

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017

30 stp

Fakultetet for realfag og teknologi

Varmegjenvinning fra datasentre i Oslo med tilknytning til fjernvarmenettet

Heat recovery from data centers in Oslo with
connection to the district heating network

Helene Magnus
Kaja Piene Børstad
Industriell økonomi

Innholdsfortegnelse

Forord	6
Sammendrag	7
Abstract	8
1 Innledning	9
2 Bakgrunn	10
2.1 Norsk Energi	10
2.2 Fortum Värme og Bahnhof	11
2.2.1 Fortum Värme	11
2.2.2 Bahnhof	11
2.2.3 Konferansen "International Meeting on Green Computing"	14
3 Problemstilling	15
4 Metode for evaluering av konseptalternativer	16
4.1 Teorigrunnlag og markedsundersøkelse	16
4.2 Analyse av behov, mål og krav	17
4.2.1 Behovsanalyse	17
4.2.2 Mål	17
4.2.3 Krav	18
4.3 Alternativbeskrivelse	18
4.4 Alternativanalyse	18
4.4.1 Risiko- og usikkerhetsanalyse	19
4.4.2 Klimaregnskap	19
4.5 Flermålsanalyse (MCDA)	20
4.5.1 Evalueringskriterier	21
4.5.2 Rangering av alternativer	22
4.5.3 Robusthet i rangeringen	22
4.5.4 Usikkerhetshåndtering	23
5 Teknologi	23
5.1 Fjernvarme	23
5.1.1 Fjernvarmeteknologi	23
5.1.2 Fjernvarmens historie	25
5.1.3 Hafslund Varme	26
5.2 Varmepumper	30
5.2.1 Termodynamikk	30
5.2.2 Prinsipp varmepumpe	30
5.2.3 COP	31
5.2.4 Arbeidsmedier og utvikling av varmepumper	32
5.3 Datasentre	33
5.3.1 Kjøling av datasentre	34
5.3.2 Utvikling av kjølebehov hos datasentre	37
5.4 Tilknytning mellom datasenter og fjernvarmenettet	38
5.4.1 Tilknytning med kjøleløsning 1a – etter kjølemaskin	38
5.4.2 Tilknytning med kjøleløsning 1a – før kjølemaskin	39

5.4.3	Tilknytning med kjøleløsning 1b	39
6	Økonomi.....	40
6.1.1	Prising av fjernvarme.....	40
6.1.2	Priser på energibærere	41
6.1.3	Prognoser for utvikling av kraftprisen.....	42
7	Rammevilkår	43
7.1.1	Elavgiften	43
7.1.2	Stortinget.....	43
7.1.3	Skatt.....	44
7.1.4	Enova	45
7.1.5	ASHRAE.....	45
7.1.6	PUE.....	46
8	Resultat markedsundersøkelse	48
8.1	Erfaringer fra Sverige.....	48
8.1.1	Fortum Värme	48
8.1.2	Stockholm Data Parks.....	49
8.1.3	Fortum Värme sine prismodeller	50
8.1.4	Bahnhof.....	52
8.2	Datasentre i Oslo.....	52
8.2.1	Kartlegging av datasentre i Oslo	52
8.2.2	Besvarelse av spørreundersøkelse	53
8.2.3	DigiPlex	54
8.2.4	Bulk Infrastructure	56
8.2.5	Blix solutions	56
8.2.6	Broadnet.....	57
8.2.7	Basefarm.....	57
8.2.8	TDC.....	58
8.3	Oslo kommune	58
8.3.1	Klima- og energistrategi for Oslo kommune.....	58
8.3.2	Kartlegging av mulige plasseringer av nytt datasenter	60
8.4	Andre norske aktører med interesse for varmegjenvinning fra datasentre	62
8.4.1	Akershus Energi	62
8.4.2	Ringerike utvikling og Oslo Data Center Location.....	64
8.4.3	Statkraft	65
8.5	Nye datasentre til Norge	65
8.5.1	Aktører som jobber for økt etablering av datasentre.....	66
8.5.2	Interesser og krav.....	66
9	Resultat konseptvalgutredning (KVU)	67
9.1	Behovsanalyse	68
9.1.1	Prosjektutløsende behov.....	68
9.1.2	Samfunnsbehov	68
9.1.3	Interessentenes behov	68
9.2	Mål	69
9.2.1	Samfunnsmål.....	69
9.2.2	Effekt mål	69
9.2.3	Resultatmål	70
9.3	Krav.....	70
9.3.1	Absolutte krav	70
9.3.2	Andre krav	70

9.4 Alternativbeskrivelse.....	71
9.4.1 Alternative datasentre i Oslo	71
9.4.2 Analyse av absolutte krav	72
9.4.3 Analyse av andre krav	72
9.4.4 Nullalternativet	72
9.4.5 Alternative datasentre for flermålsanalysen.....	73
9.4.6 Alternative forretningsmodeller.....	77
9.4.7 Kombinasjon av alternativer	78
9.5 Alternativanalysen	79
9.5.1 Risikoanalyse.....	79
9.5.2 Klimaregnskap	80
9.5.3 Utsiling	84
9.6 Flermålsanalyse (MCDA).....	84
9.6.1 Evalueringskriterier	84
9.6.2 Kvalitative evalueringskriterier.....	84
9.6.3 Kvantitative evalueringskriterier (Nåverdi).....	88
9.6.4 Rangering av alternativer	91
9.6.5 Robusthet i rangeringen	93
9.6.6 Usikkerhetshåndtering	94
10 Diskusjon	103
10.1 Rammevilkår.....	103
10.2 Markedsundersøkelse.....	104
10.3 Konseptvalgutredning.....	105
10.3.1 Behov, mål og krav	105
10.3.2 Kvalitative evalueringskriterier	106
10.3.3 Leveringssikkerhet for datasenteret.....	106
10.3.4 Nåverdier.....	107
10.3.5 Hva-hvis-analyser	107
10.3.6 Rangering av alternativer.....	108
11 Konklusjon	109
12 Referanser.....	111
13 Vedlegg	117

Figurer

Figur 1: Anlegget på Pionen med leveranse på fjernvarmenettets turlledning [10].....	12
Figur 2: Anlegget på Thule med leveranse på turlledningen til fjernvarmenettet og fjernkjølenettet [11]	13
Figur 3: Fjernvarmeforbruk fordelt etter forbrukergrupper [30].....	25
Figur 4: Konesjonsområde og eksisterende fjernvarmenett for Hafslund Varme i Oslo-området [31].....	26
Figur 5: Prosentvis tilført energimengde per energibærer 2016	28
Figur 6: Turtemperatur i fjernvarmenettet regulert etter utetemperatur [33]	29
Figur 7: Prinsippskisse av en varmepumpeprosess bestående av de fire hovedkomponentene [38]	31
Figur 8: Forventet COP for ulike arbeidsmedier ved ulike temperaturer [39].....	32
Figur 9: Prinsippskisse av et kjøleløsning 1a [5]	35
Figur 10: Prinsippskisse av et kjøleløsning 1b [5]	36
Figur 11: Varmegjenvinning fra kjøleanlegg med sirkulasjonskrets til tørrkjøler [5]	39
Figur 12: Varmegjenvinning fra kjøleanlegg med luftkjølt kondensator [5].....	40
Figur 13: Kraftprisprognose i Norge fra 2016-2030 [60]	42

Figur 14: Obos sine planer for Ulven-området [79].....	55
Figur 15: Figuren viser tilkoblingen mellom fjernvarmenettet og datasenteret [93].....	63
Figur 16: DigiPlex på Ulven vist i utsnitt fra Hafslund Varme GIS.....	73
Figur 17: Interessante områder for etablering av nytt datasenter.....	74
Figur 18: TDC på Kalbakken vist i utsnitt fra Hafslund Varme GIS.....	76
Figur 19: Sammenlikning klimaregnskap 2016 og ny produksjon med DigiPlex, nytt datasenter og TDC.....	83
Figur 20: Nåverdiberegninger for basisalternativene.....	91
Figur 21: Nåverdiberegninger for basisalternativene fra datasenter sitt perspektiv.....	91
Figur 22: Angivelse av score for kvalitative kriterier og normalisert score for alle kriteriene.....	92
Figur 23: Sammenligning av basisalternativene per evalueringskriterium.....	92
Figur 24: Rangering av alternativene med relativ score per evalueringskriterium.....	93
Figur 25: Følsomhetsanalyse med endring i score for funksjonalitet og hva det tilsvarer i nåverdi.....	93
Figur 26: Nåverdier ved best case for kraftprisutviklingen.....	96
Figur 27: Nåverdier ved worst case for kraftprisutvikling.....	97
Figur 28: Nåverdier ved spotkostnad med timesverdier fra 2016.....	97
Figur 29: Nåverdier ved redusert bruk av spisslast.....	98
Figur 30: Nåverdi ved 15 % nedgang i innsparing.....	98
Figur 31: Nåverdier ved 15 % økning i investeringskostnad.....	98
Figur 32: Nåverdier ved diskonteringsrente på 5 %.....	99
Figur 33: Nåverdier ved diskonteringsrente på 3 %.....	99
Figur 34: En oversikt over nåverdier og internrente for basisalternativ og for hva-hvis-analyser.....	100
Figur 35: Nåverdier ved økt pris på varmesalg fra datasenter sitt perspektiv.....	101
Figur 36: Nåverdier ved økt pris på varmesalg fra Hafslund sitt perspektiv.....	101
Figur 37: Nåverdier ved 15 % reduksjon i investeringskostnad fra datasenteret sitt perspektiv.....	101
Figur 38: Nåverdier ved 15 % reduksjon i investeringskostnad fra Hafslund sitt perspektiv.....	101
Figur 39: Nåverdier ved 50 % reduksjon i strømkostnad og strømbesparelse.....	102
Figur 40: Nåverdier ved kjølesalg med en kjølepris på 10 øre/kWh fra datasenter sitt perspektiv.....	103
Figur 41: Nåverdier ved kjølesalg med en kjølepris på 10 øre/kWh fra Hafslund sitt perspektiv.....	103
Figur 42: Nåverdiberegning for A1.....	127
Figur 43: Nåverdiberegning for A2.....	127
Figur 44: Nåverdiberegning for A3.....	128
Figur 45: Nåverdiberegning for A4.....	128
Figur 46: Nåverdiberegning for A5.....	129
Figur 47: Nåverdiberegning for A6.....	129
Figur 48: Nåverdiberegning for A1 sett fra datasenter sitt perspektiv.....	130
Figur 49: Nåverdiberegning for A2 sett fra datasenter sitt perspektiv.....	130
Figur 50: Nåverdiberegning for A3 sett fra datasenter sitt perspektiv.....	131
Figur 51: Nåverdiberegning for A4 sett fra datasenter sitt perspektiv.....	131
Figur 52: Nåverdiberegning for A5 sett fra datasenter sitt perspektiv.....	132
Figur 53: Nåverdiberegning for A6 sett fra datasenter sitt perspektiv.....	132

Tabeller

Tabell 1: Utslippsfaktorer per energibærer.....	20
Tabell 2: Produksjon og tilført energi 2016 samt virkningsgrader.....	28
Tabell 3: Priser per energibærer [56].....	41
Tabell 4: Tabellverdier for kraftprisprognose 2017-2030.....	43
Tabell 5: Fortums avropsklasser.....	51
Tabell 6: Svar på spørreundersøkelse til datasentre.....	53
Tabell 7: Andre krav for løsning.....	71

Tabell 8: Evaluering av absolutte krav for hvert alternativ	72
Tabell 9: Tilbudsskjema på varmepumper fra ThermoControl	76
Tabell 10: Effektpris og energipris	78
Tabell 11: Grensesnitt for forretningsmodellene	78
Tabell 12: Risikoanalyse.....	80
Tabell 13: Forutsetninger for analyser i Excel.....	81
Tabell 14: Produksjonstall fra 2016 og ny produksjonsmiks med DigiPlex, nytt datasenter og TDC.....	82
Tabell 15: Klimaregnskap for 2016 og ny produksjonsmiks med DigiPlex, nytt datasenter og TDC.....	83
Tabell 16: Evalueringskriterier med vektning.....	84
Tabell 17: Beskrivelse av scoresystem.....	85
Tabell 18: Evaluering av funksjonalitet	86
Tabell 19: Evaluering av miljø.....	87
Tabell 20: Evaluering av fleksibilitet.....	87
Tabell 21: Nettleie (Prioritert, bedrift lav spenning) [103].....	89
Tabell 22: Produksjonskostnader 2016 og mulig innsparing ved DigiPlex, nytt datasenter og TDC.....	90

Forord

Masteroppgaven er skrevet ved fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) våren 2017, og markeder avslutningen på masterstudiet i Industriell økonomi. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Hafslund Varme.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår hovedveileder Ingemund Jordanger, som har veiledet oss gjennom denne masterperioden med gode råd og stoisk ro. Vi vil takke vår biveileder i Hafslund Varme, Anders Westin, for alle forslag og hjelp med tekniske og generelle spørsmål. Denne våren har vi vært så heldige å kunne benytte oss av Hafslund Varme sine lokaler til arbeidet vårt og fått tilgang til produksjonsdata. Vi har fått hjelp fra flere i Hafslund Varme, blant annet Karine Huuse, Ingeborg Sauge Torpe, Øyvind Nilsen og Erik Henriksen. Tusen takk for all hjelp.

Vi ønsker også å rette en takk til alle aktører i bransjen som har hjulpet oss i kartleggingsarbeidet.

Til slutt vil vi takke hverandre for en hektisk og spennende masterperiode. At vi har klart å holde ut denne våren med å bo sammen, skrive master sammen og generelt være sammen hver dag, med vennskapet i god behold, er et mirakel.

Alle eventuelle feil er kun vårt ansvar.

Oslo, 12.05.2017

Kaja Piene Børstad og Helene Magnus

Sammendrag

Formålet med masteroppgaven er å undersøke om det er mulighet for varmegjenvinning fra eksisterende datasentre og nytt datasenter i Oslo med tilknytning til fjernvarmenettet til Hafslund Varme. Masteroppgaven undersøker blant annet markedet for varmegjenvinning hos datasentre, utvikling av rammevilkår, mulig klimagevinst ved endring av produksjonsmiks og ulike forretningsmodeller. Markedsundersøkelsen kartlegger behov, mål og krav ved tilknytning og belyser hva som skal til for å få til et samarbeid mellom Hafslund Varme og datasentre. Dette er brukt som grunnlag for konseptvalgutredningen, som er benyttet som metode for evaluering av alternative løsninger for tilknytning.

Alternative forretningsmodeller i konseptvalgutredningen er F1, der Hafslund eier varmepumpen og leverer kjøling i bytte mot overskuddsvarme, og F2, der datasenteret eier varmepumpen og selger overskuddsvarmen til Hafslund. De alternative datasentrene som er identifisert som aktuelle for tilknytning til fjernvarmenettet er DigiPlex, nytt datasenter og TDC. De tre datasentrene evalueres for begge forretningsmodellene i flermålsanalysen, som da utgjør seks alternativer. Analyse med kvalitative og kvantitative evalueringskriterier samt usikkerhetshåndtering fører til en rangering av alternativene.

Resultatet fra konseptvalgutredningen viser at F1 er den forretningsmodellen som er mest lønnsom både fra Hafslund og datasenteret sitt perspektiv, og er dermed den anbefalte forretningsmodellen. Alternativ A3, med et nytt datasenter der Hafslund eier varmepumpen, er det alternativet som blir rangert som det beste alternativet, og som er mest lønnsomt. Denne rangeringen tar ikke hensyn til usikkerheten knyttet til antagelsene om nytt datasenter og tidsperspektiv for mulig gjennomføring av tilknytning til A3. I denne konseptvalgutredningen er alternativene ikke gjensidig utelukkende, som vil si at beslutning om et alternativ ikke utelukker et annet alternativ. Det er dermed mulig å undersøke mulighetene for A3, nytt datasenter med tilknytning til fjernvarmenettet, samtidig som det etableres tilknytning til et eksisterende datasenter. Av de eksisterende datasentrene er det A1, DigiPlex, der Hafslund eier varmepumpen som er rangert som det beste alternativet, og er nest best i den endelige rangeringen av alternativer.

Abstract

The purpose of the master's thesis is to investigate the possibility of heat recovery from existing data centers and new data centers in Oslo with connection to the district heating network of Hafslund. The master's thesis examines, among other things, the market for heat recovery from data centers, the development of framework conditions, possible climate gains through changes in the production mix and various business models. The market survey highlights the needs, objectives and requirements of stakeholders, and illustrates what is needed for a successful cooperation between Hafslund and data centers. This is used as the basis for the Multi-Criteria Decision Analysis, which is the selected method for evaluating alternative concept solutions.

Identified alternative business models are F1, where Hafslund invests in the heat pump and supplies cooling in exchange for excess heat, and F2, where the data center invests in the heat pump and sells the excess heat to Hafslund. The data centers that is identified as relevant for connection to the district heating network are DigiPlex, a new data center and TDC. The three data centers are evaluated for both business models in the Multi-Criteria Decision Analysis, which then evaluates six alternatives. Analysis of qualitative and quantitative evaluation criteria and evaluation of uncertainty for each alternative lead to a ranking of the alternatives.

The result of the Multi-Criteria Decision Analysis shows that F1 is the business model that is most profitable for both Hafslund and the data center, and is thus the recommended business model. The final ranking shows that alternative A3, a new data center where Hafslund invests in the heat pump, is ranked as the best and is the most profitable. The ranking does not consider the uncertainty associated with the assumptions about the new data center and time perspective for possible connection to A3. In this investigation, the options are not mutually exclusive, and the selection of an alternative does not exclude the other alternatives. It is thus possible to investigate the possibilities for connection to a new data center, as well as the connection to an existing data center. A1, DigiPlex, where Hafslund invests in the heat pump, is the preferred alternative among the alternatives with existing data centers, and is the second best alternative in the final ranking.

1 Innledning

På klimatoppmøtet i Paris desember 2015 kom FNs medlemsland til enighet om en felles klimaavtale, om at temperaturen på jorden ikke skal stige mer enn 2°C før århundret er over [1]. Beregninger utarbeidet av FN viser at fra 2040 til 2070 må energisektoren kutte utslippene med 90 %, sammenlignet med nivået i 2010, for å nå klimamålene [2].

Medlemslandene skal utarbeide nasjonale planer for som inneholder mål for hvordan de skal kutte i utslippene [1]. Oslo kommune har også satt egne klimamål om en reduksjon av lokale klimagassutslipp på 50 % innen 2020 og 95 % innen 2030 [3]. For å kunne nå disse målene bør de lokale energiressursene man har tilgang til utnyttes bedre, i tillegg bør det utvikles nye løsninger som fører til at så lite energi som mulig går til spille.

Fjernvarme er og har vært en del av løsningen for å redusere klimagassutslipp, og i Oslo har fjernvarme vært et viktig tiltak for å redusere bruk av oljefyring i bygg med vannbåren varme. Hafslund Varme er et av forretningsområdene til Hafslund ASA, og er fjernvarmeaktøren i Oslo. Hafslund Varme har brukt spillvarme fra avfallsforbrenning og fornybar overskuddsvarme i en årrekke, men ser stadig etter nye markeder for overskuddsvarme.

Dagens datasentre er store energikonsumenter, og antall datasentre vil øke i takt med at behovet for datalagring øker. Dataservere er stablet i kabinetter og genererer mye varme, som betyr at det er et stort behov for kjøling. Datasentre bruker som oftest kjølesystemer der overskuddsvarmen ikke brukes til noe, men slippes ut og går til spille. Et datasenter er en overskuddsvarmeressurs med stabile temperaturer, kan dermed regnes som en potensiell ressurs for fjernvarmeaktører. Mange datasenterprosjekter i Norge planlegges å bli etablert i gamle gruver eller i grigrendte strøk. Dette gir høy sikkerhet og store arealer, men det gjør at det er vanskelig å gjenvinne varmen, da det ofte er store avstander til byer som trenger overskuddsvarmen. Det kan være samfunnsøkonomisk nyttig å se etablering av datasentre i sammenheng med varmegjenvinning til fjernvarmenettet.

Bruk av overskuddsvarme fra datasentre ut på fjernvarmenettet kan være en del av løsningen for å redusere klimagassutslipp. Klimagevinsten både lokalt og globalt ved å gjenbruke overskuddsvarmen kan være høy, og miljøaspektet blir stadig viktigere for datasenterselskaper når de skal tiltrekke seg nye kunder. Erfaringer fra Sverige viser at varmegjenvinning fra datasentre på fjernvarmenettet kan være lønnsomt for begge parter. Temperaturen på overskuddsvarme må løftes til fjernvarmenettets temperatur, men kostnadene for bruk av varmepumpe til å løfte temperaturen fra overskuddsvarmen er lave sammenliknet med produksjonsprisen til mange energibærere som brukes i fjernvarmeproduksjonen.

2 Bakgrunn

Hafslund Varme har vurdert bruk av overskuddsvarme fra tredjepartsleveranser. Norsk Energi gjorde en mulighetsstudie i 2014, på oppdrag fra Hafslund Varme, hvor de kartla datasentre i Oslo-området og muligheten for varmegjenvinning fra disse. I Sverige er fjernvarme utbredt i langt større grad enn i Norge, og varmegjenvinning fra datasentre er testet ut med gode resultater. Fortum Värme har samarbeidet med internettleverandøren Bahnhof om leveranse av overskuddsvarme fra datasentre, og legger til rette for etablering av nye datasentre gjennom prosjektet Stockholm Data Parks.

2.1 Norsk Energi

I april 2014 leverte Norsk Energi en rapport om tredjepartsleveranse på oppdrag fra Hafslund Varme. Der ble det anbefalt å utføre en videre kartlegging av datasentre som tredjepartsleverandør av overskuddsvarme til fjernvarmenettet i Oslo. Kjøleeffekt er den ledige effekten fra datasenteret som kan benyttes ved tilkobling til fjernvarmenettet. Datasentre innenfor Hafslunds konsesjonsområde ble identifisert, og det ble kartlagt at ledig kjøleeffekt hos de fleste datasentrene i Oslo ligger rundt 1000 kW [4].

En videre kartlegging av datasentre ble utført av Norsk Energi i 2014 gjennom en rapport om varmegjenvinning. Temperaturen på overskuddsvarmen fra datasentre er for lav til å benyttes direkte på fjernvarmenettet, og en tilknytning til en varmepumpe kan løfte temperaturen. Formålet med rapporten var å utarbeide lønnsomheten ved varmegjenvinning fra datasentre, og kartlegge varmepumpeteknologi, systemløsninger og drift.

Rapporten beskriver levering av overskuddsvarme fra datasentre til eksisterende returledning på fjernvarmenettet til Hafslund Varme med overføring via varmepumpe. I rapporten er det forutsatt et grensesnitt der Hafslund investerer i varmepumpen og kan få betalt for kjøleleveranse til datasenteret, med en pris på 20 øre/kWh. Det er også foreslått et alternativt grensesnitt der datasenteret investerer i varmepumpen og får betalt for varmeleveransen, men det er ikke gjort beregninger med dette grensesnittet. Det er beskrevet to alternativer for tilkobling. Alternativ 1, A1, er kun levering til fjernvarmenettet, og alternativ 2, A2, er leveranse av kjøling til datasentre og leveranse av varme til fjernvarmenettet [5].

Norsk Energi hentet inn tilbud fra ulike varmepumpeleverandører for varmepumper med inngående turtemperatur på 70 °C, utgående turtemperatur på 75 °C, med varmeytelse på 300, 500 og 1000 kW, og trykkklasse 25 bar, da fjernvarmenettet er bygget for dette. Det ble laget kostnadskalkyler på varmepumper fra leverandørene Norsk Kulde med kjølemedium R-134a og fra Hybrid Energy med kjølemedium ammoniakk og vann, for alternativene A1 og A2 [6]. Norsk Energi har brukt beregning av varmekostnad, som er produksjonskostnad når krav

til lønnsomhet tilfredsstilles, til å sammenlikne alternative varmepumper. Det er antatt en driftstid på 4500 t for varmepumpene. Rapporten viste at anlegg med R-134a som kjølemedium er det beste alternativet økonomisk sett for både A1 og A2. Det er også vist at A2, kombinert kjøling og varmeleveranse, gir størst lønnsomhet, til tross for at A2 har høyere investeringskostnader enn A1. De største anleggene som er beskrevet, på 1000 kW fikk lavest varmekostnad. Konklusjonen i rapporten er at den resulterende varmekostnaden for varmegjenvinning hos datasentre kan bli 30-35 øre/kWh, som anses som gunstig i forhold til Hafslunds alternative produksjonskostnad på omtrent 45 øre/kWh for en driftstid for 4500 timer. Kostnader som er tatt i betraktning er drifts- og vedlikeholdskostnader, Enovastøtte, og resulterende varmekostnad. Rapporten anbefaler en videreføring av prosjektet med varmegjenvinning fra datasentre [5].

2.2 Fortum Värme og Bahnhof

2.2.1 Fortum Värme

I Stockholm har energiselskapet Fortum Värme både et fjernvarmenett og fjernkjølingsnett. De har i flere år levert kjøling via sitt fjernkjølenett til ulike virksomheter, inkludert over 30 datasentre [7]. De seneste årene har de også åpnet opp for varmegjenvinning. Fortum Värme har kommet opp med en nytenkende forretningsmodell kalt åpen fjernvarme. Konseptet åpner opp for tredjepartsleveranse på fjernvarmenettet, og går ut på at overskuddsvarme fra ulike virksomheter kan gjenvinnes og sendes ut på fjernvarmenettet etter at temperaturen er økt gjennom varmepumper. Energien som blir gjenvunnet ville ellers gått til spille, og vil og kunne brukes til rom- og tappevannsoppvarming av leiligheter og kontorer [8].

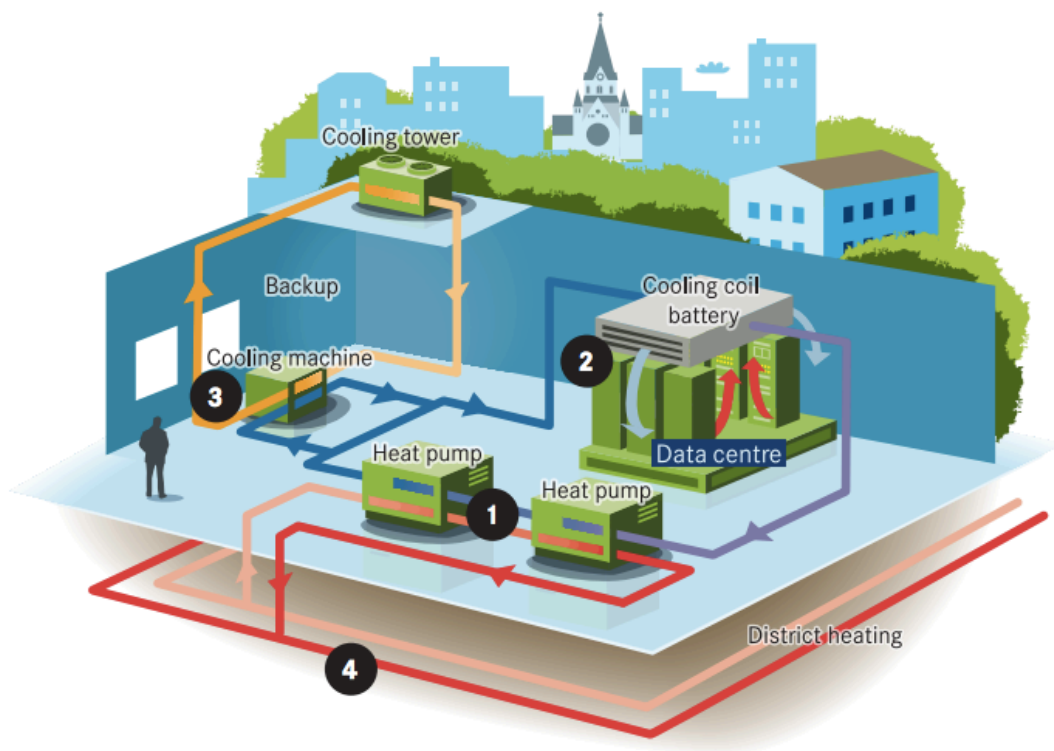
Med konseptet åpen fjernvarme har Fortum Värme utviklet seg fra kun å produsere og distribuere varme og kjøling, til at de har åpnet opp for handel av overskuddsvarme. Prismodellene fører til at fjernvarmeleverandøren ikke lenger har monopol på sitt eget nett, og at deres fjernvarmenett er åpent for alle som ønsker å levere varme [8]. Fortum Värme har flere ulike prismodeller innenfor åpen fjernvarme, som kan deles inn i to hovedkategorier, anbud og avrop. Anbud bygger på et åpent spotmarked, der Fortum fastsetter prisen og den som ønsker å levere til den prisen kan gjøre det. Avrop gir en fast effektpris og en fast energipris på levert overskuddsvarme [9]. Prismodellene beskrives nærmere i kapittel 8, Fortums prismodeller.

2.2.2 Bahnhof

Fortum Värme har i samarbeid med internettleverandøren Bahnhof gjort flere pilotprosjekter hvor de har testet ut konseptet åpen fjernvarme. Blant disse er Pionen og Thule.

Pionen

I Pionen, en gammel bunker på Södermalm i Stockholm, har Bahnhof bygget et stort datasenter. Opprinnelig hadde datasenteret en tradisjonell kjøleløsning hvor kald luft avkjølte datasenteret, og overskuddsvarmen i den oppvarmede luften ble sluppet ut i atmosfæren. Bahnhof fant ut at overskuddsvarmen som ble sluppet ut av anlegget heller burde brukes til noe nyttig. Varmen som gikk til spille var nok til å varme opp flere hundre leiligheter i nærområdet. I samarbeid med Fortum Värme ble løsningen å knytte seg til fjernvarmenettet. På Pionen er det installert to varmepumper fra Carrier i serie. Disse kjøler ned datasenteret, og leverer overskuddsvarme til fjernvarmenettets tur. Varmepumpene har kjølekapasitet på 690 kW og varmekapasitet på 975 kW. Ved normale driftsforhold leverer anlegget omtrent 600 kW varme med en temperatur rundt 68 °C, ut på turledningen. Dette er normal turtemperatur hos Fortum Värme. Både den varme og kalde siden av varmepumpen er kontrollert. Dersom det oppstår en feil på den kalde siden av varmepumpen, vil det opprinnelige kjølesystemet til Bahnhof starte opp, som fungerer som en back-up [10]. Figur 1 viser en illustrasjon av Pionen.



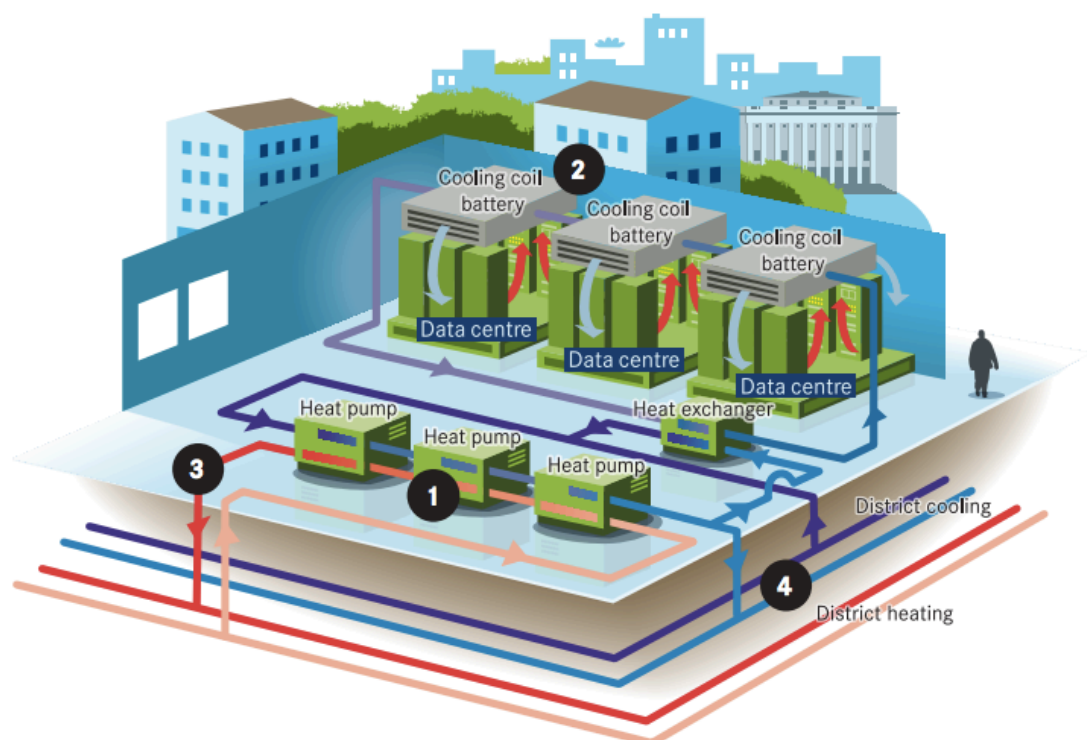
Figur 1: Anlegget på Pionen med leveranse på fjernvarmenettets turlledning [10]

Bahnhof investerte totalt 3,4 millioner SEK i anlegget, som inkluderer varmepumper, rørledninger, kontrollutstyr, arbeid og installasjon. Investeringskostnaden til Fortum Värme var på 1,3 millioner SEK, som gikk til installasjon av en rørledning på 67 m som kobler fjernvarmenettet sammen med anlegget. Bahnhof opplever at de har skaffet seg et

konkurransefortrinn ved at de er tidlig med i prosessen med å gjøre datateknologien mer miljøvennlig. De oppgir at IT-kunder stadig blir mer opptatt av at produsentene kan forsikre at produksjonen deres er bærekraftig. Anlegget er overdimensjonert, noe som gjør at det er fleksibelt for fremtidige teknologiske endringer. Det vil tåle økt leveranse av varmeeffekt og økt kjøleeffekt ved potensielt høyere energitetthet i dataservere [10].

Thule

Et annet pilotprosjekt mellom Bahnhof og Fortum Värme er Thule datasenter. Her er det installert tre varmepumper fra Carrier i serie. Ved normal drift er total kjølekapasitet 1189 kW og varmekapasitet er 1583 kW. I motsetning til Pionen er Thule koblet til både fjernvarmenettet og fjernkjølenettet til Fortum. Under normale driftsforhold kan varmepumpene både produsere fjernvarme og fjernkjøling på samme tid. Anlegget kan levere kjøling til fjernkjølenettets tur ved 5,5 °C, og kan samtidig levere varme til fjernvarmenettets tur på 68 °C. Prisen leverandøren får for levert varme avhenger av utetemperatur. Dermed leverer anlegget primært varme til fjernvarmenettet når utetemperaturen ligger under 7 °C, som i Stockholm er omtrent halve året. Når utetemperaturen ligger over 20 °C produserer anlegget fjernkjøling med full kapasitet, da Fortum Värme har behov for ekstra kjøling til fjernkjølingsnettet [11]. Figur 2 viser en illustrasjon av Thule.



Figur 2: Anlegget på Thule med leveranse på turledningen til fjernvarmenettet og fjernkjølenettet [11]

Anlegget har kostet Bahnhof 5,3 millioner SEK som inkluderer varmepumper, rørinstallasjon, kontrollsystem og konstruksjonsarbeid. Fortum Värme har hatt en investeringskostnad på 2,6 millioner SEK for anlegget. Det inkluderer rørsystemet både for koblingen mot fjernvarmenettet og fjernkjølingsnettet. Thule er bygget for å kunne være fleksibel for endringer og for å kunne ekspandere i fremtiden. Derfor var det viktig for Bahnhof å bygge et anlegg som både kunne produsere fjernvarme og fjernkjøling. Installasjonen av varmepumpene er gjort på en slik måte at det er mulig å kjøre dem i "øymodus". Det betyr at om det oppstår en feil vil det være mulig å kjøre varmepumpene uten å være koblet til fjernkjølingsnettet [11].

2.2.3 Konferansen "International Meeting on Green Computing"

Fortum Värme inviterte store aktører innen datasenter- og dataserverbransjen til en konferanse i Stockholm i september 2015. På konferansen utvekslet de erfaringer rundt varmegjenvinning og diskuterte utfordringene bransjen står ovenfor i fremtiden. Noe av det viktigste som kom frem i løpet av konferansen er hvor viktig det er med åpenhet i bransjen, ved at det er transparens i hvilke modeller som blir brukt og hva de ulike aktørene har erfart. Både Bahnhof og Fortum Värme la vekt på lønnsomheten de har erfart i samarbeidet deres om varmegjenvinning og kom med et konkret økonomisk eksempel. Erfaringene deres tilsier at et datasenter med en ledig kjøleeffekt på 1 MW kan forvente en inntekt på 1,5 – 2 MSEK med forretningsmodellen åpen fjernvarme. Fortum Värme forbereder seg på økt tilknytning fra datasentre og uttalte at fjernvarmenettet i Stockholm vil være i stand til å ta imot 300 MW fra datasentre innen 10 år [12].

Flere komplekse utfordringer som datasentre og fjernvarmeaktører står ovenfor når det kommer til varmegjenvinning, og mulige løsninger, ble lagt frem og diskutert i paneldebatter på konferansen. En av de største utfordringene går ut på at tidshorisonten for investeringer for fjernvarmebransjen og dataserverbransjen er ulike, og dette gjør vanskeligere å se på lønnsomhet for begge parter i samme tidsperiode. Fjernvarmebransjen utvikler løsninger for 30-50 år, mens dataserverbransjen utvikler løsninger for korte tidsperioder, ofte 3-5 år. Varmegjenvinning fra datasentre er relativt nytt, og det er dermed et stort behov for teknologiutvikling i optimaliseringen ved tilknytningen mellom fjernvarmenettet og datasentrene. Det ble anbefalt at ved å gjøre systemgrensene mellom datasenteret og fjernvarmenettet mer flytende, kan samarbeidet bli enklere [12].

En annen viktig utfordring som ble diskutert at det er ulikheter i etterspørsel og tilbud i effektbehov for datasenteret og fjernvarmeaktøren. Datasentre har et tilnærmet konstant effektbehov gjennom året, som betyr at den tilgjengelige overskuddsvarmen er tilnærmet konstant. Fjernvarmebransjen har ikke like konstant behov for effekt, med en sesong med lavere uttak på sommeren. Denne ulikheten i tilbud og etterspørsel fører til at datasentrene ikke får levere overskuddsvarme til fjernvarmenettet hele året [12].

3 Problemstilling

I etterkant av rapportene til Norsk Energi har Hafslund Varme konsentrert seg om andre prosjekter, men Hafslund Varme ønsker nå å se videre på muligheten for bruk av overskuddsvarme fra datasentre. Masteroppgaven bygger videre på rapporten til Norsk Energi og erfaringer med varmegjenvinning fra Sverige.

Formålet med oppgaven er å utføre en mulighetsstudie ved varmegjenvinning fra datasentre inn på fjernvarmenettet til Hafslund Varme. Mulighetsstudien innebærer å kartlegge interessene til ulike aktører og finne ut og hva som skal til for å få til samarbeid mellom Hafslund Varme og datasentre. I tillegg innebærer det å undersøke ulike forretningsmodeller, teknologier, utvikling i rammevilkår, samt beregne mulig klimagevinst ved endring av produksjonsmiks. Målet er å kunne bruke kartleggingen til å evaluere alternative løsninger for tilknytning, på eksisterende eller et nytt datasenter, for å kunne komme med en anbefaling av hva Hafslund Varme burde gjøre videre.

Problemstillingen i masteroppgaven er definert til å være: "Hva er muligheten for varmegjenvinning fra eksisterende datasentre og nytt datasenter i Oslo med tilknytning til fjernvarmenettet til Hafslund Varme?"

Delspørsmål til problemstillingen angående markedsutvikling, forretningsmodell og teknologi, som oppgaven skal forsøke å gi svar på er:

Markedsutvikling:

- Hva er utviklingen i rammevilkår og politiske forhold?
- Hvilke suksessfaktorer har ført til vellykket samarbeid mellom datasentre og fjernvarmeleverandør i Sverige?
- Hvilke eksisterende datasentre i Oslo kan være aktuelle for tilknytning til fjernvarmenettet, og hva er de mest utslagsgivende faktorer for å ønske tilknytning?
- Kan det være mulig i fremtiden med etablering av et nytt datasenter i Oslo med tilknytning til fjernvarmenettet?

Forretningsmodell:

- Hvordan ville forretningsmodellene til Fortum Värme fungert i Oslo?
- Hvem burde investere i varmepumpen, datasenteret eller Hafslund Varme, og hvilken løsning er mest lønnsom for begge parter?

Teknologi:

- Hvordan blir tilknytningen til eksisterende anlegg, med valg av varmepumpe og kjølesystem?
- Hva vil klimagevinsten være i form av utslippskutt?

Avgrensning

Hafslund Varme har uttalt at det både kan være interessant å se på muligheten for bruk av overskuddsvarme fra datasentre på fjernvarmenettets retur og etablering av et lokalt lavtemperaturnett. Det er valgt å gjøre en avgrensning, ved å kun se på muligheten for bruk av overskuddsvarmen på fjernvarmenettets retur, og ikke se på muligheten for etablering av et lavtemperaturnett.

4 Metode for evaluering av konseptalternativer

Metoden som er valgt i denne mulighetsstudien for å evaluere ulike alternative løsninger for tilknytning til datasentre er konseptvalgutredning (KVU). Det er en metode som benyttes i store statlige prosjekter for å evaluere ulike konseptalternativer. I en tradisjonell konseptvalgutredning skal det foretas en beslutning om valg mellom konseptalternativer som er gjensidig utelukkende alternativer. Dette vil si at de er reelt forskjellige alternativer som kan løse samme problem og møte de samme behovene [13]. I denne masteroppgaven vil det ikke foretas en tradisjonell konseptvalgutredning da alternativene ikke er gjensidig utelukkende. Å sette i gang med varmegjenvinning fra et eksisterende datasenter utelukker ikke å satse på varmegjenvinning fra et nytt datasenter i fremtiden. Konseptvalgutredningen benyttes likevel som metode for å kunne beskrive alternativer og rangere dem opp mot hverandre, og for å kunne komme med en anbefaling om hvilket alternativ Hafslund Varme burde satse på i nærmeste fremtid.

Konseptvalgutredningen er en trinnvis prosess, og i denne konseptvalgutredningen består den av disse trinnene:

- Teorigrunnlag og markedsundersøkelse
- Analyse av behov, mål og krav
- Alternativbeskrivelse
- Alternativanalyse med utsiling
- Flermålsanalyse (MCDA)
- Usikkerhetshåndtering

4.1 Teorigrunnlag og markedsundersøkelse

I forkant av KVU-prosessen er det utført en kartlegging bestående av litteraturstudie av publiserte rapporter, artikler, bøker og informasjon på nettsider, for å danne et teorigrunnlag om teknologi, fjernvarme, datasentre. Relevant utvikling innen økonomi og rammevilkår er også beskrevet.

For å undersøke markedet for varmegjenvinning av datasentre har interessante aktører og interessenter blitt kontaktet. Informasjon til markedsundersøkelsen har blitt fremskaffet ved

hjelp av intervjuer over telefon, spørsmål på e-post og møter. Det er blitt gjort et utvalg av hva som er interessant informasjon for å besvare masteroppgavens problemstilling.

For å kartlegge datasentre i Oslo sine interesser og behov rundt temaet varmegjenvinning på fjernvarmenettet har en spørreundersøkelse blitt utarbeidet. Målet med spørreundersøkelsen er at informasjonen kan bidra med å besvare spørsmålene i problemstillingen og å bidra til informasjon til å avdekke behov, mål og krav for datasentre i konseptvalgutredningen. Spørsmålene i spørreundersøkelsen er vist i vedlegg 1.

4.2 Analyse av behov, mål og krav

I en konseptvalgutredning defineres interessenters behov, mål og krav til løsning. Det er nødvendig å sørge for at det er vertikal konsistens mellom de beskrevne behov, mål og krav. Dette er for å sikre en logisk oppbygging, og sørge for at de beskrevne behovene kan møtes ved hjelp av målene og kravene [14].

4.2.1 Behovsanalyse

I en konseptvalgutredning er en behovsanalyse en analyse av ulike behov som utløser tiltak og igangsetting av prosjekt. Behovsanalysen kan utføres ved tre ulike metoder, normativ metode, etterspørselsbasert metode og interessentbasert metode. Behovsanalysen i denne konseptvalgutredningen er utført ved interessentbasert metode, der interessenters opplevde behov og preferanser er kartlagt. Dette er utført blant annet gjennom intervjuer, møter, spørreundersøkelse til datasentre, og kartlegging av tilgjengelig informasjon på nettet.

Vi skiller gjerne mellom prosjektutløsende behov, samfunnsbehov og interessentenes behov. Det prosjektutløsende behov er behovet som fører til at et tiltak eller prosjekt startes. Samfunnsbehovet er det overordnede behovet i samfunnet som er årsak til at prosjektet startes. Samfunns mål kan være utledet fra politisk vedtatte målsetninger [15]. Interessentenes behov er behovene til de ulike interessentene i et prosjekt.

4.2.2 Mål

Med bakgrunn i behovsanalysen beskrives hvilke mål som skal nås i prosjektet. Mål kan deles inn i samfunns mål, effektmål og resultatmål.

Samfunns mål

Samfunns mål er målene for de langsiktige virkningene i samfunnet som følge av gjennomføring av prosjektet [16].

Effektmål

Effektmål angir de ønskede effektene eller virkningene av et vellykket prosjekt for brukerne av leveransen [16]. Effektmålene skal ha et tidsperspektiv på 3 til 5 år etter at prosjektet er overlevert og satt i drift. Effektmålene deles inn i forhold til interessentgruppe [17].

Resultatmål

Resultatmål er knyttet til den konkrete leveransen av prosjektet i løpet av prosjektperioden. Dette kan uttrykkes i konkrete måltall og egenskaper [16]. Resultatmålene er nært knyttet opp mot effektmålene, og skal være leveransen som gjør at effektmålene kan nås.

4.2.3 Krav

Her beskrives krav til alternative løsninger og prioritering av kravene. Med krav til løsning menes de kravene som stilles av prosjekteier i forhold til utformingen av løsningen og gjennomføringen av tiltaket. Alle kravene er ikke like viktige, de må derfor prioriteres i forhold til absolutte krav og andre krav. Videre sorteres de i forhold til hvilke betingelser som må være oppfylt for å gjennomføre tiltaket. Absolutte krav til løsningen er krav som må tilfredsstilles for at alternativet skal være med videre i analysen. Tilfredsstilles ikke absolutte krav ved alternativ, siles dette alternativet ut. Andre krav evaluerer alternativene opp mot hverandre, men alternativene siles ikke nødvendigvis ut dersom et krav ikke er tilfredsstilt.

4.3 Alternativbeskrivelse

For å komme frem til alternativer skal det foregå konseptutvikling, som går ut på å identifisere, utrede og konkretisere ulike mulige løsningskonsepter, med utgangspunkt i de definerte behovene og målene. Identifisering av konseptalternativer er en kreativ prosess der alle reelle løsningsalternativer bør vurderes [18]. I alternativbeskrivelsen beskrives de mest interessante konseptuelle løsningene som kan bidra til å dekke behov og realisere effektmål og samfunns mål. Konseptvalgutredningen er i tidlig fase av et prosjekt, og detaljeringsgraden på alternativbeskrivelsen skal ikke være større enn det som er nødvendig for å kunne vurdere alternativene opp mot hverandre [19].

I alternativbeskrivelsen vil først nullalternativet beskrives. Dette er referansen til en forsvarlig videreføring av dagens situasjon, som de andre alternative løsningene vurderes opp mot. Nullalternativet kan forkaste de andre alternativene dersom disse ikke er bedre enn dagens situasjon [13]. Deretter beskrives andre alternative løsninger eller kombinasjoner av løsninger.

4.4 Alternativanalyse

For å finne frem til hvilket alternativ eller hvilke alternativer som er mest interessante skal hvert alternativ først analyseres hver for seg. Til slutt vil de gjenværende alternativene

prøves mot hverandre. Det skal undersøkes hvilke alternativer som tilfredsstillende absolutte kravene, og andre krav-analyse. Den eller de alternativene som i vesentlig grad avviker fra et absolutt krav vil siles ut og ikke bli med videre til semifinalen. Deretter utføres andre analyser som risikoanalyse og klimaregnskap. Den eller de alternativene som i vesentlig grad gjør det dårlig i analysene kan siles ut og blir ikke med videre i analysen. Til slutt utføres en flermålsanalyse (MCDA), og en følsomhetsanalyse som forklares nærmere i kapittel 4.5. På grunnlag av de utførte analysene i KVVU-prosessen vil det dermed komme en anbefaling om hva Hafslund Varme burde gjøre videre.

4.4.1 Risiko- og usikkerhetsanalyse

En risikoanalyse gjennomføres for å få oversikt over hvilke risikofaktorer som inngår i konseptalternativene. Risikoene for hvert alternativ identifiseres og uttrykkes for hvert alternativ, og hvis det er mulig vil risikonivåene til alternativene sammenlignes.

4.4.2 Klimaregnskap

Et klimaregnskap utføres for å undersøke hva klimagevinsten fra bruk av overskuddsvarme fra datasenter vil være i form av utslippskutt. Metoden for å utføre klimaregnskap er hentet fra Norsk Energi sin rapport om klimaregnskap for fjernvarme. Utslippsfaktorene omfatter utslipp ved forbrenning og utslipp fra transport og produksjon av energibærerne. Dette gir en livssyklusvurdering av hele verdikjeden, og et bilde av den totale miljøeffekten. Utslippsfaktorene er oppgitt i gram CO₂ ekvivalenter per kWh tilført energi. Alle faktorer er inklusiv utslipp av både CO₂, metan og lystgass og er omregnet til CO₂-ekvivalenter. En oversikt over utslippsfaktorene som er benyttet for energibærerne som Hafslund Varme bruker er vist i Tabell 1 [20]. Utslippsfaktorene er de samme som Hafslund Varme bruker i sitt klimaregnskap. Disse er hentet fra Norsk Energi sin rapport fra 2013, med unntak av utslippsfaktoren for el. Denne faktoren har Hafslund brukt siden 2014, med bakgrunn i den norske kraftproduksjonen fra 1996-2012 med vannkraft, vindkraft og gasskraft [21]. Bakgrunnen for denne faktoren er LCA-verdier for vannkraft fra Østfoldforskning [22] og LCA-verdier for vindkraft og gasskraft fra Vattenfall [23].

Tabell 1: Utslippsfaktorer per energibærer

Energibærer	Utslipp forbrenning [gCO ₂ e/kWh tilført energi]	Utslipp produksjon og transport [gCO ₂ e/kWh tilført energi]	Utslippsfaktor fra totale utslipp [gCO ₂ e/kWh tilført energi]
Avfall	7	4	11
Næringsavfall	7	4	11
Varmepumpe (VP)	10	0	10
El-kjel	10	0	10
Pellets (skogsflis)	9	9	18
LNG	203	40	243
Bioolje	6	4	10
Biodiesel	6	4	10
Olje	268	21	289
Tap kjølemedie (VP) (R-134a)			1430 [kgCO ₂ e/kg]

Man skiller mellom tilført energi, produsert energi og levert energi. Tilført energi er energiinnholdet i råvaren, det man tilfører varmesentralen for energiproduksjon. Størrelsen på denne avhenger av mengden av brenselet. Produsert energi er den energimengden som går ut av varmesentralen. Denne mengden er påvirket av virkningsgraden til energiproduksjonen. Levert energi er mengden energi som kundene mottar og betaler for etter transport gjennom fjernvarmerør. Man regner med et energitap på rundt 5-10 % under overføring av energien. Utslippsfaktorene er satt ut fra mengden tilført brensel i varmeproduksjonen [20]. I analysen er det benyttet produksjonsdata fra 2016 og for å finne utslipp fra tilført energi er virkningsgraden til de ulike energibærerne tatt med. Formelen for å beregne utslipp i gram CO₂e per tilført kWh er vist i formel (1).

$$\text{Utslipp tilført [gram CO}_2 \text{ ekvivalent]} = (\text{Produsert energi [kWh]})(\text{Virkningsgrad})(\text{Utslippsfaktor} \left[\frac{\text{gram CO}_2 \text{ ekvivalent}}{\text{kWh}} \right]) \quad (1)$$

4.5 Flermålsanalyse (MCDA)

Flermålsanalyse, også kalt MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis), kan benyttes som beslutningsverktøy i komplekse prosesser for å evaluere konsepter med mange ulike mål, krav og faktorer. Mål og kriterier kan være motstridende, som miljøhensyn og økonomiske hensyn [24]. Flermålsanalyse er en formalisert metode for å omforme vurderingen av egenskaper hos ulike alternativer til rangering av disse alternativene [13]. I denne delen av analysen vil alternativene evalueres ut i fra kvantitative og kvalitative evalueringskriterier som er tillagt en vektning. Deretter vil alternativene rangeres i forhold til hverandre, og til slutt vil det bli utført en følsomhetsanalyse for å undersøke robustheten i rangeringen av alternativene.

Da flermålsanalyse brukes som et beslutningsverktøy er det interessant å se på

beslutningsteori. En beslutningsprosess kan beskrives som en prosess der tilgjengelig informasjon, definerte mål og kriterier og beslutningstakeres preferanser fører til en rangering av løsningsalternativer. En beslutning kan defineres som et valg mellom gjensidig utelukkende alternativer, valg av noen alternativer som kan arbeides videre med eller en rangering av flere alternativer [13]. I denne flermålsanalysen er ikke alternativene gjensidig utelukkende, og målet er å rangere alternativer og komme med en anbefaling om hvilket eller hvilke alternativer som kan arbeides videre med.

4.5.1 Evalueringskriterier

I en beslutningsprosess blir alternativer evaluert ut ifra hvordan de kan oppfylle målene i prosjektet. I beslutningsteorien benyttes begrepet kriterier som indikatorer på måloppnåelse. Evalueringskriterier deles opp i to kategorier, kvantitative og kvalitative. Kombinasjonen av disse evalueringskriteriene er ment å gi en helhetlig vurdering av nytten til løsningsalternativene. Nytte defineres som et uttrykk for preferansen en beslutningstaker har for et alternativ [13]. Evalueringskriteriene tildeles en prosentvis vektning, for å gi uttrykk for i hvor stor grad evalueringskriteriene blir vektlagt i flermålsanalysen. Her er det vanlig at det kvantitative evalueringskriteriet får høyest vektning.

Kvalitative evalueringskriterier

Kvalitative evalueringskriterier kan ikke måles direkte i tallverdier, og refererer til ikke prissatte konsekvenser. Kvalitative evalueringskriterier beskriver kvalitative egenskaper. De kvalitative evalueringskriteriene i denne analysen blir tildelt en score på en skala fra 1 til 7. Høy grad av oppfyllelse av kriteriet gir en score på 7. Middels grad av oppfyllelse av kriteriet gir en score på 4. Lav grad av oppfyllelse av kriteriet gir en score på 1. Utgangspunktet når alternativene tildeles score, er at de sammenliknes med hverandre, og ikke med "verdens beste alternativ". For å unngå at systematisk høy eller lav setting av score skal undergrave evalueringskriterienes vektning, normaliseres alle scorene for hvert kriterium slik at middelverdien av scorene ligger på midten av måleskalaene [13].

Kvantitative evalueringskriterier

Kvantitative evalueringskriterier kan kvantifiseres og måles, og refererer til prissatte konsekvenser. Kvantitative evalueringskriterier viser til økonomien i prosjektet. I denne analysen er det kvantitative evalueringskriteriet nåverdi. Nåverdien til et alternativ kan direkte sammenlignes med nåverdier til andre alternativer. Prosjektet kan ikke gjennomføres dersom det ikke blir økonomisk lønnsomt. Nåverdien av diskontert kontantstrøm gir et bilde av totaløkonomien til alternativene [13]. Ved å beregne en netto nåverdi tar man hensyn til kostnader og inntekter diskontert over valgt tidsperiode, som viser hva verdien av de fremtidige beløpene er verdt i dag. I beregningen kan man ta med fremtidige inntekter som positiv kontantstrøm og investeringsutgiften og fremtidige utgifter som negativ kontantstrøm. Investeringen er lønnsom dersom nåverdien er positiv. Nåverdi, *NNV*, beregnes ved formel 2:

$$NNV = K_0 = \sum_{n=0}^N K_N \frac{1}{(1+r)^N} \quad (2)$$

der K_0 er verdien av penger i dag, K_N er beløpet i år N og r er diskonteringsrenten.

Internrenten, IRR , er den renten som kan benyttes for at en investering ikke skal bli ulønnsom. Verdien er diskonteringsrenten, r , som gir en nåverdi lik null, og denne beregnes ved formel 3.

$$IRR = \sum_{n=0}^N K_N \frac{1}{(1+r)^N} = 0 \quad (3)$$

4.5.2 Rangering av alternativer

Ved samtale med interessenter vil det avgjøres hvilken score som settes på de ulike evalueringkriteriene for hvert alternativ. Det antas at beslutningstakerne har rasjonelle preferanser. Dette innebærer at dersom alternativ A foretrekkes fremfor alternativ B og alternativ B fremfor alternativ C, vil også alternativ A foretrekkes fremfor alternativ C [13].

Evalueringen av alternativenes score legges inn i et nyttefunksjonsbasert verktøy i Excel, som bygger på prinsippet om MCDA [25]. Dette verktøyet bygger på prinsippet om at alternativet med størst nytteverdi velges [13]. Når score er satt for evalueringkriteriene for alle alternativer vil modellen utføre en sammenveining av vektete evalueringkriterier. Total score for hvert alternativ blir summen av produktet mellom score og vektprosent for hvert evalueringkriterium. Resultatet vil være en rangering av alternativene.

4.5.3 Robusthet i rangeringen

Det bør undersøkes om modellen som benyttes for flermålsanalyse gir en relevant avveining mellom kvantitative og kvalitative evalueringkriterier. Da kan man kalibrere modellen for å undersøke om den gir ønsket respons [13]. Man kan undersøke hva en endring med ett trinn i score, eksempelvis fra 4 til 5, på kvalitative evalueringkriterier tilsvarer i nåverdi. Dersom denne endringen i nåverdi vurderes som rimelig, beholdes vektning av evalueringkriterier, og hvis ikke justeres disse til ønsket virkning oppnås.

Etter at løsningsalternativene er evaluert og det er presentert en rangering, gjøres det en helhetlig vurdering av rangeringen for å kunne komme frem til en anbefaling. Dersom det er små marginer mellom alternativene som rangeres høyest, kan det være usikkert om det er grunnlag for å hevde at det ene alternativet er bedre enn det andre. En følsomhetsanalyse kan utføres ved å teste robustheten i rangeringen. Dette gjøres ved å undersøke hvor stor endring i score eller vektprosent ved evalueringkriteriene som skal til for at det nest beste alternativet rangeres som best istedenfor det beste alternativet. Dersom den nødvendige endringen antas å være urimelig, anses rangeringen som endelig. Dersom endringen vurderes å være mulig, bør evalueringen av alternativene gjennomføres på nytt [13].

4.5.4 Usikkerhetshåndtering

Utforming av alternative løsningskonsepter bygger på antagelser og tilgjengelig informasjon i tidlig fase av prosjektet. Det er en usikkerhet knyttet til informasjonens gyldighet, og dette fører til en viss risiko i prosjektet [18]. Det er mange usikkerhetsmomenter i informasjonen som ligger til grunn for en nåverdiberegning, som investeringskostnader, inntekter og kraftprisutvikling. Det er også usikkerhet knyttet til utvikling av rammevilkår og fremtidig teknologi. I en konseptvalgutredning er det tatt hensyn til flere interessenter med ulike meninger, behov, mål og krav. Spennet mellom hva ulike interessenter mener at er riktig er også en del av usikkerhetsdimensjonen.

En usikkerhetsanalyse kan utføres ved en Monte Carlo simulering av nåverdien, for å vise et realistisk bilde av totaløkonomien. Dette vil gi en nåverdi uttrykt ved en forventningsverdi og et utfallsrom. Ved bruk av den metoden kan risikofri kalkulasjonsrente benyttes [13]. I denne konseptvalgutredningen er det ikke utført en simulering av nåverdien. Analysen er da en deterministisk analyse som tar hensyn til sannsynlige verdier, og risikojustert kalkulasjonsrente er benyttet. Det analyseres alternative datasentre som har stor forskjell i forventet investeringskostnader og nåverdi på grunn av størrelsen på ledig effekt som kan benyttes på fjernvarmenettet, og analysen gjøres for å sammenlikne alternativene. Det er flere usikkerheter knyttet til innsatsfaktorene i nåverdiberegningen, men det anses ikke som utslagsgivende for analysen å belyse denne usikkerheten ved å utføre en simulering. Det er valgt å belyse usikkerhetsdimensjonen med hva-hvis analyser, som undersøker hva nåverdien og internrenten for alternativene ville blitt i ulike scenarier. Det er dermed analysert hvordan endringer i ulike forutsetninger og verdier påvirker resultatet av nåverdiberegningene.

5 Teknologi

Under teknologi er det gjort rede for fjernvarme, varmepumpeteknologi og utvikling av dette. Drift og kjøling av datasentre og muligheter for tilknytning mellom datasentre og fjernvarmenettet med varmepumpe er beskrevet.

5.1 Fjernvarme

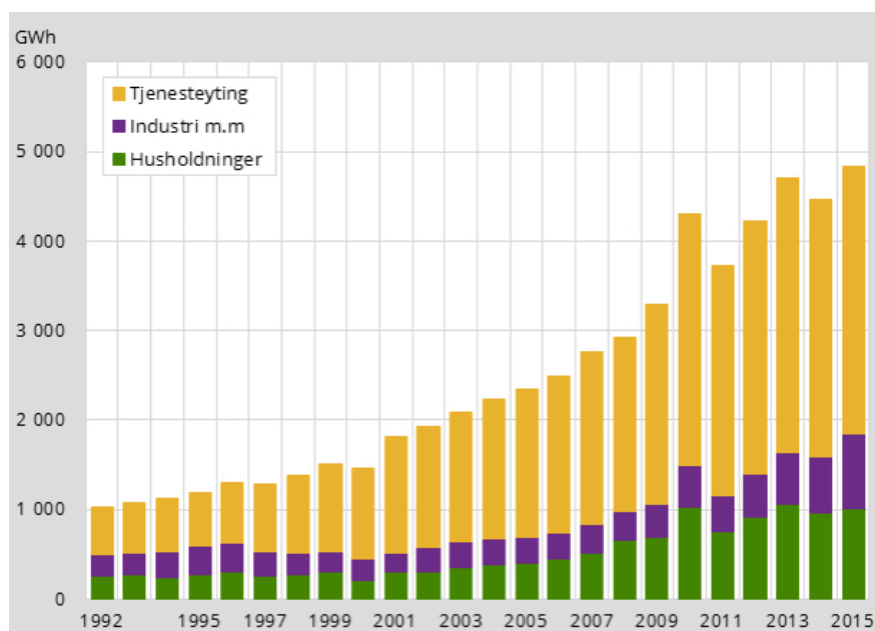
5.1.1 Fjernvarmeteknologi

Fjernvarme går ut på å transportere varme fra en fjernvarmesentral og distribuere det til forbrukere gjennom en lukket rørsløyfe bestående av isolerte rør. Rørene er gravd ned i grøfter, gjerne sammen med annen infrastruktur, blant annet fibernett. Vannet blir varmet opp i fjernvarmesentraler ved bruk av energikilder som avfallsforbrenning, varme fra kloakk, overskuddsvarme fra industri, flytende naturgass, olje-kjeler eller el-kjeler [26].

Fjernvarmesystemet består av to parallelle rør. Det ene røret, med det oppvarmede turvannet, går ut fra fjernvarmesentralen og ut til forbruker. Dette vannet har temperaturer opp mot 120 °C. Det andre røret, med det avkjølte returvannet, går fra forbruker og tilbake til fjernvarmesentralen, for igjen å bli varmet opp og syklusen starter på nytt. Returvannet har gjerne en temperatur på mellom 50-70 °C. Temperaturen på vannet bestemmes av ulike faktorer som utetemperatur, nærhet til fjernvarmesentral, årstid og hvilken teknologi som anvendes. Ligger kunden langt unna sentralen vil det være nødvendig med høy temperatur på turvannet, for å unngå temperaturfall på vannet. Med høyere utetemperaturer om sommeren vil det ikke være nødvendig med like høy temperatur på turvannet, fordi oppvarmingsbehovet ikke er like stort [26]. Teknologier som benyttes i dagens nybygg fører til et betydelig lavere energibehov enn eldre bygg. Dette fører til at det antakeligvis ikke vil være nødvendig med like høye temperaturer på turvannet i fremtiden [27].

Forutsetningene for å kunne koble seg på et fjernvarmenett er at forbruker må ha installert vannbåren varmedistribusjon, og ligge i nærheten av eksisterende fjernvarmenett. Overføringen av energien fra vannet fungerer på den måten at forbruker har installert en varmeveksler i sin lokale sentral, hvor energien overføres fra vannet og over på byggets vann- og varmeanlegg. Tappevann-, rom- og ventilasjonsoppvarming er mulig ved bruk av fjernvarme [28].

Siden 1991 har leveransen av fjernvarme i Norge økt betraktelig. I 2015 var produksjonen 4,8 TWh, selv med en høyere gjennomsnittstemperatur enn normalen dette året, vokste produksjonen. Utbygging av fjernvarmenettet bidro sterkt til denne produksjonsveksten. Om lag halvparten av nettoproduksjonen, 2,7 TWh, kom fra avfallsforbrenning. Den nest største energikilden var flisfyringsanlegg, med en prosentandel på 20 %, deretter el-kjel med en andel på 12 %, og varmpumpeanlegg med en andel på 10 % [29]. Fordelingen av fjernvarmeforbruket i Norge fordelt etter forbrukergrupper er vist i Figur 3. Her ser man tydelig at tjenesteyting har det største fjernvarmeforbruket, med godt over 60 % andel av forbruket.



Figur 3: Fjernvarmeforbruk fordelt etter forbrukergrupper [30]

5.1.2 Fjernvarmens historie

Det har skjedd en enorm utvikling av fjernvarme siden de første anleggene ble bygget på 1880-tallet i USA. I første generasjons fjernvarme ble det brukt vanddamp som varmebærere, som både hadde store varmetap, men som og var direkte farlig hvis det var lekkasjer i systemet. Det høye trykket kunne føre til eksplosjoner, som i verste fall kunne skade forbipasserende. Damp er fortsatt brukt som varmebærere noen steder på Manhattan og i Paris, men fases ut flere og flere steder. Andre generasjons fjernvarme introduserte systemer med varmt vann under trykk som varmebærere. Da gjerne med temperaturer over 100 °C. Disse systemene dominerte mye av markedet frem til 1970-tallet. Da ble tredje generasjons fjernvarme utviklet, som ofte refereres til som "Skandinavisk fjernvarme teknologi", da mange av produsentene av fjernvarmekomponentene hadde base i Skandinavia. Varmebereren var fortsatt varmt vann under trykk, men som oftest var temperaturene under 100 °C. Dette systemet dominerer fjernvarmebransjen i dag [27].

Fremtidens fjerde generasjons fjernvarmeteknologi er under utvikling nå og må utvikles slik at det kan anvendes i fremtidens energigjerrige bygg, som nullutslippsbygg, passiv- og plusshus. Fordi energibehovet i nybygg er mye lavere enn tidligere, grunnet bedre isolering og mer energieffektivitet, vil vannet kunne holde mye lavere turtemperatur, noen steder så lavt som 40-50 °C på. Ved at vanntemperaturen synker vil overføringstapene til omgivelsene bli mindre, dette skyldes lavere temperaturforskjell mellom vannet og omgivelsene. Lavere temperatur vil og gjøre det lettere å fase inn overskuddsvarme fra andre fornybare kilder, som tidligere har tilført for lav temperatur. Dette er for eksempel overskuddsvarme fra bygg- og fjernkjøleanlegg, solvarme og jordvarme. Lavere returtemperatur på vannet gir en lavere massestrøm i nettet, som åpner muligheten for reduserte investeringskostnader på grunn av reduserte rørdimensjoner. En av ulempene ved at vanntemperaturen synker er at det vil øke

mulighetene for utbredelse av legionellasmitte, fordi bakteriene formerer seg med temperaturer rundt 20-45 °C. Bakteriekulturen synker ved temperaturer over 45 °C, så det mest ideelle hadde vært et nett med temperaturer som ikke gikk under dette nivået [28]. En annen utfordring med lave vanntemperaturer er å kombinere det nye systemet med allerede eksisterende bygg, som har et større energibehov [27].

5.1.3 Hafslund Varme

Hafslund Varme er Norges største aktør innen fjernvarme, og konsesjonsområdet består av store deler av Oslo, Kolbotn sentrum og Mastemyr næringspark, som er vist i Figur 4. Tall fra 2016 viste en fjernvarmeproduksjon på 1,7 TWh, noe som tilsvarer omtrent 20 % av varmebehovet i Oslo. 99 % av den tilførte energien til energiproduksjonen kom fra fornybare energikilder. På landsbasis har Hafslund Varme en produksjonsandel på 36 % av total fjernvarmeproduksjon. Fjernvarmenettet deres består av et primærnett på 300 km, og et sekundærnett på 84 km [26].



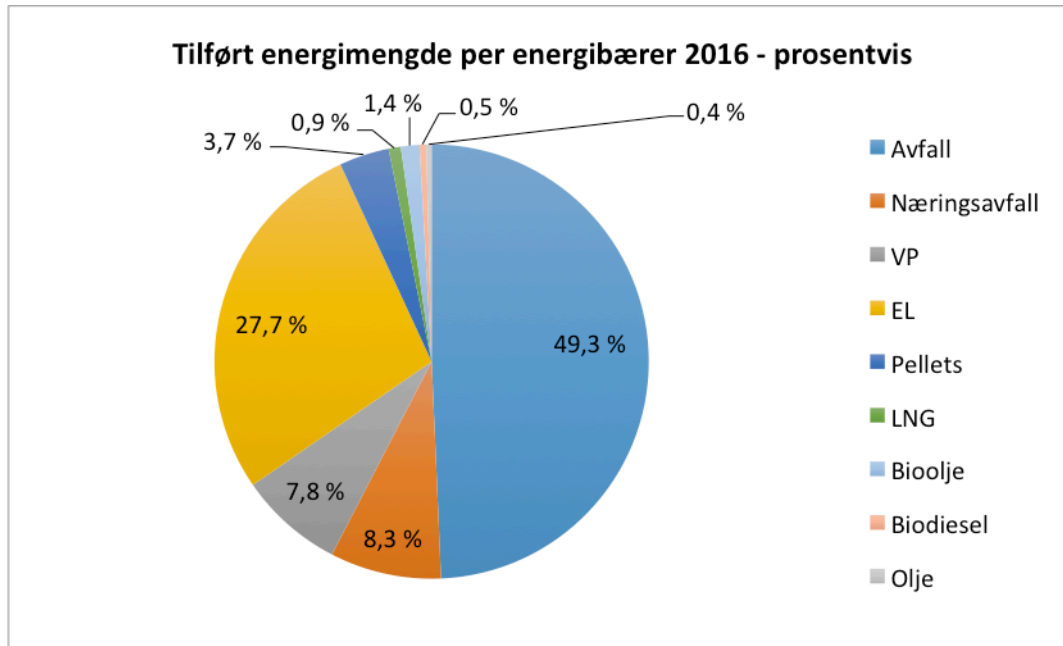
Figur 4: Konsesjonsområde og eksisterende fjernvarmenett for Hafslund Varme i Oslo-området [31]

Produksjonsmiks

Hafslund Varme har flere ulike energibærere i sin produksjonsmiks. Den største andelen av grunnlasten er spillvarme som Hafslund Varme kjøper fra avfallshåndteringen i Oslo gjennom Klemetsrud AS og gjenvinningsetaten (EGE). Her utnytter man energien som frigis under avfallsforbrenning til å varme opp vann som leveres på fjernvarmenettet. Denne produksjonen foregår gjennom hele året, og Hafslund Varme benytter denne spillvarmen hele året. Den ville gått til spille hvis man ikke hadde utnyttet den på fjernvarmenettet. Om sommeren er spillvarmen i perioder større enn Hafslund Varmes behov, og en del av spillvarmen kjøles bort.

Hafslund Varme har også forbrenning av næringsavfall. Andre energibærere som blir benyttet i produksjonsmiksen er varmeutnyttelse fra byens kloakksystem ved hjelp av varmepumper, og i tillegg bruk av flere el-kjeler. El-kjeler og varmepumper bruker elektrisitet til å produsere varmt vann som leveres på fjernvarmenettet. Hafslund Varme benytter også biobrensel i form av pellets, biolje og biodiesel i sin produksjonsmiks.

Hafslund Varme har en begrenset andel fossil spisslast i sin produksjonsmiks. På de kaldeste dagene på vinteren er det nødvendig å bruke ulike former for spisslast for å kunne forsikre stabil leveringssikkerhet til kundene. Produksjonstall fra 2016 viser at det ble tilført 0,9 % LNG og 0,4 % fossil fyringsolje som spisslast [26]. Hafslund Varme har som mål å bli fossilfrie og jobber med å fase ut bruk av fossil spisslast. I 2017 jobber de med prosjekt om å erstatte fyringsoljekjeler med biodiesel [32]. Hafslund Varme har også som strategi å øke produksjonen fra 1,7 TWh i 2016 til 2 TWh i 2020. Salgsavdelingen jobber med å tilknytte nye kunder til fjernvarmenettet, og det arbeides med ny produksjon av fjernvarme samt oppgradering av eksisterende produksjon. Prosentvis tilført energimengde per energibærer i 2016 er vist i Figur 5.



Figur 5: Prosentvis tilført energimengde per energibærer 2016

Produksjon og tilført energi per energibærer i 2016, samt virkningsgrader er vist i Tabell 2. Virkningsgradene som er brukt for å regne om fra produsert energi til tilført energi er oppgitt av Hafslund Varme. Avfall har ikke oppgitt virkningsgrad, da energien kommer som spillvarme direkte fra avfallsforbrenningen.

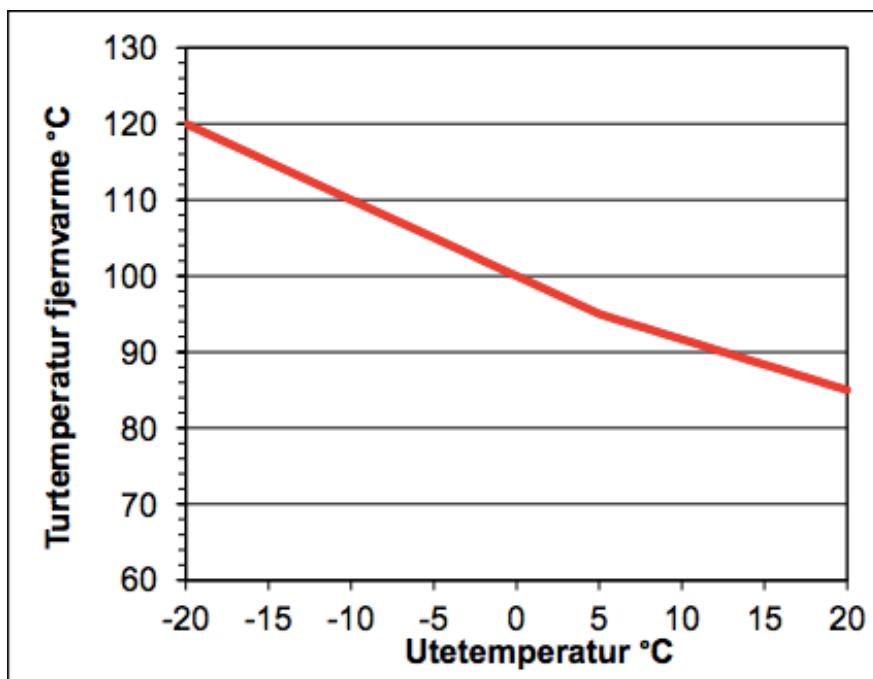
Tabell 2: Produksjon og tilført energi 2016 samt virkningsgrader

Energibærer	Produksjon 2016 [GWh]	Tilført 2016 [GWh]	Virkningsgrad (effekttap fra tilført til produsert)
Avfall	856,8	856,8	-
Næringsavfall	126,7	143,9	88%
Varmepumpe (VP)	135,4	135,4	COP = 3,12
El-kjel (EL)	476,9	481,7	99%
Pellets	61,4	64,6	95%
LNG	14,6	15,7	93%
Bioolje	21,6	24,0	90%
Biodiesel	8,0	8,8	90%
Olje	0,8	6,7	90%
SUM	1 702,0	1737,7	

Tilført energi per energibærer i produksjonsmiksen avhenger av produksjon og virkningsgrad. Den store forskjellen i tilført og produsert olje kommer av bruk av olje til oppstart og støttebrenning og av næringsavfall og pellets i 2016. Tilført og produsert mengde fra varmpumpe er lik, da COP gjelder for el-forbruk. Tilført fra varmpumpe er summen av tilført energi fra overskuddsvarme fra kloakk og tilført el.

Temperaturer i nettet

Temperaturen i turledningen i fjernvarmenettet til Hafslund Varme varierer hovedsakelig på grunn av utetemperaturen, og reguleres ut fra effektbehovet hos kundene [35]. Et eksempel på svingningene av turtemperaturer i fjernvarmenettet, som følge av ulike utetemperaturer, er vist i Figur 6. Her ser man at temperaturene varierer mellom 85-120 °C. Temperaturen i returledningene har ulike verdier for hver av varmesentralene, men de har en omtrentlig gjennomsnittlig verdi mellom 65-70 °C ved dimensjonerende utetemperatur (-20°C), og synker deretter med en tilnærmet lineær kurve [33]. Levering på fjernvarmenettet fra datasenteret må derfor på kalde vinterdager være over 70 grader, for å kunne komme inn på returledningen i fjernvarmenettet [5].



Figur 6: Turtemperatur i fjernvarmenettet regulert etter utetemperatur [33]

Eierstruktur

Hafslund Varme er et av forretningsområdene til Hafslund ASA, som er et konsern på Oslo børs, med Oslo kommune og det finske energiselskapet Fortum som de største eierne [34]. 26. april 2017 ble det offentliggjort at de to største eierne av Hafslund ASA, Oslo kommune og Fortum vil kjøpe opp Hafslund ASA og dele opp selskapets forretningsområder i fire separate selskaper, med endret eierstruktur. Dette gjennomføres dersom forslaget godkjennes i bystyret 14. juni og av konkurransetilsynet. Transaksjon og endret eierskap skjer tidligst 31. juli. Hafslund Varme vil slås sammen med Klemetsrudanlegget og den nye eierstrukturen vil bli at Fortum og Oslo kommune eier 50 % hver [35]. Dette er den samme eierstrukturen som Fortum Värme har i Stockholm, mellom Fortum og Stockholm stad. Den nye eierstrukturen vil føre til at Fortum har større påvirkningsmuligheter på Hafslund Varmes drift. Det kan øke mulighetene for tettere samarbeid med Fortum Värme i Stockholm om forretningsutvikling innen varmegjenvinning for datasentre.

5.2 Varmepumper

5.2.1 Termodynamikk

Termodynamikkens første lov er loven om energiens konstans. Energi kan ikke oppstå eller forsvinne, bare endre form. Termodynamikkens andre lov kan formuleres på flere måter, og beskriver at det ikke finnes en syklisk maskin som kan omdanne all varme tilført i en prosess til arbeid. Det er ikke mulig å konstruere en varmpumpe eller kjølemaskin uten tilførsel av arbeid, W , og denne maskinen kan ikke ha en effektivitet på 100 % [36].

5.2.2 Prinsipp varmpumpe

En varmpumpe er en syklisk maskin som overfører varme fra et reservoar med lav temperatur til et reservoar med høy temperatur. Prosessen krever tilførsel av energi, som i de fleste tilfeller vil være elektrisitet [36]. Varmepumper muliggjør bruken av overskuddsvarme som ellers ville gått til spille. Overskuddsvarmen, som normalt ikke utnyttes på grunn av for lav temperatur, vil kunne utnyttes til oppvarmingsformål andre steder.

I en varmpumpe får man ut mer energi enn det som tilføres av elektrisitet. Avgitt varme fra varmpumpen, Q_H er lik summen av varmemengden som blir tatt opp Q_L , eller kjøleeffekten, og den tilførte elektriske effekten, W [36]. Dette er vist i formel 4.

$$W = Q_H - Q_L \quad (4)$$

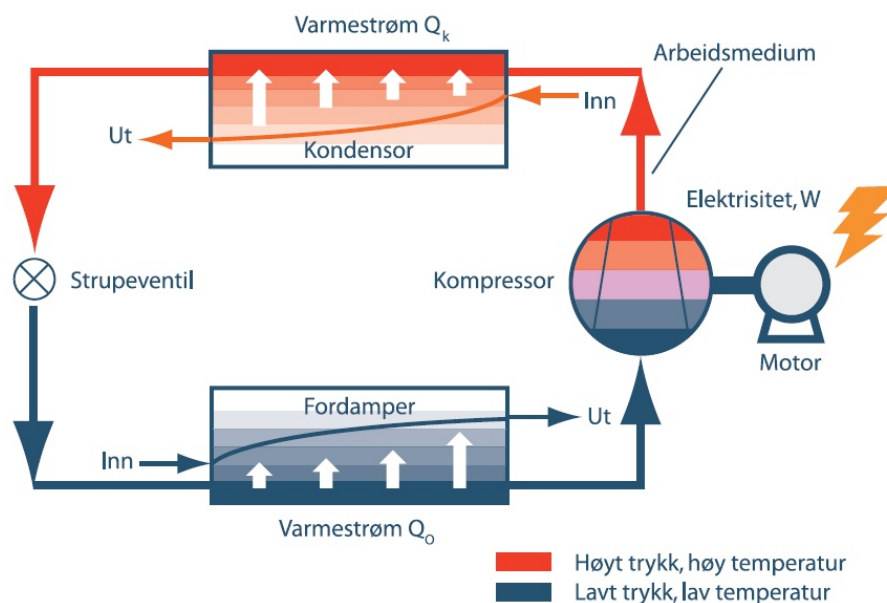
Den sykliske prosessen til en varmpumpe består av fire hovedkomponenter, fordamper, kompressor, kondensator og strupeventil. Komponentene er koblet sammen i en lukket rørkrets. I rørkretsen sirkulerer arbeidsmediet, som henter varme fra en kilde med lav temperatur og avgir varmen ved en høyere temperatur. Et varmpumpeanlegg kan fungere som en kombinert varmpumpe og kjølemaskin på samme tid, ved å avgi varme ved kondensatoren og levere kjøling ved fordamperen [37].

Den sykliske varmpumpeprosessen er beskrevet under [37]:

1. Fordamper: Arbeidsmediet er i væskefase med lavt trykk og lavere temperatur enn varmekilden. Temperaturdifferansen fører til at arbeidsmediet tar opp varme Q_L fra varmekilden (eks. kjølevann fra datasenter). Arbeidsmediet fordamper, og går over til gassform. Ved utløpet av fordamperen har all væsken fordampet og gassen overføres til kompressoren.
2. Kompressor: Kompressoren blir tilført elektrisk kraft og komprimerer arbeidsmediet, som er i gassfase, ved høyt trykk slik at temperatur og trykk øker. Gassen strømmer så over i kondensatoren.

3. Kondensator: Arbeidsmediet er i gassfase under høyt trykk og holder en høyere temperatur enn det mediet som skal varmes opp (eks. vann til fjernvarmenettet). Dette fører til at arbeidsmediet avkjøles og kondenserer til væske, og varme, Q_H , avgis.
4. Strupeventil: Arbeidsmediet i væskeform strømmer mot en trykkreduksjonsventil hvor trykket senkes og temperaturen faller. Væsken fortsetter mot fordamperen, hvor den sykliske prosessen starter på nytt.

En prinsippskisse av varmepumpeprosessen er vist i Figur 7.



Figur 7: Prinsippskisse av en varmepumpeprosess bestående av de fire hovedkomponentene [38]

5.2.3 COP

Effektiviteten til en varmepumpe beskrives ved hjelp av effektivitetsfaktoren COP (coefficient of performance), som angir forholdet mellom avgitt varmeeffekt og tilført elektrisk effekt til kompressoren [36]. Med en COP på 2 betyr det at man får ut to ganger så mye energi i form av varme som den effekten man tilfører for å drive varmepumpen. Det er ønskelig med så høy COP som mulig, men for varmepumper brukt i dag ligger vanligvis COP et sted mellom 2-5. Ekspertene ser for seg en fremtidig utvikling av COP med verdier opp mot 6-7 [12]. Den maksimale teoretiske effektivitetsfaktor er gitt ved formel 5.

$$\text{COP} = \frac{Q_H}{W} \quad (5)$$

der Q_H avgitt varme og W er tilført elektrisk effekt [36].

Temperaturløftet som varmepumpen skal utføre har stor innvirkning på COP. Jo større temperaturdifferanse mellom fordampnings- og kondenseringstemperatur desto mindre blir

COP. Varmepumpens COP varierer med ulike arbeidsmedier og temperaturdifferanser i prosessen [39]. En oversikt over forventet COP for ulike arbeidsmedier, med forskjellige temperaturer inn og ut av varmepumpen og på tur og retur på fjernvarmenettet er vist i Figur 8.

Expected COP values and preferable HP type		Heating of district heating water			
		30-70° C	40-70° C	30-80° C	40-80° C
Cooling of heat source Heat source temperature in/out of heat pump	10-5° C	3.2 - 3.8 CO ₂ , NH ₃	2.8 - 3.4 CO ₂ , NH ₃	3.1 - 3.5 CO ₂ , NH ₃	2.7 - 3.2 CO ₂ , NH ₃
	20-10° C	3.4 - 4.3 CO ₂ , NH ₃	3.0 - 4.0 CO ₂ , NH ₃	3.3 - 4.0 CO ₂ , NH ₃	2.9 - 3.6 CO ₂ , NH ₃
	30-10° C	4.4 - 4.8 NH ₃ , Hybrid	4.3 - 4.7 NH ₃ , Hybrid	4.2 - 4.6 NH ₃ , Hybrid	4.0 - 4.4 NH ₃ , Hybrid
	30-20° C	5.0 - 5.4 NH ₃	4.6 - 4.9 NH ₃	4.5 - 4.9 NH ₃	4.0 - 4.4 NH ₃ , Hybrid
	40-10° C	-	4.6 - 5.1 NH ₃ , Hybrid	-	4.4 - 5.0 NH ₃ , Hybrid
	40-20° C	-	5.2 - 5.6 NH ₃ , Hybrid	-	4.9 - 5.5 NH ₃ , Hybrid
	40-30° C	-	5.9 - 6.3 NH ₃ , Hybrid	-	5.1 - 5.5 NH ₃ , Hybrid

Expected COP values and preferable HP type		Heating of district heating water			
		30-90° C	40-90° C	30-100° C	40-100° C
Cooling of heat source Heat source temperature in/out of heat pump	10-5° C	2.9 - 3.3 CO ₂ , NH ₃	2.5 - 3.1 CO ₂ , NH ₃	-	-
	20-10° C	3.1 - 3.7 CO ₂ , NH ₃	2.7 - 3.4 CO ₂ , NH ₃	-	-
	30-10° C	3.8 - 4.3 NH ₃ , Hybrid	3.5 - 3.8 NH ₃ , Hybrid	2.9 - 3.3 Hybrid	2.8 - 3.2 Hybrid
	30-20° C	4.1 - 4.5 NH ₃	3.7 - 4.1 NH ₃	2.9 - 3.3 Hybrid	2.8 - 3.2 Hybrid
	40-10° C	-	4.0 - 4.4 NH ₃ , Hybrid	-	3.3 - 3.7 Hybrid
	40-20° C	-	4.2 - 4.6 NH ₃ , Hybrid	-	3.4 - 3.8 Hybrid
	40-30° C	-	4.7 - 5.1 NH ₃	-	3.7 - 4.1 Hybrid

Figur 8: Forventet COP for ulike arbeidsmedier ved ulike temperaturer [39]

5.2.4 Arbeidsmedier og utvikling av varmepumper

Arbeidsmediet er det stoffet som benyttes til å overføre varmen i varmepumpeprosessen. Noen vanlige naturlige arbeidsmedier som er brukt i konvensjonelle varmepumper er ammoniakk, hydrokarboner og CO₂. Ammoniakk er et miljøvennlig arbeidsmedium med

GWP = 0, men er giftig og brannfarlig og stiller høye krav til sikkerhet. GWP (Global Warming Potential) angir hvor stor effekt utslipp av gass har på global oppvarming, og dette varierer mellom ulike stoffer [40]. CO₂- er et miljøvennlig og ufarlig arbeidsmedium, og CO₂-varmepumper skiller seg fra konvensjonelle varmepumper ved at varmen avgis ved avkjøling av CO₂-gass under høyt trykk, og ikke ved kondensasjon av arbeidsmediet. Effektfaktoren, COP, for konvensjonelle varmepumper synker ved økt temperaturdifferanse i prosessen. COP for CO₂-varmepumper øker ved at temperaturen i prosessen er så lav som mulig, og CO₂-varmepumpen fungerer best ved stor temperaturdifferanse i varmedistribusjonssystemet [41]. En tidligere ulempe ved bruk av CO₂ som arbeidsmedium var at investeringskostnaden var opp mot ti ganger så høy som ved konvensjonelle varmepumper. Det er skjedd en stor utvikling med disse varmepumpene, og nå begynner de å kunne konkurrere med konvensjonelle varmepumper på både ytelse og kostnadsnivå [42].

R-134a er et mye brukt syntetisk arbeidsmedium, men dette er mindre miljøvennlig, med en GWP = 1300. Det forskes på mer miljøvennlige alternativer til R-134a, etter at det ble bestemt at bruken av R-134a skal fases ut [5]. Valg av arbeidsmedium avhenger blant annet av pris, miljøhensyn og ønsket temperaturløft. Det er internasjonal enighet om utfasing av klorfluorkarbon (KFK) og hydroklorfluorkarbon (HKFK) som arbeidsmedium på grunn av ozonnedbrytning [39].

Det er forventet at varmepumpeteknologien vil gjennomgå en utvikling i årene fremover, med forbedringer av komponenter, økte temperaturer og nye kjølemedier. HeatUp er et samarbeidsprosjekt mellom flere store aktører, som SINTEF, Statoil ASA, Statkraft Varme AS, Hydro Aluminium og Tine. Prosjektet går ut på å bruke overskuddsenergi ved bruk av varmepumper og oppgradere temperaturer til høyere nivåer enn det som er vanlig til nå. Gjennom samtale med SINTEF ble det pekt på ulike varmepumpeteknologier som kunne passet for en temperaturøkning fra 10-20 °C opp mot 70-75 °C. Varmepumpene som kunne passet var seriekoblede butan og propan varmepumper for kapasiteter rundt 300-500 kW, og ammoniakk og vann/ammoniakk for kapasiteter på omtrent 1-2 MW. Disse varmepumpene har ulike fordeler knyttet til seg. Hybrid varmepumper med en blanding av vann og ammoniakk, og varmepumper med kun ammoniakk er enkle å stille inn for ønskelig temperatur, og har lave varmetap assosiert med prosessen. Butan- og propanvarmepumper har høy energieffektivitet i forhold til kostnadsnivået [42].

5.3 Datasentre

Vi lever i en teknologisk verden hvor det meste rundt oss blir mer og mer digitalisert. Alle aktiviteter en foretar seg på nettet blir prosessert og lagret på servere. Økt digitalisering fører til økt behov for datalagring som igjen fører med seg behovet for utbygging av nye datasentre. Det er estimert at datasentre står for mellom 1,5 - 2 % av verdens totale elektrisitetsforbruk, og denne andelen vil stige kraftig i årene fremover. Det betyr at 400

TWh/år, som er omtrent det totale elektrisitetsforbruket i Frankrike, går til å drifte datasentre [43]. Datasentre er bygget opp av dataservere og datautstyr som blir stablet i kabinetter. Dataservere generer enormt med varme, og kjølebehovet for datasentrene er konstant 24 timer i døgnet, hele året [5].

Datasentre finnes i mange ulike størrelser, og de kan kategoriseres i tre underkategorier [44].

- 1) In-house: Små datasentre innad i en virksomhet
- 2) Co-location: Mellomstore datasentre, etablert av virksomheter som har datasentre som sin kompetanse, og leverer til andre firmaer
- 3) DCE (Data Center Enterprise): Store datasentre, også kalt hyperscale. De største av disse datasentrene har installert effekt opp mot 100 MW

5.3.1 Kjøling av datasentre

Dataservere drives av elektrisitet, og produserer varme som et biprodukt. Varmen må fjernes for å unngå skade på utstyret, og dermed er kjøling nødvendig. Kjøling distribueres via luft eller vann, eller begge deler. I tradisjonelle luftkjølte systemer føres kald luft ut ved gulvet og spres oppover med vifter. Varmen fra serverne overføres til luften, som stiger og samles opp i CRACs (Computer Room Air Condition). Varmen sendes ut av systemet, og den kalde luften føres tilbake til serverne igjen. Væskekjølte systemer er mer vanlig for større datasentre, der væske benyttes som kjølemedie og transporteres for å overføre varmen bort fra serverne til kjølemediet [45].

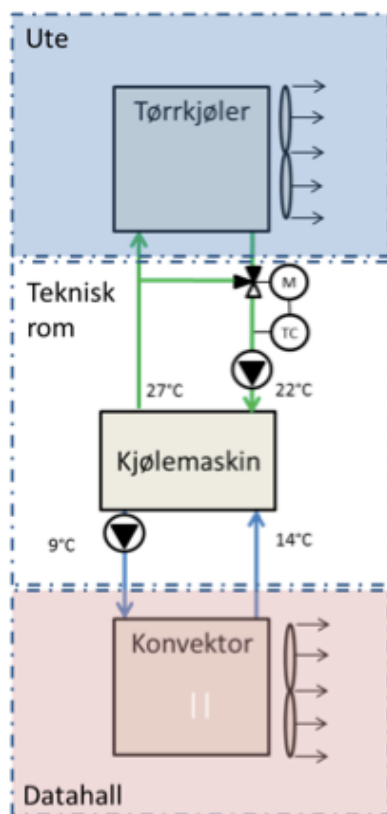
Man kan skille mellom tre ulike metoder for kjøling av datasentre [46]:

- 1) Luftkjøling med vannbåren kjøling med konvektor i datasenter og;
 - a) væske-til-væske kjølemaskin i teknisk rom og tørrkjøler plassert ute
 - b) kjølemaskin plassert ute, direkte koblet til integrert luftkjølt kondensator
- 2) Frikjøling direkte med luft
- 3) Vannkjøling direkte inn i datakabinettet.

1a) Vannbåren kjøling med kjølemaskin plassert i teknisk rom og tørrkjøler ute

Ved denne kjøleløsningen er det installert konvektor i datasenteret, væske-til-væske kjølemaskin i teknisk rom og tørrkjøler plassert ute. Kjøleløsningen er vanlig i mellomstore datasentre, og er å finne i omtrent alle co-locations i Oslo [47]. Temperaturene i figurene er representative verdier, men disse kan variere avhengig av teknologi og kjølemaskiner. Kjølemaskinen i teknisk rom sender kjølevann med en temperatur på rundt 9 °C inn til konvektor, som overfører kjøling til luft på rundt 18°C. Konvektoren fungerer som en radiator med vifte, som brukes til å spre kjøling fra kald luft til serverne [48]. Luften varmes opp fra serverne til en temperatur rundt 30 °C. Varmen fra luften i datasenteret overføres tilbake til kjølevannet i konvektoren, som får en temperatur rundt 14°C. Vannet sirkulerer videre til en kjølemaskin. Gjennom kjølemaskinen øker temperaturen ut på

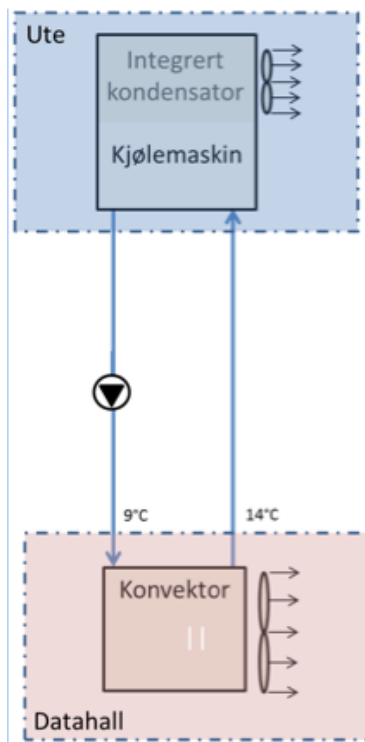
kondensatorsiden, til rundt 27°C. Varmen overføres til en blanding av glykol og vann, som tåler frost, som veksles over til uteluft i en tørrkjøler, der varmen slippes ut i uteluften. Man regulerer normalt temperaturen tilbake til kjølemaskinen slik at den holder en temperatur på omtrent 22 °C. Dersom ønsket kjøling er oppnådd etter kjølemaskinen, kan vann/glykol-blandingen gå i bypass gjennom tørrkjøleren, og returnere til kjølemaskinen. Hvis ikke ønsket kjøletemperatur er oppnådd avkjøles blandingen ytterligere i tørrkjøleren, som benytter uteluft til å fjerne overskuddsvarme. Dette kjølesystemet kan benytte frikjøling når utetemperaturen er lav nok. Da benyttes den kalde uteluften til avkjøling av kjølemediet ved tørrkjøleren, som overføres i bypass gjennom kjølemaskinen til konvektoren [5]. Prinsippet er vist i Figur 9.



Figur 9: Prinsippkisse av et kjøleløsning 1a [5]

1b) Vannbåren kjøling med kjølemaskin direkte integrert til luftkjølt kondensator

Ved denne kjøleløsningen er det installert konvektor i datasenteret og kjølemaskin som er plassert utendørs og er direkte koblet til en luftkjølt kondensator. Det er vanlig at frikjøling kan benyttes gjennom en tørrkjøler ved lave utetemperaturen. Kjøleløsningen er vanlig i små datahaller [5]. Kjøleløsningen er vist på prinsipptegningen i Figur 10. Kjøleløsningen likner kjøleløsning 1a, men det er kun en kjølekrets på 9-14 °C, på grunn av at kjølemaskinen er plassert ute.



Figur 10: Prinsippsskisse av et kjøleløsning 1b [5]

2) Frikjøling direkte med luft

Vi skiller gjerne mellom tre ulike former for frikjøling: direkte, indirekte og adiabatisk. Direkte frikjøling går ut på å bruke uteluft direkte til å kjøle ned datautstyret. Luften blir filtrert, men går ikke gjennom noe varmeoverføringsmedie. Hvis luften er for kald må litt av luften fra datasenteret blandes inn for å forsikre seg om at luften har en kontrollert temperatur. Teknologien er en av de mest effektive i markedet, men fører med seg problemer ved at man ikke har like god kontroll på luftfuktighet og luftkvalitet [49].

Ved indirekte frikjøling benyttes både vifter og varmepumpe, men ingen kjølekompressor. Den kalde uteluften brukes til å kjøle ned kjølemediet, men slippes ikke inn i datasenteret. Teknologien er mindre effektiv enn direkte frikjøling ved at det må skje en varmeoverføring mellom luften i datasenteret og uteluften. Teknologien skiller seg fra direkte frikjøling ved at den er uavhengig av uteluftens luftkvalitet og -fuktighet [49].

Adiabatisk frikjøling går ut på å utnytte vannfordamping i luften ved at lufttemperaturen synker. Vann blir tilført luften og når dette vannet absorberes i luften skjer det en adiabatisk prosess hvor vannet fordampes, og lufttemperaturen faller, mens energiinnholdet i luften forblir uendret. Denne teknologien fører til at man kan bruke frikjøling for et bredere utetemperaturspekter, men fører til at vannforbruket og vedlikeholdskostnadene til datasenteret øker [49].

3) Væskekjøling direkte inn i datakabinettet

Det finnes ulike former for væskekjøling direkte inn i datakabinettet. Den mest brukte teknologien går ut på å bruke en varmeveksler, som danner en barriere mellom komponentene og vannet. Vannet sirkulerer bak platen slik at den avkjøles og kjøler ned utstyret. En annen løsning heter "submerged cooling" (nedsunket kjøling). Det går ut på å senke IT-utstyret ned i en ikke-ledende væske, som kjøler ned IT-utstyret direkte [50].

Det finnes flere fordeler ved å bruke væske direkte til avkjøling av datasentre. Datakabinettene kan plasseres tettere fordi væsken kommer lettere til spesifikke komponenter for avkjøling, enn ved bruk av vifter. Dette frigjør plass til flere kabinetter. En ulempe ved bruk av væskekjølte systemet er at vannforbruket øker, så det er vanskeligere å benytte denne teknologien i land hvor vann ikke er en like stor tilgjengelig ressurs som i Norge. En annen ulempe er at investeringen for væskebasert kjølesystem er høyere enn luftkjølte systemer. Det vil kunne lønne seg i lengden ved at driftskostnadene muligens synker, men kan føre til at flere velger billigere kjøleteknologier [51]. Væskekjøling direkte inn i datakabinett utgjør en svært liten del av anvendte kjøleløsninger i datasenterbransjen. Det er luftkjølte anlegg som benyttes i størst grad.

5.3.2 Utvikling av kjølebehov hos datasentre

Det er ulike meninger innad i datasenterbransjen om hvilket kjølebehov datasentre vil ha i fremtiden. Det er forventet at datasentre blir mer energieffektive, men at det totale kjølebehovet til datasentre vil være omtrent likt som det er i dag, på grunn av økt behov for datalagring. Flere aktører jobber med å utvikle datasentre som kan være mer tett pakket, med høyere energitetthet. Da kan man tenke seg at direkte væskebasert kjøling kan bli mer utbredt i markedet, som vil føre til større muligheter for varmegjenvinning til fjernvarmenettet [51]. Med økt energitetthet kan da forvente at behovet for kjøling vil øke i samme tempo [12].

Noen aktører utvikler datasentre som ikke vil trenge like mye kjøling i fremtiden, med servere som tåler høyere temperatur. Dette kan være mer arealkrevende [12]. I følge Datacenter Norway har det i de seneste årene vært en trend at luftkjølte systemer blir valgt fremfor væskebaserte kjølesystemer i Skandinavia, med bruk av indirekte frikjøling. Det nye datasenteret til DigiPlex på Fet er et eksempel på dette [47]

Low speed ventilation – LSV

Det arbeides med å utvikle kjøleløsninger for datasentre med høyere temperaturer ut av datasenteret. Kjøleløsning 1a og 1b viser temperaturer på 9°C inn i datahallen og 14°C ut av datahallen, og temperaturer omkring dette nivået er vanlig på flere datasentre i dag. LSV er et nytt kjølesystem til bruk inne i serverhallen produsert av det svenske selskapet Alfa Laval hvor hovedtanken bak teknologien er at man mer effektivt og kontrollert skal kjøle ned serverne med lave vifte- og lufthastigheter under normalt trykk. I tradisjonelle luftkjølte

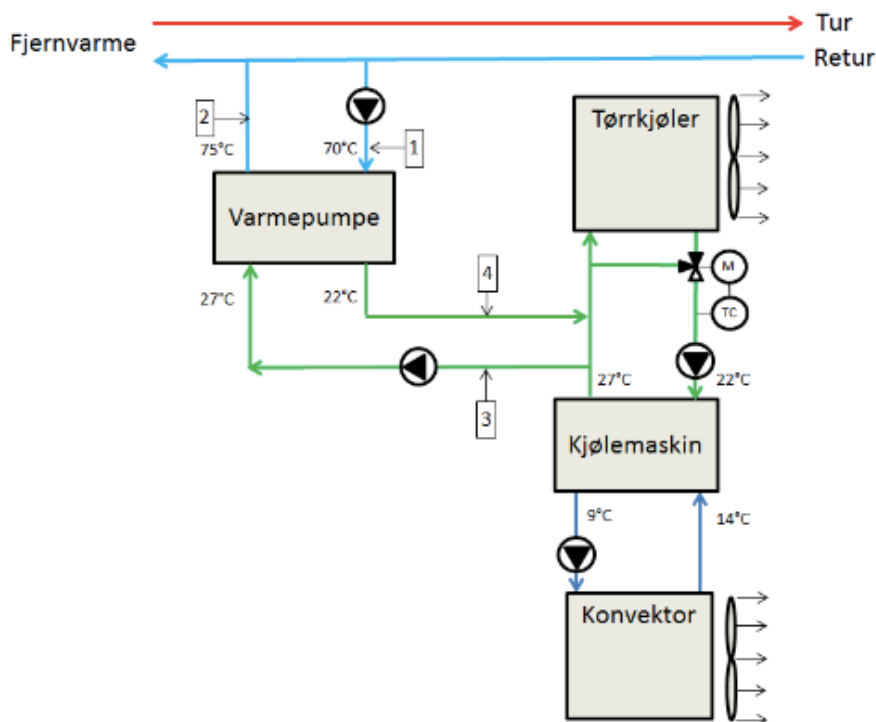
kjølesystemer er det vanlig med hastigheter rundt 8-9 m/s, men LSV bruker hastigheter helt ned til 1,5-1,8 m/s [52]. Ved å senke viftehastigheten, uten å påvirke luftmengden som er nødvendig for å kjøle serverne, vil man enklere kunne kontrollere trykkforskjeller i systemet. På den måten unngår man hot-spots, steder med overoppheting, og mye lavere energiforbruk. Kjøleren og spolepakken innvendig i serverenheten er større enn for vanlig CRACs, som betyr at den takler større volumer med luft og opprettholder luftstrømmen selv ved lavere hastigheter. At spolepakken er lenger betyr at vannet har mer areal å bli varmet opp på, som fører til at temperaturen på utløpet er høyere enn for vanlig CRACs. Alfa Laval oppgir at det er mulig med temperaturer på 18°C inn i datahallen og 24°C ut av datahallen [53]. Dette systemet vil fungere godt til varmegjenvinning ut på fjernvarmenettet, fordi det gjør at temperaturdifferansen som varmepumpen må tilføre for å levere ut på fjernvarmenettet, synker. Når temperaturdifferansen synker, øker COP, effektiviteten til varmepumpen.

5.4 Tilknytning mellom datasenter og fjernvarmenettet

Det er valgt å beskrive tilknytning til mellom datasenter og fjernvarmenettets retur, med inngående temperatur på 70 og utgående temperatur på 75. Det anses ikke som gunstig å levere på fjernvarmenettets turlledning med dagens varmepumpeteknologi, på grunn av den høye temperaturdifferansen. Å tilføre overskuddsvarme på fjernvarmenettets retur ved å øke temperaturen fører til en leveranse av overskuddsvarme i fjernvarmenettets totale system. Det gjør at temperaturen ikke må økes like mye i varmesentraler som øker temperaturen opp til turtemperatur til kundene. Å levere overskuddsvarme som øker temperaturen på returledningen kan føre til reduserte virkningsgrader på nærliggende varmesentraler. Dette vil kun gjelde for store datasentre med levert effekt nærmere 20 MW. Varmesentralene vil ikke påvirkes nevneverdig av levert effekt mellom 1-7 MW [54]. Under beskrives tilknytning for datasentre med kjøleløsning 1a og 1b. Det er disse kjøleløsningene som er vanlig i Oslo.

5.4.1 Tilknytning med kjøleløsning 1a – etter kjølemaskin

Et alternativ for installering av varmepumpe i et datasenter med kjøleløsning 1a, med kjølemaskin i teknisk rom og tørrkjøler plassert ute, med levering av overskuddsvarme til fjernvarmenettet er vist på Figur 11. Ved installering her vil man hente ut den ledige effekten som går ut av den eksisterende kjølemaskinens kondensator, der temperaturen er høyest, og varme $Q_{\text{Hkjølemaskin}}$ avgis. Denne varmen overføres til varmepumpen som $Q_{\text{Lvarmepumpe}}$. Temperaturen inn og ut på varmepumpens kalde krets ved fordampingen er 27°C og 22°C. Varmepumpens varme krets ved kondensatoren er koblet til fjernvarmenettets retur, som har en temperatur inn på 70°C. Varmepumpen vil løfte returtemperaturen til 75°C. Når varmepumpen er koblet inn etter kjølemaskinen vil varmepumpen kunne gjenvinne overskuddsvarmen, men ikke kunne levere kjøling til datasenteret.



Figur 11: Varmegjenvinning fra kjøleanlegg med sirkulasjonskrets til tørrkjøler [5]

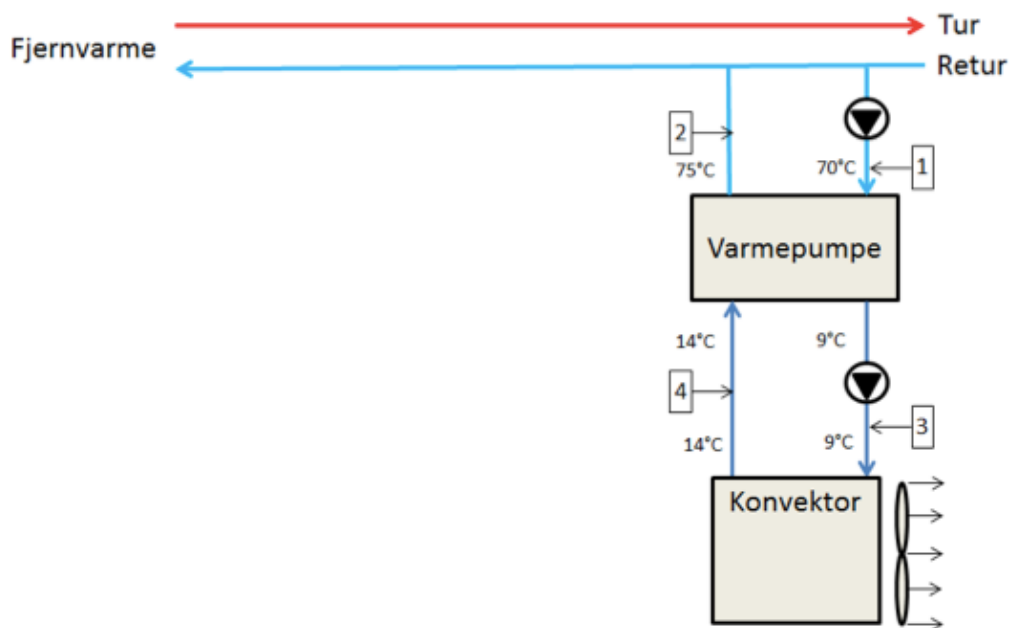
5.4.2 Tilknytning med kjøleløsning 1a – før kjølemaskin

Et annet alternativ er å velge en tilkobling der varmpumpen henter ledig kjøleeffekt fra kjølevannet ut av konvektoren med temperatur på 14 °C, som vil gå inn som $Q_{L\text{varmepumpe}}$. Da vil varmpumpen kunne fungere som en kjølemaskin og levere kjøling til datasenteret og gjenvinne varme samtidig. Den eksisterende kjølemaskinen til datasenteret kan fungere som en back-up-løsning. Dette fører til at varmpumpen må takle en høyere temperaturdifferanse for å levere 75°C ut på returen enn ved tilkobling etter eksisterende kjølemaskin, som gjør at varmpumpen vil ha et høyere strømforbruk. Dette alternativet påvirker datasenteret i større grad enn alternativet med tilkobling etter kjølemaskinen. Dette kan være særlig interessant for datasentre som ønsker å få levert kjøling og som har behov for å investere i nye kjølemaskiner [5].

5.4.3 Tilknytning med kjøleløsning 1b

For installering av varmpumpe i et kjølesystem med kjølemaskin plassert ute, direkte koblet til integrert luftkjølt kondensator kobles varmpumpen på kjølekretsen til datasenteret. Denne tilkoblingen ligner tilkoblingen med kjøleløsning 1a – før kjølemaskin. Varmepumpen henter ledig kjøleeffekt fra kjølevannet ut av konvektoren med temperatur på 14 °C, som vil gå inn som $Q_{L\text{varmepumpe}}$. Da vil varmpumpen kunne fungere som en kjølemaskin og levere kjøling til datasenteret og gjenvinne varme samtidig. Dette er vist i Figur 12. Varmepumpen

bør installeres i parallell med eksisterende anlegg med kjølemaskin og integrert kondensator, slik at dette kan brukes som back-up.



Figur 12: Varmegjenvinning fra kjøleanlegg med luftkjølt kondensator [5]

6 Økonomi

I denne delen beskrives prising av fjernvarme, priser på ulike energibærere i produksjonsmiksen til Hafslund Varme samt kraftprisprognoser.

6.1.1 Prising av fjernvarme

Fjernvarmeleverandører har som regel monopol på sin virksomhet i et område, da det er gunstig med tanke på infrastrukturen. Dette gjør at prising av fjernvarme varierer fra leverandør til leverandør. Prisen på fjernvarme er regulert av energiloven § 5-5. Den sier at prisen for fjernvarme ikke skal overstige prisen for elektrisitet oppvarming i kundens forsyningsområde [26]. På den måten er kundens interesser ivaretatt, og det gjør det gunstig å velge miljøvennlig fjernvarme.

Hafslunds fjernvarmekunder betaler en tilknytningsavgift ved tilknytning. Prising av fjernvarmen varierer mellom ulike kundegrupper. Leddene i prising av fjernvarmen kan deles i et variabelt energiledd, for energien som forbrukes, et fast ledd for måletjenester og drift, og et effektledd, som er en ekstrakostnad for effekttoppene [55].

Tidlig på 1990-tallet var prisen for fjernvarme lav, dette førte til mindre lønnsomhet og reduserte salgsinntekter for fjernvarmeindustrien. Lave priser førte med seg lav

investeringsvilje, men mot slutten av 1990-tallet begynte prisen på elektrisitet å stige. Fjernvarme er en substitutt for elektrisitet i oppvarming av bygg, så høyere pris på elektrisitet resulterer i en høyere pris på fjernvarme. Investeringsnivået på fjernvarme i Norge økte i takt med prisøkningen, med den kraftigste investeringsøkningen fra 2008 til 2010. I 2006 var investeringene innen fjernvarme på rundt 894 millioner kroner og 2010 var et rekordår med investeringer på omtrent 3,6 milliarder kroner. Etter 2010 har investeringene sunket litt. Dette skyldes sannsynligvis at de mest lønnsomme prosjektene blir realisert først, men også at strømprisene har blitt lavere de siste årene [30]. Støtteordninger, som Enova har vært med på å øke investeringene innen fjernvarme.

6.1.2 Priser på energibærere

Som nevnt i kapittel 5.1.3, har Hafslund Varme mange ulike energibærere i sin produksjonsmiks. Prisene på disse varierer gjennom året avhengig av sesong, svingninger i markedet og etterspørsel. I Tabell 3 er det vist et estimat av prisene på de ulike energibærerne i Hafslunds produksjonsmiks fra 2016. Prisene er ikke reelle priser for 2016, men er et estimat av reelle priser, og kan variere med 10-30 % opp eller ned av reelle priser fra 2016. Prisene inneholder ikke drift- og vedlikeholdskostnader, men inkluderer frakt og lagring og er justert for virkningsgrad og kan benyttes til beregning med produsert energi [56]. Da anvendes virkningsgrad for varmepumpe og el-kjel i beregningen.

Tabell 3: Priser per energibærer [56]

Energibærer	Pris [øre/kWh]
Avfall	25
Næringsavfall	-10
Varmepumpe	Spotpris + nettleie
El-kjel	Spotpris + nettleie
Pellets	40
LNG	35
Biolje	65
Biodiesel	95
Olje	65

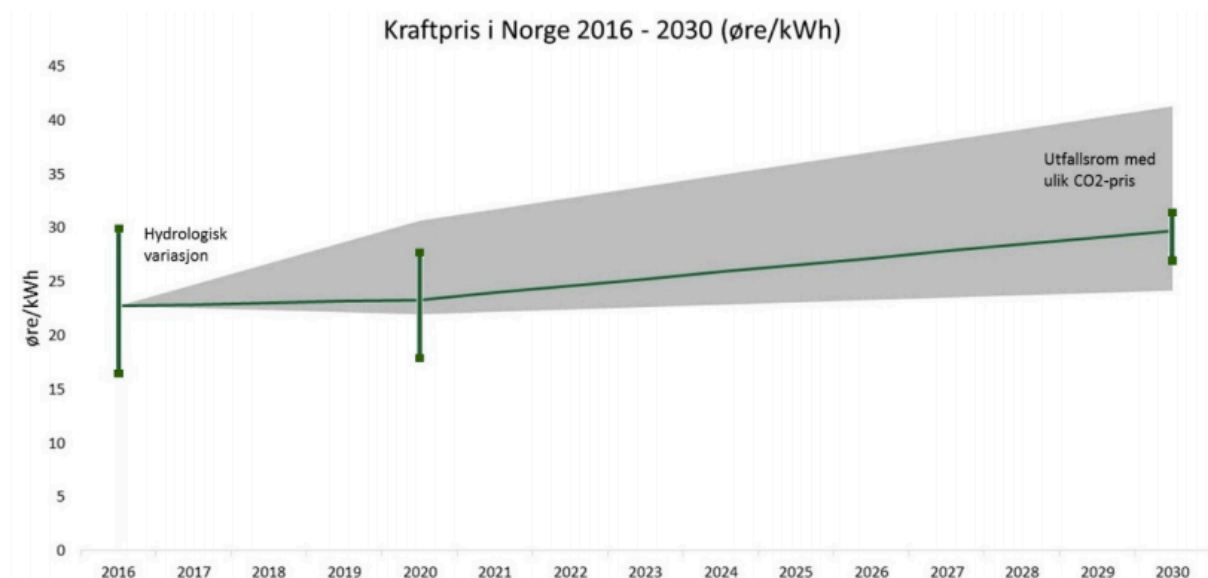
Til drift av varmepumper og el-kjeler benyttes spotpris. Hafslund Varme bruker uprioritert levering med utkoblingsklasse 2 og høy spenning for drift av sine varmepumper og el-kjeler, og anvender et påslag på 6 øre/kWh for nettleie. Uprioritert levering betyr at Hafslund Nett kan koble ut kunden i tilfelle det blir nødvendig. Dette gir lavere nettleie enn ved ordinær (prioritert) levering. Ordinær levering betyr at det er såkalt 2-sidig innmating til nettstasjonen kunden er tilknyttet, dvs. 2 mulige høyspenningsforsyninger til nettstasjonen, enten fra samme transformatorstasjon, eller mellom 2 transformatorstasjoner. Ordinær (prioritert) levering på 11 kV følger samme prinsipp, men de 2 leveringene kommer da direkte fra én eller to transformatorstasjoner. Ved eventuell feil på den ene leveringen, skal all effekten kunne leveres over den andre [57].

6.1.3 Prognoser for utvikling av kraftprisen

Prisene på energibærerne i Tabell 3 varierer i løpet av året, men er relativt stabile, med unntak av spotpris på el, som varierer fra time til time hver dag hele året. 98 % av norsk kraftproduksjon i 2015 kom fra fornybare kilder, hovedsakelig vannkraft [58]. Norge er med i et åpent nordisk og europeisk kraftmarked, med en import og eksport av kraft og en felles kraftbørs, Nord Pool. I de seneste årene har Norge vært en netto krafteksportør [21].

Kraftprisen i Norge påvirkes av hydrologiske forhold, og er lavere i år med mye nedbør og høyere i år med lite nedbør. Kraftprisen i Norge har vært relativt lav i flere år, blant annet på grunn av gunstige hydrologiske forhold og lave priser på CO₂-kvoter, kull og gasskraft. Dette kan være i ferd med å endre seg. NVE viser at kraftprisen for første kvartal i 2017 i snitt var 24 % høyere i år enn i 2016, blant annet på grunn av en tørr høst og vinter samt høyere kullpriser [59].

NVE har laget en prognose på kraftprisen i Norge frem mot 2030 med stolper som symboliserer sårbarheter for hydrologiske variasjoner. Prognosen er vist i Figur 13. Kraftprisen er forventet å stige, og dette avhenger blant annet av prisnivået på CO₂-kvoter, kull og gasskraft. Fremtidens kraftpriser er også forventet å øke på grunn av flere utenlandskabler til Tyskland og Storbritannia. Økt utvekslingskapasitet med flere kabler er forventet å føre til økt forsyningssikkerhet og mindre forskjell i kraftpris mellom tørre og våte år. Det kan også føre til mindre sesongvariasjoner og mer døgnvariasjoner i kraftprisen, samt høyere kraftpriser i Sør-Norge [60].



Figur 13: Kraftprisprognose i Norge fra 2016-2030 [60]

I Tabell 4 er det vist tre ulike scenarier for kraftprisutviklingen frem til 2030: best, sannsynlig og worst case. Tallverdiene er avlest fra Figur 13. De store prisdifferansene

mellom scenarioene kommer av at kraftprisen avhenger av prisnivået på CO₂-kvoter, kull, gasskraft og økt utvekslingskapasitet.

Tabell 4: Tabellverdier for kraftprisprognose 2017-2030

	Best Case	Sannsynlige verdier	Worst case
2017	23,0	23,1	25,0
2018	23,0	23,5	27,0
2019	22,7	23,5	23,6
2020	22,6	23,6	30,8
2021	22,6	24,5	31,5
2022	22,7	25,0	33,0
2023	22,9	25,5	34,1
2024	23,0	26,0	35,0
2025	23,4	26,9	36,0
2026	23,8	27,5	37,0
2027	24,0	27,8	38,0
2028	24,2	28,5	39,2
2029	24,4	29,5	40,2
2030	24,5	30,0	41,5

7 Rammevilkår

Det er interessant å se på utvikling av rammevilkår som er relevante for datasentre og bruk av overskuddsvarme. Det er undersøkt hva som har vært utvikling i Norge av el-avgift, saker som er tatt opp i Stortinget angående strategi for utbygging av fiberkabler og grønne datasentre, samt skatteregler for salg av overskuddsvarme. Det er også undersøkt hva som er utvikling av standard for mål av energieffektivitet hos datasentre, PUE, og hva som er utvikling av anbefalte temperaturer for IT-utstyr.

7.1.1 Elavgiften

El-avgiften ble i 2016 i første omgang redusert fra 14,15 øre/kWh til 0,48 øre/kWh for datasentre med uttak over 5 MW. Bakgrunnen for reduksjon av elavgiften var å legge til rette for etablering av ny industri [61]. Fra og med 1. januar 2017 ble el-avgiften endret igjen, og den reduserte el-avgiften gjelder nå også datasentre med uttak over 0,5 MW, noe som tilrettelegger for flere datasentre i enda større grad [62].

7.1.2 Stortinget

Stortinget behandlet innstilling fra energi- og miljøkomiteen om strategi for utbygging av fiberkabler og grønne datasentre 3. mai 2016, Innst. 238 S. (2015-2016) [30]. Under behandling av innstillingen ble det vedtatt å be regjeringen utarbeide en strategi der de beskriver hvordan myndighetene kan legge til rett for økt etablering av grønne datasentre i

Norge [63]. Det er Nærings- og fiskeridepartementet som nå koordinerer arbeidet med å etablere en strategi for etablering av datasentre i Norge. På nåværende tidspunkt kan de ikke fortelle hvordan strategien vil bli og hva den kommer til å inneholde [64].

Under behandling av Innst. 238 ble varmegjenvinning fra datasentre diskutert. Stortingsrepresentant Heikki Holmås (SV) fremmet forslag å stille strenge krav til gjenbruk av overskuddsvarme ved etablering av datasentre. Forslaget ble ikke vedtatt. Argumenter mot dette er blant annet at det kan hindre internasjonale aktører å etablere seg i Norge dersom det settes krav til varmegjenvinning [63].

Under behandling av Innst. 238 S. ble det diskutert at Norge mangler tilstrekkelig fiberkapasitet for at internasjonale aktører skal ønske å etablere seg med store datasentre i Norge. Det ble vedtatt i Stortinget å be regjeringen om å utrede hvordan det så raskt som mulig kan etableres flere fiberkabler til utlandet, blant annet til Storbritannia og Tyskland, for å tilrettelegge for etablering av grønne datasentre i Norge [63].

Regjeringen ga Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) i oppdrag å skrive en rapport hvor markedet i Norge for mørk fiber . Mørk fiber er ansett som viktig i videre utvikling av grønne datasentre i Norge. Rapporten vurderer om det kan legges til rette for samfunnsøkonomisk lønnsom etablering av fiberkabler til utlandet. Dette er på bakgrunn av at store datasentre og annen databasert næringsvirksomhet i Norge etterspør denne infrastrukturen [65].

Nkom konkluderer med at i Oslo og det sentrale Østlandsområdet er konkurransen om tilbud av mørk fiber tilfredsstillende, men at i andre deler av landet er det ikke fullt så tilfredsstillende. Selv etter gjennomføring av full analyse av markedet er det vanskelig å angi hvilke tiltak som effektivt kunne løst utfordringene datasentre i distriktene har i form av høye transmisjonskostnader [65]. Rapporten belyser behov og krav store aktører har for etablering av datasentre, og konkluderer med at på grunn av økt behov for datalagring må det etableres nye fiberforbindelser innad i Norge og til utlandet. Rapporten belyser derimot ingen reelle tiltak som kan legge til rette for etablering av store grønne datasentre i Norge.

7.1.3 Skatt

Det er undersøkt hvilke skatteregler som vil gjelde i en forretningsmodell der et datasenter vil selge overskuddsvarmen sin til Hafslund, og om det gjelder noen særlige regler på grunn av miljøgevinsten ved varmegjenvinning. I Sverige benyttes vanlig skatt på inntekt når datasentre selger overskuddsvarme til Fortum Värme gjennom åpen fjernvarme [9]. I Norge er skatt på alminnelig inntekt for bedrifter 24 % i 2017. Enkelte virksomheter har særregler med lavere eller høyere skatt [66]. I kontakt med Finansdepartementet kommer det frem at salg av overskuddsvarme over fjernvarmenettet ikke vil omfattes av særregler for inntektsbeskatning, og vil skattlegges med ordinære regler, med skattesats på 24 % [67].

Hafslund Varme kjøper spillvarme fra avfallshåndteringen i Oslo gjennom Klemetsrud AS og Energigjenvinningsetaten. For Klemetsrudanlegget AS gjelder selskapsbeskatning på 24 %, mens Energigjenvinningsetaten ikke er i skatteposisjon [68].

7.1.4 Enova

Enova er et statlig foretak som bidrar med økonomisk støtte til klimavennlige energiløsninger og byggeprosjekter. Pilotprosjekter kan også få støtte, slik at nye teknologier kan testes under ulike driftsforhold. Støtten fra Enova går kun opp til et nivå som gjør at prosjektet blir gjennomførbart [69]. For å søke om støtte er det som hovedregel den parten som eier prosjektøkonomien som er kontraktspartner for Enova. Enova vurderer totaløkonomien og referanseinvesteringen i alternativt anlegg og beregner støtte opp til et nivå som kan gi fornuftig avkastning og som utløser gjennomføringen av tiltaket. I samtale med Enova kommer det frem at hvis et datasenter skal levere varme på fjernvarmenettet må tiltaket kunne dokumenteres, i form av tydelig prosjektbeskrivelse, energimål, kostnad, finansieringsplan, organisering og framdrift. Datasenteret må i tillegg undertegne en intensjonsavtale om å levere til eksempelvis et nærliggende bygg eller Hafslund Varme. Et fjernvarmeselskap kan søke om støtte til investeringer knyttet til varmegjenvinning gjennom støtte til fjernvarme fra Enova. Et datasenter kan søke om støtte gjennom et annet støtteprogram, og som hovedregel støtte for eksisterende bygg. Da må det dokumenteres hvordan overskuddsvarmen kan benyttes på en fornuftig måte. I søknadsprosessen er det best at kun én aktør søker om støtte, enten at Hafslund Varme eller datasenteret søker om støtte til hele investeringen, inkludert stikkledning, rør i bygget og varmpumpe. Dersom forretningsmodellen går ut på at investeringen er delt mellom de to partene er det anbefalt å lage en avtale mellom de to partene om hvem som tar hvilken del av investeringen. Da kan eksempelvis Hafslund Varme søke om støtte til hele investeringen og så fordeles investeringskostnadene i etterkant [70]. Støttenivået for energireduserende tiltak for eksisterende bygg ligger på rundt 20 % av merkostnaden av investeringen [71]. Dette gjør at det er mer gunstig om fjernvarmeselskapet tar investeringen.

Enova har støttet varmegjenvinning fra et datasenter på Dora i Trondheim. Dora er en gammel ubåt-bunker fra andre verdenskrig, og der har Nidar et lager for godteri i en stor hall bygd på taket av det store krigsminnesmerket. De har et oppvarmingsbehov og er avhengig av stabil temperatur. Helsenett benytter også Dora til et datasenter med servere til helsenett. Overskuddsvarmen fra datasenteret benyttes til oppvarming av lageret til Nidar. Etableringen av varmegjenvinningen fikk støtte fra ENOVA. Det var gårdeier Dora AS som søkte om støtte blant annet til varmpumpe og tilknytningskostnader [70].

7.1.5 ASHRAE

The American society of heating, refrigeration, and air-conditioning engineers er en organisasjon som fremmer kontroll av innemiljø innen teknologien for oppvarming,

ventilasjon og air-condition. De kommer med anbefalinger for hvilke temperaturer og hvilken luftfuktighet som IT-utstyret i et datasenter tåler. De har kommet med flere utgaver og den siste utgaven kom ut i 2016. Utviklingen i miljøbetingelser for datasentrene blir drevet frem ved det økende behovet for å spare energi og redusere driftskostnadene. Ved å kunne drifte kjølesystemet ved høyere temperaturer enn for 10-15 år siden, er det store kutt man kan gjøre i driftskostnadene. I den siste utgaven er anbefalt nedre temperaturgrense 18 °C, og den øvre temperaturgrensen er 27 °C for IT-utstyr. Luftfuktigheten er anbefalt å være mellom 40 – 60 % relativ fuktighet [72]. I samtale med aktører på konferansen Datacenter Forum i Oslo kom det frem at mange i bransjen fortsatt er konservative når det kommer til temperaturer. De ønsker lave temperaturer på IT-utstyret sitt, selv om det kan tåle høyere temperaturer, noe som vil redusere strømkostnadene for kjøling. Det er forventet at IT-utstyr vil kunne tåle enda høyere temperaturer i fremtiden. Høyere temperaturer vil gjøre det mer gunstig med varmegjenvinning, ved at det nødvendige temperaturløftet fra overskuddsvarmen kan minske.

7.1.6 PUE

PUE, power usage effectiveness, er den mest brukte standarden for å måle energieffektiviteten til datasentre. Den sammenligner total strøm som går inn til et datasenter med mengden strøm som brukes av IT-utstyr, som servere og lagring. Formel 6 viser utregning av PUE.

$$PUE = \frac{\text{Total kraftmengde inn til datasenter (kW)}}{\text{Total kraftmengde brukt av IT-ustyr (kW)}} \quad (6)$$

Den optimale PUE-verdien er 1, som vil si at all kraft som kommer inn blir brukt til å drifte IT-utstyret. Denne verdien er kun hypotetisk, for i realiteten må litt av kraften gå til kjøling, belysning og i tillegg regner man med varmetap i systemet. For å øke energieffektiviteten til et datasenter er det to områder man kan forbedre. Man kan redusere kraften som går til å støtte infrastrukturen, og man kan redusere varmetapene i systemet. Da vil en større andel kraft inn til datasenteret gå til drift av IT-utstyret [73].

Utvikling av PUE

Flere aktører som har blitt kontaktet i forbindelse med masteroppgaven mener at det vil skje en endring i bruk av PUE i fremtiden. Invest in Norway er en av aktørene som er overbevist om at det vil komme en endring i definisjon av PUE, og at det i fremtiden blir krav om å gjenvinne overskuddsvarmen fra datasentre. Det som anses som grønne datasentre i dag, som driftes med fornybar energi, vil antakeligvis ikke anses som grønne i fremtiden dersom de ikke varmegjenvinner. Endringen vil sannsynligvis ikke skje først i Norge, da datasentrene i Norge markedsføres som grønne på grunn av tilgang på fornybar energi. Endringen kan for eksempel komme fra Frankfurt, der det er flere store datasentre, når de ser at det strømforbruket fra datasentrene er så stort at man må gjenvinne varmen [47].

I en av sesjonene på konferansen "International meeting on Green Computing" ble bruken av PUE diskutert. PUE som standard har ført effektiviseringen av datasentre til det nivået det ligger på i dag, med flere datasentre som har PUE på nærmere 1,1. Det ble diskutert at det nå er det tid for å utvikle nye standarder. Ved bruk av overskuddsvarmen fra datasentre kan man oppleve at PUE øker, på grunn av energibruk til drift av varmepumper til varmegjenvinning. Dette er en uheldig situasjon for datasentrene i konkurranse med datasentre med lavere PUE. Derfor mener flere av ekspertene at en PUE på 1 ikke indikerer et perfekt datasenter, fordi PUE ikke tar høyde for bruk av overskuddsvarme utenfor datasenteret [12].

En ny KPI, key performance indicator, som forteller hvor mye av energien fra datasenteret som blir gjenvunnet, er et av tiltakene som ble diskutert på Green Computing konferansen. Energy Reuse Efficiency (ERE) vil kunne gi en standard for sammenligning av datasentre som varmegjenvinner, og i tillegg gi en gevinst til dem som velger varmegjenvinning. Gevinsten kan være at de kan vise til standarden for å tiltrekke seg nye miljøbevisste kunder, og dermed blir det et salgs- og markedsfortrinn for dem. Det er og mulig at det i fremtiden vil komme regler som gjør datasentre som ikke varmegjenvinner er dyrere å drifte enn de som faktisk varmegjenvinner. Dette kommer helt an på om det legges opp til en helhetlig og miljøvennlig politikk [12].

Det er kun når noe av energien generert fra datasenteret blir gjenbrukt utenfor datasenteret sine systemgrenser at vil det kunne påvirke ERE. Hvis noe av energien blir gjenvunnet og brukt innenfor datasenteret fører dette kun til en lavere PUE. Utregning av faktoren er gitt ved formel 7.

$$ERE = \frac{\text{Kjøling+belysning+energitap+ITgjenvinning (kWh)}}{\text{ITenergi (kWh)}} \quad (7)$$

Kjøling representerer energien brukt av hele kjølesystemet og belysning betyr den energien som brukes til å lyse opp datasenteret. I energitapet inngår ledningstap og annen ineffektivitet ved infrastruktur, IT-gjenvunnet står for den energien generert fra datasenteret som blir gjenvunnet utenfor datasenteret sine systemgrenser og IT-energi er all energien som er nødvendig til drift av IT-utstyret som servere, nettverk og lagring [74].

En annen standard som tar for seg gjenvunnet energi fra datasenteret er ERF, energy re-use factor. Faktoren tar for seg hvor mye av den totale energien brakt til datasenteret som blir gjenvunnet og brukt et annet sted innenfor systemgrensene til datasenteret. Faktoren har verdier fra 0 til 1. En ERF på 0 betyr at ingen andel av energien blir gjenvunnet, mens en ERF på 1 betyr at all energien blir gjenvunnet [74]. Utregning av faktoren er gitt ved formel 8.

$$\text{ERF} = \frac{\text{Gjenvunnet energi (kWh)}}{\text{Total Energi (kWh)}} \quad (8)$$

8 Resultat markedsundersøkelse

I markedsundersøkelsen er det kartlagt interessante erfaringer aktører fra Sverige ved bruk av overskuddsvarme fra datasentre på fjernvarmenettet. Det er undersøkt interessen for varmegjenvinning hos datasentre i Oslo, og muligheten for etablering av nytt datasenter ved å kartlegge Oslo kommunes interesser og Hafslund Nett sin formening om kapasitet på nettet. Det er til slutt kartlagt andre interessante aktørers formeninger om og erfaringer med varmegjenvinning fra datasentre og etablering av nye datasentre i Norge.

8.1 Erfaringer fra Sverige

Gjennom telefonsamtaler og e-postkorrespondanse med interessante selskaper i Sverige har det blitt kartlagt hva som har vært utslagsgivende suksessfaktorer for samarbeid mellom fjernvarmeselskap og datasenter i Sverige.

8.1.1 Fortum Värme

Fortum Värme er en pioner i markedet innen varmegjenvinning fra datasentre. De mener at en av de viktigste årsakene for å lykkes med varmegjenvinning fra datasentrene er timingen av prosjektet. Hvis datasentrene har lagt planer om å bytte ut kjølemaskinene eller bygge ut mer kapasitet vil det være et passende tidspunkt å gjøre tilknytningen til fjernvarmenettet. En av deres samarbeidspartnere, Bahnhof, koblet seg til deres fjernvarmenett da de skulle bytte ut sine kjølemaskiner og fordi de så lønnsomheten i tilknytningen. Bahnhof kunne i tillegg bruke tilknytningen som et konkurransefortrinn for å tiltrekke seg nye kunder med en grønn profilering gjennom varmegjenvinning. Fortum Värme har vært i kontakt med flere datasentre, og de som ikke har vært interessert i varmegjenvinning, har sagt nei fordi de allerede har oppgradert sine kjølesystemer eller fordi de ligger for langt unna fjernvarmenettet. Med for lang avstand fra fjernvarmenettet vil investeringen i nye rørledninger bli for høye [9].

Fortum Värme opplever at miljøaspektet i databransjen blir viktigere og viktigere. Bransjen har endret seg fra å kun være opptatt av lønnsomhet, til å bry seg om hvor miljøvennlig datasenteret er. Svært få av de nye datasentrene som nå er i planleggingsfasen, og som Fortum Värme har vært i kontakt med, har sagt nei til varmegjenvinning. Noen av de største og viktigste aktørene i bransjen har skiftet fokus de siste årene, og legger mer vekt på miljøaspektet ved at de ønsker å fremstå som grønne datasentre. Konseptet åpen fjernvarme er ikke utviklet av Fortum Värme for å tjene penger, men det som ligger til grunn for konseptet er at de ønsker å opprettholde og utvikle holdbare energiløsninger. I tillegg

forstod de at for å få med datasentrene på konseptet måtte de få høy nok kompensasjon for varmeleveransen [9].

Med konseptet åpen fjernvarme har forretningsmodellen til nå vært slik at datasentrene har investert i varmpumpene, og Fortum Värme har investert i nye rørledninger. Hvis Fortum Värme skulle investert i varmpumpene ville det vært en ulik prisliste enn den de benytter nå. De fleste datasentre har integrerte varmpumper i deres kjølesystem allerede, og med høye krav til tilgjengelighet, tør de ikke ta risikoen ved at andre skal eie en så viktig komponent i deres system. Hvis Fortum Värme hadde eid varmpumpen ville de da heller levert kjøling som en tjeneste til datasenteret, "cooling as a service", i bytte mot overskuddsvarmen fra datasenteret. I Ericsson sitt nye datasenter, som er under konstruksjon, vil Fortum Värme levere "cooling as a service" [9].

For å kunne møte fremtidens endringer i energietterspørsel, jobber Fortum Värme med forflytningen over til fjerde generasjons fjernvarme. Lavere temperaturer i fjernvarmenettet muliggjør større bruk av varmegjenvinning, og derfor forsøker Fortum Värme å omstille systemet sitt for lavere temperaturer. I noen nye områder tester de ut nye konsepter når de bygger ut fjernvarmenettet [9].

8.1.2 Stockholm Data Parks

Fortum Värme arbeider for å knytte flere datasentre til sitt fjernvarmenett. Dette gjelder både eksisterende datasentre, men også store internasjonale aktører gjennom prosjektet Stockholm Data Parks. Stockholm Data Parks er et samarbeid mellom Stockholm stad, Fortum Värme, Invest Stockholm, nettselskapet Ellevio og fiberleverandøren Stokab, og ble lansert i januar 2017. Dette er et samarbeid for å tilby et helhetlig tilbud til store datasenteraktører som ser potensialet i å etablere seg rundt Stockholm. Målet til prosjektet er å vise at Stockholm er den perfekte byen å bygge et nytt datasenter, hvor de legger alt til rette for varmegjenvinning, tilgang til mørk fiber og strømnnett. De presenterer to ulike forretningsmodeller for tilknytning til fjernvarmenettet [7]:

1. Den ene løsningen kalles "cooling as a service", og går ut på at de tilbyr kjøling til datasenteret fra fjernkjølenettet i bytte mot overskuddsvarmen fra datasenteret til fjernvarmenettet. Dette gjelder kun datasentre som har en installert effekt over 10 MW.
2. Den andre løsningen går ut på at datasenteret har eget kjølesystem og selger overskuddsvarmen sin til Fortum Värme gjennom forretningsmodellen åpen fjernvarme.

Stockholm Data Parks reklamerer for at de tilbyr verdens største åpne fibernettverk, hvor et datasenter kan få eget mørkt fiber uten å måtte dele med andre. De mener at ved å kombinere elektrisitet med lavt CO₂- innhold og varmegjenvinning fra datasenteret vil det være mulig å bli klimapositive. Stockholm Data Parks presenterer et eksempel der et

datasenter med 10 MW last vil kunne redusere de årlige CO₂-utslippene med nærmere 8000 tonn. Den varmen som blir gjenvunnet vil kunne varme 20 000 moderne leiligheter (55 kWh/m² per år) [7].

8.1.3 Fortum Värme sine prismodeller

Fortum Värme sine prismodeller kan deles inn i to hovedkategorier, anbud og avrop.

Anbud

Prismodellen anbud bygger på prinsippet om en spotleveranse, der Fortum Värme har skapt en markeds plass for fjernvarme med en åpen betalingsmodell gjennom et spotmarked. Fortum bestemmer spotprisen ut i fra standardiserte modeller som er basert på prognoser av utetemperatur og ønsket leveransetemperatur. Prisene legges ut kl 16:00 dagen før levering [8]. Leverandøren får selv bestemme hvor mye overskuddsvarme den ønsker å levere, basert på spotprisen. Leverandøren får kun betalt et variabelt energiledd på energileveransen, og de får ikke betalt for et fast effektledd. Denne prismodellen er lite forutsigbar for Fortum Värme, men passer godt for leverandører som har varierende leveranse av overskuddsvarme. Eksempler på dette er industri med overskuddsvarme, som anvender egen overskuddsvarme i varierende grad gjennom året. Kunder som har anbud får lov til å levere overskuddsvarme selv i perioder når prisen er null. Dette kan være gunstig for leverandøren, avhengig av hvilke kostnader de har for å bli kvitt overskuddsvarmen på andre måter [9].

Avrop

Prismodellen avrop bygger på et prinsipp om at leverandøren av overskuddsvarme både får betalt et varierende energiledd for levert energi og et fast effektledd for avtalt tilbudt effekt. Prismodellen for det variable energileddet er ulikt for anbud og avrop. Det er Fortum Värme som avgjør når leverandøren kan levere overskuddsvarme ved avrop. Prismodellen passer godt for leverandører som har stabilt nivå av overskuddsvarme gjennom året, som datasentre. Det faste effektleddet gir leverandøren en fast månedlig inntekt og en forutsigbarhet som gjør det enklere å gjøre lønnsomhetsberegninger og ta investeringsbeslutning på varmepumpe [9].

Fortums tidligere prismodell for avrop

Fortum Värme har brukt formel 9 til å beregne det variable energileddet ved avrop:

$$\text{Energipris} = \text{Skaleringsfaktor} \times (\text{Spotpris el (Nord Pool)} + 30 + \text{Nettleie} + (\text{Kvotenivå for elsertifikat} \times \text{elsertifikatpris}) + \text{Elskatt}) \quad (9)$$

De har også tidligere delt inn prissettingen i tre ulike avropsklasser, A, B og C, avhengig av hvor mye effekt som kan leveres. Skaleringsfaktoren i energileddet og den faste effektprisen er vist i Tabell 5.

Tabell 5: Fortums avropsklasser

Avropsklasse	Effektpris (SEK/kW per år)	Skaleringsfaktor
A	603	0,628
B	962	0,150
C	1434	0

Avropsklasse A får mindre betalt for effektleddet og mer betalt for energileddet enn avropsklasse B og C. Avropsklasse C får mest betalt for effektleddet og 0 kr for energileddet på grunn av at skaleringsfaktoren er 0. Fortum Värme vil prioritere å kjøpe energi fra leverandøren med avropsklasse C, da de ikke betaler noe for produsert energi [9].

Fortums nye prismodell for avrop

I 2017 har Fortum Värme endret modellen sin for fastsetting av effektledd og energiledd. De har gått vekk fra å bruke formelen for energiprisering og de har ikke lenger tre avropsklasser. Årsaken til endringen er at inndeling i avropsklasser viste seg å være lite hensiktsmessig, da det var vanskelig for leverandørene å velge hvilken avropsklasse de skulle være i.

Avropsklasse C er gunstig for industrikunder med veldig lave produksjonskostnader for energi, men det er ingen slike industrikunder i Stockholm. Formelen for energileddet viste seg også å være for komplisert [9].

Fortum har nå en fast effektpris på 747 SEK/kW per år, som betales med månedlig utbetaling. Dersom et datasenter kunne levere 1000 kW, ville det fått betalt 747 000 SEK per år. De har også satt faste energipriser, som er delt i to nivåer avhengig av utetemperatur [9].

- Når det er kaldere enn 5 °C ute betaler Fortum 150 SEK/MWh, (15 øre/kWh)
- Når det er varmere enn 5 °C ute betaler Fortum 100 SEK/MWh, (10 øre/kWh)

Fortum sier at leverandørene må garantere det avropet når det er kaldere enn 12 °C, som tilsvarer omtrent 6300 timer/år i et normalår i Stockholm. Effektprisen er uavhengig av levert temperatur. Leverandørene avtaler å levere 68 °C, men det er behov for høyere temperatur noen steder i nettet og på noen ekstremt kalde dager. Når Fortum har fastsatt effekt- og energipris har de tatt hensyn til at leverandøren, som investerer i varmepumpen, skal få en stor del av nytten, over 80 %, for at det skal bli lønnsomt. Kostnadsreduksjonen som oppstår ved at det kommer ny produksjon burde tilfalle leverandøren. Fortum bygger fjernvarmeledningen og investerer i denne, men de tar ut en årlig ledningsavgift som de tillegger leverandøren på 550 SEK/m, for å dekke kostnadene [9].

8.1.4 Bahnhof

I samtaler med Bahnhof kom det frem at den viktigste grunnen til at deres samarbeid med Fortum Värme er så vellykket er fordi de brukte lang tid på å finne riktig samarbeidspartner. Riktig markedsføring, gjensidig tillit og at begge aktører har et felles mål er noe av det som må ligge til grunn før man inngår et samarbeid. For at det skulle være lønnsomt for Bahnhof med tilknytning til fjernvarmenettet, måtte det en stor etablering til fra deres side. De så ikke økonomisk lønnsomhet i små prosjekter [75].

8.2 Datasentre i Oslo

8.2.1 Kartlegging av datasentre i Oslo

Informasjon om plassering og tekniske detaljer om datasentre er begrenset. Datasentre har vist seg å være tilbakeholdne med informasjon fordi de innehar mye sensitiv informasjon om bedrifter, som de ikke ønsker skal komme på avveie. I kartleggingen av datasentre i Oslo-området ble det tatt utgangspunkt i kartleggingen gjort av Norsk Energi i 2014 [4], [5]. Datasentre fra deres kartlegging, samt datasentre fra egen kartlegging ble kontaktet. Datatjenesteselskaper ble også kontaktet med spørsmål om de hadde interesse for temaet. De svarte at det var bedre å snakke direkte med datasentrene, da datatjenesteselskaper leier plass hos datasentre og sjeldent påvirker drift, og de har mest fokus på kunder og økonomi.

De datasentrene og datatjenesteselskapene vi har hatt kontakt med er:

- DigiPlex
- Blix Solutions
- IP-Only (tidligere Availo)
- Webhuset
- Broadnet
- Basefarm
- Bulk Infrastructure
- Verizon
- Nexthop
- Intility
- Evry
- Garnes Data
- TDC

8.2.2 Besvarelse av spørreundersøkelse

Interessentene vi snakket med som svarte på vår spørreundersøkelse, og svarene deres er kort oppsummert i Tabell 6. Videre er interessante datasentre beskrevet nærmere i kap 8.2.3 til 8.2.8.

Tabell 6: Svar på spørreundersøkelse til datasentre

	DigiPlex	Blix	Basefarm	Broadnet
Ledig kjøleeffekt (kW)	3 MW	6 kW (per skap)	1 MW	230-600 kW
Kjølesystem	Luftkjøling med vannbåren kjøling med konvektor i datasenteret og væske-til-væske kjølemaskin plassert i teknisk rom	Varmeutveksling, vannbasert	Luftkjøling med vannbåren kjøling med konvektor i datasenter, og kjølemaskin plassert ute som er direkte koblet til integrert luftkjølt kondensator	Isvannmaskin med frikjøling
Back-up system	To ekstra kjølemaskiner som driftes av generatorer står i stand by.	Generatorer som drifter back-up systemet	Generator som drifter en ekstra sløyfer med vann hvis det skjer noe med eksisterende sløyfe	N+1
Interesse rundt forretningsmodellen Åpen fjernvarme	Veldig interesserte. De har ikke hørt om Åpen fjernvarme før	Hørt om konseptet, men ikke gjort noen vurderinger på grunn av tekniske begrensninger i sitt anlegg	Hørt om konseptet, uten å kjenne detaljene. Veldig interesserte i varmegjenvinning.	Har ikke hørt om det.
Utslagsgivende faktor for tilknytning til fjernvarmenettet	Hvis lønnsomheten er høy nok, vil de kunne ta investeringen	Lønnsomheten vil være viktigst	En kombinasjon av alle faktorer. Effektivt drift og hensyn til miljøaspektet uten å øke risikoen	Miljø og nullkost
Formening av betaling for varmeleveransen	Nei, men så lenge de ser lønnsomheten i investeringen	Ingen vurdering rundt dette punktet	Ikke gjort noen reelle vurderinger, men de må se lønnsomheten i forhold til investeringen	Ingen vurdering

Hvem bør ta investeringskostnaden på varmepumpen, Hafslund Varme eller datasenter?	Hvis prisen for varmen er god nok kan de ta risikoen med investeringen av varmepumpen	Ingen vurdering rundt dette punktt	Kommer an på hvilken forretningsmodell som blir benyttet. Avhenger helt av hvordan kostnadskalkylen blir seende ut	Hafslund investerer i varmepumpen
Har det vært kontakt tidligere om et slikt samarbeid?	Har selv tatt kontakt med Hafslund varme for noen år siden	Har ikke blitt kontaktet tidligere	Kontakt med Akershus Energi om datasenteret på Lørenskog	Har ikke blitt kontaktet tidligere
Vurdering av risiko og driftssikkerhet ved tilknytning til fjernvarmenettet	Driftssikkerhet er noe av det viktigste. De må kunne garantere 100 % oppetid	Bruker mye av overskuddsvarmen selv på vinteren, derfor usikre på leveringssikkerheten	De viktigste aspektene ved konseptet. De vil alltid stole på sitt eget kjølesystem og kjøling levert vil dermed kun være bonus, men ha back-up i tillegg	Det må være sikkert at overskuddsvarmen forlater systemet til enhver tid, så det ikke overbelaster systemet
Viktigheten for kundene deres at datasenteret er miljøvennlige	Veldig viktig. De gir garanti for opprinnelse av strømmen	Veldig viktig at de kan si at de har miljøvennlig drift, ved å ha grønn strøm	De ser en utvikling i at miljøaspektet blir viktigere og viktigere ved at kundene stiller strengere krav til miljøbevissthet.	Primærfokus er oppetid og de får ikke spørsmål om miljø

8.2.3 DigiPlex

DigiPlex er et datasenterselskap med tre datasentre i Norge, på Ulven, Rosenholm i Oslo og på Fet i Akershus. Datasenteret på Fet åpnet i 2015 og er et samarbeid mellom IT-selskapet Evry og DigiPlex. Der anvendes indirekte frikjøling som kjøleløsning, og de oppgir å ha en PUE på 1,1 og at kjøleløsningen har bidratt til å redusere energikostnader med 25 % [76]. Datasenteret på Rosenholm er i kjelleren på Rosenholm Campus. I Oslo er det datasenteret på Ulven som anses som interessant med tanke på varmegjenvinning til fjernvarmenettet.

DigiPlex på Ulven

DigiPlex sitt datasenter på Ulven, ved Økern, har et areal på 4 700 m² teknisk areal. De benytter seg av et HVAC system (heating, ventilation and air condition). I kalde perioder kan DigiPlex benytte seg av 100 % frikjøling [77]. Kjølesystemet deres kan beskrives med kjøleløsning 1a). De har frikjølere på taket som tar inn kald uteluft og kjøler ned en blanding

av vann og glykol som tåler frost gjennom varmevekslere. I teknisk rom benyttes radiatorer som varmevekslere for å bytte kjølemedie til vann [47]. I teknisk rom er det installert seks kjølemaskiner, som benyttes til kjøling når utetemperaturen ikke er lav nok til å benytte frikjøling, omtrent ved temperaturer over 5 °C. Kjølemaskinene er koblet til hvert enkelt kundeareal. Kjølevannet passerer kjølemaskinene og går videre til konvektor for å kjøle ned luften inne i kundearealet i datahallene. Temperaturen på kjølevannet inn til konvektoren er 10 °C og ut av konvektoren 16 °C. Ved tilkobling til fjernvarmenettet vil det være mulig med installering av en varmepumpe i teknisk rom som erstatter kjølemaskinene og henter overskuddsvarme på 16 °C med total ledig kjøleeffekt på 3 MW. Ved tilknytning til varmepumpe som leverer kjøling vil de eksisterende kjølemaskinene til DigiPlex kunne fungere som back-up. Det er ikke noe problem å skru disse av og på avhengig av behov [78].

DigiPlex tok kontakt med Hafslund Varme for noen år siden og ønsket da å se på mulighetene for mulig varmegjenvinning fra deres datasenter. Den gang ble det ikke noe av, da Hafslund Varme ønsket å få betaling for varmen [47]. DigiPlex uttrykker at det er interessant at det er utviklet nye forretningsmodeller som gjør at deres overskuddsvarme blir verdifull. DigiPlex bekrefter at de er interessert i å se nærmere på forretningsmodellene, og hvilke muligheter dette gir [78].

Obos og DigiPlex

Obos har vist interesse for varmegjenvinning fra DigiPlex i forbindelse med et stort byggeprosjekt på Ulven, i området rundt DigiPlex. Boligprosjektet omfatter planer om å bygge ut 3000 nye boliger og 200 000 m² med nye næringslokaler. Salgsstart er planlagt sommeren 2017 og innflytting starter i 2019/2020. Området Obos planlegger å bygge ut de neste 20 årene er vist i Figur 14. Den blå pilen viser hvor DigiPlex i Ulvenveien 89 ligger.



Figur 14: Obos sine planer for Ulven-området [79]

Obos ønsker å bygge en bydel med grønne løsninger, blant annet ved å benytte overskuddsvarme fra noen av bedriftene på Ulven [79]. Obos vurderer å benytte seg av overskuddsvarme fra DigiPlex sitt datasenter, og Enova støtter forprosjektet [80]. Obos har satt i gang en utredning der Norconsult undersøker mulighetene for å bygge ut et lavtemperaturnett koblet til bygg i nærheten. DigiPlex har kontakt med Enova og Norconsult i forbindelse med utredningen, men det er ikke tatt noen beslutning om prosjekt enda [78].

8.2.4 Bulk Infrastructure

Bulk Infrastructure eier datasenteret Oslo Internet Exchange (OS-IX) i Oslo i Hans Møller Gassmanns vei 9, videre kalt HMG9, som er en co-location. Akershus Energi eier 50 % av dette datasenteret [81]. Datasenteret er delt i flere datahaller der ulike firmaer har ansvar for egen drift. Dette gjelder blant annet datatjenesteselskapene Verizon og IP-Only. Disse firmaene hadde ikke mulighet til å svare på spørreundersøkelsen, på grunn av strenge regler for konfidensialitet. Bulk Infrastructure holder på med en oppgradering og utbygging av noen av hallene i OS-IX, slik at det legges til rette for moderne drift av datasenteret. Bygget har totalt areal på 25 000 m², og i april oppgraderte de installert effekt til 14,5 MW [82].

Bulk Infrastructure hadde ikke anledning til å svare på spørreundersøkelsen, da de uttaler å ikke ha kommet langt nok i disse spørsmålene selv. De oppgir likevel at de har fokus på miljø, og antar at dette blir viktigere i bransjen i fremtiden. Deres kjøleløsning i HMG9 er tilsvarende kjøleløsning 1a), med væske-til-væske kjølemaskin i teknisk rom og tørrkjøler plasser ute, som kan benytte frikjøling. De uttrykker at varmegjenvinning og forretningsmodellen til Fortum Värme kan være interessant for dem [83]. Det kan være interessant å kontakte Bulk Infrastructure angående HMG9 i fremtiden. Bygget ligger 25 m unna fjernvarmenettet.

Bulk Infrastructure bygger også et nytt stort hyperscale datasenter, Campus N01, ved Vennesla. Bulk skal tilby utleie av areal og datasentermoduler, og tilbyr strøm og fiber. Det er installert 100 MW på tomten, og de har ført eget fibernett fra Oslo til Vennesla [82]. Det er tiltenkt at flere ulike aktører kan etablere seg, og aktørene skal selv velge egne kjøleløsninger. De har gjort noen vurderinger av varmegjenvinning på Vennesla, og har da vurdert varmegjenvinning til Agder Energi sitt fjernvarmenett. Dette ligger langt unna, og de vurderer annen lokal utnyttelse som mer interessant, som varmegjenvinning til drivhus. Dette anser de som aktuelt flere år frem i tid [83].

8.2.5 Blix solutions

Blix solutions er et datatjenesteselskap med egne datasenter i Oslo. I kontakt med Blix solutions oppga konsulentene en ledig effekt på 6 kW per serverskap, men hadde ikke mulighet til å oppgi hvor mange skap det er snakk om. De hadde hørt om konseptet åpen fjernvarme, men hadde ikke gjort noen vurderinger om egen tilknytning til fjernvarmenettet.

Mye av grunnen til det var fordi de hadde tekniske begrensninger i sitt eget anlegg, som ville gjort tilkobling dyr og lite lønnsom. På vinteren bruker de mye av overskuddsvarmen selv, og vil da ikke kunne være leveringssikre. De har ikke blitt kontaktet tidligere om varmegjenvinning, men det kom frem at de ikke er interessert. Miljøvennlig drift er veldig viktig for deres kunder, men det går mer på at Blix kan gi opprinnelsesgaranti for strømmen de bruker til å drifte datasenteret.

8.2.6 Broadnet

Broadnet er et firma som tilbyr tjenester innen fibernett, datatjenester og co-location datasenter. De leier plass på datasentrene til DigiPLEX på Rosenholm og på Ulven. De har også sitt eget datasenter på Vollebakk i HMG9, men for øyeblikket er ledig effekt kun 230 kW, som kan oppgraderes til 600 kW. Broadnet har ikke hørt om Åpen fjernvarme, og mener at ved varmegjenvinning burde Hafslund investere i varmepumpen. De er opptatt av miljø, men for kundene deres er det oppetid som er det viktigste og de ikke opplever å få spørsmål om miljø [84].

8.2.7 Basefarm

Basefarm har to datasentre i Oslo-området, et på Kalbakken og et på Lørenskog. Datasenteret på Kalbakken i Stanseveien 30 ligger innenfor konsesjonsområdet til Hafslund, med en avstand på omtrent 350 m fra fjernvarmenettet. Det vil si at de er en viktig interessent for mulig samarbeid med Hafslund varme, men at avstanden fra fjernvarmenettet vil føre til en ekstra kostnad i form av nye fjernvarmeledninger frem til datasenteret. I samtale med Basefarm forteller de at de har erfaring fra varmegjenvinning ved deres datasenter i Sverige. Her får de levert kjøling fra fjernkjølingsnettet, og leverer overskuddsvarmen på fjernvarmenettet. Basefarm i Norge stiller seg og positive til varmegjenvinning, men de ikke har opplevd at overskuddsvarmen deres har hatt noe verdi for fjernvarmeaktørene før nå [85].

På datasenteret på Kalbakken har de et overdimensjonert kjølesystem med totalt installert kjøleeffekt på 2,8 MW, hvor omtrent 1 MW er ledig kjøleeffekt som vil kunne benyttes til varmegjenvinning på fjernvarmenettet. Kjølesystemet deres tilsvarer kjøleløsning 1b), vannbåren kjøling med konvektor i datasenter hvor kjølemaskinen er plassert ute og som er direkte koblet til integrert luftkjølt kondensator. Det er installert en varmepumpe i anlegget med en kapasitet på omtrent 50-100 kW, som benytter noe av overskuddsvarmen til oppvarming av lokalene deres. Det vil trolig ikke være mulig å seriekoble denne varmepumpen for å kunne levere på fjernvarmenettet, på grunn av for lav kapasitet. Det er derimot interessant å se at det er teknisk mulig med installasjon av varmepumpe i deres anlegg [85].

Basefarm har hatt kontakt med Akershus Energi om mulig samarbeid om varmegjenvinning fra datasenteret på Lørenskog. Her er det kun fylt opp 30 % av kapasiteten, så når de når en viss terskel, og har nok ledig effekt vil de starte med å gjenvinne overskuddsvarmen fra deres datasenter. Det gjelder både til eget bruk og til salg av varmen, dette forklares nærmere i kapittel 8.4.1 [85].

8.2.8 TDC

Det danske teleselskapet TDC har sitt datasenter plassert på Kalbakken, i Stålfjæra 24. Kjølesystemet deres er lignende kjøleløsning 1a, vannbåren kjøling med kjølemaskin plassert i teknisk rom og tørrkjøler plassert ute. De oppgir å ha ledig effekt på rundt 1 MW [47]. Datasenteret er plassert 225 m unna fjernvarmenettet. Dette datasenteret ligger rett i nærheten av Basefarm i Stanseveien 30, omtrent 75-100 m. Det kan derfor vurderes samarbeid med begge datasentrene hvis man velger å legge fjernvarmerør til et av datasentrene.

Gjennom DataCenter Norway ble det opprettet kontakt med TDC i slutfasen av masteroppgaven. Det var dermed ikke tilstrekkelig tid til å gjennomføre spørreundersøkelsen med riktig person hos TDC, men TDC har vist stor interesse for tilknytning til fjernvarmenettet til Hafslund. Konsulenter i TDC, Bravida og DataCenter Norway har hatt befaring for å undersøke mulighetene for tilknytning, og ønsker at prosjektet følges opp med et forprosjekt, med mulighet for oppstart etter ferien 2017 [86]. TDC har installert en varmepumpe som benytter overskuddsvarme til oppvarming av egne lokaler. Denne varmepumpen har trolig for lite kapasitet for seriekobling av varmepumper for varmegjenvinning, men det vil si at tilkoblingen til en varmepumpe for å utnytte overskuddsvarmen er mulig i deres kjølesystem. Det viser og at de har tenkt fremtidsrettet ved å installere fleksible komponenter i sitt anlegg [47].

8.3 Oslo kommune

Oslo kommune er en viktig interessent for Hafslund Varme i forbindelse med varmegjenvinning fra datasentre. Klima- og energistrategien til Oslo kommune er kartlagt, samt deres satsning på klimavennlige byområder. I samråd med Hafslund Nett er det kartlagt hvilke områder i Oslo som har nødvendig nettkapasitet for etablering av et nytt datasenter.

8.3.1 Klima- og energistrategi for Oslo kommune

Oslo er Europas raskest voksende hovedstad, og dette fører med seg et økt behov for energi. Oslo vil møte fremtidens klimautfordringer mot 2030 med en ambisjon om å være en nasjonal og internasjonalt anerkjent miljø- og klimaby [87]. I Oslo kommunes klima- og

energistrategi fra 2016 er det satt mål om reduksjon av klimagassutslipp med 50 % innen 2020 og med 95 % innen 2030, sammenliknet med utslippsnivået fra 1990 [3].

Det er vedtatt at det skal utvikles en overordnet plan for vannbåren energi, en varme- og kjøleplan, for Oslo innen 2020 [3]. Fjernvarme, kjøling og lokal vannbåren energi kan bidra til å sikre et fleksibelt energisystem, med godt samspill mellom el og vannbåren energi. I fremtiden er det forventet et økt elforbruk blant annet til elbiler. Økt bruk av vannbåren energi kan føre til at elektrisitet som ellers ville vært brukt til oppvarming heller kan benyttes til andre formål.

I klima- og energistrategien er det beskrevet at lokal energiutnyttelse må prioriteres der det er mulig, slik at energieffektive og fornybare løsninger innenfor det lokale utbyggingsområdet kan benyttes. Hovinbyen er et satsningsområde i Oslo som skal utvikles med klimavennlige energiløsninger. Furuset er et av områdene innenfor Hovinbyen. FutureBuilt Furuset vil kunne gå foran som fyrtårnsprosjekt for lokal energiutnyttelse og utvikling av et bærekraftig mikroenergisystem [3].

Hovinbyen

Hovinbyen er et stort område som strekker seg fra Bjerke i nord til Bryn i sør, Løren i vest og Breivoll i øst. Det dekker i tillegg deler av bydelene Gamle Oslo, Grunerløkka, Alna og Bjerke. Det er det største utviklingsområdet i Oslo med et potensial på 30 – 40 000 nye boliger, med plass til 60 – 80 000 innbyggere og 50 – 100 000 nye arbeidsplasser. Området skal utvikles fra å være industriområde, slik det er i dag, til å bli et attraktivt område både for beboere og arbeidsgivere. Ønsket for hovinbyen er at det skal bli et klimavennlig byområde med lave CO₂-utslipp, hvor bil ikke vil være en nødvendighet for transport. Det er et ønske om at alle nye bygg utformes med grønne tak og/eller solcellefangere, og at nyutviklede energiløsninger legger vekt på optimalisering og energieffektivisering [88].

FutureBuilt på Furuset

Oslo kommune er medeier i FutureBuilt, og Furuset er Oslo kommunes forbildeområde for klimavennlig byutvikling. FutureBuilt er et tiårig samarbeid som strekker seg fra 2010 til 2020, hvor visjonen er å utvikle 50 forbildeprosjekter. Disse prosjektene skal være klimanøytrale byområder med lavest mulig klimagassutslipp, og som i tillegg bidrar til å redusere energibruken i bygg [89]. Oslo bystyre vedtok i november 2016 en områderegulering med konsekvensutredning og reguleringsbestemmelser for klimaeffektiv Furuset [90]. Et av de prioriterte prosjektene i reguleringen er å utvikle et mikroenergisystem på Furuset. Et mikroenergisystem er et system som kan ta i mot energi fra de som kan levere overskuddsenergi, og kan levere energi til de som har behov for energi. Det spiller sammen med det ytre energisystemet, som kraftnettet og fjernvarmenettet. For å designe et fremtidsrettet energisystem arbeides det blant annet med vannbåren varme og kjøling [89].

Hafslund Varme har fått konsesjon for å føre fjernvarme til Furuset, og er involvert i FutureBuilt sitt arbeid på Furuset. De har også sendt inn søknad til EU-prosjektet Horizon 2020 angående energisystem på Furuset. Hafslund Varme ser på mulighet for etablering av et lavtemperaturnett. Et lavtemperaturnett kan levere varme til bygg i området på et temperaturnivå på rundt 70 °C, som er tilstrekkelig for tappevann og vannbåren varme i disse byggene. Hafslund Varme ser også på mulighetene for termisk lagring. Det vurderes om det er interessant å etablere et kjølenett på Furuset, men det kan også være aktuelt å kun benytte seg av sorptiv kjøling. Sorptiv kjøling benytter kald uteluft, men på varme dager kan lavtemperaturnettet brukes til å tørke luften før vann tilsettes og det kan benyttes til kjøling. Der er en del usikkerhet knyttet til hva som vil skje på Furuset. Mye av eksisterende bebyggelse har elektrisk oppvarming i dag, og det er usikkert hvor mye som vil konvertere til vannbårent system [58].

8.3.2 Kartlegging av mulige plasseringer av nytt datasenter

Muligheten for etablering av et nytt mellomstort datasenter i Oslo med tilknytning til fjernvarmenettet er kartlagt ved å undersøke nettkapasiteten. I samtale med Hafslund Nett kommer det frem at det er kapasitet i regionalnettet som muliggjør etablering av et nytt mellomstort datasenter med installert effekt opp mot 20 MW flere steder i Oslo. Store deler av regionalnettet innenfor Ring 3 er oppgradert, og de aller fleste transformatorstasjonene er tilkoblet 132 kV nettet. Installert effekt opp mot 20 MW kan leveres fra høyspent distribusjonsnett på 11 kV. Ved installert effekt over 20-25 MW vil det sannsynligvis være nødvendig å føre regionalnett frem til datasenteret [57].

Det er kartlagt flere områder innenfor Hovinbyen hvor det kan være mulig å bygge et nytt datasenter med nærhet til transformatorstasjoner. Groruddalen er også nevnt som et interessant område. For de ulike områdene beskrives nettkapasiteten, og dersom det er interessant, hva som er Hafslund Varmes planer med tanke på oppgraderinger eller utbygging, og hva som er Oslo kommunes planer for byutvikling.

Løren/Hasle

Dette området forsynes av Løren transformatorstasjon, som ligger i Lørenveien 49. Denne transformatorstasjonen har god kapasitet [57]. Det kunne vært interessant å se på mulighet for etablering av et datasenter i nærheten av Hasle varmesentral, som forsynes av Løren transformatorstasjon. Her har Hafslund Varme en elektrokjel på 10 MW som etter hvert skal oppgraderes til 40 MW [57]. Fjernvarmenettet skal bygges ut i området, det er tilgang på billigere tomter enn midt i sentrum og det er kollektivknutepunkt. Løren er et område med mye byggeaktivitet, og ny T-bane mellom Sinsen- og Økern har blitt bygget og satt i drift i april 2016, med Løren stasjon som holdeplass sentralt i dette området [91].

Vollebekk

Dette området forsynes av Linderud transformatorstasjon, som ligger i Statsråd Mathiesens vei 14. Linderud får inn 47 kV på eksisterende luftledning i dag [57]. Hafslund Varme planlegger et lavtemperaturnett på Vollebekk, i nærheten av HMG9. Lavtemperaturnettet skal levere varme til byggene i nærheten. Tanken er å bruke varme fra kloakken til å levere til lavtemperaturnettet, ved at de først spisser med returen fra fjernvarmenettet. Da får lavtemperaturnettet en turtemperatur på 70 °C, som er tilstrekkelig for disse byggene. Det er usikkert når de kan sette i gang med varmegjenvinning fra kloakken. Vann og avløpsetaten i Oslo kommune skal oppgradere avløpsnettet der, og det er fortsatt usikkert når dette skal skje, derfor har Hafslund Varme bedt dem fremskynde prosessen [92].

Ulven

Dette området forsynes for det meste fra Ulven transformatorstasjon, som ligger i Ulvenveien 109. Digiplex på Ulven får levert strøm fra Løren transformatorstasjon. Det betyr at hvilken transformatorstasjon som blir benyttet avhenger av hvor på Ulven det er snakk om. På Ulven er det sterk nettilgang ved at Statnett får 300 kV inn fra sentralnettet [57]. Ulven kan være et interessant område for etablering av nytt datasenter fordi det er mye byggeaktivitet i området. Det skjer en stor utvikling med Obos-utbyggingen av boliger og næringslokaler. Det ligger muligheter i varmegjenvinning fra datasentre ved at Obos har meldt interesse for bruk av overskuddsvarme fra nærliggende bedrifter.

Furuset

Dette området forsynes av Leirdal transformatorstasjon, som ligger i Strømsveien 346. Nettkapasiteten er god på denne transformatorstasjonen [57]. Området forsynes også fra Furuset transformatorstasjon, som ligger i Professor Birkelands vei 38, som er med å forsyne Oslo med 300 kV inn fra sentralnettet. Furuset kan være interessant for etablering av nytt datasenter. Hafslund Varme har fått konsesjon for å føre fjernvarmenettet hit og er involvert i FutureBuilt sitt arbeid på Furuset. De ser og på mulig etablering av et lavtemperaturnett, kjølenett og termisk lagring. Oslo kommune vil at Furuset skal gå foran som et forbildeområde for klimavennlig byutvikling, og dermed kunne det vært interessant å se på muligheten for etablering av et nytt datasenter med intensjon om å tilføre lokal overskuddsvarme til området [92].

Groruddalen

Groruddalen er et stort område som består av bydelene Alna, Bjerke, Grorud og Stovner. Det er god nettkapasitet i hele Groruddalen. Området forsynes fra ulike transformatorstasjoner. Leirdal transformatorstasjon er nevnt i avsnitt om Furuset. Ammerud transformatorstasjon ligger i Ammerudveien 30 og Haugenstua transformatorstasjon ligger i Kristoffer Robins vei 11. I Groruddalen er det lavere tomtepriser enn nærmere sentrum, noe som kan være gunstig med tanke på etablering av et nytt datasenter.

8.4 Andre norske aktører med interesse for varmegjenvinning fra datasentre

8.4.1 Akershus Energi

Akershus Energi har fjernvarmenett i området rundt Lørenskog. De ønsker å utnytte overskuddsvarmen fra Basefarm sitt datasenter på Lørenskog. Det ligger i deres kjerneidé å utnytte lokale energiresurser de har tilgang til, og deres samfunnsoppdrag er å utvikle nye løsninger slik at ingen energi går til spille. Et datasenter er en overskuddsvarmeressurs til fjernvarmenettet på lik linje med kloakk og grunnvann, men med høyere og mer stabile temperaturer. Datasenteret ligger i nærheten av deres fjernvarmenett, som gjør at investeringskostnader til graving og rørledninger ikke blir for høye [93].

Akershus Energi tok tidlig kontakt med Basefarm da det kom frem at det skulle bygges et datasenter på Lørenskog. Datasenteret holder på å fylle opp sin serverkapasitet. Til nå er det omkring 750 kW ledig kjøleeffekt fra datasenteret. Når datasenteret har fylt opp sin kapasitet er det forventet å være betydelig større. Det vil derfor være snakk om installasjon av varmepumper i flere omganger, for å møte den gradvise veksten i datasenteret [93].

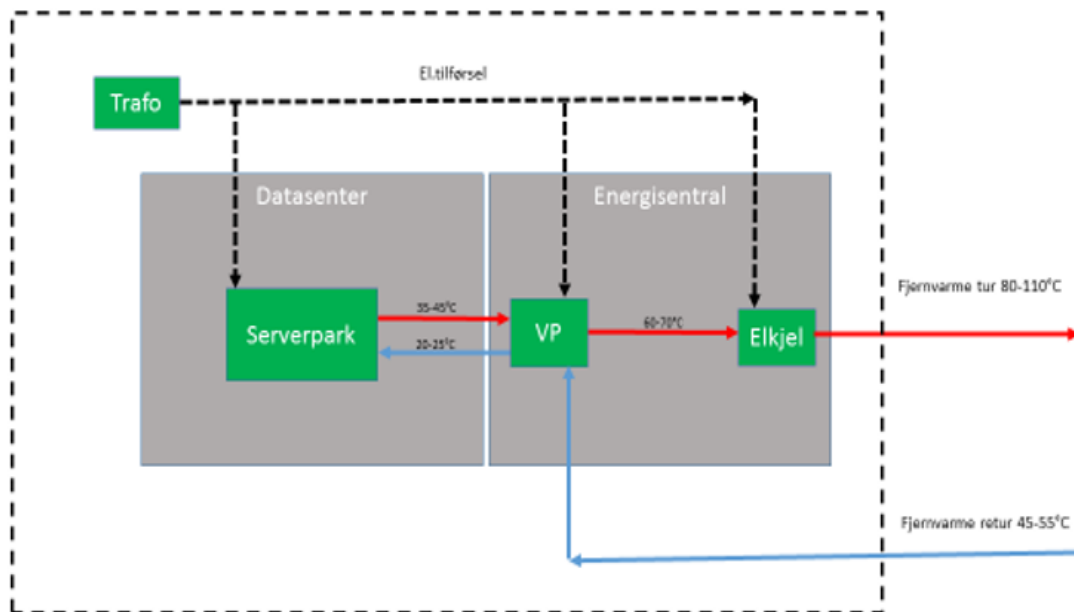
Det er flere mulige forretningsmodeller for varmegjenvinning. For å finne en god modell burde begge parter være åpne og sammen gjøre en vurdering på hvilken løsning som er mest lønnsom for begge parter. Det viktigste med modellen som blir utarbeidet er at det fører til at mest mulig varme blir gjenvunnet [93].

Akershus Energi har kartlagt tre alternative forretningsmodeller [93]:

1. Datasenteret etablerer en energisentral og selger overskuddsvarmen til fjernvarmeselskapet.
2. Fjernvarmeleverandør etablerer energisentral og selger kjøling til datasenteret utenom frikjølingsperioder, og får tilgang til å kjøpe overskuddsvarmen.
3. Fjernvarmeleverandøren etablerer energisentral og leverer kjøling hele året og får all overskuddsvarmen fra datasenteret, også på vinteren.

Akershus Energi anser alternativ 3 som den mest interessante løsningen. Den går ut på at de tar investeringen av varmepumpene og en el-kjel til å spisse temperaturen. Ved at de selv tar investeringen har de mer kontroll og kan lettere samstyre driften sin. De leverer kjøling til datasenteret enten gratis eller til en veldig lav pris. Biproduktet av kjøleleveransen er overskuddsvarmen, som Akershus Energi kan bruke inn på sitt fjernvarmenett. Ved bruk av el-kjel for å spisse temperaturen kan Akershus Energi bestemme hvilken temperatur som er nødvendig i deres turlledning til enhver tid. Grunnen til at Akershus Energi ikke ønsker å levere inn på returledningen er at det kan føre til lavere effektivitet for de andre fornybare energikildene deres. Figur 15 viser tilkoblingen mellom fjernvarmenettet og datasenteret,

hvor overskuddsvarmen fra datasenteret blir brukt ut på turledningen. Dette er kun en prinsippskisse, så temperaturene som er skissert er fiktive [93].



Figur 15: Figuren viser tilkoblingen mellom fjernvarmenettet og datasenteret [93]

Modellen med alternativ 3 er lagt frem av Akershus Energi og er vurdert av Basefarm, og de er interesserte i denne løsningen, men ingenting er fastslått enda. Dersom det blir lagt frem et forslag fra Basefarm hvor de ønsker å eie varmepumpen selv er det også en mulighet, så lenge det er lønnsomt for begge parter. Dette vil da være alternativ 1 nevnt i avsnittet over, og da vil Basefarm få en pris for levert varme. Prisen kan ikke overskride produksjonskostnaden Akershus Energi har for andre energikilder, fordi det vil føre til at datasenteret ikke får levert overskuddsvarme, og at den dermed går til spille [93].

I samtale om tilrettelegging for varmegjenvinning fra datasentre uttaler Akershus Energi seg om at politiske krav kan føre til økt miljøeffektivitet og lønnsomhet ved varmegjenvinning. Eksempler kan være at redusert el-avgift kun vil gjelde for de som gjenvinner varmen og at det etableres en ny målestANDARD for energieffektivitet hos datasentre. Dette kan medføre en konkurransefordel for datasentre som varmegjenvinner. I fremtidens byer vil det være viktig å ha et helhetlig perspektiv på energiløsninger, med vannbåren varme til oppvarming, slik at elektrisitet kan brukes til andre formål. Det vil være gunstig å ha et fokus på at hele byområder skal være grønne og miljøvennlige, ikke bare at enkeltbygg skal ha lavt energiforbruk. I den sammenheng kan det være interessant med etablering av datasentre i nærheten av fjernvarme, slik at overskuddsvarmen kan benyttes til oppvarming av boliger [93].

8.4.2 Ringerike utvikling og Oslo Data Center Location

Ringerike kommune og lokal industri har tatt initiativ til den internasjonale satsingen Oslo Data Center Location. Ringeriksregionen anses som gunstig for etablering av store datasentre, med tilgang til fornybar energi, kjøling fra elv, nærhet til Oslo, høy sikkerhet og store tilgjengelige arealer [7]. Tomten til Oslo Data Center Location er på 1,7 km² og de har en 80 MW transformator på tomten. De er i kontakt med potensielle hyperscale kunder, men er også i kontakt med mindre norske aktører. Fjernvarmenettet er under 1 km unna tomten, og de anser det som en fordel at de har muligheten til å benytte seg av varmegjenvinning på et ferdig etablert fjernvarmenett. Tomten er ikke ferdig regulert enda, men det forventes at dette er gjort i løpet av 2017 [94].

Vardar Varme er fjernvarmeprodusenten i Hønefoss og Vestfossen. Deres fjernvarme er basert på bioavfall fra lokal skognæring. Forbrenning av flis og bark på anlegget deres på Follum produserer damp som varmer opp vannet til fjernvarmenettet. Vardar Varme samarbeider med Oslo Data Center Location, og de vurderer hvordan overskuddsvarmen fra et fremtidig datasenter kan benyttes på best mulig måte. De ser for seg at de kan levere kjøling til datasenteret med vann fra elva, og at datasenteret kan levere overskuddsvarme. Forretningsmodellen kan bli at datasenteret betaler for levert kjøling og at de som benytter seg av overskuddsvarmen betaler for levert varme [95].

Vardar Varme vurderer flere muligheter for bruk av overskuddsvarmen. Det som anses som den mest interessante muligheten er tilknytning mellom datasenter og industrivirksomheten på Treklyngen. Treklyngen eier en industritomt med energikrevende skogsindustri i nærheten av der datasenteret skal etableres. Overskuddsvarmen fra datasenteret kan transporteres til Vardar Varmes flisfyringsanlegg der vannet varmes videre til damp, som videre kan benyttes av Treklyngens industrivirksomhet. Da får de en forvarming av vannet istedenfor å varme opp kaldt ellevann. Det utarbeides etablering av en større industrivirksomhet på Treklyngen med bioenergi- og biodrivstoffproduksjon som også vil trenge damp gjennom hele året [95].

Vardar Varme vurderer også muligheten for å benytte overskuddsvarmen på fjernvarmenettet med tilknytning til en varmepumpe som løfter temperaturen til turtemperatur på 90 °C. Dersom dette blir et alternativ, vil det være naturlig for Vardar Varme å eie og drifte varmepumpen, hvis det er økonomisk lønnsomt. De anser ikke dette som den mest aktuelle løsningen. I dag har Vardar Varme overkapasitet på fjernvarmenettet sitt, og ser ikke behovet for overskuddsvarme fra datasenteret ut på fjernvarmenettet. Vardar Varme vurderer også muligheten for varmegjenvinning til lokalt gartneri [95].

8.4.3 Statkraft

Statkraft Varme har fjernvarmenett flere steder i Norge. I samtale med Statkraft Varme kommer det frem at de har gjort noe kartlegging av mulighetene for varmegjenvinning fra datasentre, og satt seg inn i teknologien. De har ikke observert så mye interesse for dette hos lokale datasentrene, men dette kan skyldes at utnyttelse av overskuddsvarme i fjernvarmesystemer er lite kjent og lite markedsført. De har den største andelen av fjernvarmenettet sitt i Trondheim, og i likhet med Hafslund Varme får de i Trondheim største del av varmeleveransen fra avfallsforbrenning. De har overskudd av varme og vil ikke ha behov for mer overskuddsvarme fra datasentre i sommermånedene. Dette gjør at det kan bli vanskelig med lønnsomhet i nye prosjekter med overskuddsvarme. Statkraft Varme forventer økt utnyttelse av overskuddsvarme, både fra datasentre og andre kilder, i sine fjernvarmesystemer. Dette er mest aktuelt i andre byer enn Trondheim, som har overskudd av varme fra avfallsforbrenning, men også i Trondheim vil dette bli vurdert [96].

Statkraft Varme mener at forretningsmodellen åpen fjernvarme, som Fortum Värme benytter i Stockholm vil kunne være aktuell i Norge i en situasjon der det er flere mindre aktører som leverer overskuddsvarme. Dersom det etableres et stort datasenter kan det være mer aktuelt med et samarbeid der varme leveres til fjernvarmenettet og fjernvarmeaktøren leverer kjøling [96].

Statkraft Varme har et prosjekt i Trondheim der de benytter seg av overskuddsvarme fra en industribedrift. Denne leverer kun varme i ukedagene, som er gunstig da det er størst behov for varme i ukedagene. I denne situasjonen tok Statkraft Varme hele investeringen med varmeveksler, rør og elforsyning. Statkraft kjøper varmen av industribedriften, men til en mye lavere pris enn dersom bedriften selv hadde tatt investeringen. Prisen på overskuddsvarmen ble fastsatt ved å regne på hvordan den totale gevinsten kunne deles likt mellom partene [96].

8.5 Nye datasentre til Norge

Norge ligger bak de andre nordiske landene når det kommer til etablering av store datasentre. Google har valgt Finland, Apple har valgt Danmark og Facebook har valgt Sverige for etablering av nye store datasentre. I etterkant av Facebook sin etablering i Luleå i Sverige har ni mindre datasentre etablert seg i nærheten. [97]. Det er et ønske om at flere store datasentre skal etablere seg i Norge. Det er flere aktører som jobber for etablering av datasentre i Norge, blant annet Invest in Norway, Statkraft og Datacenter Norway. Det er dermed grunn til å tro at det kan bli en økt etablering av datasentre.

8.5.1 Aktører som jobber for økt etablering av datasentre

Invest in Norway

Invest in Norway er en underorganisasjon av Innovasjon Norge, som jobber med tilrettelegging for internasjonale aktører som er interessert i å etablere seg i Norge. Dette inkluderer blant annet å jobbe for etablering av datasentre i Norge. På deres nettside er det oppgitt en liste over områder i Norge med mulighet for etablering av datasentre, og en liste over mellomstore datasentre i drift [98]. Invest in Norway arbeider hovedsakelig opp mot store internasjonale kunder som ønsker å være anonyme. De fungerer som en portal mellom store aktører og det norske markedet. Store aktører ser etter "greenfield" tomter, som er områder der de kan bygge opp virksomheten sin fra bunnen av. Oslo er ikke aktuelt for disse kundene på grunn av plassmangel. I kontakt med interessenter i Oslo har Invest in Norway har registrert at det er en interesse for bruk av overskuddsvarmen i Oslo blant co-locations. De har og merket seg at datasentre kan være interessert i å kjøpe kjøling fra andre aktører [99].

Statkraft

Statkraft Energi er involvert i arbeid med utvikling av datasentre i Norge. De samarbeider blant annet med Innovasjon Norge og Energi Norge. Arbeidet har gått ut på å lede evalueringsarbeidet til Energi Norge, leder nå arbeidet med å etablere en interesseorganisasjon i Norge og har drevet proaktivt salgsarbeid. Ønsket til Statkraft er å utvikle, markedsføre og selge prosjekter selv og i samarbeid med utviklere, kommune og tomteeiere [100].

Datacenter Norway (DC Norway)

Datacenter Norway er et foretak som ble lansert april 2017. Det er opprettet for å øke innovasjonen innen norsk datasenterindustri. Foretaket skal legge til rette for bærekraftig vekst og utvikling av datasentre i Norge, oppfordre til åpen dialog innad i bransjen, verdiskapning og aktiv fremme medlemsbedriftens næringsinteresser. Dette skal de jobbe for ved bruk av rådgivning, kompetansehevende tiltak, nettverk og infrastruktur, samt ved å jobbe aktivt med profilering av norske datasentre og -tjenester i inn- og utland [47]. Det anbefales videre kontakt med DC Norway da de har god innsikt og bredt nettverk innad i datasenterbransjen.

8.5.2 Interesser og krav

Rapporten "Data centre risk index" fra 2016 rangerer ulike land etter hvor store risikoene som påvirker datasenterets drift er. Island og Norge var de to landene som fikk høyest score og kom best ut av denne rangeringen. Felles for de fem landene som scoret høyest var at de hadde lav sannsynlighet for naturkatastrofer, var politisk stabile, hadde høy energisikkerhet og høy andel av fornybar energi [101]. Asplan Viak har kartlagt noen av de viktigste fordelene med å etablere store datasentre i Norge. Det er i hovedsak på grunn av tilgang på

fornybar energi med høy forsyningsikkerhet, gunstige prisvilkår og god tilgang til fibernet. I Norge er det høy sikkerhet, mye tilgjengelig areal, og kaldt klima. Den kalde luften, lokale elver eller sjøvann kan benyttes til energieffektiv kjøling [44].

Asplan Viak har utarbeidet en rapport på vegne av Energi Norge om fordelene ved etablering av store datasentre, DCE, i Norge og informasjon om vanlige kriterier for plassering av disse. Det finnes ingen store datasentre i Norge i dag. Rapporten skal være en veileder for internasjonale virksomheter. De viktigste kriteriene for etablering av store datasentre er funnet å være [12]:

- Tilgang til kraft, N-1, spenning > 132 kV
- Tilgang til fiber, N-2, direkte tilgang til internasjonale noder
- Tilgjengelig areal: større enn 100 000 m², 400 000 - 500 000 m² er å foretrekke
- Infrastruktur: Veitilgang med asfaltert 2-feltsvei, og minimum 1 times avstand til flyplass
- Avstand til bysentrum < 40 minutter, med tilknytning til utdannings- og forskningsinstitusjoner
- Proaktive og profesjonelle grunneiere med gode samarbeidsevner

Gjennom samtale med aktører som Oslo Data Center Location og Invest in Norway, som har kontakt med store aktører innen datasenterbransjen, er det kartlagt hva noen av de viktigste interessene til datasentrene er:

- Politisk stabilitet, lav risiko for korrupsjon og god samfunnsstruktur
- Forutsigbarhet i eiendomsskatt, elavgift og elpris
- Tilgang på grønn energi og kaldt klima
- Minimere risiko i alle ledd
- I spørsmål om varmegjenvinning er økonomisk lønnsomhet viktig

9 Resultat konseptvalgutredning (KVU)

Det er utført en konseptvalgutredning for å evaluere ulike alternative løsninger for tilknytning til datasentre. Med bakgrunn i markedundersøkelsen og kontakt med interessenter er behov, mål og krav for Hafslund og datasentre kartlagt. De datasentrene som vurderes for tilknytning til fjernvarmenettet beskrives og gjennomgår en alternativanalyse med utsiling gjennom absolutte og andre krav-analyse. Deretter utføres en flermålsanalyse av alternativene som går videre etter utsilingen. Til slutt beskrives usikkerheter og håndtering av disse.

9.1 Behovsanalyse

9.1.1 Prosjektutløsende behov

Prosjektutløsende behov defineres å være:

- Hafslund Varme sitt behov for mer kunnskap om varmegjenvinning fra datasentre ut på fjernvarmenettet, og kartlegging av muligheten for dette i Oslo-området.
- Hafslund Varme sitt behov for å få et beslutningsgrunnlag for hva de burde gjøre videre, og finne ut om varmegjenvinning fra datasentre er noe de skal jobbe videre med.

9.1.2 Samfunnsbehov

Samfunnsbehovene defineres til å være:

- Behov for å nå målene i klima- og energistrategien til Oslo kommune
- Behov for å redusere mengden overskuddsvarme som går til spille
- Behov for et fornybart og fleksibelt energisystem
- Behov for å kutte energiandelen fra fossile brensler
- Behov for å øke etablering av grønne datasentre i Norge

9.1.3 Interessentenes behov

Hafslund Varme

Hafslund Varme sine behov er definert å være:

- Behov for sikker levering overskuddsvarme med definerte verdier for trykk og temperatur som dekker fjernvarmekundenes behov gjennom året
- Behov for å overholde lover og rammebetingelser Hafslund Varme er underlagt
- Behov for å utnytte kommersielle muligheter for å øke fjernvarmeproduksjonen
- Behov for at varmegjenvinning fra datasentre er økonomisk lønnsomt, ved at datasenteret har høy ledig effekt og ligger i nærheten av fjernvarmenettet
- Behov for å fase ut fossil spisslast

Fjernvarmekundene

Fjernvarmekundene i Oslo sine behov er definert å være:

- Behov for stabil energiforsyning med riktig temperatur og trykk som dekker behovet gjennom hele året

Det anses ikke som nødvendig å nevne fjernvarmekundenes behov, mål, krav eller interesser videre i konseptvalgutredningen, da de ikke påvirkes av de alternative konseptene.

Datasentre

Datasenterselskapene sine behov er definert å være:

- Behov for å tilby kundene sine de tjenestene de betaler for til enhver tid, inkludert opptid på tilnærmet 100 %
- Behov for prioritert levering av kraft for å sikre kundens krav om opptid
- Behov for å drifte datasenteret med fornybar energi
- Behov for kjøling av IT-utstyret hele året, med et back-up system for kjøling i tillegg
- Behov for at teknisk løsning er fleksibel overfor endret kjølebehov og tekniske endringer i fremtiden
- Behov for et godt samarbeid med fjernvarmeselskapet, med gjensidig tillit og felles mål
- Behov for en forretningsmodell som gir økonomisk lønnsomhet
- Behov for at overskuddsvarmen skal ansees som en ressurs
- Behov for at tilknytning til fjernvarmenettet ikke fører til økt risiko
- Behov for at varmegjenvinning gir dem et konkurransefortrinn for å tiltrekke seg kunder som er opptatt av miljø

9.2 Mål

9.2.1 Samfunns mål

Samfunnsmålene er definert å være:

- Valgte alternative løsning har bidratt til å nå målene i klima- og energistrategien,
- Overskuddsvarme går ikke til spille, men benyttes til oppvarming for Oslos befolkning
- Valgte alternative løsning har bidratt til et fleksibelt energisystem med lokal energiutnyttelse
- Klimagassutslipp fra fjernvarmeproduksjonen reduseres
- Etablering av grønne datasentre i Norge øker

9.2.2 Effektmål

Effektmålene for de ulike interessentene er definert å være:

Hafslund Varme:

- Hafslund Varme er en aktør som kan ta i mot overskuddsvarme fra datasentre
- Valgte alternative løsning gir leveringsikkerhet
- Valgte alternative løsning gir økonomisk lønnsomhet
- Produksjonsmiksen til Hafslund Varme er mer klimavennlig enn den er i dag, med utfasing av fossil spisslast

Datasentre:

- Har økt kunnskap om fordelene og mulighetene til bruk av overskuddsvarme ut på fjernvarmenettet
- Har et godt samarbeid med Hafslund Varme om varmegjenvinning
- Valgte alternative løsning har optimal kjøleløsning og driftssikkerhet uten økt risiko
- Valgte alternative løsning gir økonomisk lønnsomhet
- Valgte alternative løsning er fleksibel overfor endret kjølebehov og tekniske endringer i fremtiden
- Overskuddsvarmen fra datasenteret anses som en verdsett ressurs
- Driften av datasenteret er mer miljøvennlig enn tidligere, som gir en konkurransefordel

9.2.3 Resultatmål

Resultatmålene er definert å være:

- Det er tatt en beslutning om tilknytning med varmegjenvinning til datasenter med tilstrekkelig ledig effekt og nærhet til fjernvarmenettet
- Avtale om samarbeid med datasenter om forretningsmodell er inngått
- Installasjon av teknisk løsning er utført, og varmegjenvinning er testet ut
- Tilknytning mellom datasenter og fjernvarmenettet er satt i normal drift med ønsket varmeleveranse

9.3 Krav

9.3.1 Absolutte krav

De absolutte kravene defineres å være:

- Datasenter ligger innenfor Hafslund Varmes konsesjonsområde, med maksimal avstand fra fjernvarmenettet på 250 m.
- Datasenter har tilgjengelig kjøleeffekt på over 1000 kW
- Datasenter er interessert i varmegjenvinning og samarbeid med Hafslund Varme

9.3.2 Andre krav

Det er valgt å spesifisere om andre krav i konseptvalgutredningen er funksjonelle, tekniske, miljøvennlige. Andre krav til valgt løsning er vist i Tabell 7.

Tabell 7: Andre krav for løsning

Type krav	Prioritet 1	Prioritet 2	Prioritet 3
Funksjonskrav	Den valgte løsningen gir leveringssikkerhet	Installert utstyr har god funksjonalitet og lang levetid	Den valgte løsningen skal være fleksibel overfor endret kjølebehov og tekniske endringer i fremtiden
Tekniske krav	Tekniske krav til varmepumpe er overholdt og overskuddsvarmen leveres ved spesifisert trykk og temperatur	Det skal være en effektiv utnyttelse av eksisterende infrastruktur for eksisterende datasenter	
Miljøkrav	Den valgte løsningen skal føre til reduksjon i klimagassutslipp	Den valgte løsningen skal føre til god utnyttelse av overskuddsvarme fra datasenter	Kjølemediet i varmepumpen tilfredsstiller miljøkrav og har lav GWP

9.4 Alternativbeskrivelse

I alternativbeskrivelsen vil først de alternative datasentrene i Oslo som vurderes for tilknytning til fjernvarmenettet bli beskrevet. En analyse av om disse tilfredsstiller de absolutte og andre krav fører til en utslising av alternativer. Deretter beskrives nullalternativet, og alternative datasentre for flermålsanalysen. Det er eksisterende datasenter i Oslo samt beskrivelse av et tenkt scenario med et nytt datasenter i Oslo. Alternative forretningsmodeller for tilknytning til fjernvarmenettet vil så beskrives. Kombinasjoner av alternative datasentre og alternative forretningsmodeller, som er alternativene som skal analyseres i flermålsanalysen vil beskrives til slutt.

9.4.1 Alternative datasentre i Oslo

De ulike datasentrene som er beskrevet i kapittel 9.2 og vurderes som alternative datasentre for tilknytning til fjernvarmenettet er:

- D1: Tilknytning til DigiPlex på Ulven
- D2: Tilknytning til Bulk infrastructure på Vollebekk, i HMG9
- D3: Tilknytning til Blix Solutions i Nydalen
- D4: Tilknytning til Broadnet på Vollebekk, i HMG9
- D5: Tilknytning til Basefarm på Kalbakken
- D6: Tilknytning til TDC på Kalbakken

9.4.2 Analyse av absolutte krav

Det undersøkes om alternativene tilfredsstiller de absolutte kravene fra kapittel 9.3.1. Det er kun D1 og D6 som oppfyller alle de absolutte kravene, dette er vist i Tabell 8. Dermed siles alternativ D2, D3, D4 og D5 ut fra videre analyse.

Tabell 8: Evaluering av absolutte krav for hvert alternativ

Absolutt krav er tilfredsstilt
Absolutt krav er ikke tilfredsstilt

Absolutte krav	Datasenter ligger innenfor konsesjonsområdet til Hafslund Varme, med maksimal avstand fra fjernvarmenettet på 250 m	Datasenter har tilgjengelig kjøleeffekt på over 1000 kW	Datasenter er interessert i varmegjenvinning og samarbeid med Hafslund Varme
D1			
D2			
D3			
D4			
D5			
D6			

9.4.3 Analyse av andre krav

Ved analyse av de andre kravene, funksjonskrav, tekniske krav og miljøkrav, antas det at både D1 og D6 vil kunne oppfylle disse kravene. Dermed siles ikke flere alternativer ut på bakgrunn av krav.

9.4.4 Nullalternativet

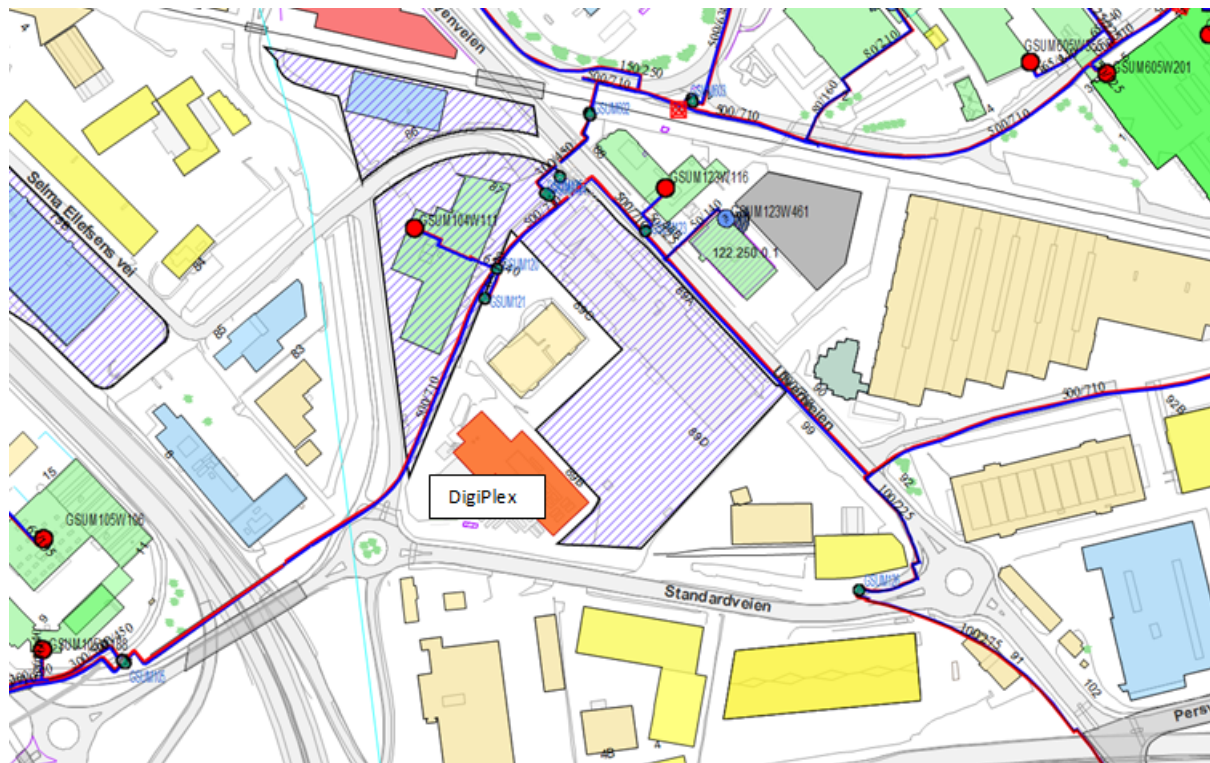
Nullalternativet beskrives som dagens situasjon for Hafslund Varme. I nullalternativet vil det ikke være tilknytning mellom fjernvarmenettet og eksisterende eller nye datasentre. Løsningen forblir den samme som den er i dag. Nullalternativet er en forsvarlig videreføring av dagens situasjon. Kostnadene referert til nullalternativet settes som 0, slik at man sammenligner de ulike alternativene ut fra nullpunktet. Nullalternativet tas ikke med videre i

alternativanalysen og flermålsanalysen da det ikke sees som sammenlignbart med de andre alternativene med tanke på oppfyllelse av behov, mål og krav. Nullalternativet kan likevel bli anbefalt som valgt løsning dersom de andre alternativene ikke kan anbefales ut i fra en totalvurdering fra flermålsanalysen.

9.4.5 Alternative datasentre for flermålsanalysen

D1: DigiPlex på Ulven

Datasenteret til DigiPlex på Ulven oppfyller de absolutte kravene som er satt. Datasenteret er plassert innenfor konsesjonsområdet til Hafslund Varme, er interessert i varmegjenvinning og har en oppgitt ledig kjøleeffekt på 3000 kW. Datasenteret ligger 25 m unna fjernvarmenettet til Hafslund Varme. Figur 16 viser et utsnitt fra Hafslund Varme GIS viser plassering av DigiPlex, markert som oransje. Fjernvarmenettet er markert som blå/rød linje.



Figur 16: DigiPlex på Ulven vist i utsnitt fra Hafslund Varme GIS

Det er valgt å definere tilknytning mellom DigiPlex og fjernvarmenettet som tilknytning med kjøleløsning 1a – før kjølemaskin. I samtale med DigiPlex ble det kartlagt som interessant for dem at varmepumpen kan levere kjøling til dem. Temperaturen på kjølevannet inn til konvektoren er 10 °C og ut av på rundt 16 °C.

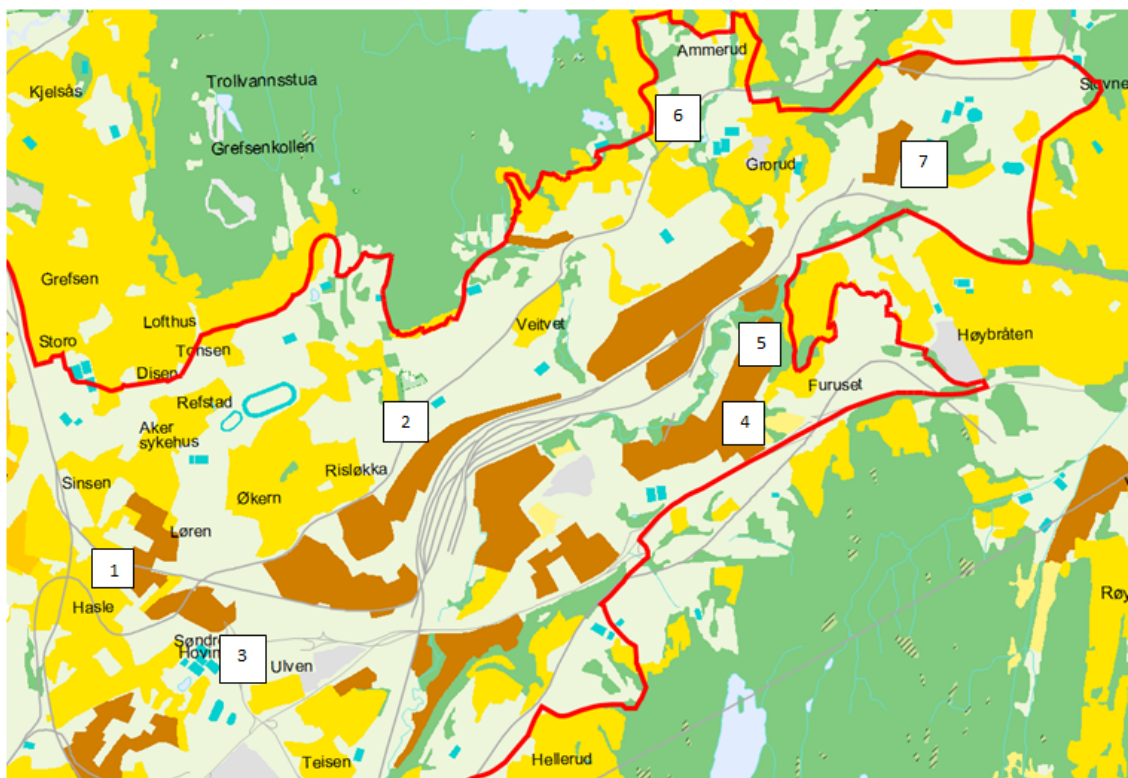
Det er hentet tilbud på varmepumper fra aktøren ThermoControl med ønske om kjøleytelse på 3 MW. Tilbudsskjema med tabell er vist i vedlegg 2, og en oppsummering av tilbud er vist i Tabell 9. Tilbud på varmepumper fra ThermoControl viser en COP på 2,85 og en

varmeleveranse på 4221,6 kW og kjøleytelse på 2742,6 kW med de temperaturene som er oppgitt. Dette gjelder for totalt tre varmepumper av typen Carrier 61XWH-ZE1451 koblet i parallell, med kjølemedium R1234ze som har en GWP verdi på 7. Kjøleytelsen er noe lavere enn ønsket, men det er valgt å bruke kjøleytelsen og varmelytelsen fra tilbudet videre i analysen, for å gi et estimat på datasenterets effekt ut på fjernvarmenettet.

D2: Nytt datasenter

Det er valgt å gjøre en undersøkelse av hvordan tilknytning til fjernvarmenettet vil være for et fiktivt nytt datasenter som etableres i Oslo. Dette er for å undersøke om det vil være annerledes enn tilknytning til eksisterende datasenter. Det er valgt å ikke komme med et spesifikt forslag på tomt eller område for nytt datasenter. Kartlegging av mulige plasseringer er vist i kapittel 8.3.2. Figur 17 viser deler av konsesjonsområdet til Hafslund Varme, avgrenset med rød linje, der interessante områder er nummerert. Tallene refererer til områdene:

- 1: Løren/Hasle: Løren transformatorstasjon
- 2: Vollebekk: Linderud transformatorstasjon
- 3: Ulven: Ulven transformatorstasjon
- 4: Furuset: Leirdal transformatorstasjon
- 5: Furuset: Furuset transformatorstasjon
- 6: Groruddalen: Ammerud transformatorstasjon
- 7: Groruddalen: Haugenstua transformatorstasjon



Figur 17: Interessante områder for etablering av nytt datasenter

Det er gjort en rekke antagelser for å kunne beskrive det fiktive, nye datasenteret. Det er gjort en antagelse om at datasenteret blir plassert innenfor konsesjonsområdet til Hafslund Varme med en avstand på 100 m fra fjernvarmenettet. Det er antatt at datasenteret vil benytte kjølesystemet LSV med høyere temperaturer ut av datasenteret. Temperaturen på kjølevannet inn til konvektoren er 18 °C og ut av konvektoren er 24 °C. Tilknytningen mellom det nye datasenteret og fjernvarmenettet er definert til å være tilknytning med kjøleløsning 1a – før kjølemaskin. Det er og antatt at datasenteret har en ledig kjøleeffekt på 5 MW. Det gjør at de absolutte kravene blir oppfylt. Det er antatt at den totale installerte effekten til det nye datasenteret er lavere enn 20 MW.

Det er hentet tilbud på varmpumper fra aktøren ThermoControl med ønske om kjøleytelse på 5 MW. En oppsummering av tilbud er vist i Tabell 9. Tilbud på varmpumper fra ThermoControl viser en COP på 3,31 og en varmeleveranse på 6876,4 kW og kjøleytelse på 4797,6 kW med de temperaturene som er oppgitt. Dette gjelder for totalt fire varmpumper av typen Carrier 61XWH-ZE1451 koblet i parallell. Kjøleytelsen og varmeytelsen fra tilbudet brukes videre i analysen.

D3: TDC

Datasenteret til TDC på Kalbakken oppfyller de absolutte kravene som er satt. Datasenteret er plassert innenfor konsesjonsområdet til Hafslund Varme, er interessert i varmegjenvinning og har en oppgitt ledig kjøleeffekt på 1 MW. Datasenteret ligger 225 m unna fjernvarmenettet til Hafslund Varme. Figur 18 viser et utsnitt fra Hafslund Varme GIS viser plassering av TDC, markert som oransje. Fjernvarmenettet er markert som blå/rød linje.



Figur 18: TDC på Kalbakken vist i utsnitt fra Hafslund Varme GIS

Det er valgt å definere tilknytning mellom TDC og fjernvarmenettet som tilknytning med kjøleløsning 1a – før kjølemaskin. Kontakt med TDC og beslutning om å ta dem med i analysen ble tatt etter at tilbud på varmepumper fra ThermoControl ble hentet inn. Varmepumpen som er brukt til analysen, med ønske om kjøleytelse på 1 MW, er vist i vedlegg 2, og er en av tre varmepumper av typen Carrier 61XWH-ZE1451, som ble tilbudt for ønsket kjøleytelse på 3 MW. Dette er lagt inn i Tabell 9. Tilbud på varmepumper fra ThermoControl viser en COP på 2,85 og en varmeleveranse på 1407,2 kW og kjøleytelse på 914,2 kW. Det er antatt at temperatur på kjølevannet inn til konvektoren er 10 °C og ut av konvektoren er på rundt 16 °C. Kjøleytelsen og varmeytelsen fra tilbudet brukes videre i analysen.

Tabell 9: Tilbudsskjema på varmepumper fra ThermoControl

Kjøleytelse		Varmeytelse	Temperaturer				Kjølemedium	COP
Ønsket	Tilbudt	Tilbudt	Kondensator		Fordamper		Tilbudt	Tilbudt
			Innløp	Utløp	Innløp	Utløp		
1 MW	Tot 914,2 kW	Tot 1407,2 kW	70	75	10	16	R1234ze	2,85
3 MW	Tot 2742,6 kW	Tot 4221,6 kW	70	75	10	16	R1234ze	2,85
5 MW	Tot 4797,6 kW	Tot 6876,4 kW	70	75	18	24	R1234ze	3,31

9.4.6 Alternative forretningsmodeller

I forretningsmodellene for varmegjenvinning fra datasentre er det valgt å definere at overskuddsvarme fra datasenteret kan leveres i perioden fra 01.01 til 30.04 og 01.10 til 31.12. Dette er satt som en antagelse ut i fra analyse av Hafslund Varme sin produksjon i denne perioden. Produksjonsmiksen blir dermed uendret fra 01.05-30.09. I perioden 01.01 til 30.04 og 01.10 til 31.12 vil det være en del timer der det ikke er behov for overskuddsvarme fra datasenteret. Det er ikke definert hvordan avtalen mellom Hafslund Varme og datasenteret vil være for disse timene. Det antas at Hafslund ikke får noen overskuddsvarme i disse timene. I perioden der datasenteret ikke får levere overskuddsvarme er det antatt at datasenteret vil kjøre sin opprinnelige kjøleløsning. For TDC og DigiPlex betyr dette å benytte sine opprinnelige kjølemaskiner, og for nytt datasenter betyr det å benytte kjølemaskiner eller annen back-up løsning som installeres.

F1: Hafslund eier varmepumpen, leverer kjøling og får overskuddsvarme

Denne forretningsmodellen defineres ved at Hafslund Varme investerer i varmepumpen og får levert overskuddsvarme på fjernvarmenettet, samtidig som de leverer kjøling fra motsatt side av varmepumpen. Kjøling er i fokus, og restproduktet er varme. Det er valgt å definere at Hafslund leverer kjøling gratis i bytte mot overskuddsvarmen. Dette er en forretningsmodell som bygger på gjensidig synergier.

F2: Datasenter eier varmepumpen og selger varmen til Hafslund

Denne forretningsmodellen defineres ved at datasenteret investerer i varmepumpen og tekniske installasjoner, og skal få betalt for levert overskuddsvarme. Det er antatt at varmepumpen er installert slik at den er definert som en kjølemaskin for datasenteret og kan levere kjøling til datasenteret, og at restproduktet er varme. Datasenteret får kun betalt for de timene det er behov for å motta overskuddsvarmen.

Denne forretningsmodellen bygger på Fortum Värme sin prismodell avrop, beskrevet i kapittel 8.1.3. Hafslund Varme avgjør hvor mye datasenteret får levere av overskuddsvarme. Prisen datasenteret får er en fast pris for tilgjengelig effekt, et effektledd, i tillegg får de betalt for levert energi, energileddet. Effektleddet gjelder for levert effekt på fjernvarmenettet per år. Prisene er inspirert av Fortums egne priser. Ved fastsetting av energipriser er det vurdert en inndeling etter gjennomsnittstemperatur. Januar-april og november-desember er måneder der gjennomsnittstemperaturen i Oslo er under 5°C, og mai-oktober er måneder der gjennomsnittstemperaturen i Oslo er over 5°C. Da gjennomsnittstemperaturen i Oslo i oktober er 6,3°C, som er rett over 5°C, vurderes det at det kan være samme energipris hele året [102]. Forutsetninger for prismodellen er beskrevet i Tabell 10.

Tabell 10: Effektpris og energipris

Fast Effektpris	750 kr/kW levert
Fast Energipris	150 kr/MWh (jan-april, okt-des)

Grensesnitt ved de ulike forretningsmodellene

Grensesnittet som er definert for begge forretningsmodellene er vist i Tabell 11.

Tabell 11: Grensesnitt for forretningsmodellene

	F1: Hafslund eier	F2: Datasenter eier
Varmepumpe	Hafslund investerer i og har ansvar for varmpumpe.	Datasenter investerer i og har ansvar for varmpumpe.
Fjernvarmerør	Hafslund investerer i og eier fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde samt innvendige rør til og med varmpumpe.	Hafslund investerer i og eier fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde samt innvendige rør frem til varmpumpe.
El-arbeid	Hafslund investerer i el-arbeid.	Datasenter investerer i el-arbeid.
Styring, regulering og overvåkning (SRO)	Hafslund investerer i og har ansvar.	Datasenter investerer i og har ansvar. Hafslund har ansvar for varmemåler for leveranse ut på fjernvarmenettet.
Service, drift og vedlikehold	Hafslund har ansvar, og må inngår avtale med datasenter om tilsyn og tilgang til teknisk rom.	Datasenter har ansvar for varmpumpe og komponenter de har investert i. Hafslund har ansvar for fjernvarmerør.

9.4.7 Kombinasjon av alternativer

Alternativ 1

Dette er en kombinasjon av D1 og F1. Kombinasjonen går ut på at Hafslund Varme tar investeringen for kjølemaskinen og installerer den hos DigiPlex på Ulven. Datasenteret får levert kjøling fra kjølemaskinen, i bytte mot at Hafslund Varme får overskuddsvarmen fra kjølemaskinen. Videre i analysen refereres dette alternativet til som A1.

Alternativ 2

Dette er en kombinasjon av D1 og F2. Kombinasjonen går ut på at DigiPlex tar investeringen i kjølemaskinen, får kjøling til sitt datasenter og selger overskuddsvarmen fra kjølemaskinen til Hafslund Varme. Videre i analysen refereres dette alternativet til som A2.

Alternativ 3

Dette er en kombinasjon av D2 og F1. Kombinasjonen går ut på at Hafslund Varme tar

investeringen i kjølemaskinen og installerer den i det nye datasenteret. Datasenteret får levert kjøling fra kjølemaskinen, i bytte mot at Hafslund Varme får overskuddsvarmen fra kjølemaskinen. Videre i analysen refereres dette alternativet til som A3.

Alternativ 4

Dette er en kombinasjon av D2 og F2. Kombinasjonen går ut på at datasenteret tar investeringen i kjølemaskinen, får levert kjøling fra denne og selger overskuddsvarmen fra kjølemaskinen til Hafslund Varme. Videre i analysen refereres dette alternativet til som A4.

Alternativ 5

Dette er en kombinasjon av D3 og F1. Kombinasjonen går ut på at Hafslund Varme tar investeringen for kjølemaskinen og installerer den hos TDC. Datasenteret får levert kjøling fra kjølemaskinen, i bytte mot at Hafslund Varme får overskuddsvarmen fra kjølemaskinen. Videre i analysen refereres dette alternativet til som A5.

Alternativ 6

Dette er en kombinasjon av D3 og F2. Kombinasjonen går ut på at TDC tar investeringen i kjølemaskinen, får kjøling til sitt datasenter og selger overskuddsvarmen fra kjølemaskinen til Hafslund Varme. Videre i analysen refereres dette alternativet til som A5.

Dersom det refereres til analyser av hvert datasenter skrives navnet på datasenteret, DigiPlex, nytt datasenter og TDC fremfor A1 og A2, A3 og A4, og A5 og A6.

9.5 Alternativanalysen

9.5.1 Risikoanalyse

Det er flere risikoer forbundet med installasjoner i et datasenter og ved tilknytning til fjernvarmenettet. De identifiserte risikoene og usikkerhetene er vist i Tabell 12.

Tabell 12: Risikoanalyse

Risiko	Evaluering av alternativene
Risiko forbundet med gjennomføringsevne av prosjektet.	Denne risikoen er størst for nytt datasenter, ved at det er et lenger tidsperspektiv før et nytt datasenter vil kunne tilknytte seg fjernvarmenettet, og dermed er det flere usikkerheter forbundet med om prosjektet blir gjennomført med et nytt datasenter.
Usikkerhet forbundet med strømprisutvikling	Denne usikkerheten vil være størst for A1, A3 og A5, der Hafslund har tatt investering i varmepumpen. Det betyr at hvis strømprisene øker mer enn forventet vil utgiften for drift av kjølemaskinen være høyere enn man har antatt.
IT-utstyret har kortere levetid enn forventet	Denne risikoen er større for DigiPlex og TDC, enn for nytt datasenter. DigiPlex og TDC vil ha noe eldre teknologi enn nytt datasenter, og teknologien må dermed byttes ut tidligere enn for nytt datasenter.
Installert varmepumpe har kortere levetid enn antatt	Denne risikoen vil være lik for DigiPlex, nytt datasenter og TDC da det er antatt at begge har varmepumper fra Carrier med levetid på 15 år.
Risiko forbundet med strømbrudd.	Denne risikoen vil være like stor for DigiPlex, nytt datasenter og TDC, og vil være like stor før og etter tilknytningen til fjernvarmenettet.

9.5.2 Klimaregnskap

Analyse av endret produksjonsmiks for DigiPlex, nytt datasenter og TDC

For å kunne analysere klimagevinsten ved de ulike alternativene er det utført et klimaregnskap for produksjonen fra 2016 og et klimaregnskap for hva ny produksjonsmiks kunne vært i 2016 ved bruk av overskuddsvarme fra et datasenter. For å sammenlikne produksjon fra Hafslunds eksisterende energibærere med produksjon der overskuddsvarme fra et datasenter har erstattet andre energikilder, er det utført analyser i Excel med Hafslunds produksjonsdata fra 2016. Det er oppgitt produksjon av energi per energibærer i MW for hver time gjennom året.

Rekkefølgen på hvilke energibærere som produserer varierer til en viss grad, på grunn av prisvariasjoner og varierende behov. Den prioriterte rekkefølgen for hvilke energibærere som kan produsere er oppgitt under:

Avfall → Næringsavfall → VP → El → Pellets → LNG → Bioolje → Biodiesel → Olje

I analysene er det testet ut hva produksjonsmiksen kan bli ved å erstatte den produserende energibæreren som er lengst til høyre i prioriteringen over for hver time med produksjon av overskuddsvarme fra datasenteret. Testen utføres for erstatting av olje, biodiesel, bioolje,

LNG og el-kjel, i prioritert rekkefølge. Dette er utført med HVIS-funksjoner i Excel. Først testes det om produksjonen fra datasenteret kan erstatte produksjonen fra olje i den timen. Hvis produksjonen til olje i den timen er null, blir også ny produksjon av olje null. Da vil testen gå videre til biodiesel, og teste om den har en verdi. Dersom produksjon fra olje er større enn produksjon fra datasenteret blir ny produksjon av olje differansen mellom produksjon olje og produksjon datasenter. Dersom produksjon fra olje er mindre enn produksjon fra datasenteret og større enn null, blir ny produksjon av olje null, og det dannes en restverdi for produksjon fra datasenteret. Da testes det videre om produksjon av biodiesel kan erstattes med denne restverdien. Slik analyseres alle energibærere som skal testes, og det beregnes en ny produksjonsmiks.

Forutsetninger for analysen er vist i Tabell 13. Resultater fra beregning av ny produksjonsmiks er vist i

Tabell 14.

Tabell 13: Forutsetninger for analyser i Excel

Forutsetninger	Forklaring
Tidsperiode	Overskuddsvarme fra datasenteret kan leveres fra 01.01 til 30.04 og 01.10 til 31.12. Produksjonsmiksen blir dermed uendret fra 01.05-30.09. I perioden 01.01 til 30.04 og 01.10 til 31.12 vil det være noen timer der det ikke er behov for overskuddsvarme fra datasenteret, og det regnes ikke ut en ny produksjonsmiks for disse timene.
Energibærere som ikke erstattes	Overskuddsvarme fra datasenteret skal ikke erstatte avfall, næringsavfall eller eksisterende varmepumper.
El-kjeler	Overskuddsvarme fra datasenteret skal ikke erstatte el-kjel dersom produksjonen til el-kjel er mindre enn produksjonen til datasenteret. Årsaken til dette er at når el-kjel leverer på lave effektnivåer rundt 1 MW er det fordi den leverer damp til Ullevål, som ikke kan erstattes av overskuddsvarme fra datasenteret.
Testing av kjeler	Hafslund Varme må med jevne mellomrom ha testkjøring av kjelene sine. Det er ikke tatt hensyn til hvilke timer dette gjelder. Det er sannsynlig at noen av timene der datasenteret erstatter andre energibærere i realiteten ikke kunne ha erstattet disse på grunn av testkjøring, som måtte ha blitt utført.

Tabell 14: Produksjonstall fra 2016 og ny produksjonsmikks med DigiPlex, nytt datasenter og TDC

Energibærer	Produksjon 2016 [GWh]	Ny produksjonsmikks DigiPlex [GWh]	Ny produksjonsmikks nytt datasenter [GWh]	Ny produksjonsmikks TDC [GWh]
Avfall	856,8	856,8	856,8	856,8
Næringsavfall	126,7	126,7	126,7	126,7
Varmepumpe	135,4	135,4	135,4	135,4
El-kjel	476,9	465,2	458,1	472,7
Pellets	61,4	56,7	53,7	59,9
LNG	14,6	13,4	12,9	14,1
Bioolje	21,6	20,2	19,5	21,1
Biodiesel	8,0	7,0	6,4	7,6
Olje	0,8	0,5	0,4	0,7
Datasenter		20,0	32,2	7,1
SUM	1 702,0	1 702,0	1 702,0	1 702,0

Med installert varmeytelse på 4221,6 kW er det funnet at DigiPlex kunne levere totalt 20,0 GWh i 4746 t i beregninger med produksjonstall fra 2016. I den nye produksjonsmiksen vil datasenteret tilsvare 1,2 % av total produksjon. Med installert varmeleveranse på 6876,4 kW er det funnet at et nytt datasenter kunne levere totalt 32,1 GWh i 4679 t. I den nye produksjonsmiksen vil datasenteret tilsvare 1,9 % av total produksjon. Med installert varmeleveranse på 1407,2 kW er det funnet at TDC kunne levere totalt 7,1 GWh i 5048 t. I den nye produksjonsmiksen vil datasenteret tilsvare 0,4 % av total produksjon.

Resultat klimaregnskap

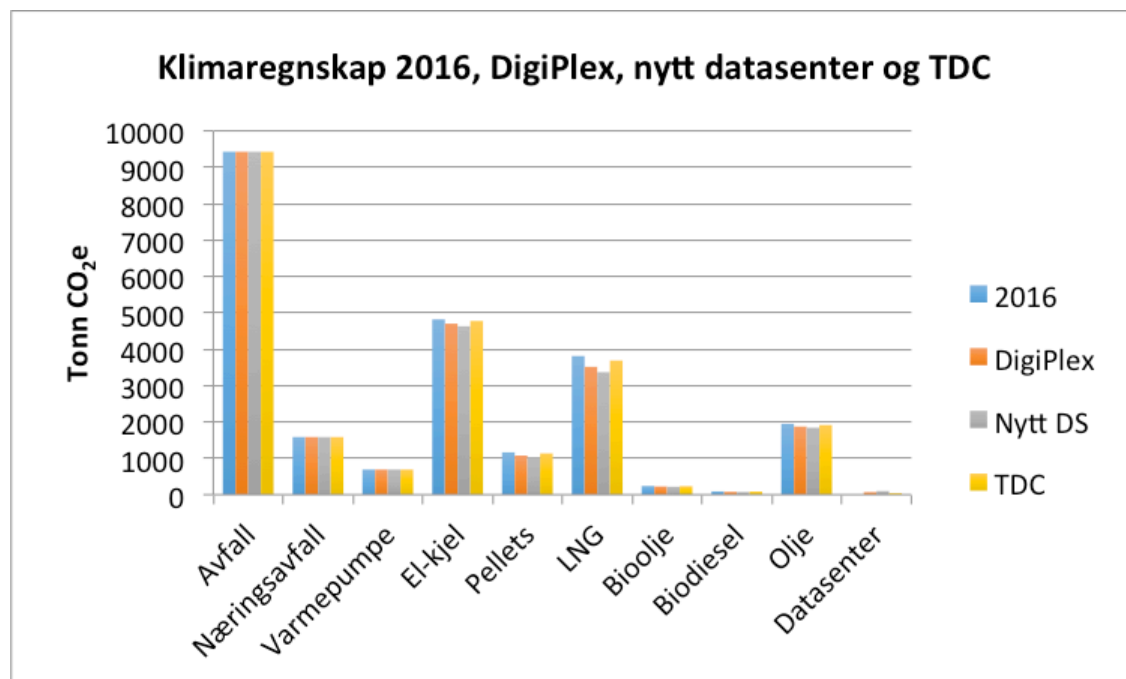
Klimaregnskap med utslipp av CO₂-ekvivalenter for 2016, og ny produksjonsmikks med DigiPlex, nytt datasenter og TDC er vist i Tabell 15. Det er også vist hva prosentvis reduksjon i utslipp er per energibærer, samt total prosentvis reduksjon sammenliknet med 2016. Datasenteret benytter utslippsfaktor for el til klimaregnskapet. Utslippet er regnet ut ved hjelp av formel 1, med verdier for utslippsfaktor fra Tabell 1, og verdier for produksjon fra

Tabell 14 og virkningsgrad fra Tabell 2. I utslippet fra varmpumpe er det tatt hensyn til tap av kjølemedium. I klimaregnskapet er det tatt hensyn til tilført mengde olje både til produksjon fra oljekjel, og fra mengde som er brukt til oppstart av pelletskjelen og næringsavfallskjelen. Det antas at det kun er produksjon fra oljekjel som synker ved ny produksjonsmikks, og ikke tilført mengde olje til oppstart av pelletskjel og næringsavfallskjel.

Tabell 15: Klimaregnskap for 2016 og ny produksjonsmiks med DigiPlex, nytt datasenter og TDC

Energibærer	Utslipp tilført 2016 [Tonn CO ₂ e]	Utslipp tilført DigiPlex [Tonn CO ₂ e]	Utslipp tilført nytt datasenter [Tonn CO ₂ e]	Utslipp tilført TDC [Tonn CO ₂ e]
Avfall	9 424,6	9 424,6	9 424,6	9 424,6
Næringsavfall	1 583,4	1 583,4	1 583,4	1 583,4
Varmepumpe	691,3	691,3	691,3	691,3
El-kjel	4 817,0	4 699,2	4 627,7	4 774,4
Pellets	1 163,1	1 074,3	1 017,4	1 134,3
LNG	3 809,9	3 513,0	3 366,2	3 686,4
Bioolje	239,8	224,9	216,2	234,7
Biodiesel	88,4	77,7	71,0	84,8
Olje	1 946,0	1 871,7	1 840,8	1 914,8
Datasenter		70,3	97,1	24,9
Total	23 763,6	23 230,3	22 935,8	23 553,6

Beregninger viser at med tilknytning til DigiPlex har den nye produksjonsmiksen ført til en prosentvis reduksjon av totale utslipp på 2,2 %. Med tilknytning til nytt datasenter har den nye produksjonsmiksen ført til en prosentvis reduksjon av totale utslipp på 3,5 %. Med tilknytning til TDC har den nye produksjonsmiksen ført til en prosentvis reduksjon av totale utslipp på 0,9 %. En sammenlikning av klimaregnskap for produksjonen i 2016 og klimaregnskap med ny produksjonsmiks med DigiPlex, nytt datasenter og TDC er vist i Figur 19.



Figur 19: Sammenlikning klimaregnskap 2016 og ny produksjon med DigiPlex, nytt datasenter og TDC

9.5.3 Utsiling

Risikoanalysen viser at det er flere risikoer knyttet til alle alternativene. Det vurderes at risikoene og usikkerhetsmomentene ikke kan å skille alternativene fra hverandre i så stor grad at noen alternativer siles ut.

Klimaregnskapet viser at alle alternativer vil føre til et bedre klimaregnskap. Nytt datasenter, får en høyere prosentvis reduksjon i totale utslipp og fører til et bedre klimaregnskap enn DigiPlex, som igjen har et bedre klimaregnskap enn TDC. Det vurderes likevel at resultatet fra klimaregnskapet ikke kan skille alternativene fra hverandre i så stor grad at noen av alternativene siles ut. Alternativene som dermed er videre til flermålsanalysen er A1, A2, A3, A4, A5 og A6.

9.6 Flermålsanalyse (MCDA)

9.6.1 Evalueringskriterier

Evalueringskriteriene i denne analysen, med tilhørende vektning, er vist i Tabell 16.

Tabell 16: Evalueringskriterier med vektning

Evalueringskriterium	Vektning
Nåverdi	70 %
Funksjonalitet	10 %
Miljø	10 %
Fleksibilitet	10 %

9.6.2 Kvalitative evalueringskriterier

Beskrivelse av score-systemet er vist i Tabell 17.

Tabell 17: Beskrivelse av scoresystem

Score	Funksjonalitet	Miljø	Fleksibilitet
1	Har ingen eller liten funksjonalitet.	Har svært store konsekvenser for miljøet. Bidrar svært negativt.	Har ingen eller liten grad av fleksibilitet.
2	Grad over 1.	Grad over 1.	Grad over 1.
3	Grad over 2.	Grad over 2.	Grad over 2.
4	Hverken god eller dårlig funksjonalitet.	Har middels store konsekvenser for miljøet. Middels bidrag.	Har middels grad av fleksibilitet.
5	Grad over 4.	Grad over 4.	Grad over 4.
6	Grad over 5.	Grad over 5.	Grad over 5.
7	Har høy grad av funksjonalitet.	Har ingen konsekvenser for miljøet. Bidrar positivt i forhold til eksisterende situasjon.	Har stor grad av fleksibilitet.

I denne analysen benyttes evalueringskriteriene funksjonalitet, fleksibilitet og miljø.

Funksjonalitet

Vektingen av funksjonalitet er satt til 10 %. Evalueringskriteriet funksjonalitet beskriver i hvilken grad den tekniske løsningen fungerer optimalt. Det vil si at den installerte varmepumpen skal levere kjøling med den effekt og virkningsgrad som er ønskelig, og at installeringen er gjort slik at mest mulig overskuddsvarme blir gjenvunnet. Installasjonen bør ikke ha stor risiko for tekniske feil og bør ha god funksjonalitet og lang levetid. Vurdering av alternativene for evalueringskriteriet funksjonalitet er vist i Tabell 18.

Tabell 18: Evaluering av funksjonalitet

Funksjonalitet	Evaluering av alternativene
Teknisk løsning gir leveringssikkerhet, med krav til trykk og temperatur	DigiPlex, nytt datasenter og TDC antas å ha lik leveringssikkerhet, da varmpumpene er samme modell fra samme leverandør
Installert varmpumpe har en høy virkningsgrad	Nytt datasenter har høyere COP enn DigiPlex og TDC
Teknisk løsning er installert slik at mest mulig overskuddsvarme blir gjenvunnet	Nytt Datasenter planlegger varmegjenvinning fra starten prosjekteringen. Det er da forventet å få en høyere funksjonalitet på varmegjenvinningen totalt sett sammenliknet med DigiPlex og TDC. Dette inkluderer valg av kjøleløsning inni serverhallen, som vi har antatt at er LSV. Dette gir høyere temperaturer ut fra serverhallen som er gunstig for varmegjenvinning.
Teknisk løsning har lav risiko for å få teknisk feil	DigiPlex, nytt datasenter og TDC antas å ha lik risiko, da varmpumpene er samme modell fra samme leverandør
Installert utstyr i datasenteret har lang levetid og god funksjonalitet	Nytt datasenter antas å ha lenger levetid totalt på installert utstyr enn DigiPlex og TDC

Det er gjort en vurdering på at DigiPlex får en score på 5, nytt datasenter en score på 6 og TDC en score på 5.

Miljø

Vektingen av miljø er satt til 10 %. Evalueringskriteriet miljø beskriver i hvilken grad alternativet er et miljøvennlig alternativ, hovedsakelig med tanke på klimaregnskapet som er utført i alternativanalysen. Miljøkriteriet beskriver også hvorvidt alternativet er miljøvennlig med tanke på energieffektivitet og valg av kjølemedium. Vurdering av alternativene for evalueringskriteriet miljø er vist i Tabell 19.

Tabell 19: Evaluering av miljø

Miljø	Evaluering av alternativene
Teknisk løsning fører til et forbedret klimaregnskap for Hafslund Varme	Nytt datasenter har høyere prosentvis reduksjon i totale utslipp enn DigiPlex
Teknisk løsning fører til at mest mulig overskuddsvarme blir gjenvunnet	Nytt datasenter har høyere varmeleveranse enn DigiPlex på grunn av antagelsen om kjøleeffekt
Teknisk løsning bruker et miljøvennlig kjølemedium	DigiPlex, nytt datasenter og TDC benytter det samme kjølemediet i varmepumpene, R-1234ze, som er energieffektivt og med en lav GWP på 7

Det er gjort en vurdering på at DigiPlex får en score på 5, nytt datasenter en score på 6 og TDC en score på 4.

Fleksibilitet

Vektingen av fleksibilitet er satt til 10 %. Evalueringskriteriet fleksibilitet omhandler i hvilken grad den tekniske løsningen er robust for endringer fremtidige behov og teknologiske nyvinninger. En fleksibel løsning kan benyttes ved ombygginger og kan utvides eller oppgraderes med nye deler. Vurdering av alternativene for evalueringskriteriet fleksibilitet er vist i Tabell 20.

Tabell 20: Evaluering av fleksibilitet

Fleksibilitet	Evaluering av alternativene
Teknisk løsning er robust for endringer i fremtidige teknologiske nyvinninger	Nytt datasenter antas å være bedre rustet for fremtidige teknologiske endringer enn DigiPlex og TDC, med bruk av nyere teknologi i hele datasenteret.
Teknisk løsning kan benyttes ved ombygginger av eksisterende bygg	Teknisk løsning med varmegjenvinning DigiPlex, nytt datasenter og TDC er forventet å kunne benyttes ved ombygginger så lenge vannbåren kjøleløsning fortsatt brukes.
Teknisk løsning er robust for endringer ved fremtidige behov for kjøling og varmeleveranse	Teknisk løsning på DigiPlex, nytt datasenter og TDC kan utvides og oppgraderes ved å oppgradere med nye deler og legge til varmepumper fra leverandør.

Det er gjort en vurdering på at DigiPlex får en score på 5, nytt datasenter en score på 6 og TDC en score på 5.

9.6.3 Kvantitative evalueringskriterier (Nåverdi)

Vektingen av nåverdi er satt til 70 %, da dette er det viktigste evalueringskriteriet fordi det skiller de alternative løsningene fra hverandre rent økonomisk. Det har kommet klart frem at både Hafslund Varme og datasentrene ikke ønsker å ta risikoen i et prosjekt dersom det ikke vil være lønnsomt i lengden. Investeringskostnad og strømkostnader til drift av varmpumpe går inn i nåverdiberegningen som en negativ kontantstrøm, og mulig innsparing ved endret produksjonsmiks går inn som positiv kontantstrøm. Det er gjort en rekke forutsetninger for nåverdiberegningene.

Forutsetninger for nåverdiberegninger:

- Tidsperspektiv er satt til 15 år, da levetid på varmpumpene er oppgitt å være 15 år, og det er et rimelig tidsperspektiv for denne typen investering.
- Diskonteringsrente er satt til 4 %, risikojustert kalkulasjonsrente [80].
- Prisene på innsatsfaktorene i nåverdiberegningen er faste 2017-priser, og prisene er dermed ikke justert med KPI.
- I forretningsmodell F1 antas det at Hafslund Varme vil ta den totale investeringskostnaden for varmpumpen første året, og at det ikke tas opp lån på investeringen [3].
- Det er ikke tatt med støtte fra Enova i nåverdiberegningene, da Enova gir støtte i prosjekter opp til et nivå der det er lønnsomt, og nåverdiene til alternativene i denne konseptvalgutredningen viser lønnsomhet uten støtte.

Kostnadskalkyle på investeringskostnaden

For å beregne nåverdi for hvert alternativ er det laget kostnadskalkyler for investeringskostnaden. Grensesnitt som beskriver om Hafslund eller datasenter betaler for ulike poster i kostnadskalkylen ved F1 og F2 er vist i vedlegg 3. Postene i kostnadskalkylene er hentet fra kostnadskalkyler i vedlegg til Norsk Energi sin rapport om varmegjenvinning fra datahaller [4]. Dimensjoner, enhetspriser og antall er justert i samråd med Hafslund [3], [79] og er tilpasset hvert alternativ med tilgjengelig informasjon. Investeringskostnader for varmpumper er hentet fra forespurt tilbud fra varmpumpeleverandøren TermoControl med varmpumper fra Carrier. Tilbudsskjema er vist i vedlegg 2. Det er gjort en god del forutsetninger og antagelser i kostnadskalkylene. Dette er vist i vedlegg 4.

Strømkostnader

I beregning av nåverdi er årlige strømkostnader for drift av varmpumpen på datasenteret satt som negativ kontantstrøm. I beregning av spotkostnad er det brukt sannsynlige verdier på årlig spot-pris fra NVE sin prognose for 2016-2030 [92]. Det er tatt en forutsetning om at prisene gjelder faste priser. Resterende år 2031 er justert med lik prosentvis økning som fra 2029-2030, 1,67 %. Sannsynlige verdier er hentet fra **Feil! Fant ikke referanse-kilden..** For beregning av nettleie er det er forutsett prioritert levering for bedrift med Hafslund Nett sine priser for nettleie [82]. Prioritert levering er valgt fremfor uprioritert, som er billigere.

Varmepumpen skal benyttes til kjøling av datasenter, og datasentre har fokus på sikkerhet og ikke ønsker å ta risiko for å bli koblet ut. Nettleien gjelder for lavspenning, da valgte varmepumper driftes på lav spenning. Veid energiledd på nettleie per kWh er beregnet ut i fra 5088 mulige driftstimer fra 01.01 til 30.04 og 01.10-31.12. Dette er vist Tabell 21.

Tabell 21: Nettleie (Prioritert, bedrift lav spenning) [103]

Variable kostnadsledd	Pris [øre/kWh]	Pris [kr/MWh]
Elavgift fjernvarme	0,48	4,8
El sertifikater	2,5	25
Energiledd (jan-mar og nov-des)	5,2	
Energiledd (apr-okt)	3	
Veid energiledd (jan-apr, okt-des)	4,57	45,7
Sum variabel nettleie		75,5
Faste kostnadsledd	[kr/kW/mnd]	
Effektledd (jan, feb, des)	150	
Effektledd (mar, nov)	76	
Effektledd (apr-okt)	11	
Fastledd [kr/mnd]	340	

Metode mulig innsparing

Fremtidig innsparing i form av redusert produksjonskostnad for Hafslund Varme er satt til positiv kontantstrøm. I analysene er det testet ut hva som kan bli mulig innsparing for Hafslund Varme ved å fjerne produksjonskostnaden til energimengden olje, biodiesel, bioolje, LNG eller el-kjel, i prioritert rekkefølge, for hver time. Dette er utført med HVIS-funksjoner i Excel på liknende måte som for testing av ny produksjonsmik. Forutsetningene som ble brukt til klimaregnskapet og er vist i Tabell 13 gjelder også i denne analysen.

Først testes det om det kan være innsparing fra produksjon av olje i den timen. Hvis produksjonen til olje i den timen er null, blir innsparing fra olje null. Dersom produksjon fra olje er større enn produksjon fra datasenteret blir innsparingen fra olje prisen på olje multiplisert med produksjonen fra datasenteret. Dersom produksjon fra olje er mindre enn produksjon fra datasenteret og større enn null, blir innsparingen fra olje prisen på olje multiplisert med produksjonen fra olje. Restverdien for produksjon fra datasenteret, som ble laget i analysen av ny produksjonsmik, multipliseres med prisen til den neste energibæreren som har en produksjon. Det analyseres hva som kan være innsparing for hver time, og dette summeres opp for hele året, og benyttes som positiv kontantstrøm i beregning av netto nåverdi. Kostnaden ved å drifte varmepumpen i datasenteret legges til som en kostnad i beregning av netto nåverdi. Prisene på energibærerne som er anvendt i analysen for hver energibærer er vist i Tabell 3. Virkningsgrader for el-kjel og varmepumpe er vist i Tabell 2. Det er gjort en antagelse om at de faste prisene gjelder for hele året, med unntak av spot-pris på el. Varierende timesverdier for spot-pris på el i 2016 som er brukt i analysen er hentet fra NordPool [104].

I januar 2016 var det perioder da det vær veldig kaldt og svært høye spot-priser der el-kjeler ble kjørt i Hafslund sin produksjonsmiks, selv om det ikke normalt kjøres el-kjel ved svært høye spot-priser. Mulig innsparing er korrigert for høye spot-priser ved å sette spot-priser over 50 øre/kWh til 50 øre/kWh. I beregning av Hafslunds produksjonskostnader og mulig innsparing er det ikke tatt med oljeforbruk til oppstart av pelletskjel og næringsavfallskjel. Dette forbruket antas å ikke bli påvirket av om datasenteret tas med i produksjonsmiksen, da næringsavfallskjelen ikke erstattes av datasenteret og det er usikkert om pelletskjelen vil startes opp færre ganger selv om forventet produksjon er forventet å gå ned med bruk av overskuddsvarme fra datasenteret. Dermed antas det at mulig innsparing ikke vil påvirkes av dette.

Resultat mulig innsparing

Mulig innsparing beregnet for Hafslund Varme sin produksjon fra 2016 ved bruk av overskuddsvarme fra alternativene er vist i Tabell 22. Mulig innsparing ved bruk av overskuddsvarme fra DigiPlex er beregnet til 7,66 MNOK, nytt datasenter er beregnet til 12,3 MNOK og TDC er beregnet til 2,69 MNOK.

Tabell 22: Produksjonskostnader 2016 og mulig innsparing ved DigiPlex, nytt datasenter og TDC

Energibærer	Innsparing ved DigiPlex [MNOK]	Innsparing ved nytt datasenter [MNOK]	Innsparing ved TDC [MNOK]
El-kjel	3,45	5,54	1,25
Pellets	1,88	3,08	0,61
LNG	0,40	0,59	0,17
Bioolje	0,87	1,38	0,30
Biodiesel	0,92	1,48	0,31
Olje	0,15	0,21	0,06
SUM	7,66	12,3	2,69

Resultat nåverdiberegning

Kostnadskalkyler for investeringskostnadene for alle alternativene er vist i vedlegg 5. Nåverdiberegningene til alternativene er vist i Figur 42, Figur 43, Figur 44, Figur 45, Figur 46, Figur 47 i vedlegg 6. Oppsummert resultatet av nåverdiberegning for basisalternativene er vist i Figur 20. Der vises summen av kontantstrømmer over 15 år for hver innsatsfaktor. Internrenten er regnet ut ved formel 3 og nåverdi, som er summen av diskonterte kontantstrømmer er beregnet ved formel 2. Nåverdien er positiv for alle alternativer, og er høyere for forretningsmodell F1 enn F2. Internrenten er ikke regnet ut for alternativ A2 og A4, da disse har positiv total kapitalstrøm for alle årene, som vist i vedlegg 6.

Nåverdier per alternativ (MNOK)	Nåverdier					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Investeringskostnader	-16,7	-0,7	-22,3	-1,6	-9,9	-2,6
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader	-7,6	-0,2	-10,1	-0,5	-3,9	-0,8
Kostnad spot	-27,8		-38,4		-9,9	
Kostnad variabel nettleie	-8,0		-11,0		-2,8	
Kostnad fast nettleie	-13,9		-19,5		-4,7	
Innsparing ny produksjonsmiks	114,9	114,9	184,3	184,3	40,4	40,4
Kostnad fast effektledd til datasenter		-47,5		-77,4		-15,8
Kostnad fast energipris til datasenter		-45,1		-72,3		-16,0
Sum diskontert kontantstrøm	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
Internrente	30,7 %		48,24 %		12,12 %	23,21 %
Nåverdi totalt (MNOK)	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2

Figur 20: Nåverdiberegninger for basialternativene

Resultat nåverdiberegning med datasenterets perspektiv

Konseptvalgutredningen er gjennomført hovedsakelig fra Hafslund Varmes perspektiv. For å få til et samarbeid med et datasenter er det viktig at den alternative løsningen er lønnsom både for Hafslund Varme og datasenteret. Det er utført nåverdiberegninger som viser datasenteret sitt perspektiv for basialternativene. I beregninger med forretningsmodell A2, A4 og A6, der datasenteret eier varmpumpen, er det tatt med at datasentrene betaler 24 % skatt på inntekten fra varmesalget. Da er det antatt at datasenteret vil ta opp lån på investeringen av varmpumpe, med 15 år som nedbetalingstid og rente på 2,9 %.

Nåverdiberegningene er vist i Figur 48, Figur 49, Figur 50, Figur 51, Figur 52 og Figur 53 i vedlegg 7. Oppsummert resultatet av nåverdiberegningene for basialternativene sett fra datasenter sitt perspektiv er vist i Figur 22. Nåverdien er høyere for forretningsmodell F1 enn F2. Alternativ A1, A3, A4 og A5 har positiv nåverdi, der A3 skiller seg ut med særlig høy nåverdi. A2 og A6 har negativ nåverdi. Det er ikke regnet ut internrente for disse alternativene, fordi det er positiv total kapitalstrøm i alle årene for alternativ A1, A3, A4 og A5, og negativ total kapitalstrøm i alle årene for alternativ A2 og A6, som vist i vedlegg 7.

Nåverdier per alternativ (MNOK)	Nåverdier					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Investeringskostnader						
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader		-7,3		-9,6		-3,1
Avdrag		-16,00		-20,7		-7,3
Renter		-2,8		-3,6		-1,3
Sum årlig strøm kostnad		-49,6		-68,9		-17,4
Sum årlig spart strøm kostnad	49,6		68,9		17,4	
Sum inntekt fra varmesalg		70,3		113,8		24,2
Sum diskontert kontantstrøm	36,5	-4,0	50,6	8,3	12,7	-3,5
Nåverdi totalt (MNOK)	36,5	-4,0	50,6	8,3	12,7	-3,5

Figur 21: Nåverdiberegninger for basialternativene fra datasenter sitt perspektiv

9.6.4 Rangering av alternativer

Etter evaluering av alternativenes score for de kvalitative evalueringskriteriene og beregning av nåverdi er det utført en sammenveining av de vektete evalueringskriterier. Nåverdien som er beregnet for hvert alternativ registreres, og en initial score blir beregnet. Normalisert

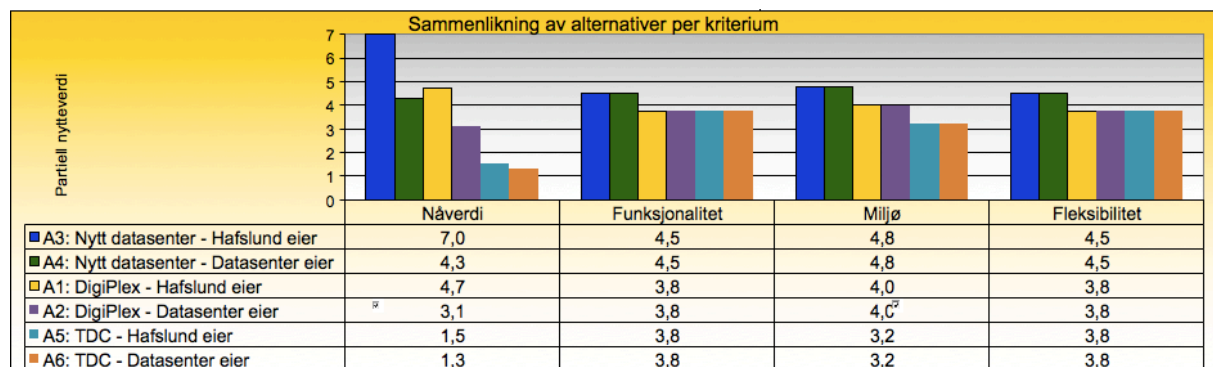
score er en omregning av score, som fører til at middelveiden av scorene legges midt på måleskalaen. Dette er vist i Figur 22.

Definisjon av alternativer og angivelse av score									
Kriterier	Vekt	Verdiområde		Faktor	Min	Gj.sn. NPV	Gj.sn. score	Maks	
		Min	Maks						
Nåverdi	70 %	1,00	7,00	1	3	22	3,08	57	
Oppr. måleskala for NPV		1,00	7,00		-85 %		4,00	160 %	
Funksjonalitet	10 %	1,00	7,00		5,0		5,33	6,0	
Miljø	10 %	1,00	7,00		4,0		5,00	6,0	
Fleksibilitet	10 %	1,00	7,00		5,0		5,33	6,0	

Alternativ	Nåverdi			Funksjonalitet		Miljø		Fleksibilitet	
	Norm. verdi	Score	Norm. score	Score	Norm. score	Score	Norm. score	Score	Norm. score
A1: DigiPlex - Hafslund eier	27,0	3,6	4,7	5,0	3,8	5,0	4,0	5,0	3,8
A2: DigiPlex - Datasenter eier	15,7	2,4	3,1	5,0	3,8	5,0	4,0	5,0	3,8
A3: Nytt datasenter - Hafslund eier	57,1	7,0	9,1	6,0	4,5	6,0	4,8	6,0	4,5
A4: Nytt datasenter - Datasenter eier	23,8	3,3	4,3	6,0	4,5	6,0	4,8	6,0	4,5
A5: TDC - Hafslund eier	4,8	1,2	1,5	5,0	3,8	4,0	3,2	5,0	3,8
A6: TDC - Datasenter eier	3,2	1,0	1,3	5,0	3,8	4,0	3,2	5,0	3,8

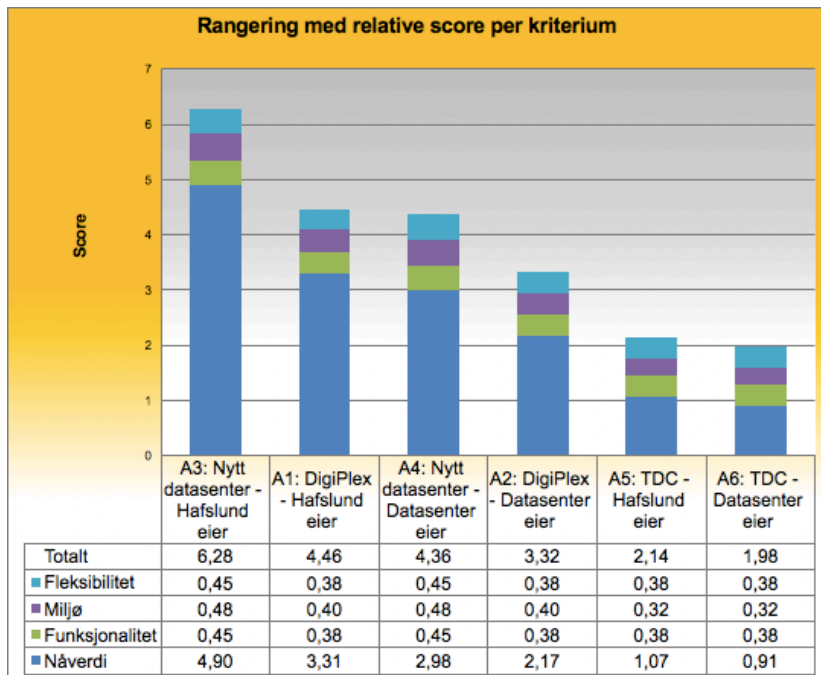
Figur 22: Angivelse av score for kvalitative kriterier og normalisert score for alle kriteriene

En sammenligning av alternativene for hvert evalueringskriterium er vist i Figur 23.



Figur 23: Sammenligning av basisalternativene per evalueringskriterium

Total score for hvert av alternativene er lik summen av produktet mellom score og satt vektprosent for hvert evalueringskriterium. Rangeringen av alternativene med total score er vist i Figur 24.



Figur 24: Rangering av alternativene med relativ score per evalueringskriterium

Her ser man at A3 får høyest total score og er det beste alternativet. Rangeringen fra høyest til lavest er: A3 > A1 > A4 > A2 > A5 > A6

9.6.5 Robusthet i rangeringen

Det er undersøkt om det er benyttet en relevant avveining mellom kvantitative og kvalitative evalueringskriterier. Det er testet hva en endring med ett trinn i score på kvalitative evalueringskriterier, eksempelvis fra 4 til 5, tilsvarer i nåverdi. En endring i score for funksjonalitet og hva dette tilsvarer i nåverdi er vist i Figur 25.

Følsomhetsanalyse; Kalibrering av kriterier og score				
Gjennomsnittsalterna	snitts NPV	snitts score	Normalisert score	Resultat
Nåverdi	21,937	3,1	4,00	4,00
Funksjonalitet		5,3	4,00	
Miljø		5,0	4,00	
Fleksibilitet		5,3	4,00	

a	0,111379
b	0,640619
y	X
3,083941	22

Sensitivitet realisering	Endring i NPV	Endring i score	Endring i resultat
Nåverdi	1,300	0,145	0,10
Funksjonalitet		0,000	
Miljø		0,000	
Fleksibilitet		0,000	

Sensitivitet realisering	Endring i NPV	Endring i score	Endring i resultat
Nåverdi			0,10
Funksjonalitet		1,0	
Miljø		0,0	
Fleksibilitet		0,0	

Figur 25: Følsomhetsanalyse med endring i score for funksjonalitet og hva det tilsvarer i nåverdi

En endring med ett trinn i score for alle evalueringskriteriene tilsvarer 1,3 MNOK i endring i nåverdi. Det vurderes at dette er en rimelig endring i nåverdi.

For å gjøre en helhetlig vurdering av rangeringen er det utført en følsomhetsanalyse. Det er testet ut hvor stor endring i score eller vektprosent som skal føre til at det nest beste alternativet, A1, rangeres som best istedenfor det beste alternativet, A3. Da A3 og A4, nytt datasenter har høyest score for alle kvalitative evalueringskriterier, og A3 har betydelig større nåverdi enn de andre alternativene kreves det en relativt stor endring i vektprosent og score for å endre rangering av det beste alternativet.

Det ble utført en test der vektprosent ble endret slik at vektingen ble satt til 20 % for nåverdi, 30 % for funksjonalitet, 30 % for miljø og 20 % for fleksibilitet, samtidig som at A3 og A4, nytt datasenter, fikk lavere kvalitativ score enn A1 og A2, DigiPlex. Resultatet var at A1 ble rangert som det beste alternativet, med små marginer. Denne endringen i vektprosent og score anses som urimelig, og det vurderes at rangeringen av A3 som det beste alternativet er endelig.

9.6.6 Usikkerhetshåndtering

Det er flere usikkerhetsmomenter i flermålsanalysen. Det er beskrevet hvordan disse usikkerhetene påvirker analysen. Det er blant annet usikkerhet knyttet til Hafslund Varme sin fremtidige produksjonsmik, utvikling av kraftpriser, mulig innsparing ved tilknytning til datasenter og informasjon om investeringskostnader. Hva-hvis-analyser er utført som et ledd i denne usikkerhetshåndteringen.

Usikkerhet i fremtidig produksjonsmik

I flermålsanalysen er det utført analyser av hvordan mulig innsparing i produksjonskostnader og reduksjon i klimagassutslipp vil være ved tilknytning til et datasenter basert på produksjonen fra 2016. Verdiene fra 2016 legges inn som innsatsfaktorer i nåverdiberegninger med et tidsperspektiv på 15 år. Det er flere usikkerhetsfaktorer knyttet til antagelsen om at produksjonen i 2016 er representativ for 15 år. Det er usikkerhet knyttet til Hafslund sin fremtidige produksjonsmik, som blant annet avhenger av temperaturer, utvikling av pris per energibærer, utfasing av fossile energibærere, økt produksjon og mer effektiv drift.

Produksjonen til Hafslund Varme i 2016 var litt høyere enn et normalår, på grunn av noe lavere temperaturer, særlig i januar. Det kan diskuteres om 2016 er et representativt år å ta utgangspunkt i. Det er vanskelig å anslå hvordan værforhold, temperatur og produksjonsmik vil bli i fremtiden. For å undersøke hvordan mulig innsparing ville blitt påvirket av utetemperaturen kunne det vært utført en simulering av mulig innsparing med normalårskorrigerings, og med simulering av et ekstremt kaldt år og et ekstremt varmt år. Tidsperspektivet for analysen er 15 år, og dette fører til en risikodiversifisering for ekstreme værforhold. Det er lite sannsynlig at det vil være de samme avvikende værforholdene i alle årene i prosjektperioden. Spotprisen på kraft påvirkes blant annet av temperatur og

hydrologiske forhold og vil være høyere i tørre år. Tidsperspektivet på 15 år fører til at risiko for høye spotpriser fordeles over prosjektets levetid.

Det er usikkerhet knyttet til fremtidig utvikling av pris på energibærere. Prisene kan gå opp og ned i fremtiden og varierer avhengig av sesong, markedet og etterspørsel. Prisene som er brukt i analysene er basert på estimat av faktiske priser for 2016. Usikkerhet i priser på energibærerne fører til en usikkerhet beregning av mulig innsparing ved bruk av overskuddsvarme fra datasenter i produksjonsmiksen. For å undersøke hvordan mulig innsparing ville blitt påvirket av endrede priser på energibærere kunne det vært utført en simulering av mulig innsparing med prognoser for fremtidige priser på energibærere. Det er usikkerhet knyttet til utvikling av kraftprisen. I scenarier med høye kraftpriser vil Hafslund kjøre mer pellets og mindre el-kjel, mens i scenarier med lav kraftpris vil de kjøre mer el-kjel og mindre pellets [32]. Det kunne vært testet hvordan mulig innsparing ville endret seg ved endret produksjonsmikse med høyere eller lavere kraftpriser.

Hafslund Varme har strategi om å bli fossilfrie og jobber med å fase ut olje, samt å øke produksjonen fra 1,7 TWh i 2016 til 2 TWh i 2020. Hafslund Varme jobber med å øke tilknytning til nye fjernvarmekunder, og det arbeides med ny produksjon av fjernvarme samt oppgradering av eksisterende produksjon. Hafslund Varme jobber også hele tiden for å effektivisere driften sin, planlegge produksjonen optimalt, og bruke minst mulig spisslast. For å undersøke hvordan mulig innsparing ville blitt påvirket av endring i produksjonsmiksen, kunne det vært utført en simulering av mulig innsparing med ulike scenarier for fremtidig produksjonsmikse.

Usikkerhet i utslippsfaktorer brukt i klimaregnskapet

Det er usikkerhet knyttet til utslippsfaktorene som er brukt i klimaregnskapet. Utslippsfaktorene baserer seg på gjennomsnittsverdier fra tidligere år, og det kan være variasjon i hva som er reelle utslipp. Å fastsette en utslippsfaktor for elektrisitet er komplisert, og ulike studier viser ulike utslippsfaktorer for norsk, nordisk og europeisk produksjonsmikse [20]. Det er valgt å bruke utslippsfaktoren på 10 gCO₂e/kWh tilført energi for elektrisitet, med bakgrunn i den norske produksjonsmiksen fra 1996-2012 med vannkraft, vindkraft og gasskraft. Årsaken til at det er valgt norsk produksjonsmikse, og ikke nordisk eller europeisk produksjonsmikse er at det i Norge har vært en netto krafteksport [21]. Det kan likevel diskuteres om det er riktig å se på norsk, nordisk eller europeisk produksjonsmikse. Norsk Energi foreslo i sin rapport å bruke en faktor på 110, som gjelder for en nordisk produksjonsmikse, med en blanding av tilgjengelig produksjonskapasitet og teknologier, da Norden har en felles kraftbørs. Denne faktoren er basert på et snitt av den nordiske produksjonsmiksen for 2004-2008. Dersom denne faktoren hadde blitt brukt i klimaregnskapet ville det blitt en prosentvis reduksjon av totale utslipp på 1,3 % for DigiPlex, 2,3 % for nytt datasenter og 0,5 % for TDC istedenfor henholdsvis 2,2 %, 3,5 %, og 0,9 % med en utslippsfaktor på 10. Dette illustrerer at det er relativt store forskjeller avhengig av

utslippsfaktor. Det kan også nevnes at Norge selger opprinnelsesgarantier for fornybar kraftproduksjon til virksomheter i andre europeiske land [58]. Det er valgt å se bort i fra dette i denne analysen, men dersom det hadde vært tatt med, ville klimagevinsten vært lavere enn det som er vist i analysen.

Hva-hvis-analyser

Det er flere usikkerhetsmomenter i analysen av nåverdiberegninger. For å undersøke hvordan usikkerheter påvirker lønnsomheten i de ulike alternativene er det utført hva-hvis-analyser. Det er utført hva-hvis-analyser for ulike prognoser for kraftprisutvikling, høyere spotkostnad, endring i produksjonsmiksen til Hafslund Varme, økning i investeringskostnadene og nedgang i mulig innsparing og høyere og lavere diskonteringsrente.

Hva-hvis-analyse: Best case for kraftprisutviklingen

Det er usikkerhet knyttet til utvikling av kraftprisen. I analysen av basisalternativene er det benyttet sannsynlige verdier for kraftprisen fra NVE sin prognose. For å beregne hvordan strømkostnaden og nåverdiberegningen vil være i ulike scenarier for kraftprisutvikling er det utført hva-hvis analyser for prognose der kraftprisen er lav, best case for kraftprisutviklingen, og prognose der kraftprisen er høy, worst case for kraftprisutviklingen. Tallverdier er hentet fra Tabell 4.

Nåverdier og internrente i scenario med best case for kraftprisutvikling er vist i Figur 26. Alternativene som blir påvirket av kraftprisen er alternativ A1, A3 og A5, når Hafslund Varme eier varmpumpen og betaler for drift av denne. Nåverdiene til disse alternativene øker fordi strømkostnaden synker.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Best case på kraftprisutvikling	NNV	28,8	15,7	59,9	23,8	5,5	3,2
	IRR	31,6 %	-	49,1 %	-	13,0 %	23,2 %

Figur 26: Nåverdier ved best case for kraftprisutviklingen

Hva-hvis-analyse: Worst case for kraftprisutvikling

Nåverdier og internrente i scenario med worst case for kraftprisutvikling er vist i Figur 27. Alternativene som blir påvirket av kraftprisen er alternativ A1, A3 og A5, når Hafslund Varme eier varmpumpen og betaler for drift av denne. Nåverdiene til disse alternativene synker fordi strømkostnaden øker. Det er større prosentvis nedgang i nåverdi for høy kraftprisøkning enn det er prosentvis økning for lav kraftprisøkning.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Worst case på kraftprisutvikling	NNV	20,9	15,7	48,7	23,8	2,6	3,2
	IRR	26,2 %	-	43,7 %	-	8,8 %	23,2 %

Figur 27: Nåverdier ved worst case for kraftprisutvikling

Hva-hvis-analyse: Spotkostnad beregnes med timesverdier for 2016

Metoden som er brukt for å beregne årlig kostnad på spot for drift av varmepumpene er å multiplisere prognosen for årlig spotpris med årlig energibehov for varmepumpen. I realiteten er det store variasjoner i spotpris gjennom døgnet og året, med høyere verdier om vinteren, og antagelsen om fast årlig spotpris fører til en usikkerhet i nåverdiberegningene. Det er utført en analyse av hva spotkostnad ville vært i 2016 ved å multiplisere installert effekt på varmepumpene for DigiPlex, nytt datasenter og TDC med timesverdier på spotpris fra NordPool [104]. Det ble identifisert at spotkostnaden i den analysen var omkring 40 % høyere for alle datasentrene enn kostnad på spot som er i nåverdiberegningen med fast årlig spotpris. Dette indikerer at metoden for beregning av kostnad på spot ikke tar høyde for høye timesverdier om vinteren, og at det er sannsynlig at kostnaden er lavere enn den i realiteten vil være. Det er utført en hva-hvis-analyse for å undersøke hvordan nåverdi og internrente for alternativene vil påvirkes dersom beregnet spotkostnad øker med 40 %. Nåverdier og internrenter er vist i Figur 28. Alternativene som blir påvirket av kraftprisen er A1, A3 og A5, der Hafslund Varme eier varmepumpen og betaler for drift av denne. Nåverdien og internrenten synker for disse alternativene fordi strømkostnaden har økt. Nedgangen i nåverdi og internrente er større i dette scenarioet enn for worst case for kraftprisutviklingen.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Spotkostnad med timesverdier	NNV	18,9	15,7	45,9	23,8	1,9	3,2
	IRR	23,1 %	-	39,2 %	-	7,4 %	23,2 %

Figur 28: Nåverdier ved spotkostnad med timesverdier fra 2016

Hva-hvis-analyse: Redusert bruk av spisslast

Det er utført en hva-hvis-analyse for å undersøke hvordan nåverdiberegningene påvirkes av endret produksjonsmiks med mindre bruk av spisslast. Det er valg å undersøke et scenario der bruk av spisslast med olje, biodiesel og bioolje er redusert med 50 %, og er erstattet med pellets. Pellets er en billigere energibærer enn spisslastene og det fører til at produksjonskostnadene til Hafslund Varme og mulig innsparing ved bruk av overskuddsvarme fra datasentre går ned. Mulig innsparing ble redusert fra 7,66 til 7,20 MNOK for DigiPlex, fra 12,3 til 11,6 MNOK for nytt datasenter og fra 2,69 til 2,53 MNOK for TDC. Nåverdiberegningen for dette scenariet er vist i Figur 29. Nåverdi og internrente har sunket for alle alternativene.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Redusert bruk av spisslast	NNV	21,9	10,6	48,9	15,6	3,0	1,4
	IRR	25,5 %	-	41,0 %	-	9,2	12,9 %

Figur 29: Nåverdier ved redusert bruk av spisslast

Hva-hvis-analyse: Mulig innsparing synker med 15 %

Det er usikkerhet knyttet til Hafslund Varmes fremtidige produksjonsmiks. Mer effektiv drift, lavere priser, utfasing av fossile energibærere og reduksjon i bruk av spisslast kan føre til redusert innsparing. Det er utført en konservativ hva-hvis-analyse for å undersøke hvordan nåverdiberegningene påvirkes av en reduksjon i mulig innsparing på 15 %. Dette er vist i Dette er vist i Figur 30. Her vises det at alternativene er sensitive for reduksjon i mulig innsparing. A6 får negativ nåverdi etter reduksjon i innsparing.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
15 % nedgang i innsparing	NNV	14,2	3,0	36,6	3,3	0,3	-1,3
	IRR	18,2 %	-	31,2 %	36,6 %	4,5 %	-5,6 %

Figur 30: Nåverdi ved 15 % nedgang i innsparing

Hva-hvis-analyse: Investeringskostnader øker med 15 %

Det er usikkerhet knyttet til postene i kostnadskalkylene for beregning av investeringskostnader. Investeringskostnad på varmepumper er hentet fra leverandøren ThermoControl. Det ble forespurt tilbud på priser fra Hybrid Energi også, men dette ble ikke oversendt. Det er flere andre varmepumpeleverandører på markedet, og det er mulig at Hafslund Varme i fremtiden vil vurdere andre varmepumpeleverandører som vil tilby annen pris. Det er lite usikkerhet knyttet til kostnad for fjernvarmerør for DigiPlex og TDC, da avstand til fjernvarmenettet er kjent, men for nytt datasenter er det stor usikkerhet knyttet til avstand fra fjernvarmenettet. Det er en del usikkerhet knyttet til kostnader knyttet til prosjektering og byggeledelse, da disse kostnadene vil kunne variere for hvert prosjekt avhengig av flere faktorer. For å ta hensyn til usikkerhet i kostnadskalkylen for investeringskostnad er det utført hva-hvis-analyse av et scenario der investeringskostnaden for alle alternativer øker med 15 %. Dette er vist i Figur 31. Nåverdi og internrente synker for alle alternativer, men alternativene er fortsatt lønnsomme.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
15 % økning i investeringskostnad	NNV	24,6	15,6	53,9	23,5	1,2	2,8
	IRR	24,9 %	-	39,1 %	-	9,0 %	18,8 %

Figur 31: Nåverdier ved 15 % økning i investeringskostnad

Hva-hvis-analyse: Diskonteringsrenten øker til 5 %

Diskonteringsrenten benyttes for å beregne nåverdien og er et risikostjustert avkastningskrav. I analysen av basisalternativene er det valgt å benytte en diskonteringsrente på 4 %. Endring i diskonteringsrenten vil påvirke nåverdien. Det er utført hva-hvis analyse der diskonteringsrenten øker fra 4 % til 5 %, som vil si at avkastningskravet er høyere. Nåverdiene etter denne økningen er vist i Figur 32. Fordi diskonteringsrenten er høyere synker nåverdien for alle alternativene, men alle alternativer er fortsatt lønnsomme. Internrenten endres ikke ved endring i diskonteringsrenten.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Diskonteringsrente 5 %	NNV	24,4	14,7	52,2	22,1	4,0	2,9
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %

Figur 32: Nåverdier ved diskonteringsrente på 5 %

Hva-hvis-analyse: Diskonteringsrenten synker til 3 %

Det er utført hva-hvis analyse der diskonteringsrenten synker fra 4 % til 3 %, som vil si at avkastningskravet er lavere. Nåverdiene etter denne økningen er vist i er vist i Figur 33. Fordi diskonteringsrenten er lavere øker nåverdien for alle alternativene. Internrenten endres ikke ved endring i diskonteringsrenten.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Diskonteringsrente 3 %	NNV	29,9	16,9	62,6	25,6	5,7	3,6
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %

Figur 33: Nåverdier ved diskonteringsrente på 3 %

Oppsummering av hva-hvis-analysene

En oppsummering av alle hva-hvis-analysene er vist i Figur 34, der basisalternativene ligger øverst, til sammenlikning.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Best case på kraftprisutvikling	NNV	28,8	15,7	59,9	23,8	5,5	3,2
	IRR	31,6 %	-	49,1 %	-	13,0 %	23,2 %
Worst case på kraftprisutvikling	NNV	20,9	15,7	48,7	23,8	2,6	3,2
	IRR	26,2 %	-	43,7 %	-	8,8 %	23,2 %
Spotkostnad med timesverdier	NNV	18,9	15,7	45,9	23,8	1,9	3,2
	IRR	23,1 %	-	39,2 %	-	7,4 %	23,2 %
Redusert bruk av spisslast	NNV	21,9	10,6	48,9	15,6	3,0	1,4
	IRR	25,5 %	-	41,0 %	-	9,2	12,9 %
15 % nedgang i innsparing	NNV	14,2	3,0	36,6	3,3	0,3	-1,3
	IRR	18,2 %	-	31,2 %	36,6 %	4,5 %	-5,6 %
15 % økning i investeringskostnad	NNV	24,6	15,6	53,9	23,5	1,2	2,8
	IRR	24,9 %	-	39,1 %	-	9,0 %	18,8 %
Diskonteringsrente 5 %	NNV	24,4	14,7	52,2	22,1	4,0	2,9
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Diskonteringsrente 3 %	NNV	29,9	16,9	62,6	25,6	5,7	3,6
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %

Figur 34: En oversikt over nåverdier og internrente for basisalternativ og for hva-hvis-analyser

Hva-hvis-analyser: Datasenteret sitt perspektiv

I konseptvalgutredningen har det vært som mål å undersøke hvilken forretningsmodell som kan være mest lønnsom for både Hafslund Varme og datasenteret. Med forretningsmodell F2 har det også vært et mål å finne ut hvilken pris datasenteret bør få betalt for at tilknytning skal bli lønnsom for begge parter. Derfor er nåverdiberegningen for basisalternativene utført også fra datasenterets perspektiv med det definerte grensesnittet. Resultatene, som er vist i Figur 21, viser at forretningsmodell F1, der Hafslund eier varmpumpen har høy lønnsomhet for alle alternativer. Resultatene viser også at forretningsmodell F2, der datasenteret eier varmpumpen ikke er lønnsom for A2, DigiPlex og A6, TDC. Dette er motstridende med erfaringer fra datasentre på samme størrelse som Fortum Värme samarbeider med i Stockholm. Dette indikerer at noen av forutsetningene for forretningsmodellen og innsatsfaktorer til nåverdiberegningen antageligvis ikke er representative for datasenterets perspektiv. Det er identifisert tre mulige forklaringer på dette; at prisen datasenteret får for varmesalg er for lav, at investeringskostnadene er overdimensjonert, eller at innsatsfaktoren for strømkostnader ikke er representative. Det er utført hva-hvis-analyser for å undersøke dette. Det er også undersøkt hvordan nåverdiene endres når Hafslund Varme tilbyr kjøling til en kjølepris på 10 øre/kWh.

Hva-hvis-analyse: Prisen på varmesalg økes til 200 kr/MWh

Pris på varmesalg med fast effektpris på 750 kr/kW og fast energipris på 150 kr/MWh bygger på Fortum Värme prismetode avrop. Det er mulig at denne prisen er for lav. Det er utført en hva-hvis analyse for å undersøke hvordan lønnsomheten i alternativene med forretningsmodell F2 påvirkes av en høyere pris på varmesalg. En fast energipris på 200 kr/MWh er brukt i analysen. Det er A2, A4 og A6 som påvirkes av denne analysen for både

datasenter og Hafslund. Nåverdier fra datasenterets perspektiv er vist i Figur 35. Det er vist at nåverdien til disse alternativene øker noe. A2 går fra å ha negativ nåverdi til positiv nåverdi. Økningen av prisen på varmesalg viser samtidig at nåverdiene til Hafslund synker, vist i Figur 36. Dette fører til en ytterligere differanse i lønnsomhet mellom forretningsmodellene F1 og F2 for Hafslund.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	36,5	-4,0	50,6	8,3	12,7	-3,5
Økt pris på varmesalg	NNV	36,5	4,5	50,6	21,9	12,7	-0,5

Figur 35: Nåverdier ved økt pris på varmesalg fra datasenter sitt perspektiv

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Økt pris på varmesalg	NNV	27,0	4,6	57,1	5,9	4,8	-0,7
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	71,7 %	12,1 %	-1,1 %

Figur 36: Nåverdier ved økt pris på varmesalg fra Hafslund sitt perspektiv

Hva-hvis-analyse: Investeringskostnadene reduseres med 15 %

To av alternativene for basisalternativet, A2 og A6, har negativ nåverdi fra datasenteret sitt perspektiv. Dette er motstridende med erfaringer fra Sverige med samme ledig effekt. Dette kan indikere at noen av forutsetningene for forretningsmodellen og innsatsfaktorer til nåverdiberegningen antageligvis ikke er riktig, for eksempel ved overdimensjonering av investeringskostnaden. For å illustrere dette er det utført en hva-hvis analyse for å undersøke hvordan lønnsomheten i alternativene påvirkes av en 15 % reduksjon i investeringskostnaden. Nåverdier for datasenter sitt perspektiv er vist i Figur 37, og For datasenteret påvirker dette kun A2, A4 og A6, her vil nåverdien stige. For Hafslund blir alle alternativene påvirket. Nåverdien til alle alternativene stiger noe, vist i Figur 38.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	36,5	-4,0	50,6	8,3	12,7	-3,5
15 % nedgang i investeringskostnad	NNV	36,5	-1,8	50,6	11,1	12,7	-2,5

Figur 37: Nåverdier ved 15 % reduksjon i investeringskostnad fra datasenteret sitt perspektiv

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
15 % nedgang i investeringskostnad	NNV	29,4	15,8	60,3	24	6,2	3,6
	IRR	38,9 %	-	62,5 %	-	16,2 %	29,3 %

Figur 38: Nåverdier ved 15 % reduksjon i investeringskostnad fra Hafslund sitt perspektiv

Det ble også undersøkt hvor stor reduksjon i investeringskostnaden måtte være før A2 og A6 fikk positiv nåverdi. Med en 30 % reduksjon i investeringskostnaden for A2 ble nåverdien 0,3. Med en 60 % reduksjon i investeringskostnaden i A6 ble nåverdien 0,3. Dette anses som en urimelig høy reduksjon i investeringskostnad.

Hva-hvis-analyse: Strømkostnader og strømbesparelse reduseres med 50 %

I analysen av datasenterets perspektiv er innsatsfaktorene til nåverdiregningene spart strømkostnad for alternativ A1, A3 og A5, og strømkostnadene for alternativ A2, A4 og A6 som tilsvarer strømkostnaden for drift av varmepumpen fra Hafslund sitt perspektiv. Da er det ikke tatt hensyn til at datasenteret ville hatt en alternativ kostnad for drift av egne kjølemaskiner og frikjøling i perioden 01.01-30.04 og 01.10-31.12 uten tilknytning til fjernvarmenettet. I store deler av perioden kunne datasenteret benyttet frikjøling istedenfor egne kjølemaskiner. Drift av kjøling med frikjøling har en lavere strømkostnad enn drift av kjølemaskin, men det er ikke kartlagt hvor stor denne forskjellen er for hvert alternativ. Dermed er årlig spart strømkostnad for A1, A3 og A5 antakeligvis for høy og årlig strømkostnad for A2, A4 og A6 antakeligvis for høy. Det kunne vært mer presist å sette årlig innsparing for A1, A3 og A5 som strømkostnadene for drift av frikjøling og egne kjølemaskiner i perioden, og sette årlig strømkostnad for A2, A4 og A6 som merkostnaden deres ved å drifte en varmepumpe istedenfor frikjøling og egne kjølemaskiner. Det er tatt en antagelse om at strømkostnadene til drift av frikjøling og egne kjølemaskiner i perioden tilsvarer 50 % av strømkostnadene til drift av varmepumpen. Det er utført hva-hvis-analyser for å belyse hvordan lønnsomheten ved alternativene fra datasenterets perspektiv påvirkes av dette. Dette er vist i Figur 39. A2, A4 og A6 får en høyere nåverdi, og A2 og A6 går fra negativ til positiv nåverdi. Datasenteret eier varmepumpen for disse alternativene og får da en høyere nåverdi fordi strømkostnaden er halvert. A1, A3 og A5, når Hafslund eier varmepumpen, får en reduksjon i nåverdi fordi innsparingen ved drift av varmepumpen er halvert.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	36,5	-4,0	50,6	8,3	12,7	-3,5
50% reduksjon i strømkostnad og strømbesparelse	NNV	18,2	14,3	25,3	33,7	6,4	2,9

Figur 39: Nåverdier ved 50 % reduksjon i strømkostnad og strømbesparelse

Hva-hvis-analyse: Hafslund Varme tilbyr kjøling til en kjølepris på 10 øre/kWh

Det er usikkerhet knyttet til om forretningsmodellen som er benyttet i analysen av basisalternativene er de mest gunstige forretningsmodellene. Det er flere muligheter for å justere og endre på priser og forutsetninger i forretningsmodellene, noe som kan påvirke nåverdiregningen. I forretningsmodell F1, som er benyttet i analysen av basisalternativene, A1, A3 og A5, eier Hafslund Varme varmepumper og tilbyr kjøling til datasenteret i bytte mot overskuddsvarmen. Et annet alternativ kunne vært å levere kjøling til datasenteret mot en lav kjølepris, noe både Norsk Energi og Akershus Energi har nevnt som alternative forretningsmodeller. Det er analysert hvordan denne endringen i forretningsmodell påvirker nåverdiene for alternativene fra datasenteret og Hafslund sitt perspektiv. I beregningen for nåverdier fra Hafslund sitt perspektiv er det tatt med at Hafslund betaler 24 % skatt på inntekten fra kjølesalget.

Nåverdiene for datasenteret er vist i Figur 40. Her er det vist at nåverdien til A1, A3 og A5 har sunket på grunn av økte kostnader ved kjølesalg. Selv om nåverdien har sunket er alternativene fortsatt lønnsomme. Nåverdier og internrenter med kjølesalg fra Hafslund sitt perspektiv er vist i Figur 41. Nåverdiene til alle alternativene har økt på grunn av økte inntekter fra kjølesalg. Det anses ikke som gunstig å gjøre denne endringen i forretningsmodell, da det øker nåverdien for Hafslund Varme og senker nåverdien til datasentrene. For A2, A4 og A6 fra datasenteret sitt perspektiv er ikke nåverdien endret seg fordi i de alternativene eier datasenteret varmepumpen, og det er derfor ikke snakk om kjølesalg.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	36,5	-4,0	50,6	8,3	12,7	-3,5
Kjølesalg (100kr/MWh)	NNV	22,0	-4,0	25,7	8,3	7,6	-3,5

Figur 40: Nåverdier ved kjølesalg med en kjølepris på 10 øre/kWh fra datasenter sitt perspektiv

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Basisalternativ	NNV	27,0	15,7	57,1	23,8	4,8	3,2
	IRR	30,7 %	-	48,2 %	-	12,1 %	23,2 %
Kjølesalg (100kr/MWh)	NNV	38,0	15,7	76,1	23,8	8,7	3,2
	IRR	42,4 %	-	67,7 %	-	18,3 %	23,2 %

Figur 41: Nåverdier ved kjølesalg med en kjølepris på 10 øre/kWh fra Hafslund sitt perspektiv

10 Diskusjon

10.1 Rammevilkår

Det er utført en kartlegging av rammevilkår som er relevante for datasentre og bruk av overskuddsvarme. Store internasjonale aktører har etablert seg med store datasentre i Sverige, Finland og Danmark, men slike etableringer har ikke blitt gjort i Norge til nå. Norge oppfyller mange av kriteriene store aktører ser etter, og ligger på toppen i rangeringen "Data centre risk index" fra 2016 [101]. De andre nordiske landene har startet prosessen med å legge til rette for store etableringer av datasentre for flere år siden. I Norge begynner vi nå å se en endring i rammevilkår ved at el-avgiften for datasentre har blitt redusert i to omganger [62]. Enova oppgir å støtte varmegjenvinning til datasentre dersom dette er nødvendig for å oppnå lønnsomhet [70]. Det gjelder ikke spesielle skatteregler for salg av overskuddsvarme over fjernvarmenettet [67].

Energi- og miljøkomiteen kom i 2016 med en innstilling til Stortinget om utbygging av flere fiberkabler og tilrettelegging for grønne datasentre i Norge. Nærings- og fiskeridepartementet koordinerer nå arbeidet med å etablere en strategi der de beskriver hvordan myndighetene kan legge til rette for økt etablering av grønne datasentre i Norge [64]. Det er usikkert hva denne strategien vil innebære. Det inngår ikke i vedtakene at det skal legges til rette for varmegjenvinning fra datasentre. Tilrettelegging for dette kan dermed ikke forventes å komme fra de Norske myndighetene i første omgang.

PUE, power usage effectiveness, har lenge vært brukt som eneste standard for å beskrive og måle energieffektiviteten til datasentre. Dette er i endring, men datasenterbransjen er ansett som konservativ og det ser ut til å ta tid å endre eller tilføre en ny energistandard. Nye standarder som ERE og ERF, som forteller om hvor mye av energi som blir gjenvunnet henholdsvis utenfor og innenfor systemgrensen til datasenteret [74], er standarder som kan bli viktigere når varmegjenvinning fra datasentre blir mer utbredt. Disse standardene kan gi insentiver for datasenterselskaper til å ønske varmegjenvinning for å tiltrekke seg miljøbevisste kunder, dersom standardene blir mer utbredt. Slik det er i dag er datasentrene og kundene mest opptatt av å ha en lav PUE.

10.2 Markedsundersøkelse

I markedsundersøkelsen er ulike aktører sine erfaringer med varmegjenvinning, interesse for varmegjenvinning fra datasentre i Oslo, og muligheten for etablering av nytt datasenter blitt kartlagt. Erfaringer fra vellykkede prosjekter i Stockholm med konseptet åpen fjernvarme viser til at timingen for tilknytningen til fjernvarmenettet og åpenhet mellom samarbeidsaktørene er noen av de viktigste suksessfaktorene. Fortum Värme har vært klare på at samarbeidet skal være gjensidig lønnsomt, det skal være en vinn-vinn situasjon for begge parter. Fjernvarmeaktøren får tilgang til ny stabil grunnlast i sin produksjonsmiks og datasenteret blir kvitt overskuddsvarmen og får betalt for varmeleveransen [9].

Varmegjenvinning fra datasentre til fjernvarmenettet i Oslo kan være et av tiltakene som fører til at Oslo kommune når målene i klima- og energistrategien. Oslo kommune har ulike grønne satsningsområder. Flere områder i Hovinbyen med tilstrekkelig nettkapasitet er interessante for etablering av et nytt datasenter i nærheten av fjernvarmenettet. Det er ikke utført noen kartlegging av tilgjengelige tomter eller tomtepriser. Da det er fokus på boligbygging i disse områdene, anbefales det å kartlegge nærmere hvor det i realiteten kan være aktuelt å etablere nytt datasenter i disse områdene. Det kunne vært interessant om Oslo kommune, Hafslund Varme og aktører som jobber for å få datasentre til Norge, ser på muligheten for lignende samarbeid som Stockholm Data Parks hvor flere aktører samarbeider om tilrettelegging for etablering av datasentre med varmegjenvinning. Samtidig ble konseptet Stockholm Data Parks lansert etter at Fortum Värme hadde hatt flere års erfaring med å levere kjøling til datasentre gjennom fjernkjølenettet og erfaring fra pilotprosjekter med åpen fjernvarme.

Datasentre som var kartlagt i Norsk Energi sin rapport samt datasentre og datatjenesteselskaper fra egen kartlegging ble kontaktet for å utføre spørreundersøkelsen. Kun fire datasentre svarte på spørreundersøkelsen. Datasenterbransjen oppleves som noe konservativ, og tilgangen på informasjon fra noen av datasentrene var begrenset fordi de ikke hadde anledning til å gi fra seg det de opplever som sensitiv informasjon. Enkelte av disse oppga samtidig at de syntes temaet var interessant. Flere av de som ikke svarte oppga

også at de ikke hadde noen relevante svar å komme med, eller at de ikke hadde tatt stilling til disse spørsmålene. En mulig årsak til at flere ikke ønsket å svare på spørreundersøkelsen kan være at de første spørsmålene i spørreundersøkelsen var tekniske spørsmål om kjøleløsning og ledig effekt som kunne vært benyttet på fjernvarmenettet. Å sette disse spørsmålene først kan ha gitt et inntrykk av at det var fokus på hva som er gevinsten for Hafslund, og ikke på hva som er gevinsten for datasenteret. Dersom spørreundersøkelsen var bygd opp annerledes, kan det tenkes at flere hadde ønsket å svare.

Datasentrene som svarte på spørreundersøkelsen kom med interessante opplysninger. Svarene på spørreundersøkelsen viste at lønnsomhet samt driftssikkerhet uten økt risiko er ansett som de mest utslagsgivende faktorene ved tilknytning mellom datasentre og fjernvarmenettet. De må kunne garantere nær 100 % oppetid for kundene sine og tilknytningen til fjernvarmenettet må dermed ikke øke risikoen for feil i anlegget deres. Miljøvennlig drift er et aspekt som er viktig for datasentrene ved at kundene blant annet stiller krav til opprinnelse på kraften, og det er forventet at miljøaspektet blir viktigere i fremtiden. Datasenter- og datatjenestebransjen endrer seg etter det kundene etterspør, så når det skjer en endring ved at kundene stiller miljøkrav, er det trolig at bransjen vil endre seg etter disse kravene. Datasentre som viste størst interesse for varmegjenvinning var DigiPlex, Basefarm og TDC. Datasentrene som ble kartlagt som interessante ble vurdert videre i konseptvalgutredningen. DigiPlex tok kontakt med Hafslund Varme for flere år siden for å undersøke mulighetene for bruk av deres overskuddsvarme, men da var det ingen tilgjengelig forretningsmodell som la opp til at Hafslund kunne ta imot varmen. Varmegjenvinning er dermed ikke et nytt og ukjent begrep for datasentrene, men til nå har det ikke blitt ansett å være lønnsomt med varmegjenvinning.

10.3 Konseptvalgutredning

10.3.1 Behov, mål og krav

Det er utført en konseptvalgutredning der alternativer for tilknytning mellom fjernvarmenettet til Hafslund Varme og datasentre er evaluert. Bakgrunn fra litteraturstudie, markedsundersøkelse og kontakt med interessenter er brukt til å definere behov, mål og krav for interessentene. Kartleggingen er gjort for å få frem de behovene, målene og kravene som er relevante i prosjektet om et mulig samarbeid om varmegjenvinning mellom Hafslund Varme og datasentre. På et høyere detaljeringsnivå kunne det vært presentert flere spesifikke krav, men det anses ikke som relevant for kunne utføre konseptvalgutredningen. Absolutte krav om maksimal avstand til fjernvarmenettet på 250 m og tilgjengelig kjøleeffekt på over 1000 kW er satt med bakgrunn i behov og mål om lønnsomhet. Fortum Värme har gitt uttrykk for at det er utfordrende å finne lønnsomhet i små prosjekter, og større avstand til fjernvarmenettet gir en merkostnad på investeringen [9]. Lønnsomhet i prosjektet er viktig for både Hafslund Varme og datasentre. Det er mulig at

alternativer med avstand over 250 m eller mer kunne vært lønnsomt, og det er opp til Hafslund Varme å vurdere dette i hvert enkelt tilfelle. Det er sannsynlig at tilknytning til et nytt datasenter med stor ledig effekt og avstand over 250 m fra fjernvarmenettet vil kunne være lønnsomt.

10.3.2 Kvalitative evalueringskriterier

De kvalitative evalueringskriteriene i analysen er funksjonalitet, fleksibilitet og miljø. Det er gjort et utvalg på hva evalueringskriteriene innebærer, sett i sammenheng med behov, mål og krav. Datasentrene evalueres med relativt lik score når det kommer til de kvalitative evalueringskriteriene funksjonalitet, miljø og fleksibilitet, men nytt datasenter har litt høyere score. Det har ikke vært grunnlag for å skille alternativene fra hverandre i større grad.

Flere faktorer kunne inngått i vurderingen av evalueringskriteriene. Et eksempel er at evalueringskriteriet miljø kunne tatt hensyn til flere faktorer enn klimaregnskap, beskrivelse av energieffektivitet og kjølemedium. I alternativene med nytt datasenter er det ikke tatt hensyn til hvilken miljøpåvirkning konstruksjon av et nytt datasenter i form av bygningsmasse og installasjon av nytt utstyr ville hatt. Dette kan antas å ha en stor påvirkning på ytre miljø, som nærmiljø, bybilde og også i form av forbruk av naturressurser. I evaluering av miljø er det ikke tatt hensyn til hvordan endret produksjonsmiks påvirker det lokale miljøet og luftkvaliteten i Oslo. Det anbefales at dette gjøres i senere analyser. Evalueringskriteriet miljø er avgrenset til å kun være fra Hafslund sitt perspektiv. Det kunne vært interessant å se på klimaregnskapet fra datasenteret sitt perspektiv, for å undersøke om de får et bedre klimaregnskap ved å benytte seg av varmegjenvinning, og hvordan de kunne fått nytte av dette ved markedsføring av seg selv som miljøvennlige. Klimaregnskapet ved bruk av overskuddsvarme fra datasentrene er regnet ut, og viser en reduksjon i Hafslund sitt klimaregnskap på 2,2 %, 3,5 % og 0,9 %. Prosentverdiene er beregnet ut i fra produksjonstall fra 2016, og vil antakeligvis ikke være representative flere år frem i tid, da Hafslund er forventet å øke produksjonen og endre produksjonsmiksen.

10.3.3 Leveringssikkerhet for datasenteret

I perioden 01.01 til 30.04 og 01.10 til 31.12 er det noen timer der det ikke er behov for overskuddsvarme fra datasenteret. Det er ikke definert hvordan avtalen mellom Hafslund Varme og datasenteret vil være i disse timene. I beregningen er det tatt en forutsetning om at Hafslund Varme ikke får en innsparing i disse timene. Datasenteret får ikke betalt for disse timene ved forretningsmodell F2. Ved eventuelt samarbeid må Hafslund Varme og datasenteret inngå en avtale om hvordan leveringssikkerheten skal være, og hvordan Hafslund skal kommunisere når de har behov for overskuddsvarme. Dersom datasenteret må starte opp sitt back-up kjølesystem i noen få timer når Hafslund Varme ikke har behov for overskuddsvarmen, må dette kommuniseres eller avtales. Det kan være en løsning at datasenteret mottar kjøling og leverer varme på fjernvarmenettet, som Hafslund Varme

kjøler bort. Det anbefales å se nærmere på detaljene rundt kostnader og avregning ved dette.

10.3.4 Nåverdier

Resultatet fra nåverdiberegningen viser at A3 har høyest nåverdi. I sammenligning av alternativer per evalueringskriterium er det vist at alternativene med forretningsmodell F1 er rangert høyest for alle datasentrene, både fra Hafslund og datasenterets perspektiv. Dette indikerer at dette er den anbefalte forretningsmodellen. Alle alternativene har positiv nåverdi ved F1. Det er stor forskjell i score på nåverdi for alternativene, og større forskjell mellom forretningsmodellene. Dette vises ved at A1, DigiPlex er rangert høyere enn A4, nytt datasenter. Forskjellen på total score mellom forretningsmodellene reduseres ved lavere ledig kjøleeffekt. Det er større forskjell i nåverdi mellom A3 og A4, nytt datasenter, enn mellom A5 og A6, TDC. En årsak til dette er at forskjell mellom mulig innsparing og strømkostnader for F1, og forskjell mellom mulig innsparing og kostnad varmeløseleveranse for F2, er større for nytt datasenter enn for TDC.

10.3.5 Hva-hvis-analyser

For å undersøke hvordan usikkerheter påvirker lønnsomheten i de ulike alternativene er det utført hva-hvis-analyser. Fra Hafslund sitt perspektiv har alle alternativet vist lønnsomhet for alle hva-hvis-analysene, med unntak der A6 får negativ nåverdi i analysen med 15 % redusert innsparing. Denne analysen er den som gir størst reduksjon i nåverdi for alternativene, men her er det kun A1, A3 og A5 som påvirkes. Det er også disse alternativene som påvirkes i størst grad av usikkerhetene som er analysert. A2, A4 og A6 er uendret i fire av analysene, da de ikke påvirkes av endrede strømkostnader eller endret innsparing. Dette indikerer at det er lavere risiko for Hafslund i alternativene der datasenteret eier varmepumpen. A5 og A6, TDC er mest sensitiv for scenariene i hva-hvis-analysene. De har lavere kostnader og innsparing, og blir i større grad påvirket av usikkerhet. En svakhet ved hva-hvis-analysene er at ulike scenarier er analysert hver for seg. Kombinasjoner av flere av alternativene ville gitt andre utslag. Kombinasjonen av to scenarier som medfører lavere lønnsomhet ville gitt ytterligere redusert lønnsomhet.

De to forretningsmodellene F1 og F2 som er benyttet bygger på resultatene fra markedsundersøkelsen og samtaler med ulike aktører, som Fortum Värme og Akershus Energi. I konseptvalgutredningen har det vært et mål å undersøke hvilken forretningsmodell som kan være lønnsom både for Hafslund og datasenteret. Resultatet viste stor forskjell i lønnsomhet mellom forretningsmodellene fra datasenteret sitt perspektiv. A2, DigiPlex og A6, TDC hadde negativ nåverdi. I hva-hvis-analyser ble det testet ut scenarier der pris på varmesalg ble økt, investeringskostnad redusert og strømkostnadene redusert. Det er sannsynlig at innsatsfaktoren for strømkostnader til drift av varmepumpe ikke er representativ for datasenterets perspektiv. Det anbefales å undersøke dette nærmere i

fremtiden i samråd med datasenteret dersom det inngås et samarbeid, for å få et mer presist bilde av datasenteret sine utgifter og innsparing. Som vist er det flere muligheter for å endre på forretningsmodellene som er brukt i konseptvalgutredningen. Det viktige er at Hafslund Varme og datasenteret sammen blir enige om hvilken forretningsmodell som er mest gunstig for begge parter i et fremtidig samarbeid.

10.3.6 Rangering av alternativer

Resultatet fra flermålsanalysen gir ikke en rangering av gjensidig utelukkende alternativer. Det kan være mulig å undersøke muligheten for etablering av et nytt datasenter med tilknytning til fjernvarmenettet, og samtidig etablere tilknytning til et eksisterende datasenter. Dette avhenger blant annet av kapitalbegrensninger, usikkerheter og rammebetingelser.

Rangeringen sammenlikner ulike alternativer, og resultatet av flermålsanalysen viser at A3 er rangert som det anbefalte alternativet. Dette gir et uttrykk for at A3 er det alternativ som bør velges. Det kan anbefales å se nærmere på mulighet for tilknytning til et nytt datasenter i fremtiden, og eventuelt undersøke mulighetene for et samarbeid mellom Hafslund Varme, Oslo kommune, og andre aktører om etablering av et nytt datasenter. En svakhet med analysen er at den ikke gir et bilde på hva Hafslund bør satse på i dag med tanke på tidsperspektiv og risiko for gjennomføring. Denne risikoen er størst for nytt datasenter, ved at det er et lenger tidsperspektiv før et eventuelt nytt datasenter vil kunne få tilknytning til fjernvarmenettet. Det er større sannsynlighet for at tilknytning til DigiPlex eller TDC vil kunne skje i nær fremtid. Det er relativt lav usikkerhet knyttet til tilgjengelig informasjon om ledig effekt, interesse for varmegjenvinning, kjøleløsning og avstand til fjernvarmenettet på de eksisterende datasentrene. Det er større usikkerhet knyttet til antagelsene om et nytt datasenter. Det er tatt mange antagelser. Et fremtidig datasenter kan ha høyere eller lavere ledig effekt enn antatte 3 MW, ha annen kjøleløsning og ligge med større avstand fra fjernvarmenettet.

Det er opp til Hafslund Varme å avgjøre om de ønsker å følge anbefalingen fra rangeringen, å starte med tilknytning til et nytt datasenter, eller om det ønsker å starte med et pilotprosjekt på et eksisterende datasenter. Ved tilknytning til et eksisterende datasenter, er A1, DigiPlex der Hafslund eier varmpumpen, det best rangerte alternativet. Det anbefales å se nærmere på mulighet for et samarbeid med DigiPlex. Samtidig er Obos også interessert i å bruke overskuddsvarmen fra DigiPlex i forbindelse med boligprosjektet på Ulven, og det er utført utredning om lokal energiutnyttelse [80]. Det bør undersøkes nærmere om forretningsmodellen fra konseptvalgutredningen er konkurransedyktig med konseptet fra Obos sin utredning, og om samarbeid med DigiPlex vil være mulig.

Det er også mulig å undersøke tilknytning til A5, TDC, der Hafslund eier varmpumpen nærmere, selv om TDC rangeres som dårligst i konseptvalgutredningen. Dersom Hafslund

ønsker å bruke TDC som et pilotprosjekt, er det sannsynlig at dette vil la seg gjennomføre innen kort tid. TDC har uttrykt interesse for samarbeid og et mulig forprosjekt etter ferien 2017. Samtidig er det viktig å påpeke at TDC viste høy sensitivitet for usikkerheter i fremtidige scenarier i hva-hvis-analysene.

Med Hafslund sine mål om en økning i fjernvarmeproduksjonen på 2 TWh innen 2020 bør lønnsomheten ved bruk av overskuddsvarme fra datasentre bør sammenlignes med lønnsomheten i andre prosjekter ved å øke produksjonen med alternative energibærere, som ved å bygge nye el-kjeler og pelletskjeler. Overskuddsvarmen fra datasentre bør regnes som en nyttig ressurs, og det er potensiale for å se på de kommersielle mulighetene i bruk av overskuddsvarme som finnes i Oslo allerede og som er tilgjengelig.

11 Konklusjon

I denne masteroppgaven er det kartlagt at det er mulighet for varmegjenvinning fra både eksisterende datasentre og nytt datasenter i Oslo med tilknytning til fjernvarmenettet til Hafslund Varme.

Kartlegging av rammevilkår og politiske forhold viser at redusert el-avgift kan legge til rette for økt etablering av datasentre. Regjeringen arbeider nå med en strategi for tilrettelegging for økt etablering av grønne datasentre i Norge, men det er usikkert hva virkningen av strategien vil være. PUE er den vanlige standarden for mål på energieffektivitet til datasentre, og både kunder og datasenteraktører er opptatt av å ha en lav PUE. Varmegjenvinning fører ikke til en lavere PUE og det er en av grunnene til at flere aktører peker på at det vil bli en endring i standarder, og at ERE og ERF kan bli mer utbredt i fremtiden.

Suksessfaktorer fra vellykket samarbeid mellom datasentre og fjernvarmeleverandør i Sverige er blant annet åpenhet mellom samarbeidsaktørene, timingen for tilknytning og gjensidig lønnsomhet. DigiPlex og TDC har blitt kartlagt som de mest aktuelle eksisterende datasentre i Oslo for tilknytning til fjernvarmenettet, med interesse for varmegjenvinning. Datasentrene i analysen er definert med kjøleløsning med kjølemaskin i teknisk rom og tørrkjøler plassert ute, som kan benyttes til frikjøling. Varmepumpen som installeres for tilknytning henter ledig kjøleeffekt og varmpumpen leverer kjøling til datasenteret og varme til fjernvarmenettets retur. Utslagsgivende faktorer for om eksisterende datasentre skulle ønske tilknytning til fjernvarmenettet er lønnsomhet samt driftssikkerhet uten økt risiko for å sikre kundenes krav om oppetid. Miljøaspektet er også viktig for datasentrene. Kartlegging av nettkapasitet samt Oslo kommune og Hafslund Varme sine planer i Oslo viser at flere områder i Hovinbyen og Groruddalen i Oslo med tilstrekkelig nettkapasitet er interessante for etablering av et nytt datasenter med tilknytning til fjernvarmenettet.

Klimagevinsten ved varmegjenvinning er regnet ut ved å sammenlikne klimaregnskap fra eksisterende produksjon fra 2016 med ny produksjonsmiks der datasenter har erstattet energibærerne olje, biodiesel, bioolje, LNG, pellet og el-kjel, i prioritert rekkefølge fra olje til el-kjel. Dette kan føre til en reduksjon i klimagassutslipp på 2,2 %, 3,5 % og 0,9 % ved tilknytning til henholdsvis DigiPlex, nytt datasenter og TDC. Årlig innsparing ved erstatning av energibæreren er beregnet til 7,66 MNOK, 12,3 MNOK og 2,69 MNOK for DigiPlex, nytt datasenter og TDC.

Det er undersøkt hvordan to forretningsmodeller, inspirert av "cooling as a service" og avrop fra Fortum Värme, ville fungert i Oslo. Forretningsmodellene er definert som F1, der Hafslund eier varmepumpen og leverer kjøling gratis i bytte mot overskuddsvarme, og F2, der datasenteret eier varmepumpen og selger overskuddsvarme til Hafslund.

Konseptvalgutredningen viste at F1, der Hafslund eier varmepumpen er den mest lønnsomme forretningsmodellen for begge parter. Nåverdiberegninger er utført både fra Hafslund og datasenteret sitt perspektiv, da det har vært et mål å finne en forretningsmodell som er lønnsom for begge parter. Det er vist at forretningsmodell F2 fører til negativ nåverdi for A2 og A6 fra datasenteret sitt perspektiv. Årsaker til dette kan være for lav pris på varmesalg, for høye investeringskostnader eller at strømkostnadene ikke er representative. Det anbefales å undersøke årsaker til dette nærmere i samråd med datasenter ved eventuelt samarbeid.

Rangeringen av alternativene fra flermålsanalysen viser at A3, nytt datasenter der Hafslund eier varmepumpen, er det høyest rangerte alternativet, etterfulgt av A1, A4, A2, A5 og A6. Det er flere usikkerheter som påvirker alternativene, som er vist i usikkerhetshåndteringen, blant annet med hva-hvis-analyser. Flere alternativer er sensitive for endringer i innsparing og kostnader, og TDC, A5 og A6 er mest sensitiv for usikkerheter. Rangering av A3 som det beste alternativet indikerer at dette er det foretrukne alternativet å se nærmere på. Rangeringen tar ikke hensyn til at det er stor usikkerhet knyttet til antagelsene om nytt datasenter og tidsperspektiv for mulig gjennomføring. Da rangeringen ikke gjelder for gjensidig utelukkende alternativer er det mulig for Hafslund å se på muligheten for tilknytning til et nytt datasenter, og samtidig etablere tilknytning til et eksisterende datasenter. Tilknytning til A1 DigiPlex, er da det anbefalte alternativet, som kommer nest best ut av rangeringen.

Overskuddsvarmen fra datasentre bør regnes som en nyttig ressurs, og det er potensiale for å se på de kommersielle mulighetene i bruk av overskuddsvarme som finnes i Oslo allerede og som er tilgjengelig.

12 Referanser

1. FN. *Dette er Paris-avtalen*. 2017; Available from: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Klimaforhandlinger/Dette-er-Paris-avtalen>.
2. FN. *FNs klimapanel*. 2017; Available from: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Hva-er-FNs-klimapanel>.
3. Oslo kommune. *Klima- og energistrategi for Oslo*. 2016; Available from: [https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/1356550/Innhold/Politikk og administrasjon/Etater og foretak/Klimaetaten/Dokumenter og rapporter/Klima- og energistrategi for Oslo NO.pdf](https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/1356550/Innhold/Politikk%20og%20administrasjon/Etater%20og%20foretak/Klimaetaten/Dokumenter%20og%20rapporter/Klima-og-energistrategi%20for%20Oslo%20NO.pdf).
4. Norsk Energi, *Kartlegging av tredjepartsleveranser [Rapport skrevet av Norsk energi på oppdrag fra Hafslund Varme. Tilgjengelig hos Hafslund Varme]*. 2014.
5. Norsk Energi, *Varmegjenvinning fra datahaller [Rapport skrevet av Norsk Energi på oppdrag fra Hafslund Varme. Tilgjengelig hos Hafslund Varme]*. 2014.
6. Energi, N., *Vedlegg rapport [Rapport skrevet av Norsk Energi på oppdrag fra Hafslund Varme. Tilgjengelig hos Hafslund Varme]*. 2014.
7. Stockholm Data Parks. *Stockholm Data Parks - Green computing redefined*. 2017; Available from: https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/sdp-first-level-presentation_2017-02-01.pdf.
8. Fortum Värme. *Oppen Fjarrvarme - Frågor og svar*. 2017; Available from: <https://www.oppenfjarrvarme.se/faq/>.
9. Sivengård, P., *Telefonsamtale med Fortum Varme*. 24.03.2017.
10. Fortum Värme. *Open district heating - Bahnhof Pionen*. 2017; Available from: <http://www.oppenfjarrvarme.se/media/open-district-heating-bahnhof-pionen.pdf>.
11. Fortum Värme. *Open district heating - Bahnhof Thule*. 2017; Available from: <http://www.oppenfjarrvarme.se/media/open-district-heating-bahnhof-thule.pdf.pdf>.
12. Fortum Värme. *International Meeting on Green Computing*. 2015; Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=WDYmrgh0f0g>.
13. Jordanger, I., et al. *Flermålsanalyser i store statlige investeringsprosjekt*. 2015; Available from: https://www.researchgate.net/publication/266877932_Flermalsanalyser_i_store_statlige_investeringsprosjekt.
14. Jordanger, I., *Behovsanalyse, mål og strategi. [PP-presentasjon tilgjengelig på Fronter for IND200 ved NMBU]* 02.11.2016.
15. Næss, P. *Bedre behovsanalyser; Erfaringer og anbefalinger om behovsanalyser i store offentlige investerings-prosjekter*. 2004; Available from: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/228052>.
16. Finansdepartementet. *Kvalitetssikring av konseptvalg, samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ*. 2008; Available from: https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1263838555/Veileder_nr3_felles_begrepsapparat_KS1.pdf.
17. Karlsen, J.T., *Prosjektledelse - fra initiering til gevinstrealisering*. 2013: Universitetsforlaget.

18. Næss, P. *Bedre utforming av store offentlige investeringsprosjekter: Vurdering av behov, mål og effekt i tidligfasen*. 2004; Available from: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/228064>.
19. Finansdepartementet. *Konseptvalg og detaljeringsgrad*. 2010; Available from: [https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1263838555/Veileder nr 11 Konseptvalg og detaljering.pdf](https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1263838555/Veileder_nr_11_Konseptvalg_og_detaljering.pdf).
20. Norsk Energi. *Klimaregnskap for fjernvarme*. 2013; Available from: [http://www.fjernvarme.no/uploads/userfiles/files/klimaregnskap for fjernvarme 2013.pdf](http://www.fjernvarme.no/uploads/userfiles/files/klimaregnskap_for_fjernvarme_2013.pdf).
21. Hafslund. *Beregningsmetodikk*. 2017; Available from: <https://www.hafslund.no/omhafslund/beregningsmetodikk/8125>.
22. Østfoldforskning. *The inventory and life cycle data for Norwegian hydroelectricity*. 2015; Available from: <https://www.ostfoldforskning.no/media/1056/734-1.pdf>.
23. Vattenfall. *Livscykelanalys*. 2012; Available from: <https://corporate.vattenfall.com/globalassets/corporate/sustainability/reports/livscykelanalys.pdf>.
24. Jordanger, I., *Evaluering alternativer. MCDA. [PP-presentasjon tilgjengelig på Fronter for IND200 ved NMBU]* 16.11.2016.
25. Jordanger, I., *Nyttefunksjonsbasert verktøy i Excel [Tilgjengelig på Fronter for IND200 ved NMBU]*. 2016.
26. Hafslund. *Varme*. 2017; Available from: <https://www.hafslund.no/omhafslund/varme/3081>.
27. Lund, H., et al. *4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*. 2014; Available from: [http://www.moodle2.tfe.umu.se/pluginfile.php/69604/mod_resource/content/1/4th generation.pdf](http://www.moodle2.tfe.umu.se/pluginfile.php/69604/mod_resource/content/1/4th_generation.pdf).
28. Frederiksen, S. and S. Werner, *District heating and cooling*. 2013: Studentlitteratur AB.
29. Statistisk sentralbyrå. *Fjernvarme og fjernkjøling*. 2017; Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/fjernvarme>.
30. Statistisk sentralbyrå. *Fjernvarme og fjernkjøling i Norge*. 2014; Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/184839?ts=1475e7199a8>.
31. Hafslund. *Fjernvarme i Oslo*. 2017; Available from: <https://www.hafslund.no/fjernvarme/fjernvarmenettet/3070>.
32. Hafslund. *Miljøpåvirkning fra Hafslund Varme*. 2017; Available from: https://www.hafslund.no/fjernvarme/miljopaavirkning_fra_hafslund_varme/7134.
33. Henriksen, E., *Personlig kontakt med Hafslund Varme*. 04.04.2017.
34. Hafslund. *Hafslund ASA*. 2017; Available from: https://www.hafslund.no/omhafslund/hafslund_asa/2024.
35. Oslo kommune. *Oslo kommune sikrer offentlig eierskap til arvesølvet i kraftsektoren*. 2017; Available from: [https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13212691/Innhold/Politikk og administrasjon/Politikk/Byr%C3%A5det/For pressen/Pressemeldinger/Oslo kommune sikrer offentlig eierskap til arves%C3%B8lvet i kraftsektoren PM 26.04.2017.pdf](https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13212691/Innhold/Politikk_og_administrasjon/Politikk/Byr%C3%A5det/For_pressen/Pressemeldinger/Oslo_kommune_sikrer_offentlig_eierskap_til_arves%C3%B8lvet_i_kraftsektoren_PM_26.04.2017.pdf).

36. Tipler, P.A., *Physics For Scientists and Engineers. Sixth edition.* 2008, New York: W. H. Freeman and Company.
37. Sintef energiforskning. *Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger.* 2000; Available from: [http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4115/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe Notat J Stene.pdf](http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4115/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Notat%20J%20Stene.pdf).
38. Fornybar.no. *Varmepumper.* 2016; Available from: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/varmepumper>.
39. Energinet. *Technology data for energy plants.* 2012; Available from: [https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske dokumenter/Forskning/Technology data for energy plants.pdf](https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning/Technology%20data%20for%20energy%20plants.pdf).
40. United States Environmental Protection Agency. *Understanding global warming potentials.* 2017; Available from: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.
41. Sintef. *CO2-varmepumper for oppvarming og kjøling av kontorbygg.* 2004; Available from: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/smartbygg/wp3/co2-varmepumper-for-oppvarming-og-kjoling-av-kontorbygg.pdf>.
42. Sintef, *Telefonkontakt* 03.03.2017.
43. Fortum Värme. *Data center cooling with heat recovery.* 2017; Available from: <https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/white-paper-cost-efficient-and-sustainable-data-center-cooling-2017-01-23-1.pdf>.
44. EnergyNorway. *Locations for Data center enterprises (DCEs) in Norway.* 2016; Available from: <https://www.energinorge.no/contentassets/513b9d68f343449da61df93ebe7ff66f/locations-for-data-center-enterprises-dce-in-norway.pdf>.
45. The Data Center Journal. *Basics of data center cooling.* 2012; Available from: <http://www.datacenterjournal.com/basics-of-data-center-cooling/>.
46. Grinrød, J., *Møte med Norsk Energi.* 09.02.2017.
47. Dahle, O., *Møte med DataCenter Norway.* 10.04.2017.
48. Varmepumpeinfo. *Luft-til-vann varmepumpe.* 2017; Available from: <http://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/luft-til-vann-varmepumpe>.
49. Stulz. *Stulz White Paper Free Cooling For Data Centers V1.* 2017; Available from: <https://www.stulz.com.mx/en/newsroom/blog/news/free-cooling-direct-and-indirect-5/>.
50. Datacenter Dynamics. *Liquid cooling, the wave of the future?* 2017; Available from: <http://www.datacenterdynamics.com/content-tracks/power-cooling/liquid-cooling-the-wave-of-the-future/97593.fullarticle>.
51. Datacenter Forum Oslo 2017, *Personlig kontakt ved deltagelse på konferansen* 2017.
52. Carselid, M., *Telefonsamtale med Alfa Laval.* 28.03.2017.
53. Alfa Laval. *Artigo LSV.* 2017; Available from: <http://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/finned-coil-air-heat-exchangers/air-coolers/Arctigo-LSV/>.
54. Nilsen, Ø., *Personlig kontakt med Hafslund Varme* 03.03.2017.
55. Hafslund. *Fjernvarmepriser og vilkår.* 2017; Available from: https://www.hafslund.no/fjernvarme/priser_og_vilkaar/2069.
56. Nestegard, H., *Personlig kontakt med Hafslund Varme.* 29.03.2017.
57. Mycklebye, F., *Møte med Hafslund Nett.* 10.03.2017.

58. NVE. *Varedeklarasjon 2015*. 2017; Available from: <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/varedeklarasjon/varedeklarasjon-2015/>.
59. NVE. *Mindre vann i magasinene og dyrere brensler bidro til økning i strømregningen*. 2017; Available from: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/mindre-vann-i-magasinene-og-dyrere-brensler-bidro-til-okning-i-stromregningen/>.
60. NVE. *Kraftmarkedsanalyse 2016-2030*. 2017; Available from: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_02.pdf.
61. Regjeringen. *Redusert el-avgift til store datasentre fra 1.januar 2016*. 2016; Available from: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/reduisert-el-avgift-til-store-datasentre-fra-1.-januar-2016/id2468400/>.
62. Regjeringen. *Regelendringer fra 1.januar 2017*. 2016; Available from: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regelendringer-fra-1.-januar-2017/id2524874/>.
63. Stortinget. *Stortinget - Møte tirsdag den 3.mai 2016 kl.10*. 2016; Available from: <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Referater/Stortinget/2015-2016/160503/3/>.
64. Nærings- og fiskeridepartementet, *E-postkorrespondanse*. 27.04.2017.
65. Nasjonal kommunikasjonsmyndighet. *Kartlegging og vurdering av infrastruktur som kan nyttiggjøres av datasentre*. 2016; Available from: <https://www.regjeringen.no/contentassets/42f31d6b6a1540c2b1dbf73c55e176da/kartlegging-og-vurdering-av-infrastruktur.pdf>.
66. Finansdepartementet. *Statsbudsjettet 2017 - Skattesatser 2017*. 2017; Available from: <http://www.statsbudsjettet.no/Statsbudsjettet-2017/Artikler/Skattesatser-2017/>.
67. Finansdepartementet, *E-postkorrespondanse*. 2017.
68. Kjølstad, C. *Personlig kontakt med Hafslund Varme*. 21.04.2017.
69. ENOVA. *Om Enova*. 2017; Available from: <https://www.enova.no/om-enova/>.
70. Gjerstad, F.O., *Telefonsamtale med ENOVA*. 03.03.2017.
71. ENOVA. *Eksisterende bygg*. 2017; Available from: <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/eksisterende-bygg/>.
72. Cisco. *Cisco Unified Computing System Site Planning Guide: Data Center Power and Cooling*. 2017; Available from: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/unified-computing/white_paper_c11-680202.pdf.
73. Global Knowledge. *Data center energy efficiency - Looking beyond PUE*. 2011; Available from: https://www.globalknowledge.net/mea-shared-content/documents/645372/800829/WP_DC_Energy_efficiency-LookingBeyondPUE_web.pdf.
74. The green grid. *ERE: A metric for measuring the benefit of reuse energy from a data center*. 2010; Available from: https://eehpcwg.llnl.gov/documents/infra/06_energyreuseefficiencymetric.pdf.
75. Bahnhof, *Telefonkontakt med Bahnhof*. 14.02.2017.
76. DigiPlex. *Pioneering Data Centre Opened in Norway*. 2015; Available from: <https://www.digiplex.com/news/environment-minister-opens>.
77. DigiPlex. *DigiPlex Norway - Ulven*. 2017; Available from: <https://www.digiplex.com/resources/pdf/Specification-Summary-Norway-Ulven.pdf>.

78. Murray, A., *Telefonsamtale med DigiPlex*. 10.04.2017.
79. OBOS. *Om utbyggingen på Ulven*. 2017; Available from: <https://www.obos.no/kjop-og-salg-av-bolig/nye-boligprosjekt/boligprosjekter/oslo/ulven/om-utbyggingen-pa-ulven>.
80. OBOS. *Hva som kreves av grønne energiløsninger i arealeffektive, tettbygde byer*. 2016; Available from: <http://www.fjernvarmedagene.no/uploads/userfiles/files/obos.pdf>.
81. Akershus Energi. *Akershus Energi og Bulk Infrastructure utvider samarbeidet*. 2016; Available from: <http://akershusenergi.no/no/nyheter/akershus-energi-og-bulk-infrastruktur-utvider-samarbeidet>.
82. Nærbø, P., *Foredrag på DataCenter Forum 2017*. 21.03.2017.
83. Heggseth, V., *Telefonsamtale med Bulk Infrastructure*. 17.03.2017.
84. Rasmussen, K., *E-postkorrespondanse med Broadnet*. 15.03.2017.
85. Elgethun, K., *Telefonsamtale med Basefarm*. 11.04.2017.
86. Iversen, L.D., *E-postkorrespondanse med Bravida*. 2017.
87. Oslo kommune. *Kommuneplan 2015 Oslo mot 2030*. 2015; Available from: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/1374699/Innhold/Politikk%20og%20administrasjon/Politikk/Kommuneplan/Ny%20kommuneplan%202015/Kommuneplan%202015%20del%201%20justert%2031.01.2017.pdf>.
88. ByPlanOslo. *Tema: Hovinbyen*. 2015; Available from: <http://byplanoslo.no/hovinbyen>.
89. FutureBuilt. *Furuset viser vei*. 2017; Available from: <http://www.futurebuilt.no/Arrangementer#!/Arrangementer/Furuset-viser-vei>.
90. Oslo Kommune. *Klimaeffektiv byutvikling på Furuset - Områderegulering med konsekvensutredning - Sentrumsformål, boliger, barnehager, undervisning, hensynssoner m.m.* 2016; Available from: https://www.oslo.kommune.no/dok/Bystyret/2016_11/1171500_1_1.PDF.
91. Sporveien. *Lørenbanen*. 2016; Available from: https://www.sporveien.com/inter/prosjekter/prosjekt?p_document_id=2639628.
92. Westin, A., *Personlig kontakt*. 10.03.2017.
93. Sagvik, F., *Personlig kontakt med Akershus Energi*. 14.03.2017.
94. Gangeskar, P., *Telefonsamtale med Ringerike Utvikling*. 14.02.2017.
95. Bockmann, K., *Telefonsamtale med Vardar Varme*. 14.02.2017.
96. Utne, Å., *Telefonsamtale med Statkraft Varme*. 10.03.2017.
97. Gudbrandsdal Energi. *Statkraft jobber for å få datasentre til Norge*. 2016; Available from: <https://www.ge.no/geavisa/statkraft-jobber-fa-datasentre-til-norge/>.
98. Innovasjon Norge. *Data centers*. 2017; Available from: <http://www.innovasjon norge.no/en/start-page/invest-in-norway/industries/datacenters/>.
99. Brekke, D.I., *Telefonsamtale med Invest in Norway*. 16.02.2017.
100. Statkraft. *Store datasentre i Norge*. 2016; Available from: <http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201604852/1848478>.
101. Cushman & Wakefield. *Data centre risk index 2016*. 2016; Available from: <http://www.cushmanwakefield.com/en/research-and-insight/2016/data-centre-risk-index-2016/>.
102. YR. *Værstatistikk for Oslo (Blindern)*. 2017.

103. Hafslund. *Priser på nettleie - bedrift*. 2017; Available from: https://www.hafslundnett.no/priser/nettleiepriser_bedrift/15558.
104. NordPool. *Historical Market Data*. 2017; Available from: <http://www.nordpoolspot.com/historical-market-data/>.

13 Vedlegg

Vedlegg 1: Spørreundersøkelse til interessenter

- 1) Hva er kjøleeffekt/ledig effekt for deres datasenter? (Effekt som kunne vært benyttet på fjernvarmenettet. F.eks 1 MW)
- 2) Hva slags kjølesystem har dere i deres eksisterende datasenter?
 - a) Luftkjøling med vannbåren kjøling med konvektor i datahall og;
 - i) kjølemaskin plassert ute, direkte koblet til integrert luftkjølt kondensator
 - ii) væske-til-væske kjølemaskin i teknisk rom og tørrkjøler plassert ute
 - b) Frikjøling direkte med luft.
 - c) Vannkjøling direkte inn i datakabinettet.
- 3) Hvilken type back-up system har dere for kjøling i dag?
- 4) Fortum Värme i Sverige har utviklet en forretningsmodell som heter Åpen fjernvarme, hvor datasentre eier varmepumpen som øker temperaturen og får betalt for den energien de leverer ut på fjernvarmenettet til Fortum. Har dere hørt om denne modellen? Hvis ja, har dere vurdert deres interesse rundt dette?
- 5) Hva vil være den mest utslagsgivende faktoren hvis dere skulle vurdere et mulig samarbeid for bruk av overskuddsvarme fra deres datasenter? Miljøgevinst, investeringskostnad, lønnsomhet etc.?
- 6) Har dere noen formening om hva dere måtte ha fått betalt for at en slik tilknytning skulle vært lønnsomt for dere?
- 7) Hadde dere foretrukket å ta investeringskostnaden på varmepumpen, eller at Hafslund Varme skulle gjøre det?
- 8) Har dere blitt kontaktet tidligere om et slikt samarbeid, eller har dere tidligere vurdert tilknytning til fjernvarmenettet for varmegjenvinning?
- 9) Hvordan vurderer dere risikoen og driftssikkerheten ved tilknytning til fjernvarmenettet?
- 10) Er det viktig for kundene som har servere hos dere at dere driver med miljøvennlig varmegjenvinning?

Vedlegg 2: Tilbud på varmepumper fra ThermoControl

Kjøleytelse		Varmeytelse	Temperaturer				Kjølemedium
Ønsket	Tilbudt	Tilbudt	Kondensator		Fordamper		Tilbudt
			Innløp	Utløp	Innløp	Utløp	
3 MW	914,2x3 = 2742,6 kW	1407,2x3 =4221,6 kW	70	75	10	16	R1234ze
5 MW	1199,4x4 = 4797,6 kW	1719,1x4=6876,4 kW	70	75	18	24	R1234ze

COP	Trykkklasse	Komplett pris kjølemaskin MNOK	Årlig vedlikehold ca pris de 3 første årene	Tilbudt maskin
Tilbudt				
2,85	25	1,6x3=4,8	50000x3=150000	3xCarrier 61XWH-ZE1451
3,31	25	1,6x4=6,4	50000x3=200000	4xCarrier 61XWH-ZE1451

Følgende inngår ikke i vårt tilbud:

Bygningsmessige arbeider og fundamenter
Rørleggerarbeid, vanntilkobling og kondensavløp
Nedheising / mobilkran
Elektriske tilkoblinger
Stillaser og lift
Vannpumper

Betingelser:

Priser : Netto ekskl. mva., inkludert statlig kjølemedieavgift
Tilbudets gyldighet : 30 dager
Leveringstid : 14 - 16 arbeidsuker
Betalingsbetingelser : Netto pr. 30 dager
Leveringsbetingelser : Levert vårt lager i Oslo. Leveres med 3 års reklamasjonstid. Forutsatt inngått servicekontrakt
Eurokurs : Tilbud er gitt med en Eurokurs på 9,1 kr/Euro. Endringer i kurs vil endre tilbudspris

Vedlegg 3: Grensesnitt for kostnadskalkyler

	GRENSENITT FOR KOSTANDSKALKYLER		
Post		F1: Hafslund eier	F2: Datasenter eier
1.0	UTSTYR FOR VARMEPRODUKSJON		
1.1	Varmepumpe	Hafslund	Datasenter
1.2	Sirkulasjonspumpe 1	Hafslund	Datasenter
1.3	Sirkulasjonspumpe 2	Hafslund	Datasenter
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER		
2.1	Rørarbeider fjernvarme	Hafslund	Hafslund
2.2	Rørarbeider kondensator/fjernkjølekrets	Hafslund	Datasenter
2.3	Instrumentering/flowmåler	Hafslund	Datasenter
2.4	Elarbeid/ ombygging av eksisterende hovedtavle	Hafslund	Datasenter
2.5	SRO skap og programmering	Hafslund	Datasenter
2.6	Bygningsmessige arbeider/inntransport varmpumpe	Hafslund	Datasenter
3.0	INFRASTRUKTUR		
3.1	Rigg/drift og anbringning til eksisterende FV rør	Hafslund	Hafslund
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	Hafslund	Hafslund
3.3	Kommunikasjon	Hafslund	Hafslund
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE		
4.1	Prosjektering	Hafslund	Delt*
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse	Hafslund	Delt*
4.3	Testing og prøvetid	Hafslund	Delt*
5.0	Uforutsett	Hafslund	Delt*
	Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader	Hafslund	Delt*

*Delt betyr at kostnadene fordeles prosentvis på de investeringene Hafslund og datasenter har tatt.

Vedlegg 4: Forutsetninger for kostnadskalkyler

- DN150 er brukt som rørdimensjon
- Post 2.1, rørarbeider fjernvarme er satt til 4000 kr/m [79]
- Post 2.4, elarbeid/ombygging av eksisterende hovedtavle er satt til 2000 kr/MW installert kapasitet
- Post 3.2, fjernvarmerør fra hovedtrace til kunde er satt til 8500 kr/m innenfor Ring 3, og 7000 kr/m utenfor Ring 3 [79]. Noen av områdene som er kartlagt for mulig plassering av nytt datasenter er innenfor Ring 3 og noen er utenfor. Det valgt å benytte 8500 kr/m for fjernvarmerør, som gjelder innenfor Ring 3, for å gi et konservativt estimat.
- Post 5.0, uforutsette utgifter er satt til 20 % av total investeringskostnad [3] Dette er fordi det er stor usikkerhet i investeringskostnader i tidlig fase av prosjekter, og for å ta hensyn til risikoen for høyere investeringskostnad.
- Årlig servicekostnad for varmepumpen er oppgitt av leverandør
- Øvrige drift- vedlikeholdskostnader er satt til 3 % av Post 1-Post 3 i kostnadskalkylen for investeringskostnaden

Vedlegg 5: Kostnadskalkyler til alternativene fra Hafslund sitt perspektiv

Kostnadskalkyle A1: DigiPlex - Hafslund eier					
POST	BESKRIVELSE	Dim	Enhetspris	Antall	Totalt
1.0	UTSTYR FOR VARMEPRODUKSJON				
1.1	Varmepumpe	4,22 MW	2 000 000	3	6 000 000
1.2	Sirkulasjonspumpe 1		40 000	3	120 000
1.3	Sirkulasjonspumpe 2		50 000	3	150 000
SUM 1	Utstyr for varmeproduksjon				6 270 000
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER				
2.1	Rørarbeider fjernvarme	DN 150	4 000	50	200 000
2.2	Rørarbeider kondensator/fjernkjølekrets	DN 150	4 000	25	100 000
2.3	Instrumentering/flowmåler		150 000	1	150 000
2.4	Elarbeid/ ombygging av eksisterende hovedtavle	1,5 MW	3 000 000	1	3 000 000
2.5	SRO skap og programmering		300 000	1	300 000
2.6	Bygningsmessige arbeider/inntransport varmepumpe		1 500 000	1	1 500 000
SUM 2	Innvendige arbeider				5 250 000
3.0	INFRASTRUKTUR				
3.1	Rigg/drift og an boring til eksisterende FV rør				50 000
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	DN 150	8 500	25	212 500
3.3	Kommunikasjon		30 000	1	30 000
SUM 3	Infrastruktur				292 500
SUM 1-3	Installasjon/sammenkopling				11 812 500
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE				
4.1	Prosjektering		10,00 %		1 181 250
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse		7,00 %		826 875
4.3	Testing og prøvetid		1,00 %		118 125
SUM 4	Prosjektering og byggeledelse		10,00 %		2 126 250
SUM 1-4	Investeringer eksklusive uforutsett				13 938 750
5.0	Uforutsett		20,00 %		2 787 750
SUM 1-5	Investering inklusive uforutsett				16 726 500
	Årlige kostnader				
	Årlig servicekostnad oppgitt fra leverandør [kr]				kr 150 000
	Øvrig drift og vedlikehold				kr 354 375
	Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader (3% av total investering)				kr 504 375

Kostnadskalkyle A2: DigiPlex - Datasenter eier					
POST	BESKRIVELSE	Dim	Enhetspris	Antall	Totalt
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER				
2.1	Rørarbeider fjernvarme	DN 150	4 000	50	200 000
SUM 2	Innvendige arbeider				200 000
3.0	INFRASTRUKTUR				
3.1	Rigg/drift og an boring til eksisterende FV rør				50 000
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	DN 150	8 500	25	212 500
3.3	Kommunikasjon		30 000	1	30 000
SUM 3	Infrastruktur				292 500
SUM 2-3	Installasjon/sammenkopling				492 500
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE				
4.1	Prosjektering		10,00 %		49 250
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse		7,00 %		34 475
4.3	Testing og prøvetid		1,00 %		4 925
SUM 4	Prosjektering og byggeledelse		10,00 %		88 650
SUM 1-4	Investeringer eksklusive uforutsett				581 150
5.0	Uforutsett		20,00 %		116 230
SUM 1-5	Investering inklusive uforutsett				697 380
	Årlige kostnader				
	Årlig servicekostnad oppgitt fra leverandør [kr]				
	Øvrig drift og vedlikehold				
	Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader (3% av post 1-3)				kr 14 775

Kostnadskalkyle A3: Nytt datasenter - Hafslund eier					
POST	BESKRIVELSE	Dim	Enhetspris	Antall	Totalt
1.0	UTSTYR FOR VARMEPRODUKSJON				
1.1	Varmepumpe	6,876 MW	2 000 000	4	8 000 000
1.2	Sirkulasjonspumpe 1		40 000	4	160 000
1.3	Sirkulasjonspumpe 2		50 000	4	200 000
SUM 1	Utstyr for varmeproduksjon				8 360 000
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER				
2.1	Rørarbeider fjernvarme	DN 150	4 000	50	200 000
2.2	Rørarbeider kondensator/fjernkjølekrets	DN 150	4 000	25	100 000
2.3	Instrumentering/flowmåler		150 000	1	150 000
2.4	Elarbeid/ ombygging av eksisterende hovedtavle	2,1 MW	4 200 000	1	4 200 000
2.5	SRO skap og programmering		300 000	1	300 000
2.6	Bygningsmessige arbeider/inntransport varmpumpe		1 500 000	1	1 500 000
SUM 2	Innvendige arbeider				6 450 000
3.0	INFRASTRUKTUR				
3.1	Rigg/drift og an boring til eksisterende FV rør				50 000
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	DN 150	8 500	100	850 000
3.3	Kommunikasjon		30 000	1	30 000
SUM 3	Infrastruktur				930 000
SUM 1-3	Installasjon/sammenkopling				15 740 000
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE				
4.1	Prosjektering		10,00 %		1 574 000
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse		7,00 %		1 101 800
4.3	Testing og prøvetid		1,00 %		157 400
SUM 4	Prosjektering og byggeledelse		10,00 %		2 833 200
SUM 1-4	Investeringer eksklusive uforutsett				18 573 200
5.0	Uforutsett		20,00 %		3 714 640
SUM 1-5	Investering inklusive uforutsett				22 287 840
	Årlige kostnader				
	Årlig servicekostnad oppgitt fra leverandør[kr]				kr 200 000
	Øvrig drift og vedlikehold				kr 472 200
	Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader (3% av post 1-3)				kr 672 200

Kostnadskalkyle A4: Nytt datasenter - Datasenter eier					
POST	BESKRIVELSE	Dim	Enhetspris	Antall	Totalt
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER				
2.1	Rørarbeider fjernvarme	DN 150	4 000	50	200 000
SUM 2	Innvendige arbeider				200 000
3.0	INFRASTRUKTUR				
3.1	Rigg/drift og an boring til eksisterende FV rør				50 000
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	DN 150	8 500	100	850 000
3.3	Kommunikasjon		30 000	1	30 000
SUM 3	Infrastruktur				930 000
SUM 2-3	Installasjon/sammenkopling				1 130 000
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE				
4.1	Prosjektering		10,00 %		113 000
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse		7,00 %		79 100
4.3	Testing og prøvetid		1,00 %		11 300
SUM 4	Prosjektering og byggledeelse		10,00 %		203 400
SUM 1-4	Investeringer eksklusive uforutsett				1 333 400
5.0	Uforutsett		20,00 %		266 680
SUM 1-5	Investering inklusive uforutsett				1 600 080
	Årlige kostnader				
	Årlig servicekostnad oppgitt fra leverandør[kr]				
	Øvrig drift og vedlikehold				
	Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader (3% av post 2 og 3)				kr 33 900,00

Kostnadskalkyle A5: TDC - Hafslund eier					
POST	BESKRIVELSE	Dim	Enhetspris	Antall	Totalt
1.0	UTSTYR FOR VARMEPRODUKSJON				
1.1	Varmepumpe	1,41 MW	2 000 000	1	2 000 000
1.2	Sirkulasjonspumpe 1		40 000	1	40 000
1.3	Sirkulasjonspumpe 2		50 000	1	50 000
SUM 1	Utstyr for varmeproduksjon				2 090 000
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER				
2.1	Rørarbeider fjernvarme	DN 150	4 000	50	200 000
2.2	Rørarbeider kondensator/fjernkjølekrets	DN 150	4 000	25	100 000
2.3	Instrumentering/flowmåler		150 000	1	150 000
2.4	Elarbeid/ ombygging av eksisterende hovedtavle	0,5 MW	1 000 000	1	1 000 000
2.5	SRO skap og programmering		300 000	1	300 000
2.6	Bygningsmessige arbeider/inntransport varmpumpe		1 500 000	1	1 500 000
SUM 2	Innvendige arbeider				3 250 000
3.0	INFRASTRUKTUR				
3.1	Rigg/drift og an boring til eksisterende FV rør				50 000
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	DN 150	7 000	225	1 575 000
3.3	Kommunikasjon		30 000	1	30 000
SUM 3	Infrastruktur				1 655 000
SUM 1-3	Installasjon/sammenkopling				6 995 000
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE				
4.1	Prosjektering		10,00 %		699 500
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse		7,00 %		489 650
4.3	Testing og prøvetid		1,00 %		69 950
SUM 4	Prosjektering og byggeledelse		10,00 %		1 259 100
SUM 1-4	Investeringer eksklusive uforutsett				8 254 100
5.0	Uforutsett		20,00 %		1 650 820
SUM 1-5	Investering inklusive uforutsett				9 904 920
	Årlige kostnader				
	Årlig servicekostnad oppgitt fra leverandør [kr]				kr 50 000
	Øvrig drift og vedlikehold				kr 209 850
	Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader (3% av total investering)				kr 259 850

Kostnadskalkyle A6: TDC - Datasenter eier					
POST	BESKRIVELSE	Dim	Enhetspris	Antall	Totalt
2.0	INNVENDIGE ARBEIDER				
2.1	Rørarbeider fjernvarme	DN 150	4 000	50	200 000
SUM 2	Innvendige arbeider				200 000
3.0	INFRASTRUKTUR				
3.1	Rigg/drift og anbringning til eksisterende FV rør				50 000
3.2	Fjernvarmerør fra hovedtrase til kunde	DN 150	7 000	225	1 575 000
3.3	Kommunikasjon		30 000	1	30 000
SUM 3	Infrastruktur				1 655 000
SUM 2-3	Installasjon/sammenkopling				1 855 000
4.0	PROSJEKTERING OG BYGGELEDELSE				
4.1	Prosjektering		10,00 %		185 500
4.2	Byggeledelse og idriftsettelse		7,00 %		129 850
4.3	Testing og prøvetid		1,00 %		18 550
SUM 4	Prosjektering og byggeledelse		10,00 %		333 900
SUM 1-4	Investeringer eksklusive uforutsett				2 188 900
5.0	Uforutsett		20,00 %		437 780
SUM 1-5	Investering inklusive uforutsett				2 626 680
Årlige kostnader Årlig servicekostnad oppgitt fra leverandør [kr] Øvrig drift og vedlikehold Sum service-, drifts- og vedlikeholdskostnader (3% av post 1-3)					<u>kr 55 650</u>

Vedlegg 6: Nåverdiberegninger for basisalternativer

A1: DigiPlex - Hafslund eier																
Sannsynlig investeringskostnad	16,7															
Levetid	15 år															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	7029															
Avgitt effekt [MW]	4,22															
Internrente	30,7 %															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sannsynlig investeringskostnad	-16,7															
Årlig service-, drifts-og vedlikeholdskostnader	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	
Strømkostnader til varmpumpe																
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01	
Kostnad spot [MNOK]	-1,62	-1,65	-1,65	-1,66	-1,72	-1,75	-1,79	-1,83	-1,89	-1,93	-1,95	-2,00	-2,07	-2,11	-2,14	
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	
Sum årlig strømkostnad [MNOK]	-3,08	-3,11	-3,11	-3,12	-3,18	-3,21	-3,25	-3,28	-3,35	-3,39	-3,41	-3,46	-3,53	-3,57	-3,60	
Innsparing ny produksjonsmiks [MNOK]	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	-12,65	4,05	4,05	4,04	3,98	3,95	3,91	3,87	3,81	3,77	3,75	3,70	3,63	3,59	3,56	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	-12,16	3,74	3,60	3,45	3,27	3,12	2,97	2,83	2,68	2,54	2,43	2,31	2,18	2,07	1,97	
Nåverdi [MNOK]:	27,0															

Figur 42: Nåverdiberegning for A1

A2: DigiPlex - Datasenter eier																
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	0,697															
Levetid	15 år															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	7029															
Avgitt effekt [MW]	4,222															
Internrente	#NUM!															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-0,697															
Årlig service-, drifts-og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
Kostnader varmeleveranse fra datasenter [MNOK]																
Fast effektpris 750 kr/kW	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	-3,17	
Fast energipris 150 kr/MWh	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	
Sum utgifter for varmeleveranse [MNOK]	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	-6,17	
Innsparing ny produksjonsmiks [MNOK]	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	0,78	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	0,75	1,36	1,31	1,26	1,21	1,17	1,12	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	
Nåverdi [MNOK]:	15,7															

Figur 43: Nåverdiberegning for A2

A3: Nytt datasenter - Hafslund eier															
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	22,3														
Levetid	15 år														
Diskonteringsrente	4,0 %														
Årlig energibehov til VP [MWh]	9714														
Avgitt effekt [MW]	6,88														
Internrente	48,24 %														
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-22,29														
Årlig service-, drifts-og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Strømkostnader til varmepumpe															
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235,00	235,00	236,00	245,00	249,50	255,00	260,00	269,00	275,00	278,00	285,00	295,00	300,00	305,01
Kostnad spot [MNOK]	-2,24	-2,28	-2,28	-2,29	-2,38	-2,42	-2,48	-2,53	-2,61	-2,67	-2,70	-2,77	-2,87	-2,91	-2,96
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30
Sum årlig strømkostnad [MNOK]	-4,27	-4,32	-4,32	-4,33	-4,41	-4,46	-4,51	-4,56	-4,65	-4,71	-4,73	-4,80	-4,90	-4,95	-5,00
Innsparing ny produksjonsmiks [MNOK]	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	-14,94	7,30	7,30	7,29	7,20	7,16	7,11	7,06	6,97	6,91	6,88	6,81	6,72	6,67	6,62
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	-14,37	6,75	6,49	6,23	5,92	5,66	5,40	5,16	4,90	4,67	4,47	4,26	4,03	3,85	3,68
Nåverdi [MNOK]:	57,1														

Figur 44: Nåverdiberegning for A3

A4: Nytt datasenter - Datasenter eier															
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	1,60														
Levetid	15 år														
Diskonteringsrente	4,0 %														
Årlig energibehov til VP [MWh]	9714														
Avgitt effekt [MW]	6,88														
Internrente	#NUM!														
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-1,60														
Årlig service-, drifts-og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
Kostnad varmeleveranse fra datasenter [MNOK]															
Fast effektpris 750 kr/kW	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16	-5,16
Fast energipris 150 kr/MWh	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82
Sum utgifter for varmeleveranse [MNOK]	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98	-9,98
Innsparing ny produksjonsmiks [MNOK]	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	0,68	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	0,65	2,10	2,02	1,95	1,87	1,80	1,73	1,66	1,60	1,54	1,48	1,42	1,37	1,31	1,26
Nåverdi [MNOK]:	23,8														

Figur 45: Nåverdiberegning for A4

A5: TDC - Hafslund eier																
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	9,90															
Levetid	15 år															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	2493															
Avgitt effekt [MW]	1,41															
Internrente	12,1 %															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-9,9															
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	
Strømkostnader til varmepumpe																
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235,00	235,00	236,00	245,00	249,50	255,00	260,00	269,00	275,00	278,00	285,00	295,00	300,00	305,01	
Kostnad spot [MNOK]	-0,57	-0,59	-0,59	-0,59	-0,61	-0,62	-0,64	-0,65	-0,67	-0,69	-0,69	-0,71	-0,74	-0,75	-0,76	
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	
Sum årlig strømkostnad [MNOK]	-1,07	-1,09	-1,09	-1,09	-1,11	-1,12	-1,14	-1,15	-1,17	-1,19	-1,19	-1,21	-1,24	-1,25	-1,26	
Innsparing ny produksjonsmiks [MNOK]	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	-8,55	1,35	1,35	1,35	1,32	1,31	1,30	1,29	1,26	1,25	1,24	1,22	1,20	1,19	1,17	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	-8,22	1,25	1,20	1,15	1,09	1,04	0,99	0,94	0,89	0,84	0,81	0,76	0,72	0,69	0,65	
Nåverdi [MNOK]:	4,8															

Figur 46: Nåverdiberegning for A5

A6: TDC - Datasenter eier																
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	2,63															
Levetid	15 år															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	2492															
Avgitt effekt [MW]	1,41															
Internrente	23,21 %															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-2,63															
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	
Kostnader for varmeleveranse fra datasenter [MNOK]																
Fast effektpris 750 kr/kW	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	-1,06	
Fast energipris 150 kr/MWh	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	
Sum utgifter for varmeleveranse [MNOK]	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	-2,12	
Innsparing ny produksjonsmiks [MNOK]	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	-2,11	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	-2,03	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30	0,29	
Nåverdi [MNOK]:	3,2															

Figur 47: Nåverdiberegning for A6

Vedlegg 7: Nåverdiberegninger for basialternativene sett fra datasenter sitt perspektiv

A1: DigiPlex - Hafslund eier																
Datasenter sitt perspektiv																
Levetid	15 år															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	7029															
Avgitt effekt [MW]	4,22															
Årlig kjøleeffekt [MWh/år]	13003															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]																
Strømbesparelse for levert kjøling																
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01	
Kostnad spot [MNOK]	-1,62	-1,65	-1,65	-1,66	-1,72	-1,75	-1,79	-1,83	-1,89	-1,93	-1,95	-2,00	-2,07	-2,11	-2,14	
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	
Sum årlig spart strømkostnad [MNOK]	3,08	3,11	3,11	3,12	3,18	3,21	3,25	3,28	3,35	3,39	3,41	3,46	3,53	3,57	3,60	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	3,08	3,11	3,11	3,12	3,18	3,21	3,25	3,28	3,35	3,39	3,41	3,46	3,53	3,57	3,60	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	2,96	2,87	2,76	2,66	2,61	2,54	2,47	2,40	2,35	2,29	2,22	2,16	2,12	2,06	2,00	
Nåverdi [MNOK]:	36,5															

Figur 48: Nåverdiberegning for A1 sett fra datasenter sitt perspektiv

A2: DigiPlex - Datasenter eier																
Datasenter sitt perspektiv																
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	16,03															
Levetid	15 år															
Renter	2,9 %															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	7029															
Avgitt effekt [MW]	4,22															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-16,03															
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	
Avdrag [MNOK]	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	
Restlån [MNOK]	-14,96	-13,89	-12,82	-11,75	-10,69	-9,62	-8,55	-7,48	-6,41	-5,34	-4,27	-3,21	-2,14	-1,07	0,00	
Renter [MNOK]	-0,43	-0,28	-0,37	-0,24	-0,31	-0,19	-0,25	-0,15	-0,19	-0,11	-0,12	-0,06	-0,06	-0,02	0,00	
Strømkostnader til varmepumpe																
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01	
Kostnad spot [MNOK]	-1,62	-1,65	-1,65	-1,66	-1,72	-1,75	-1,79	-1,83	-1,89	-1,93	-1,95	-2,00	-2,07	-2,11	-2,14	
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	
Sum årlig strømkostnad [MNOK]	-3,08	-3,11	-3,11	-3,12	-3,18	-3,21	-3,25	-3,28	-3,35	-3,39	-3,41	-3,46	-3,53	-3,57	-3,60	
Inntekt varmesalg																
Fast effektpris 750 kr/kW	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	
Fast energipris 150 kr/MWh	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	
Sum inntekt fra varmesalg [MNOK]	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	-0,38	-0,26	-0,35	-0,22	-0,36	-0,27	-0,37	-0,30	-0,40	-0,37	-0,40	-0,39	-0,46	-0,46	-0,47	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	-0,37	-0,24	-0,31	-0,19	-0,29	-0,22	-0,28	-0,22	-0,28	-0,25	-0,26	-0,25	-0,28	-0,26	-0,26	
Nåverdi [MNOK]:	-4,0															

Figur 49: Nåverdiberegning for A2 sett fra datasenter sitt perspektiv

A3: Nytt datasenter - Hafslund eier

Datasenter sitt perspektiv																
Levetid	15 år															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	9714															
Avgitt effekt [MW]	6,88															
Årlig kjøleeffekt [MWh/år]	22439															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]																
Strømbesparelse for levert kjøling																
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01	
Kostnad spot [MNOK]	-2,24	-2,28	-2,28	-2,29	-2,38	-2,42	-2,48	-2,53	-2,61	-2,67	-2,70	-2,77	-2,87	-2,91	-2,96	
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	
Sum årlig spart strømkostnad [MNOK]	4,27	4,32	4,32	4,33	4,41	4,46	4,51	4,56	4,65	4,71	4,73	4,80	4,90	4,95	5,00	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	4,27	4,32	4,32	4,33	4,41	4,46	4,51	4,56	4,65	4,71	4,73	4,80	4,90	4,95	5,00	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	4,11	3,99	3,94	3,70	3,63	3,52	3,43	3,33	3,27	3,18	3,08	3,00	2,94	2,86	2,77	
Nåverdi [MNOK]:	50,6															

Figur 50: Nåverdiberegning for A3 sett fra datasenter sitt perspektiv

A4: DigiPlex - Datasenter eier

Datasenter sitt perspektiv																
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	20,69															
Levetid	15 år															
Renter	2,9 %															
Diskonteringsrente	4,0 %															
Årlig energibehov til VP [MWh]	9714															
Avgitt effekt [MW]	6,88															
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-20,69															
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	-0,64	
Avdrag [MNOK]	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	
Restlån [MNOK]	-19,31	-17,93	-16,55	-15,17	-13,79	-12,41	-11,03	-9,65	-8,28	-6,90	-5,52	-4,14	-2,76	-1,38		
Renter [MNOK]	-0,56	-0,36	-0,48	-0,30	-0,40	-0,25	-0,32	-0,19	-0,24	-0,14	-0,16	-0,08	-0,08	-0,03		
Strømkostnader til varmepumpe																
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01	
Kostnad spot [MNOK]	-2,24	-2,28	-2,28	-2,29	-2,38	-2,42	-2,48	-2,53	-2,61	-2,67	-2,70	-2,77	-2,87	-2,91	-2,96	
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	-1,30	
Sum årlig strømkostnad [MNOK]	-4,27	-4,32	-4,32	-4,33	-4,41	-4,46	-4,51	-4,56	-4,65	-4,71	-4,73	-4,80	-4,90	-4,95	-5,00	
Inntekt varmesalg																
Fast effektpris 750 kr/kW	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	
Fast energipris 150 kr/MWh	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	
Sum inntekt fra varmesalg [MNOK]	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59	
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	0,74	0,89	0,77	0,94	0,76	0,86	0,74	0,82	0,68	0,73	0,67	0,68	0,59	0,59	0,57	
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	0,71	0,83	0,69	0,80	0,62	0,68	0,56	0,60	0,48	0,49	0,44	0,43	0,35	0,34	0,32	
Nåverdi [MNOK]:	8,3															

Figur 51: Nåverdiberegning for A4 sett fra datasenter sitt perspektiv

A5: TDC - Hafslund eier															
Datasenter sitt perspektiv															
Levetid	15 år														
Diskonteringsrente	4,0 %														
Årlig energibehov til VP [MWh]	2493														
Avgjitt effekt [MW]	1,41														
Årlig kjøleeffekt [MWh/år]	4611														
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]															
Strømbesparelse for levert kjøling															
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01
Kostnad spot [MNOK]	-0,57	-0,59	-0,59	-0,59	-0,61	-0,62	-0,64	-0,65	-0,67	-0,69	-0,69	-0,71	-0,74	-0,75	-0,76
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31
Sum årlig spart strømkostnad [MNOK]	1,07	1,09	1,09	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,17	1,19	1,19	1,21	1,24	1,25	1,26
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	1,07	1,09	1,09	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,17	1,19	1,19	1,21	1,24	1,25	1,26
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	1,03	1,00	0,97	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70
Nåverdi [MNOK]:	12,7														

Figur 52: Nåverdiberegning for A5 sett fra datasenter sitt perspektiv

A6: DigiPlex - Datasenter eier															
Datasenter sitt perspektiv															
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	7,28														
Levetid	15 år														
Renter	2,9 %														
Diskonteringsrente	4,0 %														
Årlig energibehov til VP [MWh]	2493														
Avgjitt effekt [MW]	1,41														
År	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Kapitalstrømmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sannsynlig investeringskostnad [MNOK]	-7,28														
Årlig service-, drifts- og vedlikeholdskostnader [MNOK]	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20
Avdrag [MNOK]	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49
Restlån [MNOK]	-6,79	-6,31	-5,82	-5,34	-4,85	-4,37	-3,88	-3,40	-2,91	-2,43	-1,94	-1,46	-0,97	-0,49	0,00
Renter [MNOK]	-0,20	-0,13	-0,17	-0,11	-0,14	-0,09	-0,11	-0,07	-0,08	-0,05	-0,06	-0,03	-0,03	-0,01	0,00
Strømkostnader til varmepumpe															
Spotpris [kr/MWh]	230,50	235	235	236	245	249,5	255	260	269	275	278	285	295	300	305,01
Kostnad spot [MNOK]	-0,57	-0,59	-0,59	-0,59	-0,61	-0,62	-0,64	-0,65	-0,67	-0,69	-0,69	-0,71	-0,74	-0,75	-0,76
Kostnad variabel nettleie [MNOK]	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19
Kostnad fast nettleie [MNOK]	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31
Sum årlig strømkostnad [MNOK]	-1,07	-1,09	-1,09	-1,09	-1,11	-1,12	-1,14	-1,15	-1,17	-1,19	-1,19	-1,21	-1,24	-1,25	-1,26
Inntekt varmesalg															
Fast effektpris 750 kr/kW	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Fast energipris 150 kr/MWh	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Sum inntekt fra varmesalg [MNOK]	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Kapitalstrøm totalt [MNOK]	-0,35	-0,29	-0,33	-0,27	-0,33	-0,28	-0,32	-0,29	-0,33	-0,31	-0,32	-0,32	-0,34	-0,33	-0,34
Diskontert kontantstrøm totalt [MNOK]	-0,33	-0,27	-0,29	-0,23	-0,27	-0,23	-0,25	-0,21	-0,23	-0,21	-0,21	-0,20	-0,20	-0,19	-0,19
Nåverdi [MNOK]:	-3,5														

Figur 53: Nåverdiberegning for A6 sett fra datasenter sitt perspektiv



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway