein ikkje fleksibiliteten til å justere produksjon etter varmebehov, då varmen frå eit datasenter er eit biprodukt som avhenge av drift og belastninga. Fordelen derimot er at ein har ein jamn og sikker tilgang på

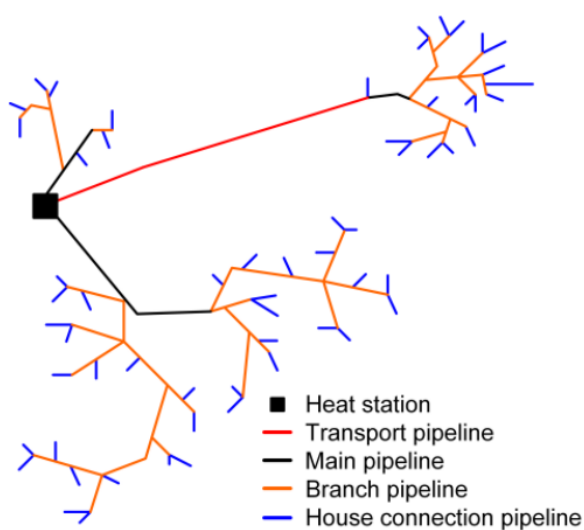
varme uansett så lenge datasenteret er i drift (Wahlroos et al., 2017).

Med overskotsvarme kan ein dekke grunnlasten på ein kostnadseffektiv måte. I fylgje T. Nussbaumer et al., (2020) kan 80-90 % av varmebehovet bli dekt av grunnlast. Det som kjenneteiknar grunnlast er at det er snakk om mange driftstimar, medan kjenneteikn for topplast er få driftstimar med høg yting for å supplere det ekstra behovet for varme. Når ein skal designe eit fjernvarmenett må ein avklare om ein skal ha produsentar som skal dekkje behovet til ein eller fleire konsumentar. Det er viktig for å supplere nok varme når behovet størst. Alternativet er å ha lagringstank eller ein elkjele for å supplere ekstra varme.

2.2.3.2. Nettverk

Korleis nettverket til fjernvarmen vil sjå ut basera seg på ulike faktorar. Det kan vere korleis landskapet er forma, geologiske grunnforhold, og kva som er teknisk og økonomisk mogleg etter sikkerheitskrav. Storleiken på nettverket kan fort endre seg med tida og eit utbygd fjernvarmenett er ikkje låst (Nussbaumer et al., 2020). Difor kan det vere lurt i planleggingsfasen å tenke langsiktig og leggje til rette for framtidig behov.

Nettverket blir delt inn i hovud-, grein- og huskoplingsrøyr (sjå figur 8). Hovudrøyrret eller transportrøyrret er det fyrste røyrret frå varmekjelda, og er større enn grein- og huskoplingsrøyr. Frå hovudrøyrret går det ut greinar med røyr, også kalla distribusjonsrøyr. Konsumenten koplar seg til hovudrøyrret eller distribusjonsrøyrret med huskoplingsrøyrret. Dette røyrret er dimensjonert for topplasta til bygninga det skal til.



Figur 8: Døme på eit fjernvarmenettverk med dei ulike røyra. Kjelde: (Nussbaumer et al., 2020, fig. 4.6)

Normalt i fjernvarmenett har ein eit turrør som fraktar varmen ut frå produsent og eit returrør som fraktar væska frå konsument tilbake til varmekjelda. Røyra går som oftast parallelt med kvarandre. Korleis ein legg røyrleidningane avheng av området. I urbane strøk er det ein fordel å legge røyra langs offentlege vegar og stiar. Det er viktig å ha lett tilgang på dei ved ein eventuelt feil.

Nettverkets tur- og returtemperatur er basert på behovet til konsumentane for ein gitt turtemperatur, størst mogleg temperaturskilnad eller den lågaste returtemperatur som er mogleg. Turtemperatur er temperaturen som kjem frå produsent og er avhengig av kva type produsent det er. Returtemperatur er varmen kunden gir frå seg når det returnerast til fjernvarmenettet. Denne avheng etter type bygg, alder, konstruksjon og liknande. Temperaturen målast ved å sjå på differansen mellom temperaturen på vatnet inn og ut av bygget. Differansen (δt) fortel kor mykje varme som er overført til bygget frå vatnet. Eit godt regulert anlegg har stor skilnad på tur-/returtemperatur, altså ein δt på 45°C kor anlegget bruker lite vatn (Statkraft, 2022). Val av turtemperatur påverkar val av trykknivå, dimensjoneringa av røyr, leveringshastigheta til pumpa og varmetapet. Dersom ein har høg turtemperatur kan dette føre til lågare trykknivå under visse omstende, eller lågare røyrdimensjon og mindre pumpeeffektivitet (Nussbaumer et al., 2020).

2.2.3.3. Behov

Oppvarming av rom og varmtvatn utgjer ein stor del av varmeforbruket i eit fjernvarmenett i fylgje Nussbaumer et al., (2020). Behovet for varme avheng mykje av alder og type bygg. For eksisterande bygningar kan ein sjå på tidlegare oppvarmingsforbruk bygget har for å rekne ut varmebehovet. Det er likevel viktig å dele dette inn i romoppvarming, varmtvatn og prosessar. Behovet er også fordelt utover dagen. Difor er det viktig å ha gode behovsprofil for bygningar som skal kople seg til eit fjernvarmenett. Denne profilen fortel korleis behovet endrar seg i løpet av ein dag, og dette påverkar nettverkets utforming. Vanlege busetnader har til dømes lågt behov mellom klokka 8-16, då mesteparten er på jobb eller ikkje er heime. Etter klokka 16 er mesteparten heime, og standard gjeremål skal gjennomførast som føre til meir bruk av varme. Slik er det gjerne ikkje i kommersielle bygg som kontorlokale, kjøpesenter og skular. Her er profilen annleis og behovet er størst på andre tidpunkt i løpet av ein dag eller ei veke.

Lasten og behovet er påverka av bruk, men bruken er igjen påverka av åtferd, klima/vær og

design. I kaldare klima er behovet for varme høgare. Samtidig er måten ein brukar varmen på viktig. Måten ein lev på i dag har endra seg, og man brukar mykje meir varme og varmtvatn enn tidlegare sjølv om husa som ein bur i er betre isolerte enn før. På 70-talet stod varmtvatn berre for omtrent 10 % av total varmebehov mens i framtida kan ein nesten rekne med opptil 50 % (Nussbaumer et al., 2020). Endring i åtferd, samt betre design av hus med fokus på energieffektivisering og bruk av smartmålarar, kan difor i framtida vere viktig for å påverke korleis varmeprofilen til ulike bygg kan bli sjåande ut.

2.2.4. Økonomiske aspekt ved fjernvarme

Når ein ser på den økonomiske vurderinga til eit fjernvarmeanlegg og skal finne kostnadane for distribusjon av varme, skil ein mellom to kostnadar. Den fyste er kapitalkostnadar som er prisen for installasjon, anleggsarbeidet og sjølve fjernvarmenettet. Det andre er operasjonskostnadar knytt til drifta av anlegget, varmetap, utgifter til straum og vedlikehald. Desse to til saman utgjer den totale kostnaden av fjernvarmenettet. Fjernvarme krev store investeringskostnader og omtrent 50 % av kapitalkostnaden går til investeringa og etablering av fjernvarmenettverket. Dei resterande kostnadane er driftskostnader (Nussbaumer & Thalmann, 2016; Nussbaumer et al., 2020).

2.2.5. Lønsemd

Lønsemd er ei bedrift eller eit anlegg si evne til å tene inn kostnadar frå både utbygging og driftsfasen av anlegget (Bøhren & Gjærum, 2016). For å kunne seie noko om ei bedrifts lønsemd må ein vite noko om noverdi og internrente. Noverdi definerast som dagens verdi av den framtidige kontantstraumen. Om noverdien til prosjektet er positiv er investeringa lønsam. Internrente er den renta som gir noverdi lik null (Bøhren & Gjærum, 2016).

For å kunne samanlikne beløp på ulike tidspunkt må ein diskontere, som vil seie å rekne om ein framtidig verdi til noverdi. Når ein skal diskutere om eit prosjekt er lønsamt eller ikkje, er det interessant å vite noko om tilbakebetalingstid. Tilbakebetalingstida er den tida det tar før investerings utbetalinga er tent inn att. Om tilbakebetalingstida er berekna med diskonterte kontantstraum element kallar vi det diskontert tilbakebetalingstid (Bøhren & Gjærum, 2016).

Ein anna viktig faktor å tenkje på når det gjeld lønsemd, er inflasjon. Inflasjon er ein vedvarande

vekst i det generelle prisnivået (Stoltz, 2019). Dette vil seie at ei krone i dag ikkje er verdt det same som ei krone i framtida. Dette er viktig når ein skal sjå på eit prosjekt med ei levetid over fleire år.

2.3. Datasenter

Når du lastar ned denne oppgåva, startar du ein prosess i eit datasenter. Denne prosessen produserer verdifull varme. I dette underkapittelet går vi nærare inn på datasenter, oppbygginga og viktigheita knytt til varmen som blir produsert.

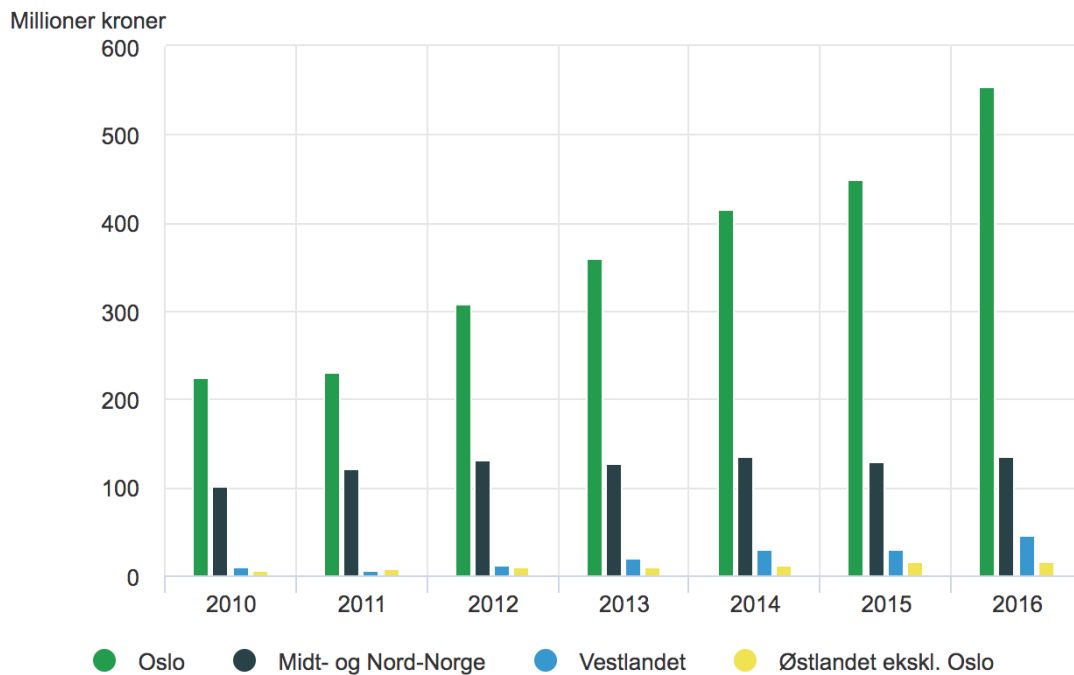
2.3.1. Generelt om datasenter

Datasenter står for 2 % av verdas elektrisitetsforbruk og bidreg til 2 % av verdas CO₂-utslepp (TNW, 2020). Dette står i stor kontrast til målet frå EU kommisjonens «Green deal» om å være klimanøytral innan 2030 (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2021). Dei komande åra er det forventet sterkt vekst i datasenternæringa, då behovet for datalagring, samt bruken av skytjenester som nyttar datasenter aukar. Korleis dette påverkar det totale energiforbruket avheng av kor raskt utviklinga er innanfor energieffektivisering (IEA, 2021c). I fylgje Hole & Horne (2019) er datasenter ein bransje i vekst også i Noreg. Det er venta stor auke av datasenter i framtida, noko som igjen fører til auka behov for energi. Energieffektivisering er difor eit sentralt tema.

Databasert næringsverksemd er eit satsingsområde i Noreg. Regjeringa har oppretta ein datasenterstrategi som går ut på å legge til rette for etablering av datasenter (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2021). Regjeringa vil også etablere eit nasjonalt varmekart som sikrar betre nytte av overskotsvarmen, samt stille krav til å nytte denne. Noreg har eit kaldt geologisk klima med fornybar, fleksibel og stabil kraft. Dette gjer Noreg til eit svært konkurransedyktig land for etablering av datasenter. I tillegg har ein stabile rammevilkår som er attraktivt for drivarar av datasenter. Landet kan tilby grønne løysningar, låge straumprisar og god digital infrastruktur (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2021; Nærings- og fiskeridepartementet, 2018).

Datasenternæringa i Noreg er i sterk vekst og antal sysselsetje har hatt jamn vekst dei siste åra. Oslo er regionen med den største delen bruttoprodukt, medan Vestlandet er regionen med størst prosentvis vekst (figur 9) (Christensen & Kjos, 2019). Regjeringa ser føre seg å lage ein

«masterplan» der dei vil kartleggje tilgang på kraft, lokasjonar, infrastruktur, fiberkonnektivitet og tilgang på overføring til fjernvarme (Implement Consulting Group, 2020). Dette for å ha best mogleg forutsetningar for å planleggje nye datasenter og nye lokasjonar i framtida. Fram til no har planlegginga våre unødige tidskrevjande då det har vorte mangel på kartlegging. Til dømes har Google kjøpt fleire tomter i Noreg for å ha kapasitet og fleksibilitet for å møte framtidas behov for datalagring. Frå dei har kjøpt tomt, kan det ta fleire år til byggestart. Det er heller ikkje uvanleg at planane aldri blir gjennomførte (Implement Consulting Group, 2020).



Figur 9: Bruttoprodukt i datasenternæringa i millionar kroner, fordelt geografisk i Noreg. Kjelde: Statistisk sentralbyrå.

Datasenter som har høgt kraftforbruk får også mykje overskotsvarme som kan nyttast vidare i eit fjernvarmeanlegg. For at det skal vere effektivt, avheng det av at temperaturen på varmen er høg nok. Om temperaturen er høg kan denne varmen nyttast direkte, og om ikkje kan ein auke temperaturen ved bruk av varmepumper (Moen, 2021).

Som nemnt er energieffektivisering innanfor datasenterbransjen viktig i fylgje Hole & Horne (2019). Om dette skal gjerast effektivt, er det enklast at datasentera vert bygd ut med tanke på å nytte overskotsvarmen i staden for at dette skal tilpassast i ettertid (Olje- og energidepartementet, 2021). Her kan OED sitt forslag til lovendring, som nemnt i kapittel 2.2.2.2., spele ei viktig rolle. Vert lovforslaget vedteke vil denne kraftkrevjande industrien minske klimagassutsleppa sine betrakteleg (Hole & Horne, 2019). Dette målet er eit godt steg på veg til å forbetre energieffektiviseringa i Noreg.

Det er ikkje alle industriar med overskotsvarme som er kopla til eit fjernvarmenett. Mange faktorar spelar inn når det gjeld å implementere tiltak for energieffektivisering. Hinder som til dømes risiko, mangel på kunnskap og plass, samt manglande finansiering og svake insentiv, gjer at mange bedrifter vegrar seg. På den andre sida kan det vere pengar å spare. Det kan kome nye reguleringar som set krav, samtidig som det å bli sett på som «grøn» kan vere positivt finansielt (Sartori, 2010).

2.3.2. Type datasenter

Datasenter kan delast inn i tre ulike kategoriar: Hyperscale, Colocation og Edge. Felles for desse datasentera er at dei tilbyr tenester til eksterne kundar og/eller forbrukarar (Implement Consulting Group, 2020).

2.3.2.1. Hyperscale

Hyperscale-datasenter har ein kapasitet på 20-200 MW. Dei største Hyperscale-datasentera krev omtrent like mykje energi som alle dei etablerte datasentera til saman i Noreg i dag. Datasenteret leverer lagringsbehov i den dimensjonen som etterspørjast av dei største internasjonale aktørane som Facebook, Google og Apple (Fossekall AS, 2018). Desse datasentrera eigast og nyttast av store dataselskap. Det er fleire Hyperscale-datasenter som er under planlegging i Noreg i dag.

2.3.2.2. Colocation

I Noreg eksisterer det hovudsakleg datasenter av typen Colocation. Dette er datainstallasjonar som nyttast av mange forskjellige brukarar. Colocation-datasenter har ein typisk kapasitet på 20 MW og blir eigd og drifta av ein datasenteroperatør. Operatøren sel alt frå lagringsplass, kjøling, nettforbinding og straum (Implement Consulting Group, 2020).

2.3.2.3. Edge

Edge er ein mindre installasjon plassert i nærleiken av forbrukaren. Edge-datasenter er dyrt å etablere og har ein typisk storleik på 10-20 kW, men kan vere opptil 200 kW. Enkelte Edge-datasenter kan gje unike moglegheiter for å bruke ny teknologi. Dette kan vere viktig for Noreg då vi ligg langt fremme når det gjeld applikasjonar som 5G, som krev kort forseinking. Edge-datasenter er ikkje etablert i Noreg per 2020, men er utbreidd globalt. Ein trenger 600-1200 Edge-etableringar for å tilby same kapasitet som eit enkelt Colocation-datasenter. Edge eigast og driftast av til dømes teleselskap eller store IT-operatørar (Implement Consulting Group, 2020).

2.3.3. Oppbygging

Eit datasenter består av mykje IT-utstyr som datamaskiner, lagringsservere, nettverksutstyr, monitorar og arbeidsstasjonar. Desse kan bli brukt til å spreie, organisere, lagre og behandle data. På grunn av sin store tettheit av IT-utstyr er det viktig at datasenteret har ein stabil temperatur og luftkvalitet, slik at ein opprettheld effektiviteten til systemet. Alle prosessane skaper ein enorm varme som krev eit stort kjølebehov og gode ventilasjonssystem. Ulike typar IT-utstyr produsera ulike mengde varme og temperatur (Huang et al., 2020).

2.3.3.1. Kjølesystem

Det er ulike metodar for å kjøle ned eit datasenter, ein skil mellom dei mest vanlege teknologiane: Vasskjøling, luftkjøling og to-fasekjøling. Kva kjølemetode som vert brukt avhenger av storleiken på datasenteret samt miljøet det ligg i. Temperaturen på kjølevatnet frå eit datasenter er heilt avhengig av kjølesystem som blir brukt.

Luftkjøling er den metoden som er mest kommersiell då det er ein enkel og rimeleg teknologi. Med denne metoden har ein normalt ein kald og ein varm korridor mellom radene med serverar. I den kalde korridoren kjem det kald luft på kvar av serverane som står vendt mot den kalde korridoren mens varm luft går ut til den varme korridoren frå baksida av serverane (Ebrahimi et al., 2014). Dette gjer at i eit luftkjølt anlegg treng ein stor og romsleg plass rundt serverane. Luft har også låg varmekapasitet og dårleg eigenskap til å overføre varme som gjer at ein treng eit høgt energiforbruk for å kjøle ned. I tillegg får ein relativ låg overskotsvarme ut av

datasenteret. Luftkjølingssystem kan vidare delast inn i fire ulike system som gir ulike temperatur på overskotsvarmen (Oró et al., 2019):

- Computer Room Air Conditioner units (CRAC): Lufta blir direkte kjølt av ein kjølar som igjen blir kjølt av ein utvendig kondensator. Her får ein returvatn på mellom 15-20°C og luft med temperatur mellom 25-47°C.
- Computer Room Air Handler units (CRAH): Lufta blir kjølt av vatn som igjen blir kjølt av ein utvendig kjølar. Denne kjøletypen gir ein kondensatorkjølevæske med ein temperatur mellom 40-50°C.
- In-row cooling: Denne kjøleteknikken brukar luft-til-væske varmevekslar som er montert mellom radane med serverar. Her får ein overskotsvarme i form av vatn med ein temperatur på mellom 20-30°C.
- Rear door cooling: Her brukar ein også luft-til-væske varmevekslar, men denne er montert framom radane med serverar. Som ved In-row cooling, får ein overskotsvarme i form av vatn med same temperatur.

Vasskjølte system har høgare evne til nedkjøling og transportering av varme på grunn av vatn sin høge varmekapasitet og varmetransporteringskoeffisient. Gjennom ein kjøleplate i ein varmevekslar kan ein med vasskjøling få kjølemiddelet til å vere i direkte kontakt med serverane. Differansen mellom temperaturen til kjølemiddelet og serverane blir difor ikkje så stor og ein kan hente ut ein høgare overskotsvarme (omtrent 60°C). På grunn av datasenter sin raske utvikling, samt tyngre prosessar, set det krav til effektiv nedkjøling. På dette nivået er vasskjølte system mykje meir energieffektive enn luftkjølte system (Ebrahimi et al., 2014; Huang et al., 2020)

To-fase kjøling er den nyaste og mest avanserte kjøleteknikken som er på marknaden i dag. Det er også ein teknologi som er under stadig utvikling, grunna den auka storleiken på datasenter samt internett-trafikk har behovet for meir effektive kjølesystem blitt etterspurt. I to-fase system har kjølinga to ulike fasar, væske og damp. Ved å nytte den høge konveksjonsvarmeoverføringseffektiviteten i samband med kjernekoking kan ein kjøle ned stativa med serverar på ein effektiv måte (Ebrahimi et al., 2014; Huang et al., 2020). Ein brukar flytande, nesten metta væske. Denne blir pumpa til ei kald plate som er kopla direkte til elektronikken som skal kjølast. Når væska og plata kjem i kontakt, byrjar væska å koke og den fordampar. Elektronikken blir nedkjølt og det blir utgitt energi i form av latent varme. Dampen som blir danna går til ein kondensator der den blir kondensert tilbake til væskeform. I denne

prosessen blir det friggitt varme (overskotsvarme) som kan vere verdifull om ein klarer å nytte denne riktig (Huang et al., 2020).

To-fasekjøling er enda meir energieffektiv enn både luftkjølte- og vasskjølte anlegg på grunn av sin høge varmeoverføringseffektivitet. Med to-fasekjøling vil eit datasenter bruke opptil 50 % mindre energi til nedkjøling i fylgje Marcinichen et al., (2012). Ein vil også klarer å hente ut ein høgare returtemperatur enn dei to andre systema grunna kjølemiddelet sin direkte kontakt med serverane (Ebrahimi et al., 2014). I Marcinichen et al., (2012) kjem det fram at med to-fasekjølesystem kan ein oppnå ein overskotsvarme på 70-80°C. Dette gjer at ein kan nytte overskotsvarme frå datasenter i langt større grad enn ved dei to andre kjøle metodane, utan ekstra varmpumpe eller andre ekstra komponentar. Luftkjølte anlegg, særleg CRAC system, har vert det mest kommersielle kjølesystemet for datasenter. På grunn av aukane storleik og termisk belastning på datasenter vil ikkje denne kjøleteknikken vere optimal for framtida. Framtidas datasenter vil difor bestå mykje meir av både vasskjølte og to-fasekjølte anlegg (Ebrahimi et al., 2014; Marcinichen et al., 2012).

2.3.3.2. Andre komponentar som kan påverke temperaturen

Uavhengig av kva kjøleteknikk som nyttast kan ein auke temperaturen på overskotsvarmen ved hjelp av varmpumper. Dette er praktisk i tilfeller der temperaturen på overskotsvarmen er for låg for å nyttast til det formålet det skal.

For å skildre korleis dette er mogleg kan ein forklare korleis ein enkelt kompressor varmpumpe fungera. Ei varmpumpe består av fire ulike hovudkomponentar → Fordampar, kompressor, kondensator og ekspansjonsventil. Varme frå eventuelt eit datasenter blir ekstrahert i fordamparen til varmpumpa. I fordamparen er det eit flytande kjølemiddel som absorbera låg-temperaturen som gjer at det fordampar. Dampen vil vidare gå inn i kompressoren der trykket og temperaturen vil auke etter at dampen har blir komprimert. Med høgare temperatur og trykk, strøymar kjølemiddeldampen til kondensatoren der den blir kondensert. Væska vil vidare gå til ekspansjonsventilen for å redusere trykk og temperatur, før den når fordamparen igjen (Huang et al., 2020). I kondensatoren får ein den høge temperaturen ein treng for å nytte overskotsvarmen i eit fjernvarmenett.

Type og antal varmpumper ein treng, avheng av kor mykje ein treng å varme opp temperaturen. Fleire stadier, kompressorar og anna kjølemiddel påverkar oppvarminga. Ein kan bruke fleire

syklusar som til dømes to eller fleire fordamparar som opererer ved ulik temperatur og trykk. Slik kan ein auke effektiviteten i staden for ein enkeltfasesyklus med berre ein fordampar. Med fleire trinnssyklusar har ein større moglegheit til å fange varmen eit datasenter gir ut.

Å auke temperaturen med varmpumper er effektivt til ei viss grad. Om temperaturen på overskotsvarmen er over 75°C og man vil auke den meir, er bruken av varmpumper lite effektivt. Dette sidan varmpumper er mindre effektive i høge temperaturar. Slike investeringar er ofte ikkje lønnsame i fylgje Wahlroos et al., (2017).

2.3.4. Eit effektivt og berekraftig datasenter

Datasenter kan også vere grønne. For at eit datasenter skal vere grønt må det oppfylle to kriteria. For det fyrste skal datasenteret nytte fornybar energi, og for det andre skal det vere energieffektivt. Dette kan til dømes løysast med at overskotsvarmen vert nytta i eit fjernvarmeanlegg (Wahlroos et al., 2017).

Datasenter sin effektivitet blir målt i Power Usage Effectivness (PUE). Dette er datasenteret sitt totale kraftforbruk, delt på kraftforbruket til serverane og dataparken:

$$PUE = \frac{P_{\text{Datasenter}} + P_{\text{Kjøling}}}{P_{IT}}$$

$P_{\text{datasenter}}$ og $P_{\text{kjøling}}$ ilag seie kor mykje energi datasenteret brukar. P_{IT} er energien som går til IT utstyret. Desse ilag indikerer datasenteret sitt heile energiforbruk og fortel kor effektiv eit datasenter brukar energien sin. Eit datasenter med låg PUE har høg energieffektivitet. Det globale gjennomsnittet for datasenterbransjen ligger på rundt 1,60. Nye Hyperscale-datasenter har ein PUE på rundt 1,1-1,4. Det er viktig med ein låg PUE då mesteparten av energien som blir brukt i serverane kjem ut som overskotsvarme (THEMA Consulting Group, 2020).

PUE tar ikkje omsyn til overskotsvarme. Der kjem Energy Reuse Effectiveness (ERE) inn:

$$ERE = \frac{P_{\text{Datasenter}} + P_{\text{Kjøling}} - P_{\text{Overskotsvarme}}}{P_{IT}}$$

ERE tar med ideen om at overskotsvarme ($P_{\text{overskotsvarme}}$) kan bli brukt vidare, som til dømes i eit fjernvarmenettverk (Zimmermann et al., 2012). Nyting av overskotsvarme har mykje å seie for effektiviteten for eit datasenter. I framtida blir datasentera meir energieffektive. Det vil føre

til at datasenter med låg ERE vil få eit konkurransefortrinn då berekraft blir enda viktigare i tida som kjem. Kundane kjem til å stille strengare krav til effektivitet for å redusere straumforbruk og CO₂-utslepp (Wahlroos et al., 2017).

For å drive eit datasenter er det naudsynt med stabil og sikker krafttilgang for å sikre god forsyningssikkerheit. Om overskotsvarmen til eit datasenter skal nyttast til fjernvarme, må datasentera optimalt sett plasserast i nærleiken av der den skal nyttast. Varme er kortreist og det er ikkje berekraftig å ha kjelda langt ifrå konsumentane på grunn av tapet (Mathisen, 2021).

2.3.5. Overskotsvarmens verdi

Å bruke overskotsvarme frå datasenter i eit fjernvarmenett er ein fornuftig og effektiv måte å bruke varme som elles ville gått tapt. Dette gjeld særleg i land som Noreg kor bruken av fornybar kraft er høg (Huang et al., 2020).

Eit datasenter har nokså jamn straumforbruk gjennom året, noko som resulterer i at overskotsvarme også produserast jamt. Difor passar det best om brukaren av overskotsvarmen har eit kontinuerleg behov for varme (Oslo Economics & Asplan Viak, 2020). I ein studie av Wahlroos et al., (2017), viser dei til at eit datasenter arbeidar med same belastning og energiforbruk gjennom ein dag. Dette gjer at eit datasenter vil vere ei påliteleg og stabil kjelde av overskotsvarme. I studien slår dei også fast at, profitt eller ei, bør overskotsvarmen nyttast då det er eit naudsynt biprodukt frå datasenter som ikkje bør gå tapt.

Fossekall AS har i 2018 gjennomført ein potensialstudie av moglegheit av eit Hyperscale-datasenter i Opplandsregionen (Fossekall AS, 2018). I denne studien kjem det fram at omtrent 90 % av energibruken til datasenteret blir omgjort til overskotsvarme. I ein anna rapport kjem det fram at rundt 80 % kan bli omgjort til overskotsvarme (THEMA Consulting Group, 2020). Ut i frå dette kan ein rekne med rundt 85 %. Med dette som estimat kan ein rekne ut kor mykje eit datasenter kan produsere av overskotsvarme ut i frå kapasiteten. Samtidig har Fossekall AS i sin studie rekna ut kor mykje overskotsvarmen kan utgjere i verdi ut i frå straumprisen. For å berekne dette har dei satt ulike føresetnader:

1. Overskotsvarmens verdi er lik kostnaden som ville vært for å kjøpe inn straum for å produsere tilsvarande varme.
2. Driftstida til eit datasenter er omtrent 8.000 timar i året.

3. Omtrent 90 % av energi inn, kan ein få ut som overskotsvarme (I dette prosjektet bruker ein 85 %).
4. Normal straumpris for produksjonsbedrift med lang brukstid eks. mva: 35 øre/kWh (2020). I dette prosjektet vel ein å bruke gjennomsnittleg spotpris for region vest (januar-april 2022): 193,37 øre/kWh inkl. mva. Utan mva: 145 øre/kWh (1,45 kr/kWh) (SkandiaEnergi, u.å.). Det skal nemnast at dette er vintermånadar og straumprisen kan vere i det dyraste laget.

Tar ein utgangspunkt i malen til Fossekall AS (2018) og Sogn Datasenter (100 MW) får ein:

$$\text{Straumbehov per år: } 100 \text{ MW} * 8000 \frac{\text{t}}{\text{år}} = 800\,000 \text{ MWh/år}$$

$$\text{Overskotsvarme per år: } 800\,000 \frac{\text{MWh}}{\text{år}} * 0,85 = 650\,000 \text{ MWh} = 650\,000\,000 \text{ kWh}$$

Om ein behøv denne energimengda i form av straum, blir prisen:

$$650\,000\,000 \text{ kWh} * 1,45 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 942\,500\,000 \text{ kr/år}$$

Med Sogn Datasenter som har ein plan om å byggje eit datasenter på 100 MW, utgjer verdien av den potensielle overskotsvarmen deira i underkant av 1 milliard NOK ut i frå Fossekall AS sitt oppsett. Overskotsvarmen frå datasenteret på 650 000 MWh kan dekke det årlege oppvarmingsbehovet for 54 166 norske husstandar om ein tek utgangspunkt i eit årleg oppvarmingsbehov på 12 MWh/året (SINTEF, u.å.). Om ein klarer å nytte all den tilgjengelege overskotsvarmen kan ein tenkje seg at denne summen er noko ein kan spare, mot at ein får denne varmen gratis frå datasenteret.

Utrekninga er likevel berre ein forenkling for å verdsetje potensiell overskotsvarme. Med aukande straumprisar vil verdien også auke.

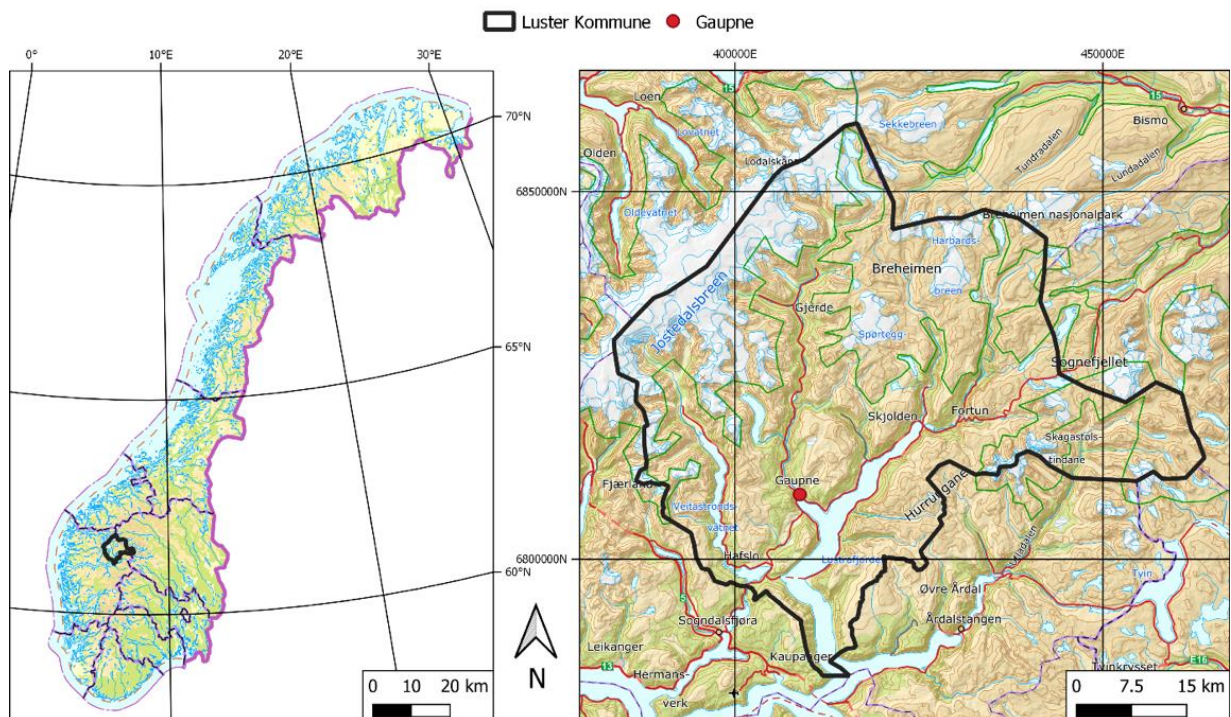
3. Studieområdet

I dette kapitlet presentera vi studieområdet samt kvifor Luster kommune og Gaupne er interessant for etablering av nytt datasenter. Ei slik etablering kan skape viktige ringverknadar for bygda i form av nye arbeidsplassar og moglegheit for ny industri.

3.1. Luster Kommune

Luster kommune ligg inst i Sognefjorden i Vestland fylke (figur 10). Grunna den geografiske plasseringa har Luster fått rolle som kraftkommune. Dei er ein av dei største kraftproduzentane i landet, og over hundre personar er sysselsett innanfor kraftproduksjon. Dette gir eit godt grunnlag for næringslivet i kommunen (Luster kommune, 2021). Luster kommune har i dag omlag 230 GWh konsesjonskraft og dei brukar omlag 90 GWh sjølv. Resten av krafta går til Vestland fylkeskommune. Kommunen har ei eigeninteresse av å kunne få kraftinntekter frå det nye datasenteret, og er positiv til storsatsinga.

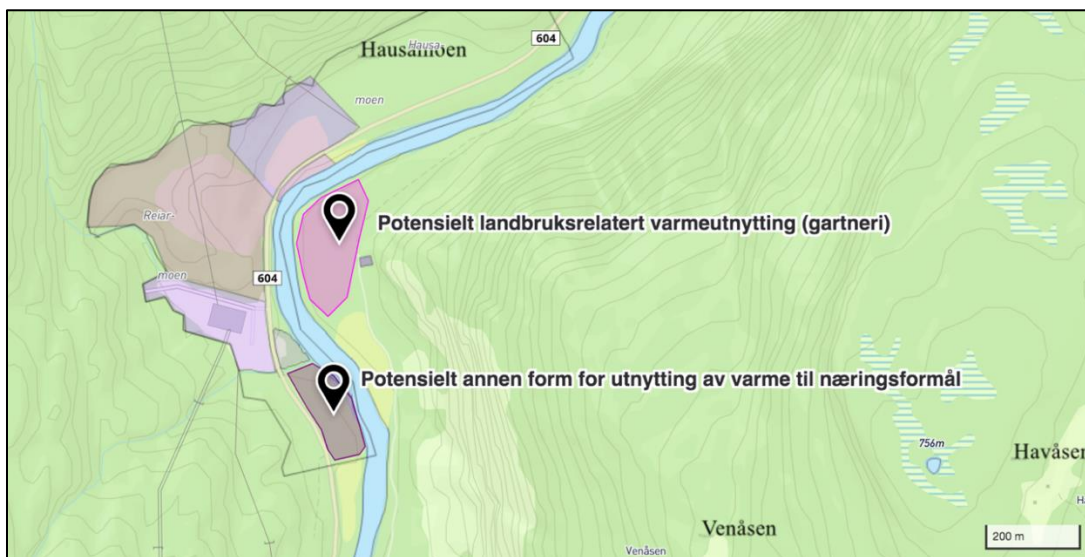
Studieområdet



Figur 10: Oversikt over studieområdet. Utarbeida i QGIS.

Gaupne, kommunesenteret i Luster, ligg mellom fjordar og fjell. Bygda har eit tett busetnadsmønster, med eit innbyggjartalet på 1233 for 2021 tredje kvartal (Statistisk sentralbyrå, 2022). I kommuneplanens arealdel seier kommunen at ein vil rekne med ein befolkningsvekst i Gaupne i åra framover (Luster kommune, 2019). Om Sogn Datasenter vert ein realitet betyr det at Luster kommune kan få fem til seks millionar kroner ekstra i kommunale inntekter, samt 40-50 nye arbeidsplassar (Sølsnæs, 2020).

Med aukande straumprisar vert fjernvarmenett stadig meir aktuelt. Om Luster kommune kan få gode inntekter frå kraftsal til datasenteret, samt nytte overskotsvarmen i eit fjernvarmenett til Gaupne sentrum, kan dette vere kostnadseffektivt for kommunen. For Luster kommune, samt Lustrabadet, er tilbakebetalingstida for eit fjernvarmenett særleg interessant. Om datasenteret vert ein realitet kan det vere mogleg å nytte overskotsvarmen til gartneri, landbasert oppdrett eller andre varmekrevjande næringar. Luster kommune har sett ut nokre området i nærleiken av Hausamoen som er potensielle for varmekrevjande næringar, illustrert i figur 11. Det kan også vere eit stort potensiale for å nytte denne varmen i Gaupne sentrum, om lag 5 km sør for Hausamoen. Dette kan skape ein marknad for etablering av ny og varmekrevjande industri.



Figur 11: Kartet illustrerer potensielle næringsområde som kan nytte overskotsvarme frå industri/datasenter. Kartet er tilsendt frå Oliver Bjørndal i Luster kommune.

3.2. Sogn Datasenter AS

Hausamoen er den valte plasseringa for mogleg utbygging av Sogn Datasenter. Området ligg rett ved eit knutepunkt for kraftforsyninga og har god straumtilgang frå vasskraftverk i Jostedalen, samt vasskraftverk i Fortun (Luster kommune, 2020). Hausamoen ligg rett ved breelva Jostedøla og denne har munning i Gaupne og er lakseførande. Elva kan sikre ein stabil og sikker kjøling for datasenteret. På Hausamoen er det allereie etablert eit datasenter. Datasenteret BlueFjords på 650 m² vart ferdigstilt i 2015. BlueFjords har ein effekt på 15 MW og nyttar luftkjøling for å kjøle ned serverane. Datasenteret er skalerbart opp til 5000 m² og leveranse av kraft frå kraftstasjonen, kan aukast ved behov (BlueFjords, 2020). BlueFjords har nyleg uttalt seg i Sogn Avis at dei vil gjennomføre denne skaleringa (Storvik, 2022).

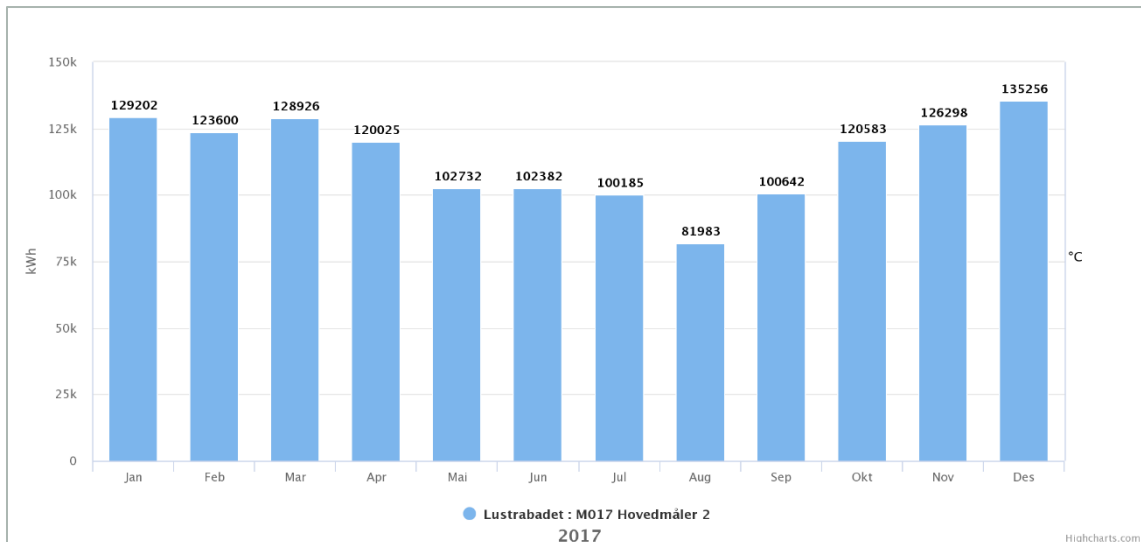
Sognekraft har kjøpt den gamle transformatorstasjonen på Reiaroen for å kunne levere kraft til kraftkrevjande næring, og har ei eigeninteresse i at datasenteret vert bygd (Luster kommune, 2020). Sognekraft har ilag med andre interessentar etablert Sogn Datasenter AS. Statnett som held på å bygge ny transformatorstasjon på Reiaroen, brukar Hausamoen som eit massedeponi. Dette gjer at næringstomta nesten er byggeklar utan nye inngrep i naturen. Det er ingen busetnad på Hausamoen, noko som er ein fordel sidan datasenteret kan forårsake støy (Luster kommune, 2020). Luster kommune meina dette gjer Hausamoen godt egna til plassering av eit datasenter.

Foreløpig jobbast det med å få på plass grunneigaravtalar og reguleringsplan før vidare prosjektering. I fylgje Terje Nævdal, konsernsjef i Sognekraft, er det per i dag, 30.03.22, brukt omlag 300 000 kroner på utredningar for utbygginga. Effekten til datasenteret ser ut til å bli på omlag 100 MW. Dette vil gje ein effekt på 85 MW på overskotsvarmen frå datasenteret som kan nyttast til andre formål (Fossekall AS, 2018; THEMA Consulting Group, 2020).

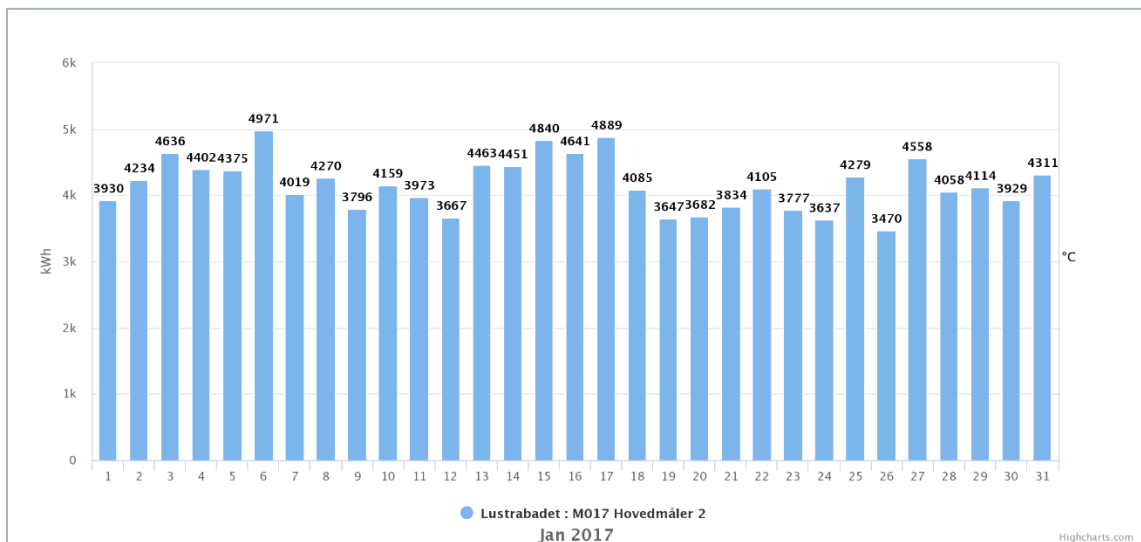
3.3. Lustrabadet

Lustrabadet er eit badeanlegg i Gaupne i Luster kommune. Badeanlegget er populært blant befolkninga, og brukast som rekreasjonsområde, aktivisering, samt skulebading. Lustrabadet er eit kommunalt føretak, som vil seie at føretaket driftast som ein del av kommunens verksemd, og kommunestyret må vedta budsjett og økonomiplan.

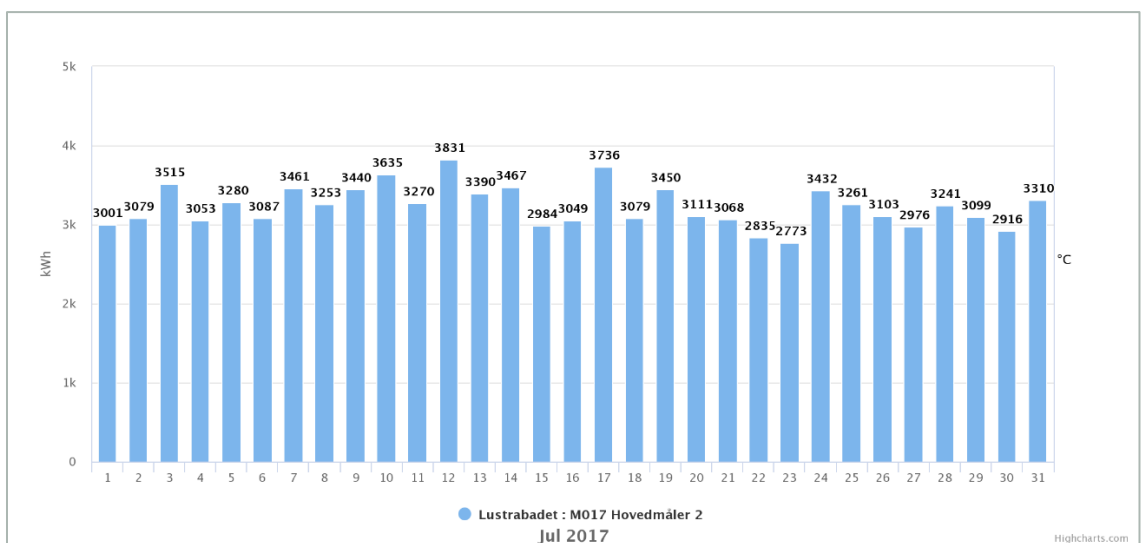
Lustrabadet som vi fokusera på i denne oppgåva, er klar til å kople seg på eit fjernvarmenettverk då dei har eit system med vassboren varme internt i bygget. Om temperaturen frå fjernvarmen ikkje er høg nok, har badeanlegget ein el-kjel for å auke temperaturen på vatnet slik at den kan nyttast til oppvarming. Lustrabadet har interesse av å kople seg på eit fjernvarmenettverk, sidan ein stor del av straumforbruket deira går med til oppvarming. Dei har eit relativt jamt straumforbruk gjennom året, som ein kan sjå i figur 12. Forbruket er sjølvsagt høgare på vinteren når det er kaldt, då meir straum går til oppvarming (figur 13 og 14). Forbruket gjennom dagen er også ganske jamt, då anlegget må halde ein stabil temperatur i både rom og vatn. På grunn av sitt jamne energiforbruk, kan Lustrabadet ha stor nytte i å kople seg på fjernvarme med datasenter som er i konstant drift som varmekjelde.



Figur 12: Strømforbruk for Lustrabadet 2017. Grunnlag for 2017 er grunna ufullstendige målingar andre år. Henta frå EM-Systemer.



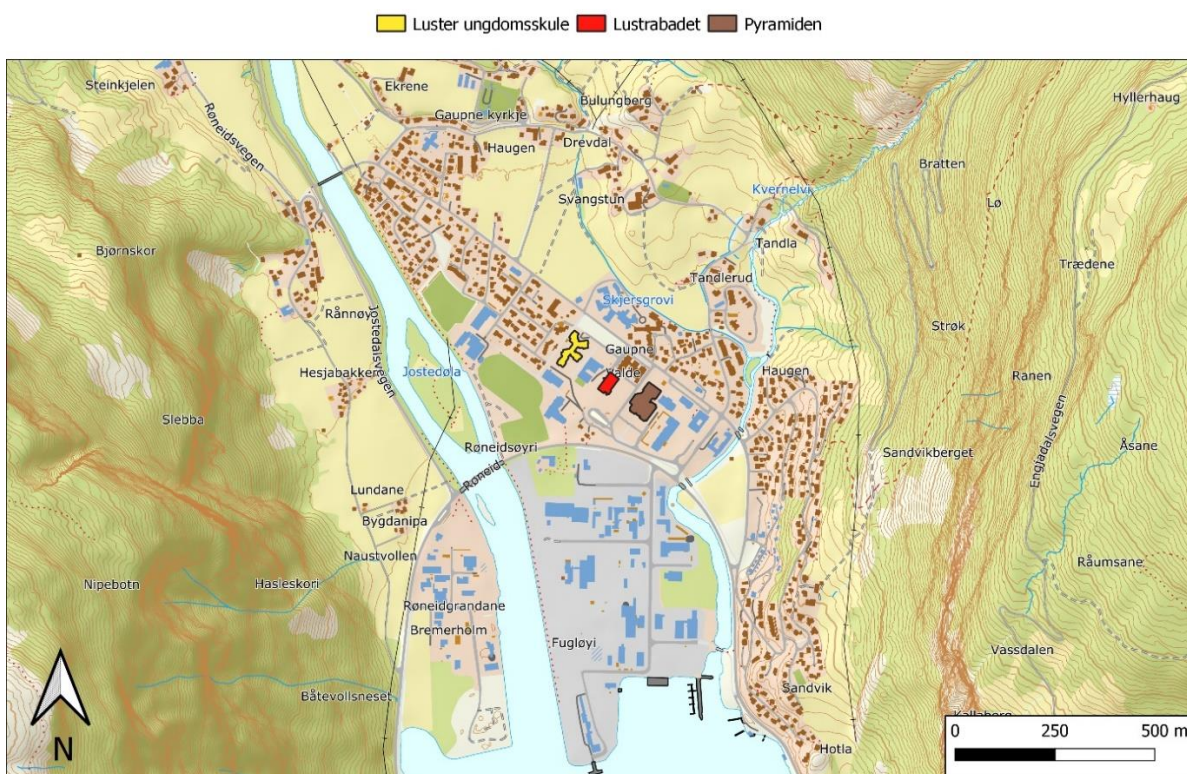
Figur 13: Strømforbruk gjennom ein måned, januar 2017. Henta frå EM-Systemer.



Figur 14: Strømforbruk gjennom ein måned, juli 2017. Henta frå EM-Systemer.

3.4. Potensialet i Gaupne

Gaupne ungdomsskule var tidlegare varma opp av geotermisk varme og har eit intern vassboren system som kan koplant på fjernvarme. Pyramiden, kjøpesenteret i Gaupne, ligg rett over gata for Lustrabadet, og har også vassboren varmesystem. Dette vil seie at Gaupne har tre bygg i nærleiken av kvarandre som er klar for tilkopling til eit fjernvarmenett, utan større tilkoplingskostnadar (sjå figur 15). Dette er ein fordel sidan ein minimerer antal løpemeter røyr. Det er også tett busetnad i Gaupne, noko som er fordelaktig for eit fjernvarmenett.



Figur 15: Oversiktskart over Luster ungdomsskule, Lustrabadet og Pyramiden.

4. Metode

I dette kapitlet kjem det fram kva metode som er brukt for å svare på problemstillinga: **(I)** Er det teknisk og økonomisk hensiktsmessig å nytte overskotsvarme frå eit datasenter til oppvarming av Lustrabadet? **(II)** Er det mogleg å etablere eit større fjernvarmenettverk i Gaupne basert på overskotsvarme frå datasenter?

Fyrst blir det presentert kva type metode som er valt, kva verktøy som er brukt og korleis vi har innsamla data. Oppgåva er delt inn i tre scenario som blir nærare beskrive i siste del av metoden.

4.1. Val av metode

Vi ynskjer i dette prosjektet å simulere og designe eit fjernvarmenett som kan nytte overskotsvarme frå eit potensielt datasenter i Luster kommune. For å svare på problemstillinga har vi nytta eit kvantitativ design, då vi er ute etter tal og ikkje ute etter folk sine meiningar og haldningar. Vi har også vært interessert i teknisk informasjon, noko vi har fått gjennom litteratur og møter med utvalde representantar, samt førespurnad til leverandørar.

Gjennom prosjektet har vi gjennomført fleire møter med representantar frå Luster kommune og Lustrabadet. Gjennom Lustrabadet har vi tilgang til deira tekniske system, EM-Systemer. Informasjonen vi får gjennom dette, samt litteratur og møter, gir grunnlaget for vidare val av modelleringsverktøy. Grunna avgrensa tid og utfordringar knytt til innhenting av data, må vi sjølv ta eigne vurderingar og estimat basert på teori frå litteratur og informasjon frå fagfolk.

4.2. Val av modelleringsverktøy

Det finns ulike verktøy vi kan nytte for å simulere eit fjernvarmenett. Programvarene THERMOS (THERMOS, 2021), Python-baserte programmet DiGryPy (Vorspel & Bücker, 2021) og NetSim Grid Simulation (Vitec Software Group, u.å.) har eit bredt spekter av bruksområde, som kan hjelpe med detaljerte simuleringar for eit framtidig fjernvarmenett.

THERMOS er eit gratis modelleringsverktøy utvikla av det EU-finansierte prosjektet med same namn. Programvara er eit verktøy som tek sikte på distriktenergi. Det er designa for å finne den økonomiske effektiviteten og potensialet for fjernvarme, utan at ein treng for mykje teknisk

forkunnskap (Vorspel & Bücker, 2021). THERMOS gir ein enkel framstilling av eit fjernvarmenett basert på eit innebygd energibehovsestimat. Ved bruk av programvara kan ein definere eigne kriteria for nettverket. Dette kan vere alt frå kostnad, utslippsreduksjonsmål, teknologi og preferert konsument eller produsent (THERMOS, 2021).

NetSim Grid Simulation er ein programvare utvikla av den skandinaviske Software leverandøren Vitec Software Group. Modellverktøyet er utvikla av ingeniørar for å bygge og optimalisere fjernvarmenett. Samanlikna med THERMOS, har NetSim eit større fokus på termodynamisk modellering i staden for det økonomiske aspektet. NetSim er i utgangspunktet ikkje ein gratis programvare, men ein kan som student få tilgang gjennom deira studentprogram. I modelleringsverktøyet treng ein geografisk informasjon frå studieområdet, og data frå konsument og produsent (Vitec Energy, 2015). Programvara er godt eigna for å optimalisere eksisterande nettverk, samt designe framtidige.

DiGriPy er ein fjernvarmepakke for Python, utvikla for simulering og design av fjernvarmenettverk. Python er eit programmeringsspråk som ein også kan bruke for utforming av fjernvarmenett, ved hjelp av verktøyet DiGriPy. Dette er eit gratis modelleringsprogram som brukar koding og termodynamiske lover for optimalisering av nettverket. Med denne programvara kan ein byggje nettverksmodell og DiGriPy reknar ut naudsynt temperatur på vatnet, samt vassmengder, hastigheit og varmetap til ein kvar tid (Vorspel & Bücker, 2021).

Ut frå desse modelleringsverktøya valte vi å nytte THERMOS for å svare på problemstillinga. Sidan planlegginga av datasenteret er i ein så tidleg fase, er det stor mangel på teknisk informasjon som hadde vært naudsynt i NetSim og DiGryPy. THERMOS har ein innebygd funksjon for det økonomiske aspektet, noko som hjelp oss til å svare på problemstillinga. Vi fann programmet også veldig brukarvenleg då det krev lite teknisk forkunnskap. Både DiGriPy og NetSim krev meir forkunnskap og opplæring innanfor modellering av fjernvarmenett og blir dermed ikkje aktuelt med tanke på avgrensa tid til prosjektet. Gjennom møte med dagleg leiar av Lustrabadet, kom det fram at dei var mest interessert i eit estimat av økonomiske kostnader knytt til bygging av eit fjernvarmenett der Lustrabadet er kunde. For at resultatet i prosjektet skal bli så relevant så mogleg for involverte aktørar, var THERMOS den programvara som passa best med spesifikk omsyn til det teknoøkonomiske aspekt.

4.3. THERMOS

Programvara THERMOS eigna seg godt til det kostnadsøkonomiske perspektiv for eit fjernvarmenett. I dette kapittelet vil vi gå nærmare inn på korleis programvara er oppbygd og korleis den skal hjelpe oss å svare på problemstillinga.

Ein kan i THERMOS anten maksimere noverdien for nettverksoperatøren eller ein kan maksimere heile systemets noverdi. Når ein maksimera noverdien for nettverksoperatøren er summen av alle inntektene minus kostnadar for nettverket. Ved å maksimere heile systemets noverdi finn programmet den mest kostnadseffektive måten å varme flest mogleg bygningar. Her kan ein sjå vekk ifrå inntektene til nettverket og tariffane til bygga som også avgjer inntektene til nettverksoperatøren. Ein kan også spesifisere nedbetalingstid og diskonteringsrente. Om ein ikkje legg inn eigne verdiar, har THERMOS ein standard dei går ut ifrå.

Når ein skal designe eit fjernvarmenett, kan THERMOS bruke eit innebygd Application Programming Interface (API) til OpenStreetMap (OSM) (OpenStreetMap, u.å.), eller ein kan legge inn GIS-kart. OSM er ei open kartteneste der alle kan vere med å kartlegge, opprette eller vedlikehalde data om vegar, bygg og diverse anna. Karta baserer seg på GPS-data og andre tilgjengelege ressursar. Når ein brukar dette hentar THERMOS ut informasjon om vegar, bygg og andre ting som ligg inne for å finne den optimale kostnadseffektive løysninga for eit fjernvarmenett. Ein kan også laste opp eigne GIS-kart i ulike format. På denne måten kan ein potensielt få ut meir informasjon om ein bestemt stad. I GIS-kart kan ein ha meir metadata som gir meir informasjon om enkelte objekt i kartet. Både OSM og GIS-kart kan også nyttast ilag.

THERMOS har ein integrert funksjon for å rekne ut varmebehovet innanfor eit gitt området. Med å bruke anten OSM eller GIS-kart, hentar THERMOS ut informasjonen frå bygningane. I THERMOS oppgjer ein Heating Degree Days (HDD). HDD blir brukt til å berekne varmebehovet som er i bygningar. Forbruket av varmeenergi standardiserast for å samanlikne energiforbruket til eit eller fleire bygg i ulike månader eller år, samt samanlikne dei i ulike kommunar. Energiforbruket til ei bygning er nesten lineært til forskjellen mellom ute- og inne temperatur (Finnish Meteorological Institute, 2022). Når THERMOS registrera arealet eller storleiken på eit bygg, reknast varmebehovet til bygget ut utifrå HDD. Om det ikkje er anna informasjon frå bygget, reknast dette ut ved ein standard i THERMOS. Programmet rekna med at alle bygga er 2 etasjar, og dermed blir volumet bestemt av grunnflata. Når ein planlegg for

eit området kan ein også sjekke om området er dekt av LIDAR målingar. I dette prosjektet er dette ikkje tilfelle. LIDAR gir tredimensjonal kartdata samanlikna med OSM og GIS-filer som berre gir todimensjonal. Dette gje meir korrekte data knytt til bygningshøgder og volum for estimering av varmebehov.

THERMOS rekna på det mest kostnadseffektive rutene for røyrgater. Potensielle røyrgater vil difor vere assosiert med eksisterande vegar og stiar, då det er rimelegare å byggje ut der det allereie er eksisterande infrastruktur. THERMOS brukar ein serie av kostnadsdata basert på røyrdimensjon, som inkluderer kostnader for røyra, samt kostnader knytt til arbeid for legging av røyr, graving, prosjektering og liknande. Dette er oppgitt i pund, men ein kan sjølv leggje inn egne prisar.

Når ein designar eit nettverk, kan ein sjølv velje lokasjon for tilbod og etterspørsel. Som nemnt i kapittel 2.2.3. trenger eit fjernvarmenett ulike komponentar i tillegg til ein produsent av varme. Ein må leggje inn kapasiteten til produsent, og andre kostnader knytt til produksjon og drift. Eventuelle utslepp knytt til produksjon, kan også bli lagt inn. For konsument har ein tre ulike val for inkludering av bygninga til eit nettverk.

- Naudsynt (Required): Bygningar med dette valet skal bli teke med i simuleringa.
- Valfri (Optional): THERMOS vel om det er kostnadseffektivt å inkludere denne bygninga.
- Forbode (Forbidden): Med dette valet blir bygga ekskludert frå eit eventuelt fjernvarmenett.

Ein kan også sjølv spesifisere potensielle konsumentar sitt varmebehov, behovsprofil eller topplast. Om dette ikkje er spesifisert, vil THERMOS kalkulere varmebehovet som beskrive tidlegare, og behovsprofilen vil bli satt ut ifrå dei innstillingane ein har satt for prosjektet. Behovsprofil til ei gitt bygning seie når i løpet av ein dag bygninga bruka mest energi. I THERMOS kan ein eigendefinere denne, men også velje profilar som allereie ligg inne. Standardprofilen i THERMOS er «normal vekedag» for type dagar, men ein kan også velje til dømes normal helg eller vinteruke. Topplast er bygninga sin maksimale effektforbruk anten over eit døgn eller ein time. Dette er vesentleg då eit fjernvarmenett må vere dimensjonert for å dekke konsumenten sitt behov når behovet er størst. Blir dette ikkje definert, vil THERMOS rekne ut denne utifrå varmebehovet og behovsprofilen. Tilknytingskostand i samband med tilknytning til fjernvarmenett er også eit parameter det går ann å definere.

I THERMOS er det naudsynt å gje ein tur- og returtemperatur slik at modellen veit om det er eit system for kjøling eller oppvarming. Ein må også leggje inn bakketemperatur som er med på å bestemme varmetap ilag med dimensjonane på røyra og turtemperatur. Varmetapet blir rekna ut ved hjelp av fylgjande innebygde formel :

$$\delta t * (0,16805 * \ln(\emptyset) + 0,85684)$$

δt er skilnaden mellom temperaturen i røyr (vatn) og bakketemperaturen, og \emptyset er diameter på røyr. Verdiane for varmetap i ulike røyrdimensjonar kjem dermed inn i tabellen for røyr og kostnader.

Med desse variablane kan THERMOS kome fram til den beste teknøkonomiske løysningane med gitte føresetnader. Med omsyn til kva informasjon ein legg inn, kan ein få vite total kostnad ved utbygging, driftskostnader, utslepp av klimagassar, varmeproduksjon, forbruk av brensel og varmeproduksjon.

4.4. Innsamling av data

For å nytte verktøyet THERMOS er ein avhengige av å samle inn data som er naudsynt for å svare på problemstillinga. Dette er data og informasjon om Lustrabadet, Sogn Datasenter og informasjon frå kommunen. Denne informasjonen må leggest inn i THERMOS for forsyning, behov og nettverk. Når data og informasjon er henta inn, kan ein køyre programmet. Noko av dataen som er naudsynt til programvara, er vanskeleg å finne av ulike årsaker. Sogn Datasenter er framleis under planlegging og difor har ein estimert verdiar/data med bakgrunn i litteratur og informasjon frå møter. All data som er estimert er spesifisert.

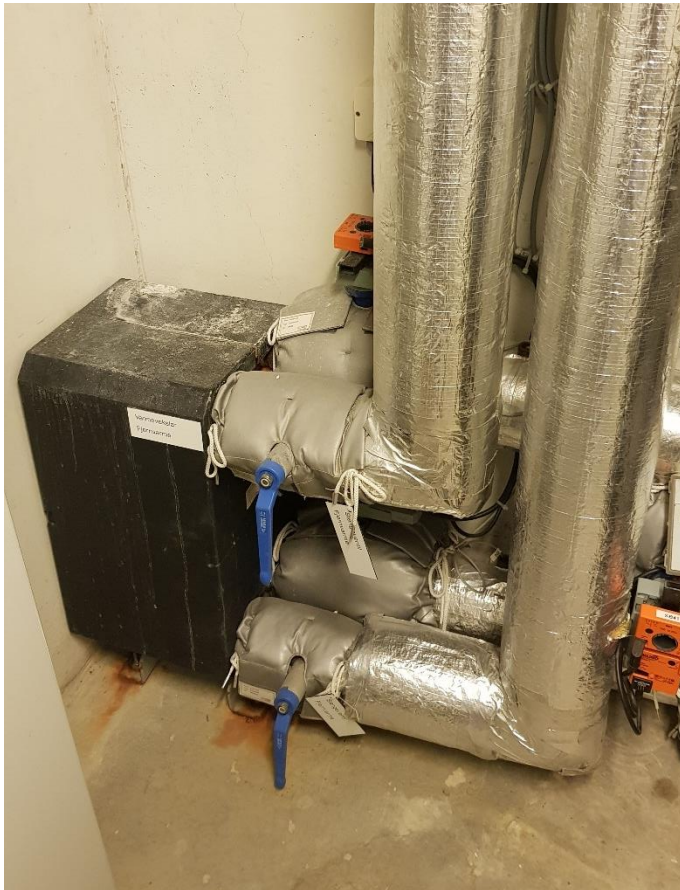
4.4.1. Lustrabadet

Vi har vore i kontakt med Lustrabadet gjennom heile prosjektet. Lustrabadet ser på prosjektet som svært interessant. Innsamling av data frå Lustrabadet vart gjort gjennom fleire møter med dagleg leiar og teknisk leiar.

Teknisk leiar i Lustrabadet orienterte oss om eit system for vassboren varme som allereie er på plass og klart for å kople seg på eit fjernvarmenett (figur 16). I tillegg vart vi informerte om at dei i næraste framtid må fornye den tekniske kjellaren. Lustrabadet er opptatt av at dei skal

møte framtidig behov og i denne samanheng kan planlegging av eit framtidig fjernvarmenett takast med i vurdering når den tekniske kjellaren skal fornyast. Det er viktig for dei at investeringa skal vere lønnsam.

Gjennom Lustrabadet fekk vi tilgang til deira operasjonssentral, EM-Systemer. Dette programmet blei brukt til å hente ut viktige opplysningar som varmebehov, topplast, tur- og returtemperatur på vatn.



Figur 16: Varmevexslaren for tilkopling til fjernvarmenett i Lustrabadet. Foto: Privat.

4.4.2. Luster kommune

Gjennom prosjektet har vi vore i kontakt med Oliver Bjørndal frå Luster kommune, gjennom møter og e-post. Han orienterte oss om prosessen knytt til etablering av datasenteret. Gjennom Bjørndal fekk vi informasjon om at Sogn Datasenter har ein planlagd kapasitet på 100 MW. Dette var informasjon han fekk frå Sognkraft AS, der dei også påpeika at prosessen er framleis i ein tidleg fase og at mykje informasjon knytt til datasenteret ikkje er klart.

Bjørndal supplerte oss med eit GIS-kart frå kommunen som vi kunne nytte i prosjektet.

Gjennom Bjørndal fekk vi også bekrefta at Luster ungdomsskule og Pyramiden har system for vassboren varme.

4.4.3. Parameter til THERMOS

4.4.3.1. Røyr og graving

I THERMOS ligg det allereie inne prisar for røyr og graving. Dette er prisar oppgitt i pund og tilpassa den europeiske marknaden. Desse prisane vil ikkje passe vår modell. Difor har vi henta inn kostnader for røyr og graving som vil passe den norske marknaden. Desse prisane finn ein i vedlegg V1.

Pris for både graving og røyr er ulike for forskjellige dimensjonar. For å få priser på røyr i ulike dimensjonar, kontakta vi Bademiljø i Kristiansund, som igjen tok kontakt med grossisten Brødrene Dahl. Vi fekk då eit tilbod med prisar for røyr frå DN 25 til og med DN 300 røyr for bruk til fjernvarme.

Pris på grøftegraving blei estimert ved å bruke Bioen AS sin rapport om kostnader for utbygging av fjernvarme (Bioen AS, 2010). Denne rapporten inneheld ein pristabell som kan brukast til å gjere eit anslag av prisen for grøftarbeid. Prisane frå denne rapporten er frå 2010. Vi inflasjonsjusterte desse prisane for at dei skal reflektere dagens pris. Vi brukte 2,2 % som er den gjennomsnittlege inflasjonen frå 2010 til 2022 (Pedersen, 2022). Prisane gjekk berre opp til DN 300. Prisen for graving av grøft inkludera:

- Graving av grøft
- Fundament av sand og pukk
- Vekkjøring av overskotsmasser
- Provisoriske kjørebruer og gangbruer
- Fjerning av skolinger og omfylling av røyrene til 200 mm
- Legging av 110 mm PVC røyr til trekking
- Gjenfylling over omfyllingssona med 50 % gravemasser og 50 % tilkjørte masser

Pris for kryssing av hinder, som til dømes elv, kjem i tillegg til prisen, samt arkeologiske undersøkingar. Det same gjeld for saging og legging av ny asfalt, ved kryssing av vegar og linknande.

Rapporten til Bioen AS manglar prisar for gravearbeid for røyrdimensjonane DN 20, 25 og 32.

Pris på graving for røyrdimensjonane DN 20, 25 og 32 estimerte vi til den same som pris på graving for DN 40 røyr. Vi har verken prisar for røyr eller graving for røyrdimensjonar over DN 300. For å estimere prisar for større dimensjonar har vi nytta trendlinje for dei eksisterande prisane. Sjå vedlegg V1 for fullstendig utrekning.

På grunn av usikkerheiter og bruk av estimat for graving, har vi valt å runde prisane av til næraste tikronar.

4.4.3.2. Objektiv

Vi vel å finne den mest kostnadseffktive løysinga for heile systemet, sidan det er det Lustrabadet er interessert i. På grunn av val av denne instillinga treng vi ikkje informasjon om straumpris, nettleige, diskonteringsrente og nedbetalingstid. Dette då THERMOS finn den mest kostnadsoptimale løysinga for heile systemet.

4.4.3.3. Effekt på varmekjelde

I THERMOS må vi oppgje effekten til varmekjelda. Varmekjelda er datasenteret og har ein effekt på 100 MW. I fylgje Fossekall (2018) og THEMA Consulting Group (2020) kan 80-90 % av energien ein nyttar i eit datasenter, komme ut att i form av varme. Difor har vi satt effekten til varmekjelda til 85 MW i THERMOS.

4.4.3.4. Turtemperatur

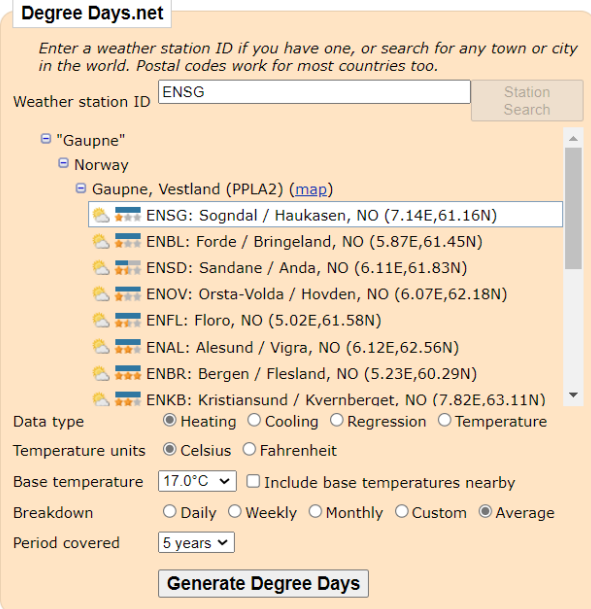
For å kunne seie noko om turtemperaturen på kjølevatnet, må vi gjere ei føresetnad for kva kjølesystem datasenteret vil nytte. Dette er heilt avgjerande for kva turtemperaturen vil vere. Vi forutset at Sogn Datasenter vil nytte to-fasa kjølesystem. Dette fordi det er den komande kjøleteknikken, som gir den høgaste overskotsvarmen på om lag 75 °C. Slik får vi også forenkla modellen, der vi kan ekskludere varmepumper.

4.4.3.5. Bakketemperatur

Når det gjeld bakketemperatur, så var det ingen verdiar knytt til Gaupne. I fylgje BKK (2020) sin tekniske rettleiar for fjernvarme, skal fjernvarmeleidningar ha minimum 800 mm overdekning. Vi valte difor Sandane som utgangspunkt for vårt prosjekt (NIBIO, 2022). Sandane hadde målingar frå 500 mm under bakken. Det var også nokre hull i målingane, og vi valte difor å ta gjennomsnitt av bakketemperatur kvar måned. Her rekna vi oss frem til eit gjennomsnitt på omlag 8 °C i året.

4.4.3.6. HDD

I modellen må vi oppgje HDD. Vi brukte nettstaden BizEE Degree Days (BizEE Software, u.å.), som tilbyr ein gratis teneste for innhenting av HDD frå ulike målestasjonar rundt om i verda. Det var ikkje mogleg å hente nøyaktig informasjon frå Gaupne, så næraste målestasjon var Haukåsen Lufthavn. Med tanke på Gaupne og Haukåsen sin ulikheit i forhold til høgde over havet, innhenta vi også informasjon frå ein anna målestasjon, lokalisert ved Anda Lufthavn. Sjå figur 17 for meir detaljer. Haukåsen lufthavn hadde ein verdi på omtrent 4500 HDD, medan Anda Lufthavn hadde ein verdi på 3500 HDD. Dermed estimerte vi at Gaupne har 4000 HDD.



The screenshot shows the Degree Days.net website interface. At the top, it says "Degree Days.net" and "Enter a weather station ID if you have one, or search for any town or city in the world. Postal codes work for most countries too." Below this is a search bar with "ENSG" entered and a "Station Search" button. A dropdown menu is open, showing a list of weather stations in Norway, with "Gaupne, Vestland (PPLA2) (map)" selected. The list includes stations like ENSG: Sogndal / Haukassen, NO (7.14E,61.16N), ENBL: Forde / Bringeland, NO (5.87E,61.45N), ENSD: Sandane / Anda, NO (6.11E,61.83N), ENOV: Orsta-Volda / Hovden, NO (6.07E,62.18N), ENFL: Floro, NO (5.02E,61.58N), ENAL: Alesund / Vigra, NO (6.12E,62.56N), ENBR: Bergen / Flesland, NO (5.23E,60.29N), and ENKB: Kristiansund / Kvernberget, NO (7.82E,63.11N). Below the list are several settings: "Data type" with radio buttons for Heating (selected), Cooling, Regression, and Temperature; "Temperature units" with radio buttons for Celsius (selected) and Fahrenheit; "Base temperature" set to 17.0°C with a checkbox for "Include base temperatures nearby"; "Breakdown" with radio buttons for Daily, Weekly, Monthly, Custom, and Average (selected); and "Period covered" set to 5 years. A "Generate Degree Days" button is at the bottom.

Figur 17: Innstillingane for innhenting av HDD. Skjermdump av nettstaden til BizEE (u.å.).

4.5. Scenario

Vi vel ulike scenario for å sjå på fleire løysningar for eit eventuelt fjernvarmenett i Gaupne. Ved å simulere fleire scenario med like føresetnader, får ein eit samanlikningsgrunnlag som kan vere med på å finne den beste teknøkonomiske løysinga.

4.5.1. Felles innstillingar

Det er fleire innstillingar og parameter i THERMOS som er lik i alle scenario slik at resultatet vert samanliknbart (tabell 1).

Tabell 1: Felles innstillingar/parameter for alle scenario.

Innstillingar/parameter	Verdi
Lustrabadet	
Årleg varmebehov	559 MWh
Topplast	357 kW
Datasenter	
Maks kapasitet	100 MW
Kapasitet til oppvarming	85 MW
Diverse	
Kartteneste	OSM (om ikkje anna er spesifisert)
HDD	4000
Mål	Maksimere heile systemets noverdi
Røyr-/anleggskostnader	Sjå vedlegg V1
Kapasitet og tapsmodell	Varmevatn
Turtemperatur	75°C
Returtemperatur	50°C
Bakketemperatur	8°C
Type dagar	Normale vekedagar (standard innstilling)
Forsyningsteknologi	Datasenter
	Levetid 50 år
	Kapasitet 85 MW
	Varme/drivstoff: 100 %

4.5.2. Ekskluderte parameter

Det er fleire parameter i THERMOS vi har valt å ekskludere grunna programvara si breie bruksområde. Parametera vi har ekskludert er ikkje naudsynt for vårt prosjekt og problemstilling.

Som nemnt har vi gått ut frå at datasenteret skal ha to-fase kjølesystem. Dette gjer at vi har ekskludert alt av eventuelle varmepumper i systemet. Vi har heller ikkje lagt vekt på kostnader knytt til datasenteret si tilknytning til fjernvarmenettet, då dette er ein kostnad datasenteraktøren bør ta.

Andre parameter som vi har ekskludere frå THERMOS:

- Tariffer.
- Isolasjon.
- Individuelle system.
- Varmeprofil til Lustrabadet (har spesifikke data).
- Sekundær varmestasjon.
- Lagringsteknologja.
- Utsleppskostnader.
- Nedbetalingstid.
- Diskonteringsrente.

4.5.3. Scenario 1

Scenario 1 går ut på å setje Lustrabadet som «naudsynt» i THERMOS, og alle andre bygg er «forbode» å knyte til fjernvarmenettet. Ved å gjer dette er det berre Lustrabadet som nyttar overskotsvarmen frå datasenteret. Vi set årleg energibehov for Lustrabadet, samt topplast med nøyaktige tall frå Lustrabadet (sjå tabell 1).

4.5.4. Scenario 2

I scenario 2 inkludera vi alle bygg i Gaupne som vi veit kan kople seg på eit fjernvarmenett. Bygningane dette gjeld er Lustrabadet, Pyramiden og Luster ungdomsskule. Desse blir set til «naudsynt» i THERMOS. Sidan vi ikkje har nøyaktig data for topplasta til Pyramiden og Luster

ungdomskule, reknar THERMOS ut denne ved hjelp av profilane for bygningane. Profilane blir set til kommersiell sidan dette er kommersielle bygg.

4.5.5. Scenario 3

I scenario 3 tvinger vi THERMOS til å inkludere alle bygg i Gaupne sentrum. Vi nyttar GIS-kart for bygningane i Gaupne, ilag med OSM. Grunnlaget for val av eige kartlag for bygningar, var grunna OSM ikkje kjende att alle bygningar i Gaupne. Dermed var det berre få av bygningane i Gaupne som blei registrert. Med eige kartlag for bygningar får vi med fleire bygg i modellen.

Sidan det er bestemt i dei generelle innstillingane at standard profil skal vere bustadbygnad, må ein fysisk inn i modellen å endre energiprofilen til dei bygga ein veit ikkje høyrer til i denne kategorien. Som til dømes ungdomsskulen, Pyramiden og liknande. Varmeprofilen for desse blir satt til kommersiell. Vi har framleis spesifikt årleg varmebehov og topplast for Lustrabadet. Avery Dennison NTP fabrikk er ekskludert sidan vi antek at dei ikkje har behov for oppvarming grunna industrielle prosessar.

5. Resultat

I dette kapittelet vil resultatene frå scenario 1, 2 og 3 bli presentert. Resultatet gir svar på total kostnad for utbygging av fjernvarmenettet, varmetap, dimensjon, lengde og kapasitet for røyr, og årleg prosentvis nytting av datasenteret sin overskotsvarme.

Datasenteret gir ut 650 GWh overskotsvarme i året (sjå utrekning i kapittel 2.3.5). Dette vert nytta i berekninga når vi ser på årleg prosentvis nytting. Fullstendig berekning ligg ved som vedlegg V2.

5.1. Scenario 1

Resultatet for scenario 1 er vist i tabell 2. Den totale kostnaden for fjernvarmenettet frå datasenteret og til Lustrabadet, blir på om lag 14,55 millionar kroner (Mkr). I dette nettverket blir berre røyrtypen DN 65 nytta. Kapasiteten til røyrret reflektera topplasta satt for Lustrabadet. Røyrlengda for heile nettverket vil vere 5,52 km. Lustrabadet har eit årleg oppvarmingsbehov på 559 MWh. Medrekna varmetapet i systemet på 1010 MWh, må datasenteret levere 1569 MWh til Lustrabadet. Varmetapet utgjer omtrent 64 % av det datasenteret må gje ut.

Den årlege prosentvise nyttinga av overskotsvarmen for scenario 1 er på 0,2 %.

Tabell 2: Detaljert informasjon om fjernvarmenettet i scenario 1. Utklipp frå THERMOS.

Civils	ø mm	Length m	Cost M	Cost M/m	Losses Wh/yr	Capacity W
Hard (default)	65	5,52 k	14,55 M	2,64 k	1,01 G	357 k

5.2. Scenario 2

Resultatet for scenario 2 er vist i tabell 3. Den totale kostnaden er 17,19 Mkr for fjernvarmenettet som inkluderer Lustrabadet, Pyramiden og Luster ungdomsskule. Nettverket i dette scenarioet har eit hovudrør på DN 80. Den samla kapasiteten er 494,94 kW for dette nettverket. Tilkoplingsrøret til Lustrabadet er DN 65 mens tilkoplingsrøra til Luster ungdomsskule og Pyramiden er DN 50. Nettverket med rør vil ha ei total lengde på 5,73 km. I scenario 2 har ein eit årleg oppvarmingsbehov på 1081 MWh. I dette scenarioet er varmetapet i systemet på 1100 MWh. For at datasenteret skal dekkje dette behovet må det levere 2181 MWh. Dette gir eit varmetap på omlag 50 %.

Den årlege prosentvise nyttinga av overskotsvarmen for scenario 2 er på 0,3 %.

Tabell 3: Detaljert informasjon for dei ulike rørdimensjonane for scenario 2. Utklipp frå THERMOS.

Civils	ø mm	Length m	Cost k	Cost k/m	Losses Wh/yr	Capacity W
Hard (default)	50	195,61	425,26 k	2,17 k	31,03 M	169,59 k
Hard (default)	65	75,69	199,67 k	2,64 k	13,85 M	357 k
Hard (default)	80	5,46 k	16,56 M	3,04 k	1,06 G	494,94 k
All		5,73 k	17,19 M	3 k	1,1 G	494,94 k

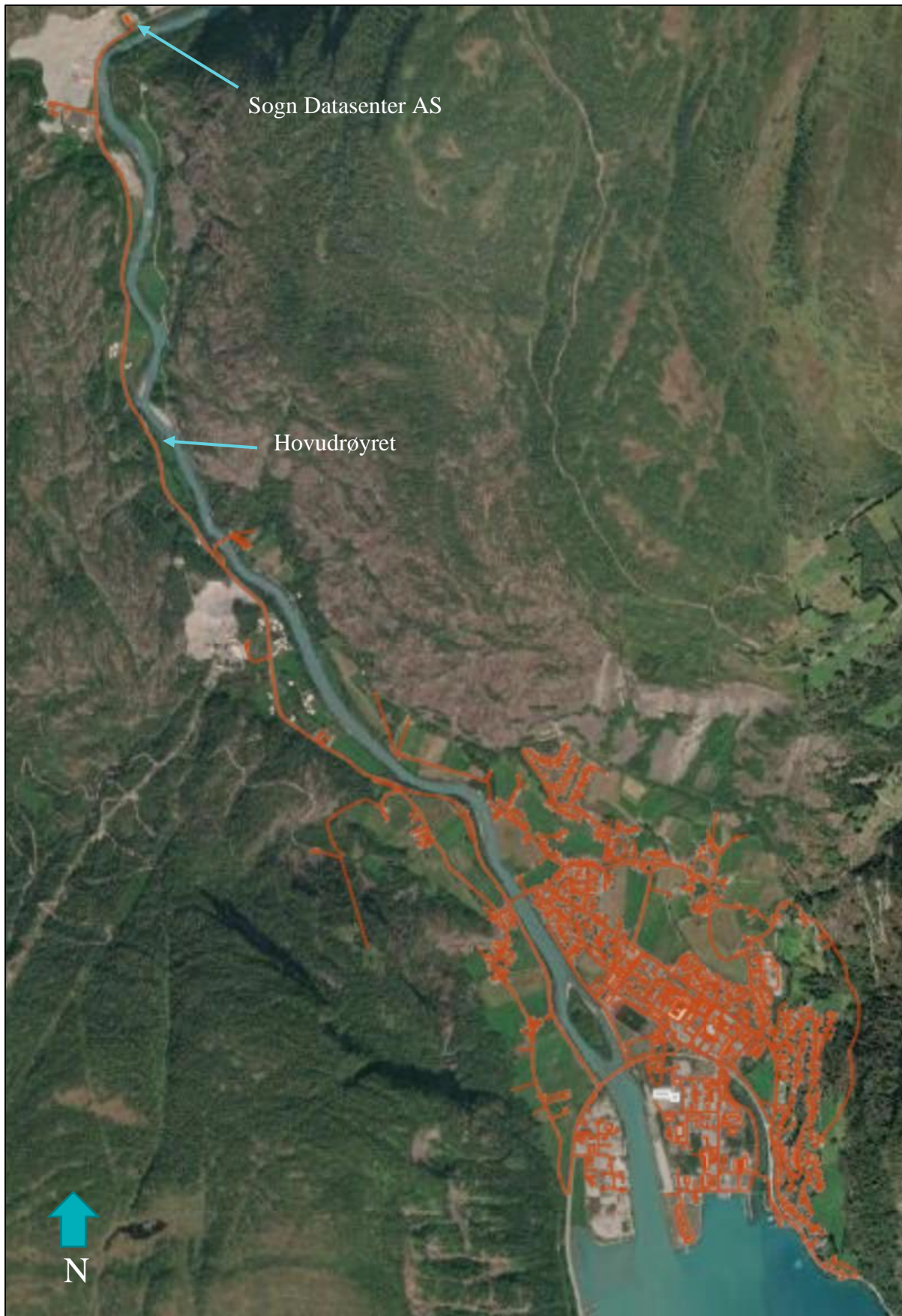
5.3. Scenario 3

Resultatet for scenario 3 er vist i tabell 4. Fjernvarmenettet i sin heilheit er illustrert i figur 18 og figur 19. Kostnaden for dette fjernvarmenettet er 186,31 Mkr. Nettverket i scenario 3 har eit hovudrør på DN 350, med ein samla kapasitet på 26,75 MW. Resterande rør har dimensjonar frå DN 25 til DN 300. Den totale lengda på røyra i dette scenarioet er på 61,33 km. I scenario 3 har ein eit årleg oppvarmingsbehov på 29 260 MWh. Varmetapet i nettverket er 10 100 MWh. For å få dekka behovet, medrekna varmetap, må datasenteret levere 39 360 MWh. Varmetapet tilsvara 26 % av det som datasenter må gje ut.

Den årlege prosentvise nyttinga av overskotsvarmen for scenario 3 er på 6,1 %.

Tabell 4: Detaljert informasjon for dei ulike røyrdimensjonane for scenario 3. Utklipp frå THERMOS.

Civils	ø mm	Length m	Cost M	Cost M/m	Losses Wh/yr	Capacity W
Hard (default)	25	24,2 k	47,88 M	1,98 k	2,75 G	36,88 k
Hard (default)	32	7,33 k	14,52 M	1,98 k	899,25 M	69,95 k
Hard (default)	40	5,18 k	10,26 M	1,98 k	731,41 M	123,74 k
Hard (default)	50	5,15 k	11,19 M	2,17 k	826,36 M	218,81 k
Hard (default)	65	4,54 k	11,97 M	2,64 k	801,34 M	422,21 k
Hard (default)	80	2,49 k	7,54 M	3,04 k	492,96 M	713,34 k
Hard (default)	100	1,5 k	5,96 M	3,96 k	321,78 M	1,23 M
Hard (default)	125	1,05 k	5,17 M	4,9 k	245,19 M	2,16 M
Hard (default)	150	812,55	4,39 M	5,4 k	201,08 M	2,99 M
Hard (default)	200	901,6	5,49 M	6,09 k	241,22 M	6,36 M
Hard (default)	250	1,07 k	7,13 M	6,65 k	310,87 M	11,73 M
Hard (default)	300	335,27	2,46 M	7,34 k	100,35 M	12,79 M
Hard (default)	350	6,78 k	52,34 M	7,72 k	2,19 G	26,75 M
All		61,33 k	186,31 M	3,04 k	10,11 G	26,75 M



Figur 18: Illustrasjonsbilde av fjernvarmenettet for scenario 3. Dei oransje linjene illustrera røyra i nettverket. Bygget som er markert lysegrått i sør, er Avery Dennison NTP som er ekskludert frå nettverket. Utklipp frå THERMOS.



Figur 19: Illustrasjonsbilde av fjernvarmenettverket i Gaupne for scenario 3. Dei oransje linjene illustrera røyra i nettverket. Utklipp frå THERMOS.

6. Diskusjon

I diskusjonen koplar vi teoridelen med resultatata vi har fått i THERMOS. Vi kjem fyrst til sjå på resultatata og samanlikne dei opp mot kvarandre. Deretter tek vi opp tema som alternativ, berekraft og etikk. Avslutningsvis vil vi drøfte feilkjelder, før vi til slutt kjem med forslag til vidare studie. Etter resultatet vart klart har vi danna oss eit bilete av potensiale for bruk av overskotsvarme frå datasenter, og moglegheita for å nytte dette i eit fjernvarmenett i Gaupne.

Målet med diskusjonen er å drøfte resultatet, slik at vi kan svare på problemstillinga: **(I)** Er det teknisk og økonomisk hensiktsmessig å nytte overskotsvarme frå eit datasenter til oppvarming av Lustrabadet? **(II)** Er det mogleg å etablere eit større fjernvarmenettverk i Gaupne basert på overskotsvarme frå datasenter?

6.1. Samanlikning av dei ulike scenario

I scenario 1 valte vi å berre inkludere Lustrabadet som konsument for nytting av overskotsvarmen frå datasenteret. Dette scenarioet retta seg mest mot problemstilling 1. I scenario 2 undersøker vi om kor stort utslag det vil ha å kople på berre nokre ekstra bygg i same området. Dette hjelper oss med å få eit betre perspektiv på kva som kan vere det teknøkonomisk hensiktsmessige. Scenario 3 rettar seg mot problemstilling 2. Dette scenarioet hjelper oss med å seie kor mykje heile Gaupne kan nytte av den potensielle overskotsvarmen som kjem frå Sogn Datasenter. Etter scenario 3 kan ein få eit bilete av kor mykje konsum ein må ha, for å nytte all overskotsvarmen som kan kome ved utbygging av eit datasenter på Hausamoen. Desse scenarioa opp i mot kvarandre, gir gode samanlikningsgrunnlag for å kunne seie kva som er teknøkonomisk hensiktsmessig for Luster kommune.

6.1.1. Teknisk aspekt

Årleg prosentvis nytting av overskotsvarme vil vere 0,2 % i scenario 1, og 0,3 % i scenario 2. Vi ser at i begge desse scenarioa vil nyttinga vere ekstremt låg i forhold til kva ein har tilgjengeleg. I scenario 3 har ein årleg prosentvis nytting på 6,1 %. Dette viser at ingen av scenarioa klarer å nytte ein betydeleg del, av den potensielle overskotsvarmen slik behovet i Gaupne er i dag. Sjølv om nyttingsgrada til alle scenarioa er låge, er det framleis fornuftig å

nytte overskotsvarmen som elles ville gått tapt. Som nemnt i kapittel 2.3.5 vil verdien av den potensielle overskotsvarmen vere verd fleire millionar.

Varmetapet i begge scenarioa er også veldig høge. Scenario 1 har eit varmetap på 64 % og scenario 2 har eit varmetap på 50 %. Dette tapet er grunna dei små røyrdimensjonane som er dimensjonert etter topplasta i dei ulike scenarioa. I scenario 3 kan vi derimot sjå at varmetapet er betydeleg lågare, om lag 26 %. Her har ein større røyrdimensjonar som er dimensjonert til eit høgare behov. Røyrlengda i scenario 3 er betydeleg lenger enn dei to andre scenarioa. Med dette ser vi at røyrdimensjon er avgjerande når det gjeld varmetap. Dette stemmer også med formelen for varmetap som vist i kapittel 4.3.

I THERMOS vert alle berekninga gjort for situasjonen som er i dag, og dimensjoneringa vil difor berre dekke akkurat dette behovet. Røyrdimensjonen fører til at framtidige aktørar ikkje kan kople seg på fjernvarmenettet i framtida, då røyra er små. I eit realistisk scenario vil ein tenkje på korleis situasjonen blir i framtida. Slike investeringar er langsiktige, og det er i framtida forventa befolkningsvekst i Gaupne. Det kan difor vere lurt å leggje til rette for framtidige behov i planleggingsfasen, som nemnt i kapittel 2.2.2.3. Etablering av datasenter kan gjere Gaupne til ein attraktiv stad for varmekrevjande industri. Ein bør difor tenkje på at framtidige aktørar potensielt ynskjer å kople seg på fjernvarmenettet, og at røyrdimensjonen tilpassast deretter.

6.1.2. Økonomisk aspekt

I scenario 1 fekk vi eit fjernvarmenett med ein total kostnad på 14,55 Mkr. I scenario 2 blei total kostnaden 17,19 Mkr. Nettverket i scenario 2 har eit betydeleg lågare varmetap som resultera i ei høgare nytting. Utbygging av scenario 2 vil koste 2,64 Mkr meir enn scenario 1. Når ein fyrst byggjer ut eit fjernvarmenettverk, vil 210 meter ekstra med røyr utgjere ein liten forskjell. Ein får levert omlag dobbel så mykje varme som i scenario 1, mot eit lite tillegg i prisen. Ein får også eit lågare prosentvis varmetap, som gjer at ein får meir varme per krone investert. Prosentvis nytting av datasenteret sin overskotsvarme er også høgare.

Lustrabadet er eit kommunalt føretak, kor det i praksis er kommunen som betaler straumutgiftene. Ein kan tenkje seg at i dette tilfellet vil kommunen drifte, samt betale eit eventuelt fjernvarmenett til Lustrabadet. Om ein ser det slik vil Lustrabadet få denne varmen gratis. Med eit enkelt reknestykke, kan ein samanlikne investeringskostnaden for

fjernvarmenettverket med kostnaden for straum for eit år (sjå vedlegg V3 for fullstendig utrekning). Vi har i dette tilfelle nytta straumprisen 1,45 kr/kWh, same som i kapittel 2.3.5. Nettleige blir ikkje teke med i berekninga, då Lustrabadet framleis må betale nettleige sidan dei vil ha behov for straum til andre formål. I røynda vil dei betale mindre nettleige med lågare forbruk.

Berekninga er eit grovt estimat og reflektera berre investeringskostnadane. For å få ei betre samanlikning må ein inflasjonsjustere prisen for straum (skildra i kapittel 2.2.5), samt leggje til driftskostnadar. Sidan straumprisen er svært skiftande er det vanskeleg å vite korleis prisen for straum vil utvikle seg i åra framover. Dette er grunnen til at vi har forenkla berekninga, og berre valt å sjå på kva ein kan spare på eit år.

Tabell 5 viser resultat frå utrekning av scenario 1. Her ser ein at ein kan spare 810 550 kr/år ved å nytte fjernvarme i staden for straum til oppvarming.

Tabell 5: Utrekning for scenario 1.

Scenario 1	
Investeringskostnad fjernvarmenett	kr 14 550 000
Straumkostnad for varmebehovet til Lustrabadet på 1 år	kr 810 550

Vi gjer same utrekning for scenario 2, med same føresetnadar. Med ein straumpris på 1,45 kr/kWh vil ein kunne spare 1 567 943 kr/år ved å nytte fjernvarme til oppvarming kontra straum (tabell 6).

Tabell 6: Utrekning for scenario 2.

Scenario 2	
Investeringskostnad fjernvarmenett	kr 17 190 000
Straumkostnad for varmebehovet til Lustrabadet på 1 år	kr 810 550
Straumkostnad for varmebehovet til Pyramiden på 1 år	kr 431 680
Straumkostnad for varmebehovet til Luster ungdomskule på 1 år	kr 325 714
Til saman	kr 1 567 943

Denne enkle berekninga viser at det kan vere ein fordel å ha fleire bygg tilkopla, då hovudkostnaden for fjernvarmenettet framleis er hovudrøyret frå Hausamoen og ned til Gaupne. Ved å investere 2,64 Mkr ekstra, vil ein spare 757 393 kr meir i året, enn i scenario 1. Ein må likevel hugse på at kostnader for pumper og tilkopling, aukar i takt med kor mange bygg som er kopla på fjernvarmenettet.

Scenario 3 er i utgangspunktet meir komplisert, men vi gjer same berekning og brukar same føresetnadar som dei føregåande scenarioa. Dermed får ein resultatet som vist i tabell 7. Føresetnaden om at Luster kommune dekkjer kostnaden for fjernvarmenettet og at varmen vil vere gratis for konsumentane, vil i eit realistisk scenario ikkje stemme. Summen 42 427 000 kr tilsei kva heile Gaupne må betale for oppvarming med straum.

Tabell 7: Utrekning for scenario 3.

Scenario 3	
Investeringskostnad fjernvarmenett	kr 186 310 000
Total straumkostnad for varmebehovet til heile Gaupne på 1 år	kr 42 427 000

Om ein tenkje seg at Luster kommune driftar fjernvarmenettet, og andre bygg enn Lustrabadet, Pyramiden og Luster ungdomsskule må betale varmen sjølv, får ein eit anna resultat. Det er fleire kommunale bygg i Gaupne som vil få varmen gratis, men i dette reknestykket tek vi ikkje omsyn til dette. Dette gir resten av Gaupne ein kostnad på om lag 41 Mkr for oppvarming. Om varmen kjem frå fjernvarme skal prisen teoretisk sett bli lågare. Det er vanskeleg å gje eit eksakt tal då forholdstalet mellom straum og fjernvarme er i stadig endring.

Fjernvarmeprisen fyl elektrisitetsprisen og skal i fylgje energilova ikkje overstige denne, som nemnt i kapittel 2.2.2.2. Dagens lovverk er likevel basert på ein marknad som var mykje meir føreseieleg enn no. Å endre dette lovverket har vært eit sentralt tema, då det har vist seg at fjernvarmen ikkje naudsynt blir billigare enn straumprisen. Om kostnaden for fjernvarme overstig den same kostnaden ved bruk av elektrisitet, kan kunden klage til NVE. NVE ynskjer å sjå på denne fastsetting av pris, då mengde med klager har auka i takt med aukande straumprisar (Jordheim, 2021; Viseth, 2021). Med den eksisterande modellen for prissetting viser det seg at fjernvarme ikkje får det konkurransefortrinnet den skulle hatt.

I kapittel 2.2.2.2. nemner vi at ein kan rekne med auka investering i fjernvarme, om prisen på

elektrisitet framleis held seg høg, eller stig enda meir. Det har dei siste åra blitt dyrare med straum. Om dette prisnivå vert ein ny standard kan dette opne opp for meir fjernvarme. Dermed kan eit fjernvarmenett i Gaupne bli ein realitet i framtida, då dyrare elektrisitetsprisa får folk til å sjå på andre løysningar. Det er viktig at fjernvarmen får den fordel som er tenkt med energilova.

Om overskotsvarmen allereie eksistera, bør det leggjast opp til at folk vel den løysninga som gjer at overskotsvarmen blir brukt. Ved å stimulere til bruk av fjernvarme med overskotsvarme, forenkler ein energieffektiviseringa.

6.2. Alternativ

Eit spørsmål som dukkar opp når ein ser føre seg nytting av overskotsvarmen frå datasenteret, er kva alternativet ville vore for overskotsvarmen. Om overskotsvarmen ikkje vert nytta til fjernvarme, må varmen dumpast ein stad. Sidan det planlagde datasenteret er dimensjonert til 100 MW, vil det medføre store mengder overskotsvarme. Dette er noko ein ikkje kan dumpe kvar som helst. Om varmen vert dumpa i Jostedøla, ei elv som fører fisk, vil dette kunne ha påverknad på det økologiske førehaldet i vassdraget (Luster kommune, 2020). Om Jostedøla fører anadrom laksefisk er det kommunen som er ansvarlege for å planlegge areal i og rundt lakseførande vassdrag (Miljødirektoratet, 2021).

Om varmen ikkje kan dumpast i elva, vil alternativet vere å dumpe den i fjorden. Dette kan også påverke det biologiske mangfaldet. I dette tilfellet må Sogn Datasenter AS dekkje kostnadane med å føre varmen ned til Gaupne. Jamfør tabell 4 i kapittel 5.3., ser ein at store deler av kostnaden til fjernvarmenettet er hovudrøyret som strekker seg frå datasenteret og ned til Gaupne. Dersom datasenteraktøren må byggje denne røyrleidninga, har allereie ein stor del av kostnaden blitt dekt.

Eit anna alternativ til å byggje fjernvarmenett er å nytte overskotsvarmen lokalt på Hausamoen. Varmen frå datasenteret kan vere ein viktig ressurs for etablering av nytt næringsområde lokalt på Hausamoen. Som nemnt i kapittel 3.1. har Luster kommune sett på mogleg etablering av gartneri eller andre næringsformål som kan nytte varmen i nærleiken av datasenteret (figur 11). Gartneri er ei verksemd med stort varmebehov, og kan difor ha stor nytte av datasenterets overskotsvarme.

Det er berre ein lite prosentdel av overskotsvarmen frå datasenteret som blir nytta, jamfør resultatane i scenario 1, 2 og 3. Industri som kan nytte overskotsvarmen burde vere på plass, før ei eventuell utbygging av datasenteret. Det er også mest effektivt om industri og større bygningar med høgt oppvarmingsbehov, plasserast i nærleiken av datasenteret. På denne måten reduserer ein antal løpemeter røyr, og dermed også kostnaden.

I dette prosjektet har vi tatt utgangspunkt i eit datasenter med to-fase kjølesystem. Alternative kjølesystem er vasskjøling og luftkjøling (sjå kapittel 2.2.3.1.). I eit datasenter med 100 MW effekt, vil luftkjøling vere lite effektivt og dermed ikkje eit alternativ. Vasskjøling kan vere eit alternativ for Sogn Datasenter. Valet for to-fasekjøling baserte seg på at dette er den nyaste og beste teknologien på marknaden. Det krev ein høgare investeringskostnad, men som nemnt i kapittel 2.3.3.1., viser studien til Marcinichen et al., (2012), at datasenter med to-fasekjølt system kan bruke opptil 50% mindre energi til nedkjøling. Investering i to-fase kjølesystem vil difor vere framtidsretta, då den gir høgare temperatur på overskotsvarmen, samt at datasenteret får ein høgare effektivitet totalt sett.

6.3. Berekraft

Berekraft blir viktigare i tida som kjem, då kampen mot klimaendringane stadig vert større. For at eit datasenter skal vere berekraftig må det som nemnt i kapittel 2.3.4. nytte fornybar energi, samt vere energieffektiv. For å seie noko om kva av scenarioa som er mest berekraftige, må ein ta med i berekninga kor mange prosent av overskotsvarmen ein får nytta.

Det er viktig å sjå på moglegheitene for å nytte varmen, før ein vel plassering av datasenter. Ekspertar innanfor fagfeltet seier at eit berekraftig datasenter ikkje ligg langt unna konsument. Om datasenteret ligg langt unna, kjem ikkje overskotsvarmen til nytte (Mathisen, 2021). På ei annan side kan det vere problematisk med tilgang på nett i tettstadar der det er lettare å nytte varmen (Mathisen, 2021). Som nemnt i kapittel 3.3. er plasseringa på Hausamoen attraktiv, nettopp på grunn av den stabile krafttilgangen. Området rundt Hausamoen har førebels eit lågt behov for oppvarming, og har dermed ikkje nytte av den mengda overskotsvarme eit potensielt 100 MW datasenter vil gi. Klarer ein ikkje å nytte overskotsvarmen vil ikkje datasenteret vere energieffektivt, og dermed ikkje berekraftig. Datasenteret bør difor ikkje ha større effekt enn den overskotsvarmen ein klarer å nytte.

Om ein ser på andre datasenter, ser ein at det er vanleg å bygge ut i byggetrinn. Datasenteret

ved Kalberg i Tinn kommune har ein plan om å bygge ut for 40 MW til 2025, men utvidast til 100 MW innan 2030. BlueFjords AS sitt datasenter er også skalerbart, og har som nemnt planar om utviding (Hovland, 2022). Truleg vil Sogn Datasenter gjer det same ved å bygge ut i byggetrinn. Dette kan opne for at det ikkje skal utvidast, før ein får nytta mesteparten av overskotsvarmen. Å opprette ny industri tek også tid. Overskotsvarme kan lokke til ny industri, då tilgang på varme kan vere attraktivt.

Om datasenteret får handtert overskotsvarmen, får det ein låg ERE-verdi som forklart i kapittel 2.3.4. Med låg ERE-verdi er datasenteret både energieffektiv og meir berekraftig. Dette kan hjelpe datasenter til å bli meir attraktiv for bedrifter som vil lagre tenestene sine i grønne datasenter. Til dømes ser Google på Noreg som eit attraktivt land for å lagre data, då norske datasenter ofte har lågare PUE-verdi samanlikna med datasenter i andre land. Om dei i tillegg klarer å handtere overskotsvarme, vil datasentera bli enda meir attraktive. Handtering av overskotsvarme kan ha positive ringverknadar for området det ligg i. Samtidig vil ein enklare nå dei globale og nasjonale måla innanfor energieffektivisering.

For bedrifter som ynskjer berekraftige lagringssystem kan det vere vanskeleg å finne fram til kva som er mest energieffektivt. I dag reklamerer datasenter med låg PUE-verdi. Dette seier ingenting om nytting av overskotsvarme, noko som er vesentleg for å vere berekraftig. Om det hadde vore eit system for grønne sertifikat for datasenter under ein viss ERE-verdi, hadde det vore mykje enklare å velje eit berekraftig alternativ.

Grunna høg effekt på varmekjelda og liten effekt på forbrukarane i Gaupne, vil nyttegrada vere svært låg med ein overskotsvarme på 85 MW. Om datasenteret til dømes har mindre effekt ein det som er planlagt i dag, vil det i stor grad ha innverknad på nyttegrada. Det mest energieffektive er å bygge eit datasenter med ein låg nok effekt til at ein får nytta all overskotsvarmen, eller ha tilgjengeleg industri som kan nytte denne.

Det kan potensielt bli to Hyperscale-datasenter på Hausamoen. Om Sogn Datasenter blir bygd ut samtidig som BlueFjords utvida si eiga verksemd, vil to relativ store datasenter vere lokalisert på same stad. Om overskotsvarmen frå desse ikkje nyttast, er det ikkje berekraftig. I artikkelen til Sogn Avis kjem det fram at BlueFjords ser på moglegheiter til å nytte sin overskotsvarme. Eit av alternativa dei ser på er algeoppdrett (Hovland, 2022). Som ein ser i resultatata frå THERMOS, klarer ein ikkje å nytte store mengde overskotsvarme frå Sogn Datasenter. Nyttegrada vil bli enda mindre om ein har to Hyperscale-datasenter på omtrent same lokasjon.

Som vi har sett i dette prosjektet, kan nytting av overskotsvarme frå eit berekraftig datasenter bidra til å nå klimamåla. Ein bør difor leggje til rette for nytting av overskotsvarmen.

6.4. Etikk

Det blir stadig fleire menneskjer på jorda, samtidig som færre lev i ekstrem fattigdom. Dette fører til at energiforbruket går opp, då bruk av energi heng saman med velstandsutvikling (Meld. St. 36 (2020–2021), 2021). Tilgang til rimeleg energi er viktig. Problemet er at mykje av energien kjem frå fossile kjelder som til dømes kol. Dei siste 20 åra har CO₂-utsleppa auka med rundt 40 % i fylgje Meld. St. 36 (2020-2021). Dette står ikkje i stil med FN sitt berekraftsmål 7. rein energi til alle. Eksterne verknadar, som til dømes krigen i Ukraina, har ført til eit større behov for energi. Med aukande befolkning samt aukande etterspørsel etter rein energi, kan ein stille spørsmål til at eit datasenter i Luster kommune potensielt kastar vekk rikeleg med termisk energi. Overskotsvarmen er eit naudsynt biprodukt frå datasenteret, og denne må handterast på ein berekraftig måte.

I framtida er det likevel behov for fleire datasenter, då verda digitaliserast og alt lagrast i «skya». Sidan datasenter har eit høgt energiforbruk er det viktig at ein nyttar energien frå grønne kjelder. Overskotsvarmen frå datasenter kan vere ein aktuell varmekjelde i framtida, og er difor viktig å handtere. Om ein potensiell kunde vel å nytte overskotsvarme i staden for elektrisitet, vil dette vere med på å redusere effektbelastninga på nettet som nemnt i kapittel 2.2.1.

I kapittel 2.2.2.2. nemnar vi at OED ynskjer at dei som driv datasenter, skal sjå på moglegheitene for å nytte overskotsvarme. Dette er viktig for å bidra til energieffektivisering, då behovet for energi i verda auka. Når ein ser på resultatet i dette prosjektet, ser ein kor mykje overskotsvarme eit 100 MW datasenter produserer. Det burde heller kome eit krav frå staten at overskotsvarme skal handterast og ikkje berre vurderast. Dei som driv datasenterverksemd burde tenkje på at varmen er verdifull, og at det er ei skam at så mykje energi ikkje kjem til nytte. Det er også paradoksalt at datasenter som driv med «krypto-mining» får enorm mengde energi, når verda og Europa skrik etter rein energi.

Samla sett bør dei som driv datasenterverksemd føle på eit sterkt samfunnsansvar ved å forvalte energien sin på ein god måte. Om dei ikkje ynskjer dette, burde staten kome på bana med økonomiske- eller administrative verkemiddel som avgifter/skatt eller forbod mot å dumpe energi.

6.5. Feilkjelde

Ein modell er så nøyaktig som dei data/parameter ein brukar i modellen. Datasenteret er tidleg i planleggingsfasen. Dette førar til at tilgangen til nøyaktig data er avgrensa, noko som gjer at ein er nøydd til å setje føresetnader. Desse føresetnadane påverkar resultatet i prosjektet i ulik grad. Om ein hadde sett andre føresetnadar ville resultatet våre annleis. Dette er svakheiter som får konsekvensar for kva konklusjonar ein kan trekkje. Føresetnadane som er teke i prosjektet har bakgrunn i relevant litteratur eller liknande data.

Gaupne og omland har ikkje eigen målestasjon for bakketemperatur. Den næraste stasjonen med liknande høgde over havet, var ein vêrstasjon i Sandane. Vi fann eit årleg gjennomsnitt av bakketemperaturen for Sandane med djupn på 500 mm. Sidan Sandane ligg nærare kysten og dermed har eit mildare klima ein Gaupne, kan dette avvike frå bakketemperaturen i Gaupne. Som nemnt i kapittel 4.4.3.5. er standarden at fjernvarmerøyr ligg på 800 mm djupn. Dette gjer at temperaturen vi henta frå 500 mm kan avvike litt. Vi nyttar same bakketemperaturen for heile fjernvarmenettet sjølv om bakketemperaturen ikkje er lik i heile området. Temperaturen er heller ikkje lik når røyra kryssar brua over Jostedøla. Det var også avgrensa med temperaturdata for Sandane. Dermed nytta vi temperaturdata for eit år. Det er vanskeleg å seie noko om dette er representativt.

Heating Degree Days er ikkje henta frå Gaupne, sidan dei ikkje har ein vêrstasjon med denne dataen. Vi valte difor å finne gjennomsnittleg HDD for Sandane lufthamn (Anda) og Sogndal lufthamn (Haukåsen). HDD-verdien vi brukte kan avvike frå den som eigentleg representera området. Når THERMOS bereknar varmetap tek dei utgangspunkt i HDD, samt grunnflata til bygget og ei standardisert høgde. Denne standardlikninga passar ikkje for alle bygg og kan vere misvisande. Dette gjeld berre for scenario 2 og 3.

THERMOS tek ikkje omsyn til kva bygg det er, og dette kan difor bli misvisande i scenario 3. Hadde vi fått henta inn nøyaktig informasjon om type bygg og årleg varmebehov hadde resultatet truleg vore meir nøyaktig.

Vi vel å setje varmeprofil manuelt på bygningane i scenario 3, sidan GIS-kartet ikkje hadde tilstrekkeleg metadata om kva dei ulike bygga nyttast til. Dette kan påverke røyrdimensjonane. Fleire bygningar kan få topplasta samtidig, då vi må spesifisere ein varmeprofil som naudsynt ikkje er korrekt. Om vi hadde hatt meir spesifikke varmeprofilar for kvar bygning, hadde desse

truleg jamna seg meir ut. Topplasta og røyrdimensjonane for systemet kunne dermed sett annleis ut.

I alle scenario vel vi ein returtemperatur på 50 °C, sidan dette er utgangspunktet for Lustrabadet. Ved å gjer dette kan vi enkelt samanlikne dei ulike scenarioa. Returtemperatur på 50 °C er truleg ikkje ein realistisk temperaturen for eit fjernvarmenett med fleire bygningar.

Vi er merksame på at det i scenario 2 kan vere fleire bygningar i Gaupne som er klar til å koplant på eit potensielt fjernvarmenett. Då vi berre hadde informasjon om Pyramiden, Luster ungdomsskule og Lustrabadet, valte vi likevel å berre inkludere desse. Om det viser seg å vere fleire bygg som kan kople seg på, kan dette enkelt inkluderast i eit nytt eller eksisterande prosjekt.

Lustrabadet har hatt problem med effektmålarar enkelte år, noko som kan gje feil målingar i tal vi har henta ut frå EM-Systemer. Dette vil truleg ha lita innverknad på det endelege resultatet frå THERMOS.

I modelleringa av scenario 3 har vi nytta GIS-kart slik at flest mogleg bygg i Gaupne skal inkluderast. Dette gjer at THERMOS reknar med alle bygningane i Gaupne som ikkje har behov for oppvarming. Til dømes set THERMOS årleg varmebehov for busskur og liknande. Dette kan gje stort utslag på løpemeter røyr, samt dimensjonar grunna profilane.

Vi har samanlikna totalkostnadane i dei ulike scenarioa, med prisen for straum for eit år. Sidan det er store svingingar i straumprisen, er det vanskeleg å vite korleis denne utviklar seg over eit år. Dette gjer det vanskeleg å trekke ein konklusjon om lønsemd.

Totalprisen for fjernvarmenettet i dei ulike scenario kan vere misvisande sidan prisen for tilknytning og pumpekostnadar er ekskludert. Til dømes i scenario 3 kan kostnadane for pumper bli store sidan systemet har eit høgt totalvolum og dermed mykje vatn som skal pumpast rundt. I scenario 3 er det også mange bygningar som ikkje har system for vassboren varme, og dei får da kostnadar knytt til tilkopling i tillegg.

Prisane for fjernvarmerøyra er ekskludert frakt frå Gøteborg og meirverdiavgift. For sal vidare til utbygger må det leggjast på 40 % i prisen. Pris på røyrdelar og naudsynt tilbehør kjem i tillegg. Det er kort gyldigheit på tilbodet då tilgangen på råvarer er vanskeleg, samt auke i stålprisar grunna situasjonen i Ukraina. Pris på grøftarbeid er vanskeleg å forutsjå då dette avhenger av grunnforhold. Dette er ei svakheit i utrekninga, og prisen kan raskt bli mykje

høgare. Då prisane er henta frå 2010 er det usikkert om dette kan reflektere dagens pris, sjølv om vi har inflasjonsjustert desse. Det er også tillegg i prisen for kryssing av elv, som ikkje er medrekna.

Hadde Sogn Datasenter AS vore lenger komen i planleggingsfasen og hatt meir nøyaktige data og spesifikasjonar, kunne vi nytta eit meir teknisk modelleringsprogram. Vi kunne til dømes nytta NetSim Grid Simulation (skildra i kapittel 4.2). Med dette programmet hadde vi fått meir teknisk innsikt og vi kunne funnet ut kva pumper nettverket kunne nytta. Vidare kunne vi sjekka opp prisar for desse og lagt fram eit meir nøyaktig estimat for totalprisen for fjernvarmenettet.

Som nemnt i kapittel 2.2.2.2. har eit datasenter på Ulven i Oslo nytta overskotsvarme til oppvarming av 5000 bustadar. Vi har prøvd å kome i kontakt med Stack Infrastructure som eig datasenteret, utan å lykkast. Dersom vi hadde fått kontakt med dei, hadde det vore mogleg at vi kunne fått informasjon angående kjøleteknikk, samt tilkopling og pumpekostnader. Dette kunne vore nytting for vårt prosjekt.

6.6. Vidare studie

I dette kapitlet tek vi føre oss korleis ein kan bygge vidare på arbeidet vi har gjort i dette prosjektet. Sidan vi har avgrensa tid til å jobbe med prosjektet, får vi ikkje gått inn på alt vi kunne tenkje oss å ha med.

Sidan vi ikkje tek føre oss pumpekostnader i dei ulike scenarioa, kunne det vore interessant å sjå korleis desse kostnadane påverkar lønsemda i dei ulike scenarioa. Om både pumpe og tilknytingskostnadar vert medrekna, vil ein få eit meir korrekt bilete av kva totalkostnaden vert for dei ulike scenarioa.

I eit vidare studie kan ein ta føre seg nytting av overskotsvarmen til potensiell lokal industri på Hausmoen. Då kan ein finne pris på eit nettverk som har betydeleg mindre løpemetar med røyr ein dei føregåande scenarioa. Eventuelt kunne ein tatt utgangspunkt i at overskotsvarmen skal dumpast i fjorden. I dette tilfelle kunne ein sett på moglegheita for Luster kommune til å kople seg på dette dumpingsystemet nede ved fjorden. På denne måten reduserer ein drastisk antal løpemetar med røyr og grøfter for eit lokalt fjernvarmenett i Gaupne. Vidare kan ein finne eit kostnadsestimert for dette, og samanlikne dei med resultata i dette prosjektet.

Ein kan også undersøke korleis eit anna kjølesystem påverkar bruken av overskotsvarme til eit

fjernvarmenett. Ein kan då sjå på moglegheita til å nytte overskotsvarme med eit vasskjølt system, og auke temperaturen på kjølevatnet ved hjelp av varmepumper.

Det er mogleg at det hadde vore meir hensiktsmessig å sjå på det eksisterande datasenteret som er i området, BlueFjords. Tidlegare har vi nemnt at dei vil utvide. Dei har i dag luftkjølt anlegg og vil dermed ikkje ha veldig høg temperatur på overskotsvarmen jamfør kapittel 2.3.3.1. Om BlueFjords utvidar og endrar kjølesystem slik at dei får høgare temperatur på overskotsvarmen, vil dei ha mykje varme tilgjengeleg som kan brukast til oppvarming. Det er meir sannsynleg at BlueFjords vil utvide enn at Sogn Datasenter blir ein realitet. Difor kan eit liknande prosjekt gjerast ved å sjå på BlueFjords i staden for Sogn Datasenter. BlueFjords er dessutan eit mindre datasenter med mindre potensial til overskotsvarme.

7. Konklusjon

I samband med planlegging av eit nytt datasenter på Hausamoen, har vi i dette prosjektet sett på moglegheita til å nytte overskotsvarmen frå datasenteret til oppvarming av bygg i Gaupne. Sidan om lag 80-90 % av energiforbruket til eit datasenter kjem ut som overskotsvarme, er det dermed eit stort potensial for nytting av denne. Formålet er å sjå om det er teknisk og økonomisk hensiktsmessig å nytte dette som ein varmekjelde for Gaupne. For å svare på dette har vi samla inn data frå litteratur og informasjon frå sentrale aktørar. Desse har vi vidare nytta i modelleringsverktøyet THERMOS der vi har tatt føre oss tre ulike scenario.

Det vil ikkje vere teknisk eller økonomisk hensiktsmessig å nytte overskotsvarmen frå datasenteret til berre Lustrabadet. Dette på grunn av eit høgt varmetap på 64 % og ei låg nyttegrad på 0,2 %. Når ein fyrst bygger eit fjernvarmenett frå Hausamoen til Gaupne, er det derimot meir hensiktsmessig å ha fleire bygningar kopla på nettet. Som til dømes i scenario 2 med 2,64 Mkr meir i investeringskostnad, vil ein få omlag dobbelt så mykje varme. Dette gjer at scenario 2 vil vere meir hensiktsmessig enn scenario 1, sjølv om nyttegraden er låg og varmetapet er stort i begge scenarioa. Scenario 2 har ei nyttegrad på 0,3 % og eit varmetap på 50 %.

Det er mogleg å etablere eit større fjernvarmenettverk i Gaupne basert på overskotsvarme frå datasenteret. Dersom Sogn Datasenter skal byggast i fullskala slik det er planlagt, får ein nytta 6,1 % av overskotsvarmen med eit varmetap på 26 % i fylgje scenario 3. Investeringskostnaden vil derimot vere mykje høgare ein i føregåande scenario. Kostnaden er på 186,31 Mkr, og dette er ekskludert pumpe- og tilkoplingskostnadar. Sjølv om Luster kommune har god og sikker krafttilgang er det ikkje særleg energieffektivt å bygge eit datasenter der ein får nytta ein så liten prosentdel.

Vi meina at det ikkje er hensiktsmessig å nytte overskotsvarmen i eit fjernvarmenett i Gaupne. Dette på grunn av låg prosentvis nytting. Eit berekraftig datasenter bør ikkje byggjast ein stad der ein ikkje får nytta overskotsvarmen. Varmebehovet i Gaupne i dag, er for lågt for eit datasenter i denne skalaen. Dersom det byggast eit fjernvarmenett for å nytte overskotsvarme, er det derimot viktig at det vert dimensjonert slik at det har kapasitet for at ny varmekrevjande industri kan etablerast og kople seg på. Dette kan til dømes vere gartneri eller landbasert oppdrettsanlegg.

I framtida vil kundar til datasenteret, samt myndigheiter, stille strengare krav for å redusere straumforbruk og CO₂-utslepp. Det kan dermed vere positivt for datasenteret å handtere overskotsvarmen.

Sidan effekten på datasenteret er stor, kan det tenkjast at det blir laga eit dumpingsystem for varme til fjorden. Om Luster kommune set krav til at overskotsvarmen skal dumpast i fjorden, er det dei som driv datasenteret som må ta kostnadane for å frakte varmen ned til fjorden. I dette tilfellet kan Luster kommune kople seg på nede ved sentrum, og dette for ein mykje lågare pris. Alternativt kan overskotsvarmen nyttast lokalt på Hausamoen. Det er allereie eit eksisterande datasenter på Hausamoen, og det vil då vere meir hensiktsmessig å sjå på nytting av overskotsvarme frå det eksisterande datasenteret.

I denne prosjektoppgåva har vi sett at overskotsvarme frå datasenter er ein ressurs som bør handterast for å nå FN sitt mål om energieffektivisering. I staden for å kaste vekk verdifull termisk energi, kan denne nyttast til oppvarming. Bruk av overskotsvarme kan opne for ny og varmekrevjande industri. Om dette gjerast riktig, kan det vere lønnsamt for alle partar. Scenarioa vi satt for dette prosjektet, viste seg å ikkje vere teknisk eller økonomisk hensiktsmessig. Vi anbefaler difor vidare studie innafor dei nemnde alternativa. Det er verdt å bruke ressursar på å gjere meir nøyaktige berekningar, då overskotsvarmen må handterast. Med fleire etableringar av datasenter har ein potensielt mykje overskotsvarme som kan nyttast. Klarer ein ikkje å nytte dette, bør ein heller ikkje etablere eit datasenter.

Referanseliste

- Armour Valve. (u.å.). *Brugg PREMANT Pre-insulated Rigid Pipe*. Henta 10. mai 2022 frå <https://armourvalve.com/products/rigid-pipe/brugg-premant-pre-insulated-rigid-pipe/>
- Bioen AS. (2010). *Kostnader for fjernvarmeutbygging* (Status 2010).
- BizEE Software. (u.å.). *Degree Days Calculated Accurately for Locations Worldwide*. Heating & Cooling Degree Days. Henta 29. april 2022 frå <https://www.degreedays.net/#generate>
- BKK. (2020). *TEKNISKE KRAV OG ANVISNINGER FOR TILKNYTTING TIL FJERNVARME*. <https://docplayer.me/223721306-Tekniske-krav-og-anvisninger-for-tilknytting-til-fjernvarme.html>
- BlueFjords. (2020). *Tjenester*. https://www.bluefjords.com/?page_id=32
- Bøeng, A. C. (2019, 6. juni). *Økt forbruk av fjernvarme*. SSB. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/okt-forbruk-av-fjernvarme>
- Bøeng, A. C. (2021, 26. mai). *Fjernvarme og fjernkjøling*. SSB. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/fjernvarme-og-fjernkjoling>
- Bøhren, Ø. & Gjørum, P. I. (2016). *Finans innføring i investering og finansiering*. Fagbokforl.
- Christensen, M. B. & Kjos, Ø. K. (2019, 1. april). *Datasentre – et område i vekst*. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/artikler-og-publikasjoner/datasentre-et-omrade-i-vekst>
- CORDIS. (u.å.). *CORDIS is the primary source of results from EU-funded projects since 1990*. Cordis Europa. Henta 11. mai 2022 frå <https://cordis.europa.eu/projects>
- CORDIS. (2021a, 31. august). *Improving the performance of district heating systems in Central and East Europe*. Cordis Europa. <https://cordis.europa.eu/project/id/784966>
- CORDIS. (2021b, 10. desember). *THERMOS (Thermal Energy Resource Modelling and Optimisation System)*. Cordis Europa. <https://cordis.europa.eu/project/id/723636>
- CORDIS. (2022a, 26. april). *Renewable and Waste Heat Recovery for Competitive District Heating and Cooling Networks*. Cordis Europa. <https://cordis.europa.eu/project/id/857811>
- CORDIS. (2022b, 6. mai). *Smart and local renewable Energy DISTRICT heating and cooling solutions for sustainable living*. Cordis Europa. <https://cordis.europa.eu/project/id/857801>
- COWI AS. (2020, 31. mars). *STREAMINGENS KLIMAGASSUTSLIPP*. COWI. <https://www.cowi.no/om-cowi/nyheter-og-presse/datasenter-fjernvarme-reduserer-streamingens-klimagassutslipp>

- 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>
- Energiloven. (1990). *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (Energiloven)* (LOV-1990-06-29-50). Olje- og energidepartementet. https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50#KAPITTEL_5
- Finnish Meteorological Institute. (2022, 1. april). *Heating degree days*. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/heating-degree-days?fbclid=IwAR3alJ5XAIoLz67FYFT9Cw177hFJ1g4AbKDWc87Rel84YdSUe0jKZ5NlhcE>
- FN. (2022a, 23. februar). *Ren energi til alle*. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>
- FN. (2022b, 23. februar). *Stoppe klimaendringene*. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>
- FN. (2022c, 18. mars). *FNs bærekraftsmål*. <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- Fossefall AS. (2018). *Mulighet for Hyperscale Datasenter i Opplandsregionen* [Potensialstudie]. https://2c3bc614-0090-4c49-82c3-537403da6456.filesusr.com/ugd/d065f0_43f8c5cc491a4d6b89ac3625d73af08b.pdf
- Haugerud, L. P., Ettestøl, A., Fiksen, K. & Haukaas, M. S. (2014). *Fjernvarmens rolle i energisystemet* (12). Norsk Energi & Thema Consulting Group. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_12.pdf
- Hole, J. & Horne, H. (2019). *Energibruk fra datasentre i Norge* (13/2019). NVE. https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_13.pdf
- Hovland, S. E. (2022, 12. april). *Bluefjords har fått nye eigarar og lovar fleire arbeidsplassar i Gaupne: – Algeoppdrett er ein av tinga me ser på*. Sogn Avis. <https://www.sognavis.no/5-115-784373>
- Huang, P., Copertaro, B., Zhang Xingxing, Z., Shen, J., Löfgren, I., Rönnelid, M., Fahlen, J., Andersson, D. & Svanfeldt, M. (2020). A review of data centers as prosumers in district energy systems: Renewable energy integration and waste heat reuse for district heating. *Applied Energy*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114109>
- IEA. (2019a). *Renewables 2019: Analysis and forecast to 2024*. <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>
- IEA. (2019b). *World Energy Outlook 2019*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>
- IEA. (2021a). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector* [Summary for policymakers]. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7ebafc81-74ed-412b-9c60->

5cc32c8396e4/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector-SummaryforPolicyMakers_CORR.pdf

IEA. (2021b). *World Energy Outlook 2021*.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

IEA. (2021c). *Data Centres and Data Transmission Networks*.

<https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

IEA. (2021d). *District Heating*. <https://www.iea.org/reports/district-heating>

Igor Sartori. (2010). *Data Centres Infrastructure Energy Efficiency*. SINTEF.

<https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2450755/STARReport%2bfinal.pdf?sequence=1&isAlloved=y>

Implement Consulting Group. (2020). *Datasenter i Norge: Ringvirkningsanalyse av gjennomførte og potensielle etableringer*. Kommunal- og moderniseringsdepartementet.

https://www.regjeringen.no/contentassets/4bf7e889744b4da089a863c498680f0f/201105_datacentre-i-norge_online_implement-rapport.pdf

Innst. 325 S (2020–2021). (2021). *Innstilling fra energi- og miljøkomiteen om Meld. St. 13 (2020–2021) Klimaplan for 2021–2030*. Energi- og miljøkomiteen.

<https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/instillinger/stortinget/2020-2021/inns-202021-325s.pdf>

IPCC. (2021). *Summary for policymakers* (M.-D. Masson-Delmotte, Z. Panmao, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, J. B. R. Matthews, S. Berger, M. Huang, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou, E. Lonnoy, T. K. Maycock, T. Waterfield, K. Leitzell, & N. Caud, Red.). Cambridge University Press.

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Jordheim, H. M. (2021, 17. november). *NVE vil ha ny pris for alle fjernvarmekunder*. E24.

<https://e24.no/i/eEkrLg>

Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2021). *Norske datasenter: - Berekraftige, digitale kraftsenter* (08/2021). [Strategi].

<https://www.regjeringen.no/contentassets/0eabdbcbfb2540699466a4a1a801d737/nn-no/pdfs/norske-datasenter.pdf>

Luster kommune. (2019). *Kommuneplanen sin arealdel: Planomtale og føresegner* (K-sak 36/2019).

Luster kommune. (2020). *Planprogram detaljreguleringsplan Fonndøla—Hausamoen* (Rev. 19.11.2020).

Luster kommune. (2021, 29. september). *Kraftutbygging*.

<https://luster.custompublish.com/kraftutbygging.5911893-393482.html?fbclid=IwAR3y6->

J5qYO4mjcaJVY_kP_Ntx2WKUJ4t2xX4LpTefCoYfPTpIzEBPnJjpl

- Marcinichen, J. B., Olivier, J. A. & Thome, J. R. (2012). On-chip two-phase cooling of datacenters: Cooling system and energy recovery evaluation. *Applied Thermal Engineering*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.008>
- Mathisen, G. (2021, 19. april). *Datasenter er vår tids «varme kilder»*. Gemini.no. <https://gemini.no/2021/04/datasenter-er-var-tids-varme-kilder/>
- Meld. St. 36 (2020–2021). (2021). *Energi til arbeid – langsiktig verdiskaping fra norske energiresurser*. Olje- og energidepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/3d9930739f9b42f2a3e65adadb53c1f4/no/pdfs/stm202020210036000dddpdfs.pdf>
- Miljødirektoratet. (2021, 5. mai). *Veileder: Laksefisk i arealplanlegging*. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/miljohensyn-i-arealplanlegging/fisk-og-vilt/laksefisk-i-arealplanlegging/>
- Moen, O. M. (2021, 16. mars). Slik gjør vi datasentre mer miljøvennlige. #SINTEFblogg. <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/slik-gjor-vi-datasenter-mer-miljovennlig/>
- NIBIO. (2022). *Nedlastning av værdata (01.01.2021—31.12.2021)*. [Statistikk]. https://lmt.nibio.no/agrometbase/getweatherdata_new.php?weatherStationId=63
- Norsk Fjernvarme. (u.å.). *Fjernvarme*. Henta 7. mars 2022 fra <http://www.fjernvarme.no/fakta/fjernvarme>
- Nussbaumer, T. & Thalmann, S. (2016). Influence of system design on heat distribution costs in district heating. *Energy*, 101, 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.062>
- Nussbaumer, T., Thalmann, S., Jenni, A. & Ködel, J. (2020). *Handbook on Planning of District Heating Networks* (Versjon 1.0). Swiss Federal Office of Energy. http://www.verenum.ch/Dokumente/Handbook-DH_V1.0.pdf
- NVE. (2021). *Langsiktig kraftmarkedsanalyse (2021-2040) (29/2021)*. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_29.pdf
- NVE. (2022, 22. februar). *Energieffektivisering*. Energieffektivisering. <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energieffektivisering/>
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2018). *Norge som datasenternasjon (02/2018)*. [Strategi]. <https://www.regjeringen.no/contentassets/6f1eda83c8f941418a5482b138466ea3/strategi-nfd-nett.pdf>
- Olje- og energidepartementet. (2021, 18. februar). *Vil energieffektivisere ved å utnytte overskuddsvarme fra datasentre*. Regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dokumentarkiv/regjeringen-solberg/aktuelt-regjeringen-solberg/oed/pressemeldinger/2021/vil-energieffektivisere-ved-a-utnytte-overskuddsvarme-fra-datasentre/id2835232/>

- Olje-og energidepartementet. (2021, 17. februar). *Høring av energieffektiviseringsdirektivet artikkel 14.5* [Høring]. Regjeringen.no; regjeringen.no.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-energieffektiviseringsdirektivet-artikkel-14.5/id2835098/>
- OpenStreetMap. (u.å.). *OpenStreetMap bidragsyttere*. Henta 3. mai 2022 frå
<https://www.openstreetmap.org/about>
- Oró, E., Taddeo, P. & Salom, J. (2019). Waste heat recovery from urban air cooled data centres to increase energy efficiency of district heating networks. *Sustainable Cities and Society*, 45, 522–542. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.012>
- Oslo Economics & Asplan Viak. (2020). *Kartlegging og vurdering av potensial for effektivisering av oppvarming og kjøling i Norge* (Ekstern rapport 8/2020). Norges vassdrag- og energidirektorat.
- Pedersen, B. (2017, 12. september). Varmeveksler. I *Store norske leksikon*.
<http://snl.no/varmeveksler>
- Pedersen, R. (2022, 24. mars). *Beregn inflasjon- og lønnsutvikling*. Smarte Penger.
<https://www.smartepenger.no/kalkulatorer/937-inflasjons-og-lonnsutvikling>
- REWARDHeat. (2020). *The Project*. https://www.rewardheat.eu/en/About/The_Project
- Rosvold, K. A. (2021, 26. januar). Fjernvarme. I *Store norske leksikon*.
<http://snl.no/fjernvarme>
- Rosvold, K. A. & Hofstad, K. (2019, 2. september). Kraftvarmeverk. I *Store norske leksikon*.
<http://snl.no/kraftvarmeverk>
- Sandberg, E. & Trømborg, E. (2016). Rammvilkårene for fjernvarme i Norden.
Rammvilkårene for fjernvarme i Norden.
<http://flexelterm.blogspot.com/p/rammevilkarene-for-fjernvarme-i-norden.html>
- SINTEF. (u.å.). *Ny kunnskap om fordeling av strømforbruket* (Nyhetsbrev fra SINTEF Energiforskning AS). <https://www.sintef.no/globalassets/upload/energi/nyhetsbrev/ny-kunnskap-om-fordeling-av-stromforbruket.pdf>
- SkandiaEnergi. (u.å.). *Historiske spotpriser på strøm*. Henta 19. mai 2022 frå
<https://www.skandiaenergi.no/historiske-priser/>
- Statistisk sentralbyrå. (2013). *Konsekvenser av Energieffektiviseringsdirektivet i Norge: Energieffektiviseringsforpliktelser og kraftbalanse* (26/2013).
https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/123053?_ts=13f3c71d320
- Statistisk sentralbyrå. (2014). *Fjernvarme og fjernkjøling i Norge: Utvikling i sentrale størrelser* (2014/26). Statistisk sentralbyrå. https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/184839?_ts=1475e7199a8
- Statistisk sentralbyrå. (2021a). *04727: Fjernvarmebalanse (GWh), etter fjernvarme, statistikkvariabel og år*. [Statistikk]. <https://www.ssb.no/statbank/table/04727>

- Statistisk sentralbyrå. (2021b). *04729: Tekniske og økonomiske hovedtall for fjernvarme, etter år og statistikkvariabel 1987-2020*. [Statistikk]. <https://www.ssb.no/statbank/table/04729>
- Statistisk sentralbyrå. (2021c). *09469: Nettoproduksjon av fjernvarme, etter varmesentral (GWh) 1999-2020*. [Statistikk]. <https://www.ssb.no/statbank/table/09469>
- Statistisk sentralbyrå. (2022, 24. januar). *Tettsteders befolkning og areal*. SSB. <https://www.ssb.no/befolkning/folketall/statistikk/tettsteders-befolkning-og-areal>
- Statkraft. (2022, 9. mai). *Returtemperatur og volum*. <https://www.statkraftvarme.no/kundeservice/priser/returtemperatur-og-volum/>
- Stoltz, G. (2019, 26. august). *Inflasjon*. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/inflasjon>
- Storvik, H. F. (2022, 6. april). (+) *Ap-politikaren sjokkert av «kryptosponsing» i Luster: – Vanlege folk får ingenting*. Sogn Avis. <https://www.sognavis.no/5-115-784168>
- Sølsnæs, B. (2020, 5. oktober). (+) *Nytt selskap med Sognekraft på laget vil byggja datasenter*. Sogn Avis. <https://www.sognavis.no/5-115-496391>
- THEMA Consulting Group. (2020). *Datasenter på Jæren – virkninger for klima, miljø og regional næringsutvikling* (THEMA-Rapport 2020-16). Lyse AS. https://www.time.kommune.no/_f/p1/iaa9414d0-9fd8-4dc8-b54c-3b52d73d10ea/6-datasenter-pa-jaren-virkninger-for-klimamiljo-og-naringsutvikling-raoppport-202-16-thema-consulting-group-november-2020.pdf
- THERMOS. (2021, 22. mars). *What is THERMOS?* Thermos Project. <https://www.thermos-project.eu/thermos-tool/what-is-thermos/>
- TNW. (2020, 15. februar). *Data centers generate the same amount of carbon emissions as global airlines*. <https://thenextweb.com/news/data-centers-generate-the-same-amount-of-carbon-emissions-as-global-airlines>
- Viseth, E. S. (2021, 25. oktober). *Hvorfor følger fjernvarmeprisen strømprisen?* Teknisk Ukeblad. <https://www.tu.no/artikler/hvorfor-folger-fjernvarmeprisen-stromprisen/514367>
- Vitec Energy. (2015, 26. oktober). *An introduction to GSS NetSim*. <https://www.youtube.com/watch?v=Y93uj--gwOI>
- Vitec Software Group. (u.å.). *Netsim Grid Simulation*. Vitec. Henta 17. mars 2022 frå <https://www.vitecsoftware.com/en/product-areas/energy/products/netsim-grid-simulation/>
- Vorspel, L. & Bücker, J. (2021). *District-Heating-Grid Simulation in Python: DiGriPy*. *Computation*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/computation9060072>
- Wahlroos, M., Pärssinen, M., Manner, J. & Syri, S. (2017). *Utilizing data center waste heat in district heating—Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks*. *Energy*, 140, 1228–1238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.078>

WEDISTRICT. (u.å.). *Project*. Henta 6. april 2022 frå <https://www.wedistrict.eu/project/>

Wien Energie. (2018, 7. mars). *DISTRICT HEATING FROM SURPLUS ELECTRICITY*. Smart City. <https://smartcity.wien.gv.at/en/power-2-heat/>

Zimmermann, S., Meijer, I., Tiwari, M. K., Paredes, S., Bruno, M. & Poulidakos, D. (2012). Aquasar: A hot water cooled data center with direct energy reuse. *Energy*, 43, 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.037>.

Vedlegg

Vedlegg leverast separat.

V1: Vedlegg 1 – Prisar for røyr og graving

V2: Vedlegg 2 – Prosent nytting

V3: Vedlegg 3 – Lønsemd ulike scenario

Pris er oppgitt i kr.

Pris på DN røyr

Type røyr	Dimensjon	Pris pr 12 meter
DN	25	245
DN	32	262
DN	40	270
DN	50	288
DN	65	328
DN	80	388
DN	100	512
DN	125	605
DN	150	711
DN	200	1033
DN	250	1399
DN	300	1709

Type røyr	Dimensjon	Pris per meter
DN	25	20
DN	32	22
DN	40	23
DN	50	24
DN	65	27
DN	80	32
DN	100	43
DN	125	50
DN	150	59
DN	200	86
DN	250	117
DN	300	142

Må legge på 40%

Påslag	1,4
--------	-----

Gjennomsnittlig inflasjon 2010-2022 **2,2** %

Ikke inflasjonsjustert

DN (mm)	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
Grøft	850	900	1100	1100	1500	1800	2000	2250	2400	2600
Røymontasje	300	350	400	400	650	900	1300	1400	1600	2000
Prosjekt/byggeledelse	350	400	500	550	600	620	700	750	800	900
Sum kostnad (ikke inkl røyrkostnad)	1500	1650	2000	2300	3000	3720	4100	4600	5000	5500

Alle priser er eks mva

Type røyr	Dimensjon	Pris per meter med 40% påslag
DN	25	29
DN	32	31
DN	40	32
DN	50	34
DN	65	38
DN	80	45
DN	100	60
DN	125	71
DN	150	83
DN	200	121
DN	250	163
DN	300	199

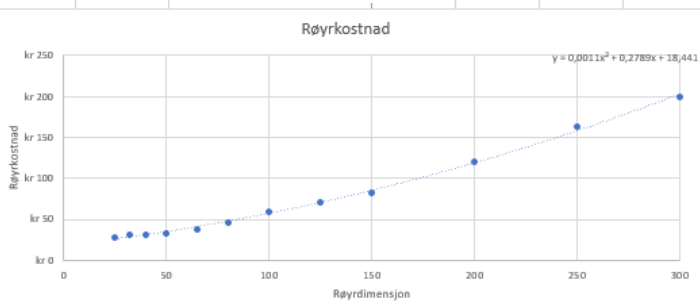
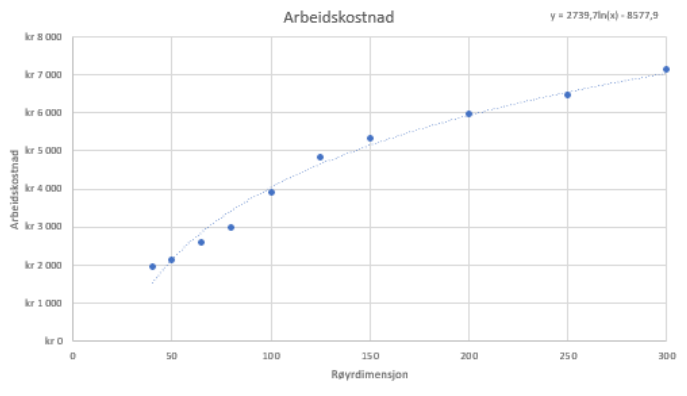
Inflasjonsjustert alle arbeidskostnader med ein gjennomsnittlig inflasjon på 2,2 % per år.

Årstal	pris DN (mm)	40 MM	50 MM	65 MM	80 MM	100 MM	125 MM	150 MM	200 MM	250 MM	300 MM
2010		1500	1650	2000	2300	3000	3720	4100	4600	5000	5500
2011		1533	1686	2044	2351	3066	3802	4190	4701	5110	5621
2012		1567	1723	2089	2402	3133	3885	4282	4805	5222	5745
2013		1601	1761	2135	2455	3202	3971	4377	4910	5337	5871
2014		1636	1800	2182	2509	3273	4058	4473	5018	5455	6000
2015		1672	1840	2230	2564	3345	4148	4571	5129	5575	6132
2016		1709	1880	2279	2621	3418	4239	4672	5242	5697	6267
2017		1747	1921	2329	2678	3494	4332	4775	5357	5823	6405
2018		1785	1964	2380	2737	3570	4427	4880	5475	5951	6546
2019		1825	2007	2433	2798	3649	4525	4987	5595	6082	6690
2020		1865	2051	2486	2859	3729	4624	5097	5718	6216	6837
2021		1906	2096	2541	2922	3811	4726	5209	5844	6352	6988
2022		1948	2142	2597	2986	3895	4830	5323	5973	6492	7141

	40 MM	50 MM	65 MM	80 MM	100 MM	125 MM	150 MM	200 MM	250 MM	300 MM	
Original		1948	2142	2597	2986	3895	4830	5323	5973	6492	7141
Avrunda til nærmeste tiar		1950	2140	2600	2990	3900	4830	5320	5970	6490	7140

Fristabell etter inflasjonsjustert

Type røyr	Dimensjon	Røyrkostnad	Arbeidskostnad
DN	25	29	1950
DN	32	31	1950
DN	40	32	1950
DN	50	34	2140
DN	65	38	2600
DN	80	45	2990
DN	100	60	3900
DN	125	71	4830
DN	150	83	5320
DN	200	121	5970
DN	250	163	6490
DN	300	199	7140
DN	350	251	7471
DN	400	306	7837
DN	450	367	8160
DN	500	433	8448
DN	550	505	8709
DN	600	582	8948
DN	650	665	9167
DN	700	753	9370
DN	750	846	9559
DN	800	946	9736



Datasenter	650 000 MWh/årleg
	650 GWh/årleg
Lustrabadet	559 MWh/årleg
	0,559 GWh/årleg

Scenario 1

Lustrabadet	559 MWh
Datasenter	650 000 MWh
Går tapt i røyr	1010 MWh
Netto	1569 MWh
Prosentvis nytting	0,2 %
Prosentvis varmetap	64,4 %

Scenario 2

Lustrabadet	559 MWh
Pyramiden	298 MWh
Skulen	224,63 MWh
Varmetap røyr	1,1 GWh
Varmetap røyr	1100 MWh
Datasenter	650 000 MWh
Netto	2181,34 MWh
Prosentvis nytting	0,3 %
Prosentvis varmetap	50,4 %

Sum varmeforbruk scenario 2

1081 MWh

647 819 MWh

647,81866 GWh

Scenario 3

Behov Gaupne	29,26 GWh/årleg
Varmetap	10,1 GWh/årleg
Netto	39,36 GWh/årleg
Datasenter	650 GWh/årleg
Prosentvis nytting	6,1 %
Prosentvis varmetap	25,7 %

Scenario 1		Scenario 3	
Kostnad for fjernvarmenett	kr 14 550 000	Kostnad for fjernvarmenett	kr 186 310 000

Scenario 2	
Kostnad for fjernvarmenett	kr 17 190 000

Varmebehov per år	Lustrabadet	559000 kWh	Heile Gaupne	29260000 kWh
	Pyramiden	297710 kWh		
	Luster ungdomskule	224630 kWh		

Levetid	1 år
---------	------

Varmebehov 20 år	Lustrabadet	559000 kWh
	Pyramiden	297710 kWh
	Luster ungdomskule	224630 kWh

Pris for straum til oppvarming i 20 år

Scenario 1	
Investeringskostnad fjernvarmenett	kr 14 550 000
Straumkostnad for varmebehovet til Lustrabadet på 1 år	kr 810 550
Differanse til kostnad for fjernvarmenett	-kr 13 739 450

Scenario 2	
Investeringskostnad fjernvarmenett	kr 17 190 000
Straumkostnad for varmebehovet til Lustrabadet på 1 år	kr 810 550
Straumkostnad for varmebehovet til Pyramiden på 1 år	kr 431 680
Straumkostnad for varmebehovet til Luster ungdomskule på 1 år	kr 325 714
Til saman	kr 1 567 943
Differanse til kostnad for fjernvarmenett	-kr 15 622 057

Differanse scenario 1 og 2	kr 757 393
----------------------------	------------

Scenario 3	
Investeringskostnad fjernvarmenett	kr 186 310 000
Total straumkostnad for varmebehovet til heile Gaupne på 1 år	kr 42 427 000
Resten av Gaupne	kr 40 859 057