



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin

ING3039

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2019 16:10	Termin:	2019 VÅR
Sluttdato:	08-05-2019 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3039 1 PRO-1 2019 VÅR Haugesund		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 110

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Utnyttelse av spillvannet fra Kårstø

Engelsk tittel *: Utilization of the Wastewater From Kårstø

Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen Nei**
konfidensiell materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert oppgavetittelen
på norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 9

Andre medlemmer i gruppen: Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja



Utnyttelse av spillvannet fra Kårstø

KJETIL HOLME
MYKYTA MAISTRENKO

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Kjetil Holme og Mykyta Maistrenko

Linje & studieretning	Maskiningeniør - Prosess- og energiteknikk
----------------------------------	--

Oppgavens tittel: Utnyttelse av spillvannet fra Kårstø

Oppgavetekst:

Kårstøanlegget produserer mye spillvarme i løpet av en dag. Denne spillvarmen blir delvis resirkulert inn i systemet, men ikke alt. En del av spillvarmen vil i form av spillvann bli sluppet ut i havet og dermed ikke utnyttet.

Oppgaven dreier seg om å se på hvilke muligheter Kårstøanlegget har for videre bruk av dette spillvannet. Formålet med en slik oppgave vil være å finne ut om det er en løsning som kan være til fordel for Kårstøanlegget og eventuelle kunder av spillvannet sin økonomi. Det vil også bli sett på hvilke miljøfordeler som kommer av dette.

Endelig oppgave gitt: 01.03-'19

Innleveringsfrist: Onsdag 8.mai 2019 kl. 12.00


Intern veileder: Andrés Franklin Olivares Lopez

Geir Klungveit og Kurt Seland

Ekstern veileder:
emailadresse ekstern
veileder:

geklun@equinor.com og kusel@equinor.com

Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:


30/4 - 19

Forord

Oppgaven oppstod gjennom et samarbeid med Haugaland Vekst. Haugaland Vekst er et kommunalt organ som jobber for å utvikle næringen på Haugalandet (Haugaland vekst, u.d.). De ønsket at studenter skulle se på ulike metoder for effektivisering av energi i industrien. Det ble da kommet frem til en enighet om å sette søkelys på varmeutnyttelse av spillvann, av den grunn at det er ved flere bedrifter igangsatt tiltak for bruk av spillvann, men det er trolig fortsatt rom for videre utvikling. Vi ønsker å takke Øyvind Olsen og Anette Sæther for all hjelp de har bidratt med.

Studentene kontaktet da Equinor, som stilte seg veldig positive til et samarbeid med bachelorstudenter angående skriving av en rapport rundt mulighetene som er tilgjengelig for Kårstø når det kommer til utnytting av spillvann. Geir Klungtveit og Kurt Seland meldte seg da som frivillige når det gjaldt å tre inn som eksterne veiledere. Vi ønsker takke for deres hjelp i denne prosessen.

Vi ønsker også å takke vår interne veileder ved Høgskolen på Vestlandet, Andrés Franklin Olivares Lopez.

X *Mykyta Maistrenko*
Mykyta Maistrenko

X *Kjetil J. F. Holme*
Kjetil J. F. Holme

Innholdsfortegnelse

Figurliste.....	V
Tabeller.....	VII
Forklaring av ord og forkortelser.....	IX
Sammendrag.....	XII
Summary.....	XIII
Innledning.....	1
Begrensninger for oppgaven.....	1
Hva er spillvann?	1
Kårstø	2
Energiberegninger.....	3
Muligheter og potensielle kunder av spillvannet.....	7
Omdanning til elektrisk energi.....	8
Organic Rankine Cycle (ORC)	8
Stirlingmotor	9
Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC).....	9
Relevans av omdanning til elektrisk energi.....	10
Fjernvarmesystemer	12
Virkningsgrad.....	13
Relevans av spillvannet i fjernvarmesystemer.....	16
Annet bruk	17
Snøsmelting.....	18
Jordbruk	18
Drivhus	19
Vannbasert og landbasert biomasse	20
Hydroponiske systemer og samproduksjon	23
Tørking	25
Resultat	27
Aktuelle kunder i området rundt Kårstø.....	28
Jordbruk og drivhus.....	28

Haugaland Næringspark	28
Haugneset industriområde.....	28
AlgaePro	28
Distribusjon	29
Rørsystem	29
Polyuretan	29
Rørmateriale.....	30
Dimensjoner og kriterier for rørsystemet	30
Pumper.....	34
Varmetap i rørsystemet	37
Kostnader og lønnsomhet	40
Utgifter	41
LCOE og tilbakebetalingstid	45
Miljømessige fordeler og ulemper	50
Unngåtte klimautslipp	51
Klimautslipp grunnet prosjektet.....	52
Produksjon av stål og forming av rør	52
Produksjon av isolering (polyuretan)	53
Transport.....	53
Drivstoff og utstyr	53
Coating og sveising	53
Annet	53
Pumper.....	55
Totalt.....	55
Eksempel på mulige prosjekter.....	58
Konklusjon.....	61
Referanser.....	64
Vedleggsliste.....	69
Vedlegg a.....	a
Vedlegg b.....	b
Vedlegg c.....	c

Vedlegg d.....	d
Vedlegg e.....	e
Vedlegg f.....	f

Figurliste

Figur 1: Bilde av Kårstø gassprosesseringsanlegg (Vines, 2007)	2
Figur 2: To utslippspunkter med spillvann fra Kårstø. Bildet fra Google Maps (Google, 2019)	4
Figur 3: Skjematisk tegning av Organic Rankine Cycle (Ragnøy, 2014).....	9
Figur 4: OTEC-simuleringen i Aspen HYSYS utførte av Leif Mathias Aas Olsen (Olsen L. M., 2016)	10
Figur 5: Nettproduksjon av fjernvarme fordelt på typer varmesentraler i 2017 (Statistisk Sentralbyrå, 2018).....	12
Figur 6: COP til en varmepumpe	13
Figur 7: Eksempel på bruk av sjøvann i varmepumpeanlegg.....	15
Figur 8: Eksempel på bruk av spillvann i varmepumpeanlegg.....	15
Figur 9: COP til en varmepumpe ved forskjellige varmekilder	16
Figur 10: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, jordbruk	19
Figur 11: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, drivhus	20
Figur 12: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, biomasseanlegg	20
Figur 13: Hydroponisk system. Bildet laget av Oslo Aquaponics. (Oslo Aquaponics, 2017).	23
Figur 14: Verdikjede for hydroponisk system. Bildet er basert på rapporten som dreier seg om spillvarmeutnyttelse i Nyhamna (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013)	24
Figur 15: Verdikjede for fiskeoppdrett og tørrfisk	24
Figur 16: Verdikjede for algedyrking, fiskeoppdrett og tørking	24
Figur 17: Verdikjede for dyrking av andemat, fiskeoppdrett og tørking	25
Figur 18: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, tørkingsanlegg.....	25
Figur 19: Polyuretan brukt som isolasjon rundt rør (Kraft, 2009).....	29
Figur 20: Kostnad knyttet til pumper (World Pumps, 2008).....	35
Figur 21: Varmetap gjennom tre typer rør ved ulike omgivelsestemperatur	38
Figur 22: Illustrasjon av utgifter på forskjellige trinn av prosjektet utbyggelse og vedlikehold	41
Figur 23: Kostnadsoversikt for legging av rør.....	43
Figur 24: Investeringer i varmepumpeanlegg ved forskjellige ytelser (NVE, 2019)	44
Figur 25: LCOE for anlegg designet for spillvannstrøm fra forskjellige typer rør, levetid på 30 år	49

Figur 26: Utslipp av klimagasser delt inn i sektor (Ritchie & Roser, 2017).....	50
Figur 27: Utslipp av klimagasser forekommet av stålproduksjon på verdensbasis (Yellishettya, Ranjitha, & Tharumarajah, 2010)	52
Figur 28: Netto CO2 mengde som slippes ut over levetiden ved forskjellige lengder av distribusjonssystem. I forhold til bruk av sjøvann som varmekilde.	55
Figur 29: Netto CO2 mengde som slippes ut over levetiden ved forskjellige lengder av distribusjonssystem. I forhold til bruk av elektrisitet som varmekilde.	56
Figur 30: Haugsneset industriområdet markert på kart (Norgeskart, 2019).....	58

Tabeller

Tabell 1: Symboler, enheter og forklaringer til formel 1	4
Tabell 2: Symboler, enheter og forklaringer til formel 2	5
Tabell 3: Symboler, enheter og forklaringer til formel 3	8
Tabell 4: Symboler, enheter og forklaringer til formel 4	13
Tabell 5: Mulige brukere av spillvannet til Kårstø gassprosesseringsanlegg.....	27
Tabell 6: Symboler, enheter og forklaringer til formel 8	31
Tabell 7: Rørdimensjoner avhengig av strømningsrate og strømningshastighet	31
Tabell 8: Symboler, enheter og forklaringer til formel 10	33
Tabell 9: Symboler, enheter og forklaringer til formel 11	33
Tabell 10: Trykktap ved ulike typer rør	34
Tabell 11: Symboler, enheter og forklaringer til formel 12	35
Tabell 12: Symboler, enheter og forklaringer til formel 13	36
Tabell 13: Strøm- og pumpekostnader	36
Tabell 14: Symboler, enheter og forklaringer til formel 14	37
Tabell 15: Temperaturendringen til spillvann ved distribuering i DN100 rør	38
Tabell 16: Temperaturendringen til spillvann ved distribuering i DN1200 rør	39
Tabell 17: Kostnader knyttet til varmpumpeanlegg	42
Tabell 18: Kostnader knyttet pumper og rørledninger	43
Tabell 19: Investeringer for anlegg ved tre mulige avstander	44
Tabell 20: Symboler, enheter og forklaringer til formel 15	45
Tabell 21: Symboler, enheter og forklaringer til formel 17	46
Tabell 22: LCOE for varmpumpeanlegg inkludert utbyggingskostnader. Grønt felt viser sikker variant og røde felter er ikke økonomisk lønnsomme. Gule felter står imellom og man må gå videre fram med å undersøke kostnader mer nøyaktig.	47
Tabell 23: LCOE for varmpumpeanlegg ekskludert utbyggingskostnader. Grønt felt viser sikker variant og røde felter er ikke økonomiske lønnsomme. Gule felter står imellom og man må gå videre fram med å undersøke kostnader mer nøyaktig.	47
Tabell 24: LCOE for varmpumpeanlegg inkludert utbyggingskostnader og med forlenget fullasttimer. Grønt felt viser sikker variant og røde felter er ikke økonomiske lønnsomme. Gule felter står imellom og man må gå videre fram med å undersøke kostnader mer nøyaktig.	48

<i>Tabell 25: Forventede besparelser av CO2 eq sluppet ut i atmosfæren grunnet besparelse av elektrisitet ved et slikt prosjekt.....</i>	51
Tabell 26: Forventet klimagassutslipp grunnen prosjektet.....	54
Tabell 27: forventet klimagassutslipp som effekt av elektrisiteten som blir brukt til å drive pumpene	55
Tabell 28: Totale kostnader knyttet til bruk av varmepumpe. Haugsneset, 3 km fra Kårstø..	59
Tabell 29: Besparelser ved ulike type anlegg	60
Tabell 30: Tilbakebetalingstider til ulike type anlegg på tre distanser	60
Tabell 31: Vedleggsliste	69

Forklaring av ord og forkortelser

Symboler, forkortelser og uttrykk	Forklaring
Andemat	En type vannplante som sprer seg raskt i stillestående vann.
Biomasse	Råmaterialer av en biologisk opprinnelse som brukes for produksjon av energi eller andre varer.
COP	(Coefficient of Performance) Et begrep som gir et forhold mellom avgitt varmeenergi fra system og energi som tilføres systemet.
Diisocyanat	Molykyler som kan blir brukt i produksjon av polyuretan.
Eggperiode	Perioden i livet av en fiskeart før smoltperioden hvor fisk blir værende som et egg.
Ferdigbetong	Ferdigbetong er betong tilpasset krav til miljø og til å styrke anvendelsesområde.
Fjernvarme	Varmeenergi sendt fra ett sted til et annet i form av et oppvarmet medium.
Flis	Biobrensel laget av trevirke.
Hydroponiske systemer	En kombinasjon av plantedyrking uten jord og fiskeoppdrett, hvor de to er bundet i et vannsirkulerende system
Katalysator	Et stoff som akselerer kjemiske prosesser uten å endre den kjemiske likevekt.
Klebe	Bindemiddel.
Klimagasser	Gasser som påvirker klimaet om de blir sluppet ut i atmosfæren.
Kondensat/lettolje	Hydrokarboner som forekommer i naturgass
LCOE	(Levelized Cost of Energy) Et begrepet som viser hvilken pris man må sette på produserte energi eller varer for å få alle utgifter dekket i løpet av anleggets levetid.
LPG	(Liquefied petroleum gas) Flytende petroleumsgass

NP	Næringspark
ORC	(Organic Rankin Cycle) En prosess som omdanner varmeenergi fra fordampende organisk arbeidmedium til elektrisk energi.
OTEC	(Ocean Thermal Energy Conversion) En prosess som omdanner varmeenergi av havvann til elektrisk energi.
Polymerisk isocyanat	Molykyler som kan blir brukt i produksjon av polyuetan.
Polyol	Molykyler som blir brukt i produksjon av polyuetan.
Polyuretan	Et molekyl som er dannet av en serie organiske molekylenheter bundet med molekylgruppen uretan.
Ppm	(Parts per Million) Enheter per million.
Salgsgass/tørrgass	Naturgass som etter prosessering inneholder lite hydrokarboner og består for det meste av metan.
Samproduksjon	En kombinasjon av to eller flere anlegg som er bundet sammen i et system og er avhengig av hverandre.
SEC	(Specific Energy Consumption) Spesifikk energi bruk.
Smolt	Ungefisk av laksefamilien som er klar til flytting fra ferskvann til saltvann
Stirlingmotor	En type varmekraftmaskin som fungerer ved ekspansjon og kompresjon av gasser.
Tilbakebetalingstid	Tiden som viser hvor lang tid det tar før investeringene blir tjent inn igjen av årlig inntektstrøm.
Varmekapasitet	En fysisk enhet for stoff som beskriver dets evne til å varmes opp ved tilføring av varmeenergi.
Varmepumpe	Et apparat som overfører varmeenergi fra varmekilden til varmeavtakeren.
Varmesentraler	Anlegg som produserer og samler opp varme for

	videresending.
Varmeveksling	En prosess av overføring av termisk energi fra et varmt stoff til et kaldt stoff, slik at det oppnås termisk likevekt.
Vekstperiode	Perioden i livet av en fiskeart etter smoltperioden hvor fisk er voksen.
vv-systemer	(Vannbåren varmesystem) Et system med sirkulerende varmtvann, som brukes til oppvarming av boliger.

Sammendrag

Kårstø gassprosesseringsanlegg produserer store mengder spillvann i løpet av året. Dette vannet har en viss mengde energi som potensielt sett kan utnyttes. Med tanke på effektivt bruk av energi stiller man et spørsmål: Hvordan kan denne energien utnyttes? Rapporten vil dreie seg om mulighetene Kårstø prosessanlegg har til nettopp dette. Det skal sees på mulige energiavtakere som er tilgjengelige i nærområdet for Kårstø. I tillegg blir det sett på hvilke virksomheter som kan ved oppstart i nærområdet dra nytte av spillvannet.

Rapporten demonstrerer muligheter for å effektivisere bruk av spillvann til å produsere elektrisitet. Andre alternativer for bruk av varmeenergien som er tilgjengelig i spillvannet er også tatt opp i rapporten. Det er satt opp en systematisk oversikt over hvilke alternativer som er mest aktuelle.

I rapporten sees det på hvor mye varme som går tapt ved å sende vannet gjennom isolerte rør over lengre avstander, og til hvor stor grad dette vil være en relevant faktor for et slikt prosjekt.

Det blir sett på hvilke miljømessige påkjenninger som forekommer i utviklings- og driftsfasene til et fjernvarmeanlegg, samt hvilke positive påvirkninger et slikt prosjekt vil ha på miljøet.

Med tanke på pris er det spørsmål knyttet til hvor langt man kan bygge ut rørnettverk før prosjektet ikke lenger vil være lønnsomt. Det blir da sett på et prosjektseksempl og regnet ut LCOE og tilbakebetalingstid for dette.

Summary

Kårstø gas processing plant produces large amounts of wastewater during a year. This water has a certain amount of energy that can potentially be utilized. In view of efficient use of energy, one asks: How can this energy be utilized? This report will look in to the possibilities that are available for Kårstø processing plant in regard to wastewater. Possible customers of the energy that are available in the vicinity of Kårstø will be assessed. In addition, it is looked at which industries that can benefit from the wastewater if they were to establish in close proximity to Kårstø.

The report demonstrates opportunities for effective use of wastewater in production of electricity. Other options for using the heat energy available in the wastewater are also included in the report. A systematic overview of which alternatives are most relevant has been set up.

The report looks at how much heat is lost by sending the water through isolated pipes over long distances, and to what extent this will be a relevant factor for projects like this.

It is considered which environmental stresses occur in the development and operation phases of a district heating plant, and what positive effects such a project will have on the environment.

Given the price, there are questions about how far one can build out pipeline networks before the project will no longer be profitable. It is then looked at an example and calculated the LCOE and the payback time for such project.

Innledning

Begrensninger for oppgaven

Det settes opp enkelte grenser for hva som blir sett på og hva man velger å se bort fra. Rapporten er laget for å skape en oversikt over muligheter Kårstø har for bruk av spillvannet sitt og dette på en forståelig og oversiktlig måte. Rapporten gir estimerte dimensjoner på rør, trykktap, kostnader og miljøpåvirkninger. Disse estimatene er gjort for å gi et innblikk i reelle verdier, men vil være annerledes for ulike prosjekter man velger å jobbe videre med. Dette kommer av at det vil være variabler for ulike prosjekter som ikke er mulig å gi en presis verdi med mindre man går dypere inn i hvert enkelt tilfelle.

Rapporten ser på hvilke muligheter som er tilgjengelige utenfor Kårstøanlegget. Det vil si at mulighetene Kårstø har for videre bruk av spillvannet i sin egen virksomhet er ikke sett videre på i denne rapporten.

Hva er spillvann?

I store industrielle anlegg er det mange prosesser som krever at man bruker vann til å kjøle ned medier og utstyr. Termodynamikkens første lov ifølge Bjørn Pedersen fra Store norske leksikon, sier «Energi kan ikke forsvinne, men bare gå over fra en form til en annen.» (Pedersen, 2018). Dette vil si at når vannet kjøler ned noe, gjør det så ved å overta noe av varmeenergien fra hva det kjøler ned, og vil med andre ord varmes opp. Energien i vannet vil så muligens være noe man kan utnytte i andre sammenhenger. Vanligvis vil dette vannet bli sluppet ut igjen i havet hvor den resterende energien ikke vil være mulig å hente opp. Formålet med denne oppgaven vil være å se på mulighetene for å utnytte denne energien før den bli sluppet ut i havet.

Kårstø

Kårstø er Equinor sitt gassprosesseringsanlegg i Nord-Rogaland. Anlegget prosesserer gass og kondensat/lettolje som kommer fra rundt 30 ulike felt i Nordsjøen. Det er Europas største av sitt slag med sin sammenslåtte kapasitet på 545 000 m³ blant de ulike gassene og kondensat. Det strømmer millioner av kubikkmeter gass og kondensat gjennom anlegget hver dag, som sendes videre ut i Europa. Etan, LPG og kondensat blir også fraktet fra anlegget med en hyppighet på 700 båtlaster per år (Gassco, 2011).

Staten vedtok byggingen av transportsystemet for gass 10. Juni 1981 og 25. Juli 1985 kom den første gassen til anlegget. Gassen ble så for første gang videresendt til Tyskland senere samme år. Det har blitt gjort mange utvidelser til anlegget opp gjennom årene. I 1993 kunne Kårstø også ta imot og stabilisere kondensat fra sleipnerfeltet. I 2000 startet transporten av gass fra Åsgardfeltet til anlegget og i 2005 åpnet de slusene for Kristinfeltet (Gassco, 2011).



Figur 1: Bilde av Kårstø gassprosesseringsanlegg (Vines, 2007)

Anlegget tar imot gass og kondensat fra feltene i Nordsjøen gjennom rør som går langs havbunnen. Først må trykk og temperatur reguleres. Så må man fjerne vann fra gassen slik at man kan redusere temperaturen til -60 °C uten å skape iskrystaller som kan skade rør og utstyr. Gassen kan nå separeres til nafta, propan, isobutan og normalbutan i et fraksjoneringsanlegg. Etan vil bli separert i et annet anlegg hvor det vil så kunne bli solgt separat. Etter denne prosessen er restene for det meste metangass og blir distribuert som salgsgass/tørrgass til det europeiske markedet. Kondensatet blir separert i et annet anlegg før det blir fraktet til kunder via skip (Gassco, 2011).

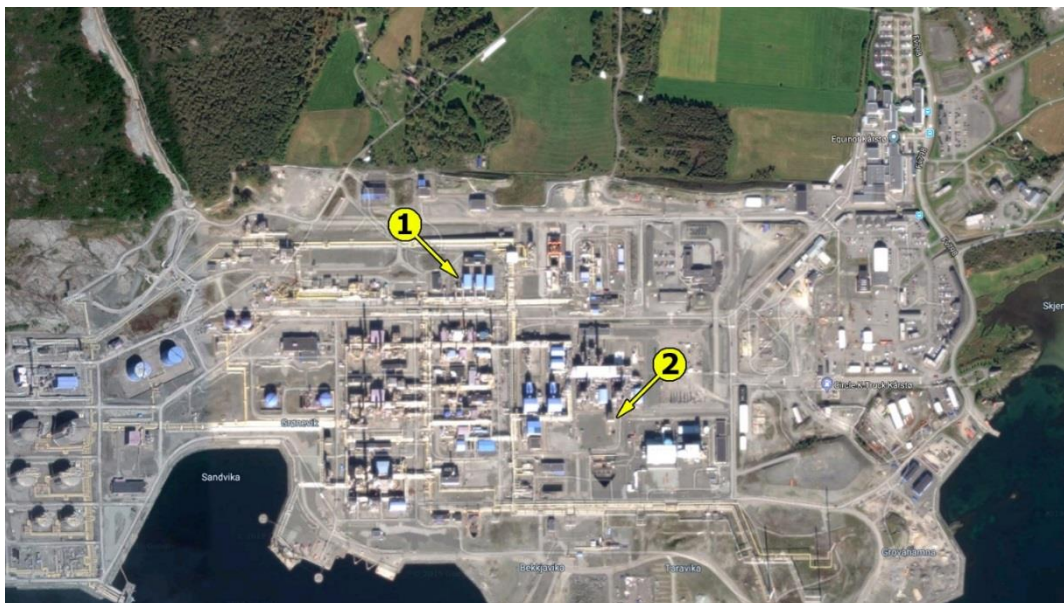
Energiberegninger

Når man skal gå frem med en slik oppgave er det viktig å vite mengden potensiell energi som er tilgjengelig. En måte å tenke på dette er å forestille seg hvor mye energi som kreves for å varme opp vann fra gjennomsnittlig havtemperatur, til temperaturen vannet har når det forlater anlegget. For å gjøre dette må vi først ha på plass noen verdier. Hvor mye vann og hvor varmt er vannet når det forlater anlegget. Beregninger i oppgaven er basert på fremgangsmåter vist i bøkene «Fluid Mechanics with Engineering Applications, Tenth Edition» (Finnemore & Franzini, 2009) og «Applied Thermodynamics for Engineering Technologists, Fifth Edition» (Eastop, Croft, & Watson, 1993).

Kjølevannsystemet på Kårstø er designet slik at maksimal temperaturøkning til sjøvann er rundt 15 °C og kjølevannpumpene som brukes har til sammen en kapasitet på 21 000 m³/h. Nødvendig informasjon om sjøvannstemperatur i havet spesifikt i vestlandsområdet kan finnes ved hjelp av Havforskningsinstituttet. Data om sjøvannstemperaturer og saltinnhold blir samlet inn fra flere målingsstasjoner i Norge. For denne rapporten er det passende å bruke Indre Utsira Stasjon som befinner seg i nærheten av det relevante området. Med valgt målingsperiode fra April 2018 til April 2019 ved en vanddybde på 75 m, får man en gjennomsnittlig og normalisert temperaturverdi på 7,3 °C (Havforskningsinstituttet, 2017).

Det velges da en sjøvannstemperatur på 8 °C i beregningene for å ta i betraktning at det forventes ca. en 0,3 °C temperaturløft hvert tiår fremover grunnet global oppvarming (Ritchie & Roser, 2017).

Det er to kjølevannsystemer på Kårstø. Åsgard og Statpipe, som hvert sirkulerer ca. 21 000 m³/h sjøvann. Når vann strømmer gjennom de forskjellige delene, får vannet et visst temperaturløft som forventes å ha en gjennomsnittlig verdi på 7,5 °C. Det betyr at ved to utløpspunkter med spillvann får man til sammen 42 000 m³/h vann ved (8+7,5) °C. Disse to punktene er vist på figur 2 (Seland & Klungtveit, 2019).



Figur 2: To utslippspunkter med spillvann fra Kårstø. Bildet fra Google Maps (Google, 2019)

Varmestrøm til spillvann er beregnet etter formel (1).

$$\dot{Q} = c_{vann} \cdot \Delta T \cdot \dot{m} \tag{1}$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
\dot{Q}	J/s = W	Varmestrøm
c_{vann}	J/(kg·K)	Varmekapasitet til vann ¹
ΔT	K	Temperaturendring i vann
\dot{m}	kg/s	Massestrøm

Tabell 1: Symboler, enheter og forklaringer til formel 1

For å konvertere volumstrøm til massestrøm, bruker man formel (2).

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho_{vann} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \tag{2}$$

¹ Her brukes vannets varmekapasitet på 4 186 J/(kg·K).

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
\dot{m}	kg/s	Massestrøm
\dot{V}	m ³ /s	Volumstrøm
ρ_{vann}	kg/m ³	Tetthet til sjøvann, som er 1 025 kg/m ³

Tabell 2: Symboler, enheter og forklaringer til formel 2

Videre kombinerer man formel (1) og formel (2) for å finne varmestrømen:

$$\dot{Q} = 4186 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 7,5 K \cdot 42\,000 \frac{m^3}{h} \cdot 1025 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 375,43 MW$$

Her brukes 7,5 K istedenfor 7,5 °C som ble oppgitt tidligere, grunnen til dette er at man snakker om temperaturdifferanse, og forskjellen på 1 °C tilsvarer forskjellen på 1 K.

Aktuell data målt på prosessanlegget (vedlegg a og b):

- Åsgard – (11 932,34 + 9 481,96) m³/h vann med en temperatur på 13,18 °C.
- Statpipe/Sleipner – 23 283,87 m³/h med en temperatur på 16,6 °C.

For å regne ut hvor mye energi dette tilsvarer kan man like gjerne slå sammen kildene og gjøre beregninger deretter.

$$\dot{V}_{tot} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = (11932,34 + 9481,96) \frac{m^3}{h} + 23283,87 \frac{m^3}{h} = 44698,17 \frac{m^3}{h}$$

$$T_{tot} = \frac{T_1 \cdot \dot{Q}_1 + T_2 \cdot \dot{Q}_2}{\dot{Q}_3} = \frac{13,18 \text{ °C} \cdot 21414,3 \frac{m^3}{h} + 16,6 \text{ °C} \cdot 23283,87 \frac{m^3}{h}}{44698,17 \frac{m^3}{h}} = 14,96 \text{ °C}$$

Man tar igjen utgangspunkt i at hva som ellers hadde blitt brukt ville vært sjøvann med en gjennomsnittlig temperatur på 8 °C.

Man kan da beregne den potensielle energien dette tilsvarer.

$$\Delta T = (14,96 - 8) \text{ °C} = 6,96 \text{ °C} = 6,96 K$$

Ved formelen (2) finner man massestrømmen:

$$53854 \frac{m^3}{h} (\text{vann}) = \frac{44698,17 \cdot 1025 kg}{3600 s} (\text{vann}) = 12726,56 \frac{kg}{s} (\text{vann})$$

En kombinasjon av to formler, (1) og (2), brukes for å beregne varmestrømmen:

$$c_{vann} \cdot \Delta T \cdot \dot{m}_1 = 4186 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 6,96 K \cdot 12726,56 \frac{kg}{s} = 370,78 MW$$

Sammenligner man dette med effekt som produseres på Midtfjellet vindpark, får man at spillvannet fra Kårstø har 2,48 gangers større effekt, 370,78 MW fra spillvannet mot 149,6 MW fra vindparken (Midtfjellet Vindkraft AS, 2016).

Ifølge Statistisk sentralbyrå sin rapport ble det brukt 6 538 kWh/år elektrisitet for oppvarming av et gjennomsnittlig hus i 2006, som utgjorde 39 % av el-forbruk (Statistisk sentralbyrå, 2009). I 2012 ble det brukt 16 044 kWh/år elektrisitet per gjennomsnittlige husstand (Statistisk sentralbyrå, 2014). Varmeforbruket utgjør da 6 318,25 kWh/år. Dette tilsvarer 721,26 W. Spillvann med 370,78 MW har en potensial til å forsyne 514 083 husholdninger med varme.

Muligheter og potensielle kunder av spillvannet

I dette kapitlet skal det presenteres hvilke mulige avtakere for spillvarmen som finnes. Det er tydelig at spillvannets temperatur vil være en avgjørende faktor for hvor effektivt varmen kan anvendes. Derfor sees det med en gang på varmeavtakere som har et relevant temperaturbehov i forhold til Kårstø sitt spillvann.

Her er bruksalternativer for spillvann med en temperatur på 14,96 °C:

- Produksjon av elektrisitet
- Fjernvarmesystemer
- Annet bruk
 - Snøsmelting
 - Jordbruk
 - Drivhus
 - Vannbasert biomasse
 - Hydroponiske systemer og samproduksjon
 - Tørking

Hvert bruksalternativ skal identifiseres og beskrives med en eller flere skisser. Det skal også utarbeides en liste med fordeler og ulemper for forskjellige bruksmuligheter.

Konklusjonen til dette kapitlet vil være en tabell bestående av mulige varmeavtakere, med gunstige temperaturområder og muligheter for bruk. Tabellen vil være basert på data fra rapporten «Spillvarmeutnyttelse Nyhamna» (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Omdanning til elektrisk energi

Produksjon av elektrisitet fra lavtemperatur varme foregår ved bruk av stirlingmotorer eller ORC (Organic Rankin Cycle). Det finnes også en teknologi som kalles OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) hvor havvarme benyttes for el-produksjon. Det vil vise seg til slutt at en praktisk anvendelse for aktuelle temperaturer medfører store tap og svært lave virkningsgrader (Ragnøy, 2014).

For en varmekraftmaskin, det vil si et apparat som produserer elektrisitet fra varme, forventes virkningsgrad å ikke være større enn den teoretiske virkningsgraden – Carnot-virkningsgraden. (Eastop, Croft, & Watson, 1993).

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad (3)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
T_C	K	Temperatur til et kaldt reservoar
T_H	K	Temperatur til et varmt reservoar

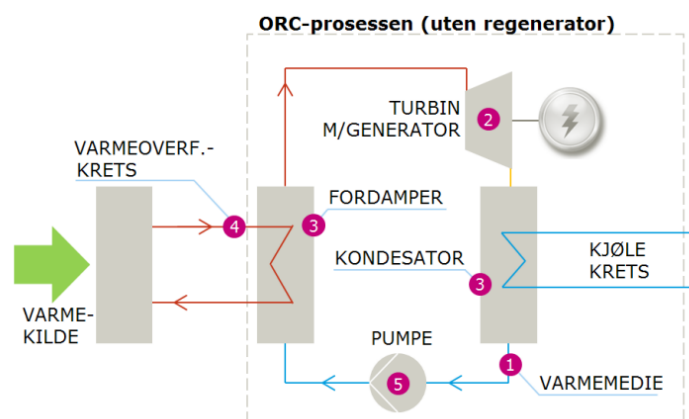
Tabell 3: Symboler, enheter og forklaringer til formel 3

Ved omgivelsestemperatur, T_C , lik 8°C (eller $281,15\text{ K}$) og ved tilgjengelig temperatur på $14,96^\circ\text{C}$ (eller $288,11\text{ K}$) vil virkningsgraden være ca. $2,4\%$, men oppnåelig virkningsgrad vil være enda mindre, ca. 1% . Ved høyere omgivelsestemperaturer senkes reell virkningsgrad ned til mindre enn 1% .

Organic Rankine Cycle (ORC)

ORC baserer seg på Rankine prosessen for uten at det brukes organiske forbindelser som arbeidsmedium. ORC fortjener i dag en status som en vellykket og kommersielt tilgjengelig teknologi for spillvarmeutnyttelse. Denne teknologien har eksistert på markedet i mer enn 30 år. Det er imidlertid ingen fornuftig og lønnsomt bruk av ORC for produksjon av elektrisitet fra varmekilder med en temperatur lavere enn 80°C . (Ragnøy, 2014).

På figur 3 ser man skjematisk tegning av hvordan fungerer ORC.



Figur 3: Skjematisk tegning av Organic Rankine Cycle (Ragnøy, 2014)

Stirlingmotor

Selv om Stirling prosessen har en lang historie og forbedres stadig med tiden, blir den brukt mye mindre enn Rankine syklusen. Grunnen til dette ligger i forskjellen i virkningsprinsipper til disse to teknologiene. Stirling bruker i sitt prinsipp volumdifferansen mellom varm gass og kald gass, mens Rankine bruker volumdifferanse mellom væske og gass, som er i stand til å utføre mer arbeid i forhold til Stirling-prosessen. I tillegg bruker Rankine-prosessen ulike typer dampturbiner og arbeidsmedier som er skreddersydd til ulike arbeidsbetingelser (A. Rettig, M. Lagler, T. Lamare et al., 2011).

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)

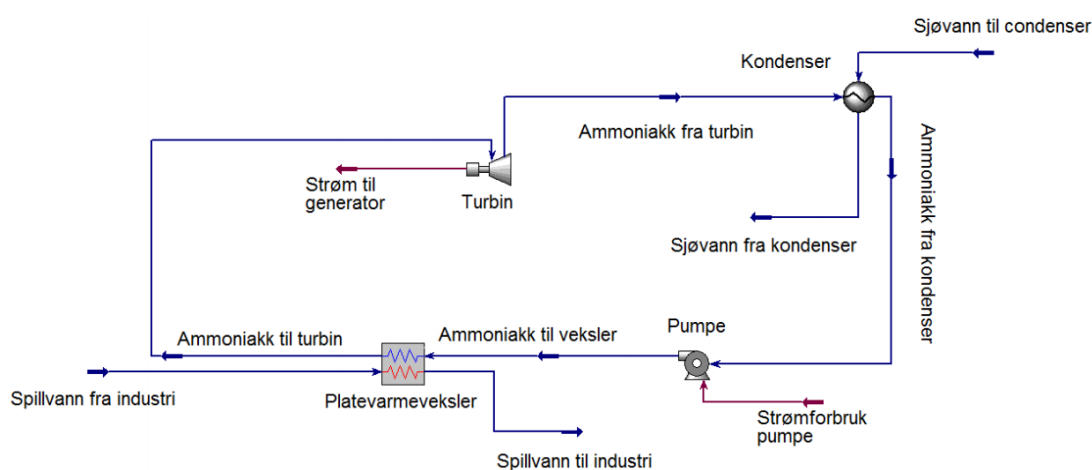
Denne teknologien var kjent for mer enn 100 år siden, men på grunn av at det krever store kostnader og stor kompetanse er OTEC fortsatt ikke kommersielt brukt. For å kunne produsere elektrisitet må man pumpe opp en masse kaldtvann fra en dybde på 700-1000 meter. Det medfører bygging, legging og vedlikehold av rør med 10 meters diameter. Pumpene vil også bruke 20-40% av den produserte elektrisiteten (OTEC foundation, 2012).

Det er mulig å anvende spillvann istedenfor varmtvann ved oppvarming av arbeidsmediet i OTEC-systemet (f.eks. ammoniakk eller R-134a). Man trenger da likevel den «kalde side» hvor arbeidsmedium skal kondenseres, som potensielt sett kan være sjøvann med temperatur ca. 8 °C. Temperaturdifferanse mellom spillvann og sjøvann vil dessverre ikke være

tilstrekkelig høy nok for OTEC for å få rimelige virkningsgrader. For et rimelig resultat må man minst ha en temperaturforskjell på 20 °C (S. M. Masutani, P. K. Takahashi, 2001).

Ifølge Cooper D.J., Meyer L.E. og Varley R.J. ligger den største teknologiske utfordringen at liten temperaturredifferanse krever en stor vannmengde ved minimalt trykkfall (Cooper, D.J., Meyer L.E. and Varley R.J., 2009).

I masteroppgaven utført av Leif Mathias Aas Olsen i 2016 ble det simulert i Aspen HYSYS en OTEC-prosess med 4509,08 m³/h spillvann ved 43 °C som varmekilde. Simuleringsbildet er gitt nedenfor på figur 4.



Figur 4: OTEC-simuleringen i Aspen HYSYS utførte av Leif Mathias Aas Olsen (Olsen L. M., 2016)

Med sjøvannstemperatur på 7,7 °C og massestrøm på 16 382,61 m³/h forventes det at et slikt anlegg vil produsere 6,29 MW strøm med et pumpeforbruk på 4,61 MW som resulterer i en total strømproduksjon på 1,68 MW. Det ble også estimert at investeringene på prosjektet blir –40 620 644 NOK. Dette er for et 318 m langt sjøvannsrør med diameter på 2,376 m (Olsen L. M., 2016).

Relevans av omdanning til elektrisk energi

Dette prosjektet innebærer bruk av temperaturer som er lite egnet til generering av elektrisitet. Alle teknologiene som er beskrevet i kapittelet gir mulighet til å produsere elektrisitet, men inntektsstrøm fra et slikt anlegg med spillvann med 14,96 °C vil ikke dekke investeringer og kostnader i løpet av anleggets levetid (Olsen L. M., 2016). Det er verdt å nevne likevel at man stadig utvikler teknologiene knyttet til elektrisk produksjon, og i

framtiden kan det forventes å kunne oppnå bedre virkningsgrader enn i dag. Med dette kommer også ønske om å redusere varmetap fra industri og utvinne energi fra spillvann.

Fordeler:

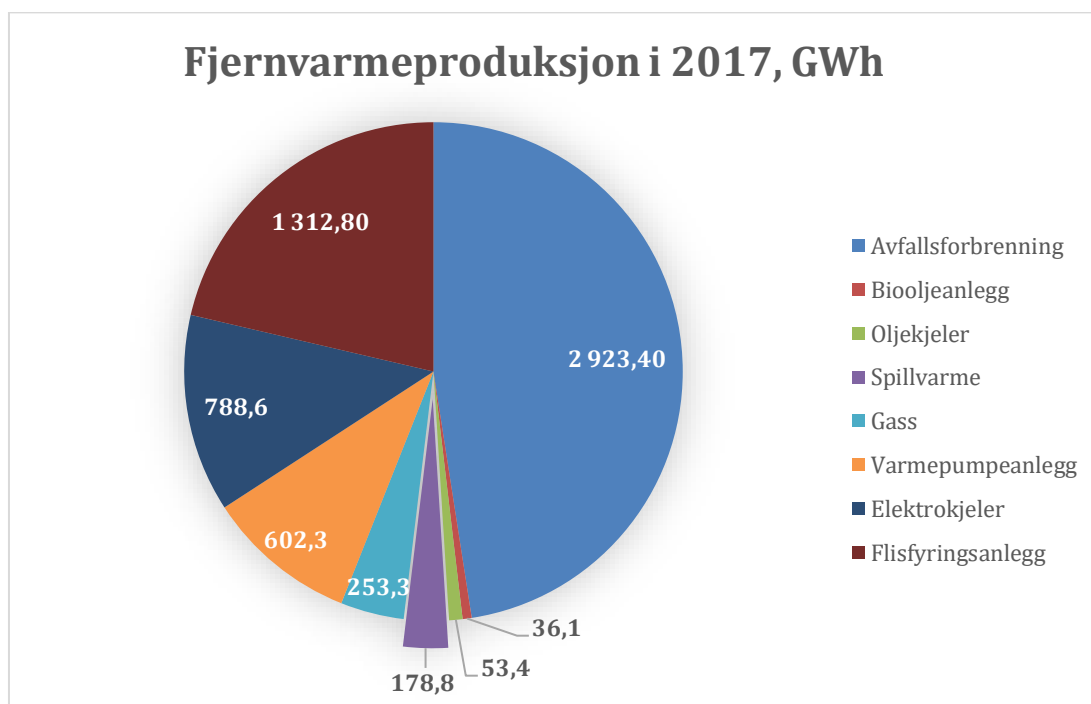
- + Omdanning til elektrisitet gir en viss sikkerhet med tanke på økende priser på elektrisitet;
- + Slike prosjekter kunne gitt en push til videre utvikling av teknologer knyttet til utnyttelse av lavtemperaturkilder i Norge.

Ulemper:

- Temperaturer for spillvann er vanligvis ganske lave i dagens situasjon, dette vil til slutt gi dårlige virkningsgrader;
- Store kostnader fører til at prosjektet ikke er lønnsomt;
- Mangel på tilstrekkelig kompetanse i drift og vedlikehold av teknologienes utstyr;
- Varmetap i prosessen av el-produksjon er betydelig og uunngåelig;
- Utbygging av anlegg kan ha en relativ stor negativ effekt på miljøet.

Fjernvarmesystemer

I 2017 ble det utarbeidet fjernvarmestatistikk fra Statistisk sentralbyrå. Der vises det til årlig forbruk av spillvarme på 178,8 GWh, som utgjør 2,9% av energien fra varmesentraler. Det ble også påpekt at den største forbrukergruppen er tjenesteyting – ca. 60% (3300 GWh). (Statistisk Sentralbyrå, 2018).



Figur 5: Nettproduksjon av fjernvarme fordelt på typer varmesentraler i 2017 (Statistisk Sentralbyrå, 2018)

Informasjonen gir en pekepinn på om fjernvarmeavtakere kan være sikre brukere av spillvann fra Kårstø.

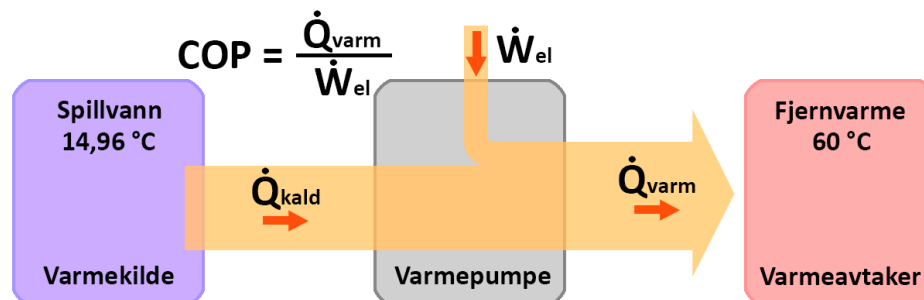
En sentral komponent i vanlige fjernvarmesystemer er varmepumpen. Vanligvis blir den installert i bygninger eller i fjernvarmeanlegg nær bygninger, hvor et internt rørsystem supplerer folk med varme. De som bor i nærheten av kilder for spillvarme og har installert vannbårent varmesystem, eller vv-system, kan enkelt tilpasse sitt system til bruk av spillvann som varmekilde (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Her er listen over de mulige brukergruppene:

- Offentlige bygg og næringsvirksomheter. Disse regnes som mer sannsynlige varmeavtakere. De er interessert i å skape en sikker varmedistributør og har store forventninger til levetiden til sine bedrifter (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).
- Husstander. Private husstander vil på en annen side sannsynligvis vise mindre entusiasme ovenfor å investere i et vv-system. Det satses også lite blant distributører på levering av fjernvarme til husstander, på grunn av geografisk spredt varmebehov og dermed større kostnader ved tilknytning til fjernvarmenett som i tillegg medfører uunngåelige energitap (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Virkningsgrad

Når det gjelder varmepumpers ytelse bruker man et begrep som heter COP. Det gir et forhold mellom avgitt varmeenergi fra varmepumpesystem, \dot{Q}_{varm} , og tilført elektrisk energi, \dot{W}_{el} , som driver varmepumpen (Finnemore & Franzini, 2009). Figur 6 hjelper med å beskrive begrepet.



Figur 6: COP til en varmepumpe

Den maksimale teoretiske COP-en kan beregnes ved følgende formel:

$$COP = \frac{T_{\text{varm}}}{T_{\text{varm}} - T_{\text{kald}}} \quad (4)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
T_{varm}	K	Temperatur som tilføres varmeavtakeren
T_{kald}	K	Temperatur til varmekilde

Tabell 4: Symboler, enheter og forklaringer til formel 4

Man må huske å omdanne grader i Celsius til Kelvin. En enkel formel illustrerer hvordan man gjør dette:

$$\text{Grader i Kelvin} = 273,15 + \text{Grader i Celsius} \quad (5)$$

For å oppgi et tall for en mer realistisk COP ganger man den med Carnot-virkningsgrad. Da vil COP tilnærme seg virkeligheten som medfører tap i løpet av varmpumpebruk (Eastop, Croft, & Watson, 1993). Formel (6) beskriver denne situasjonen.

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{COP_{\text{reell}}}{COP_{\text{teoretisk}}} \quad (6)$$

Vanligvis opplever Carnot-virkningsgraden noen svingninger avhengig av varmpumpens belastningsnivå, men driften av varmpumpeanlegget på Hammerfest gir informasjon om estimert Carnot-virkningsgraden til varmpumpen. Den er 0,614, men for dette prosjektet settes den ned til 0,6 eller 60% (Tryggestad, 2015).

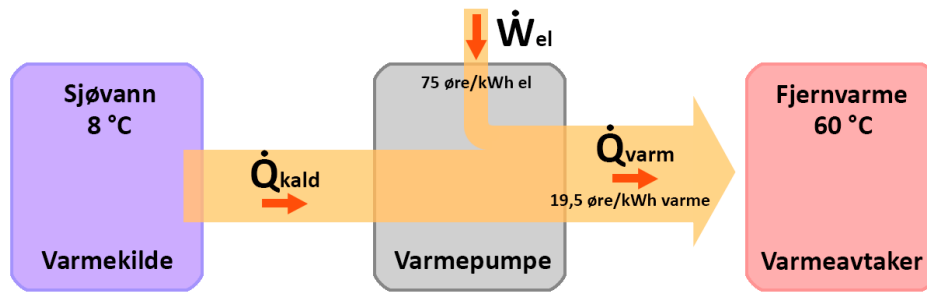
Med tanke på virkningsgraden omdannes formel (4) til:

$$COP = 0,6 \cdot \frac{T_{\text{varm}}}{T_{\text{varm}} - T_{\text{kald}}} \quad (7)$$

Fordelen med spillvarme kommer av at man benytter den som en varmekilde med høyere temperatur, noe som betyr at man trenger å tilføre mindre energi for å heve temperaturen til det samme nivået. For eksempel, om man skal drive en varmpumpe med 75 øre/kWh el og bruker sjøvann med en temperatur på 8 °C for så å heve temperaturen opp til 60 °C. Beregner man COP ved hjelp av formel (7), men husker også da å oversette celsiusgrader til kelvin med formel (5).

$$COP_{8^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}} = 0,6 \cdot \frac{(273,15 + 60)K}{(60 - 8)K} = 3,84$$

Dette vil bety at varmpumpen produserer 3,84 ganger mer varme enn det blir tilført elektrisk energi. Prisen på 1 kWh varme blir da 19,5 øre/kWh varme. Figur 7 illustrerer dette.

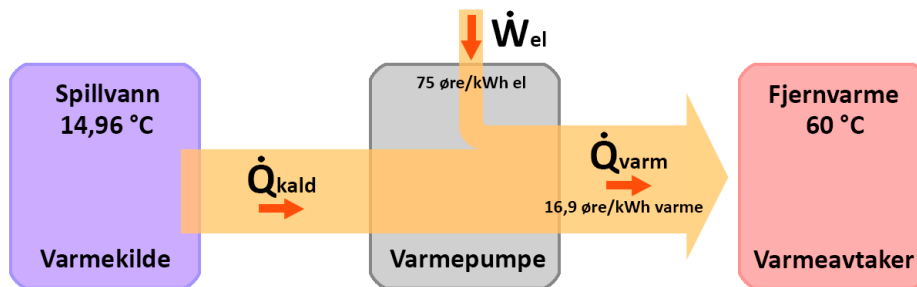


Figur 7: Eksempel på bruk av sjøvann i varmepumpeanlegg

I tilfellet med spillvann får man en viss forbedring som følge av et lavere temperaturløft. COP settes til:

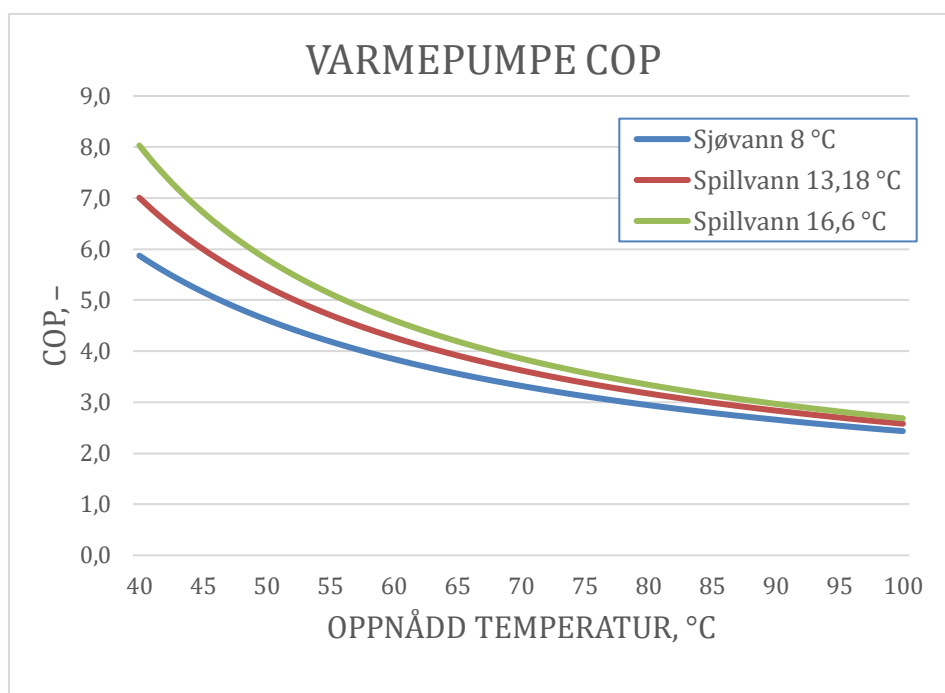
$$COP_{14,96^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}} = 0,6 \cdot \frac{(273,15 + 60)K}{(60 - 14,96)K} = 4,44$$

Dette viser at det dannes 4,44 ganger mer varme ut ifra tilført elektrisitet og varme. Prisen på 1 kWh varme reduseres til 16,9 øre/kWh varme. Dette illustreres på figur 8.



Figur 8: Eksempel på bruk av spillvann i varmepumpeanlegg

Det ble bygget opp en grafisk fremstilling av hvilken COP man kan forvente fra varmepumper om man tar utgangspunkt i sjøvann og to kilder spillvann. Grafen er illustrert på figur 9 og baserer seg på formel (7).



Figur 9: COP til en varmepumpe ved forskjellige varmekilder

Ut fra grafen ser man at fordelene med spillvann som varmekilde avtar med høyere temperaturheving. Det er likevel tydelig at bruk av spillvann vil føre til kostnadsreduering i form av besparelser av brensel for varmepumper.

Relevans av spillvannet i fjernvarmesystemer

Anvendelse av lavtemperaturspillvann fra Kårstø prosessanlegg er et godt bruksalternativ som ser ganske lovende ut. Forutsatt at man skal skifte fra sjøvann til spillvann for å oppnå økning i temperatur mellom 35 °C og 55 °C, får man en sikker kilde til varme. Investeringer og kostnader til et slikt prosjekt er det som kan ha en betydelig innvirkning på om prosjektet er gunstig eller ikke. Det skal legges mer vekt på dette senere i rapporten i kapitlet «Kostnader og lønnsomhet».

Fordeler:

- + Spillvarme er i dag en brukbar kilde for fjernvarme;
- + Et godt alternativ for brukere som allerede har installert et vannbårent varmesystem;
- + Ved å erstatte sjøvann med spillvann forventes det besparelser i forhold til reduisering av el-forbruk;
- + Mindre elektrisitetsforbruk gir mindre utslipp av klimagasser;
- + Investeringene ved skiftning til spillvann kan dekket innen relativ kort tid.

Ulemper:

- Det er mulig at besparelser kan være uvesentlig hvis kun en liten del av spillvarmens energi blir brukt;
- Mangel på eksisterende distribusjonsnett;
- Det må sees nærmere på mulig varmetap og trykktap ved lang distribusjon;
- Kostnader ved utbygging og legging av rørledninger vil ha en negativ påvirkning på et slikt prosjekt;
- Kårstø kan ikke garantere kontinuerlig strømming og det vil være korte perioder hvor produksjonen av spillvann stoppes helt.

Annet bruk

I denne oppgavedelen skal det sees på andre muligheter. Alle disse har samme arbeidsprinsipp – varmeveksling. Det vil bety at varmen fra spillvann tilføres luft, væske eller et fast stoff for å oppnå en nødvendig temperatur (Eastop, Croft, & Watson, 1993).

Det finnes flere varmeavtakere, men på grunn av lave temperaturområder ble det bestemt å søke etter brukskategorier som kan nytte seg av de aktuelle temperaturene til spillvannet. Noen av dem vil fortsatt kreve spesielle forhold for å kunne si at prosjektet er effektivt eller lønnsomt.

Snøsmelting

Et annet alternativ for spillvannets bruk er snøsmelting. Et rørsystem med strømmende spillvann kan ligge i bakken av stadioner, idrettsbaner, gater eller parkeringsarealer. Temperaturkrav for denne typen bruk er noe høyere enn hva som er tilgjengelig fra Kårstø, men det er fortsatt mulig å bruke spillvann til oppvarming forutsatt at det allerede eksisterer infrastruktur for varmeutnyttelse i lokalene. Hvis man skal bygge rørsystem for snøsmelting som vil inneholde spillvann med 15 °C, risikerer man å ikke dekke sine investeringer grunnet høye kostnader og lav effektivitet ved slike temperaturer. Derfor vil ikke dette alternativet bli sett på som optimalt (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

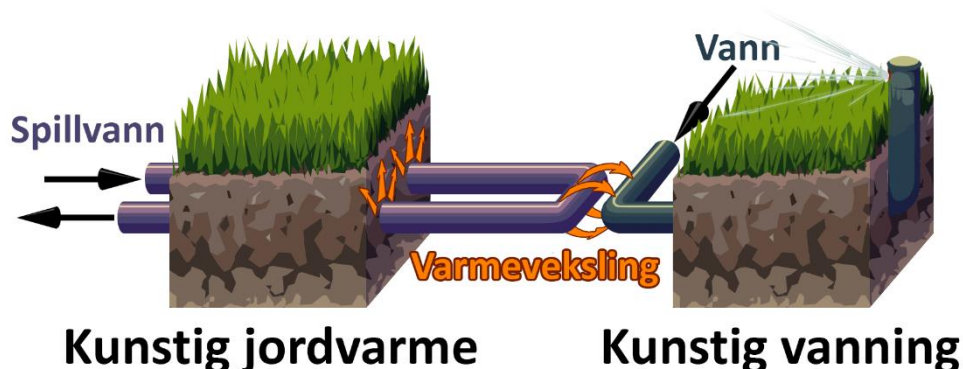
Jordbruk

En av de viktigste forutsetningene for en god plantevekst er temperatur – en miljøfaktor. Temperatur har effekt på hastigheten til kjemiske reaksjoner i planter og de bestemmer vekstraten. Forskjellige plantearter krever visse temperaturer for å kunne vokse. Arktiske planter kan tåle vannfrysende temperaturer mens planter fra et sted med mildt klima har nedre grense for temperatur på omkring 5 °C (Berner, 2017). Det kan her derfor gjerne benyttes kunstig oppvarming av jord.

Spillvarmerør legges rundt 25-50 cm ned i bakken hvor det strømmes spillvann som varmer opp jorden. Mulige begrensninger med dette er at det kan være ikke tilstrekkelige temperaturer for å kunne motvirke akkumulering av snø eller is på vinterstid. I verste fall kan vekstperioden bli for liten for plantene. I tillegg må man passe på potensielt sett store kostnader og investeringer som kreves for et slikt prosjekt (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Kommersielt jordbruk innebærer høyere temperaturer enn de som er tilgjengelig fra Kårstø sitt spillvann, derfor foreslås det et annet alternativ i et mer aktuelt temperaturområde – kunstig vanning. Kunstig vanning er mer brukt i tradisjonelt jordbruk og spillvarmen kan her bli brukt mer effektivt. Det medfører at varmen veksles med vann i et vanningssystem. Dette kan være spesielt egnet for økologisk jordbruk hvor man har et begrensede valg av vekstfremmere (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Man kan se på figur 10 hvordan spillvann kan utnyttas i jordbruk.



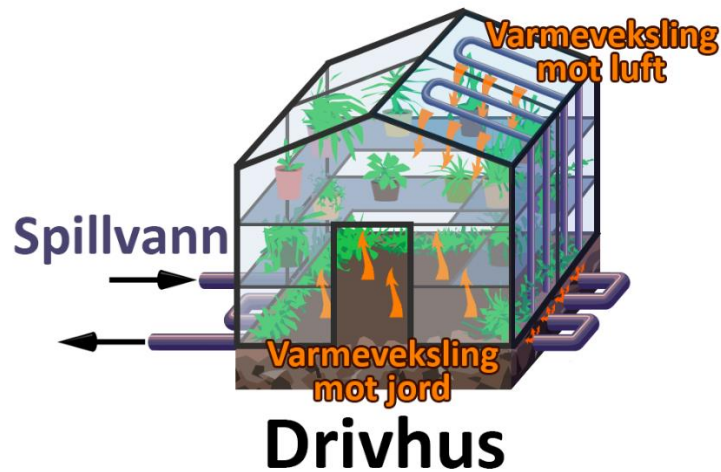
Figur 10: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, jordbruk

Drivhus

Det er mange planter i drivhus som kan regnes som varmeavtakere og varmeveksling kan foregå mellom spillvann og jord/sand eller mellom spillvann og luft. Temperaturkravene for jord blir noe høyere enn for luft siden man da må håndtere et stoff med en større varmekapasitet. Det vil si stoffet som krever mer energi for å heve dets temperatur. Derfor antydes det at varmeveksling mot luft blir mer effektivt for planter i drivhus (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Man bruker gjerne to metoder for plantevekst: Enten velger man en type plante og deretter ser på hvilke temperaturkrav den har behov for, eller så velger man den type plante som er i samsvar med tilgjengelig temperatur. Druer, basilikum, agurk, melon, rosmarin og andre typer krydder, chilipepper, tomat, fersken, jordbær, salat, purre, kål, kaktuser og succulenter er plantearter som kan dyrkes i drivhus ved temperaturer som er tilgjengelige i Norge. Betingelser for å få best mulig vekst til disse plantene varierer, derfor må man undersøke hvilke krav som må oppfylles for at hver spesifikk plante skal trives best mulig (Susanna Rosén & Madeleine Skiljaica, 2017).

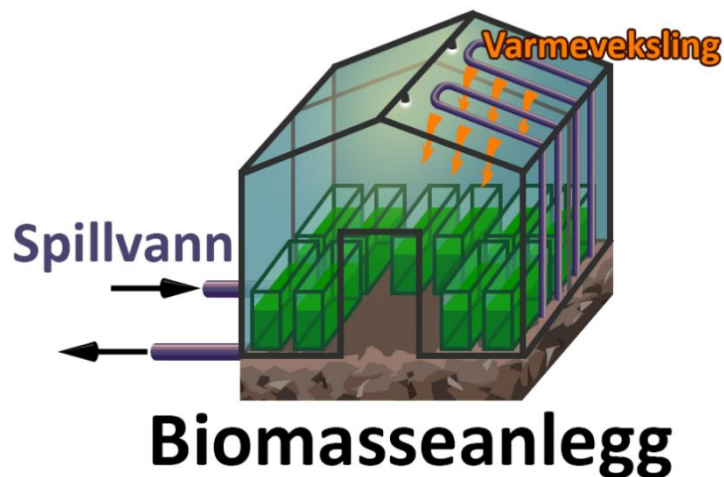
For dette prosjektet kan man skape en god del besparelser som følge av bruk av spillvann istedenfor varmepumper eller elektrisk oppvarming. Det er likevel viktig at investeringene og forholdene for optimal plantevekst vurderes, før man realiserer varmeutnyttelsen. Figur 11 illustrerer hvordan man kan bruke spillvann i drivhus.



Figur 11: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, drivhus

Vannbasert og landbasert biomasse

Her snakkes det om et anlegg som driver med produksjon av biomasse: fisk, alger, andemat og andre typer planter. For temperaturer man får i Norge kan det være lurt å passe på at biomassen kan vokse og spre seg under tilstrekkelig høy temperatur. Slik at varmen fra Kårstø kan bli utnyttet i et slikt anlegg. Den generelle metoden er fortsatt varmeveksling, for eksempel mot luft, vann eller jord, dette kommer an på type anlegg og spillvannets temperatur (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013). Det er laget en figur 12 for å illustrere dette nedenfor.



Figur 12: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, biomasseanlegg

Algedyrking

Alger er et navn på mikroskopiske og makroskopiske organismer, encellede eller flercellede som lever i vann eller fuktige miljø og benytter seg av fotosyntese for å overleve. Det at algene bruker fotosyntesen indikerer at naturell eller kunstig belysning vil i tillegg til vann være nødvendig i et slikt anlegg (Jahn Thronsen Einar, Skarstad Egeland, 2018).

Det er mange flere mikroskopiske algetyper enn makroskopiske, men det er de sistnevnte som har størst økonomisk betydning. Fra disse fremstilles det alginater, husdyrfôr og mat. Noen av algene brukes også til gjødsel. Selv om mikroskopiske algetyper i dag har en noe begrenset kommersiell anvendelse, danner de en viktig del av verdikjeden i biomasseproduksjon (Jahn Thronsen Einar, Skarstad Egeland, 2018).

Ved algedyrking av forskjellige alger vil gjennomsnittlig ideelle temperaturer ligge på rundt 25 °C, men for en del av algetypene ligger optimaltemperatur nærere dagstemperaturer i Norge (Skjånes, 2015).

AlgaePro har en plan om å etablere seg i Haugaland Næringspark. Parken på 5 000 dekar ligger på Gismarvik i Tysvær like ved E 39 og E 134. Der har de også Kårstø nærliggende. (Tho, 2019). Det ble allerede investert over 200 millioner kroner i et biomasseanlegg som skal drive med produksjon av alger (Kvalavåg, 2019).

Andemat

Andemat er små flytebladsplanter som vanligvis vokser på næringsrike og rolige vannoverflater. De vokser godt i vann med høye nivåer av nitrogen og fosfat. Disse kjemiske molekylene er to av de viktigste elementene i levende organismer, vann som inneholdes disse kan kjennetegnes av å ha avfallsprodukter fra dyr, fisk eller andre planter. Ut ifra dette kan andemat være en løsning til avfallsproblemer ved landbaserte oppdrettsanlegg (UiO: Institutt for biovitenskap, 2018).

Selv om denne typen plante regnes som ugress på grunn av sin store vekstrate, brukes den også til å dempe algevekst. I tillegg er andemat en proteinkilde av høy kvalitet som betyr at andemat kan være en erstatning til andre proteinkilder som fiskemel og soyamel (Norsk institutt for bioøkonomi, 2006).

Andemat kan dyrkes i temperaturer ned til 7 °C, men ideelle forhold vil være 20-31 °C. Dette gjør at spillvann på 14,96 °C er en nokså god varmekilde for andemat (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Akvakultur

Spillvann kan gjerne benyttes i fiskeoppdrett som krever tilgjengelige temperaturer. Man må passe på at ulike typer fisk vil ha behov for ulike temperaturer. Her er noen fiskearter som kan trives ved aktuelle temperaturer fra Kårstø: laks, piggvar, kveite, torsk, kamskjell, ørret og ishavsørøye. Man skal også passe på ulike temperaturkrav for smolt-, eggperiode og videre vekstperiode. Alle arter vil ha forskjellige vekstperioder og i tillegg til dette vil de sette ulike krav for vannkvalitet (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

I moderne fiskeoppdrett blir det stadig vanligere å bruke både landbaserte- og sjøbaserte anlegg. Forårsaket av at temperaturkravene er lettest å oppnå i landbaserte anlegg, det kan være avgjørende for noen arter eller vekstperioder for en bestemt art. Det kunne være svært bra å ha full kontroll over temperaturen i landbaserte oppdrett, spesielt når det kommer endringer i sjøvannstemperatur grunnet global oppvarming (Ritchie & Roser, 2017). Dette ville i så fall økt kostnadene, samt investeringene i prosjektet til et helt annet nivå (Norges forskningsråd, 2008).

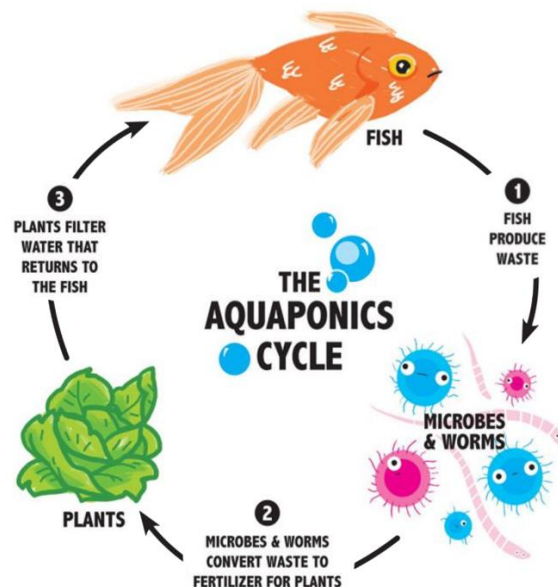
En annen mulighet enn å bruke rørsystemer med sirkulerende spillvann er å slippe spillvannet direkte ut i sjøen for å oppnå oppvarmingskravene til sjøbaserte oppdrett. Selv om varmen utnyttes godt kan det oppstå en rekke problemer ved å bruke en slik metode. Man kan treffe på vanskeligheter når det gjelder å kontrollere utslippsraten og dermed temperaturen, forurensning av sjøvann og negativ virkning på fisk grunnet hydrokarboner i spillvann. I tillegg må det avklares om spillvannet kan benyttes på denne måten. Denne metoden sees derfor ikke på som foretrukket (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Hydroponiske systemer og samproduksjon

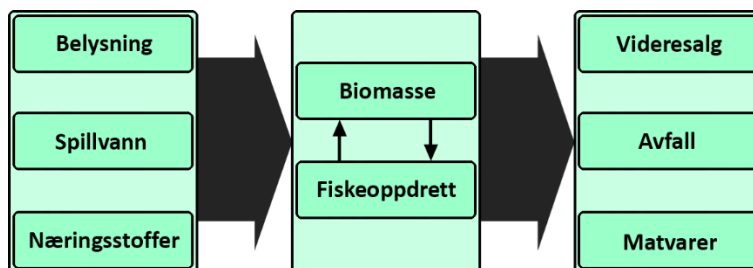
Økonomiske og miljømessige fordeler for ulike biomasseanlegg kan også være til nytte for hverandre, det vil si å kombinere produksjon i ett sirkulerende system. For eksempel, kan restprodukter av et fiskeoppdrett være et næringsmiddel for et andematanlegg og det kan igjen supplere fisk med fôr. I denne delen skal det presenteres noen mulige varianter av dette (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Hydroponisk system

En kombinasjon av plantedyrking uten jord og fiskeoppdrett i et vannsirkulerende system kalles et hydroponisk system. Planter tar opp næringsstoffer fra fiskeanlegg og fungerer da som filtre i næringscyklusen (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013). Figur 13 og 14 nedenfor illustrerer prinsippet av et slikt system. Man vil se at spillvarme kan benyttes to ganger: for biomasseanlegg og for fiskeoppdrett.



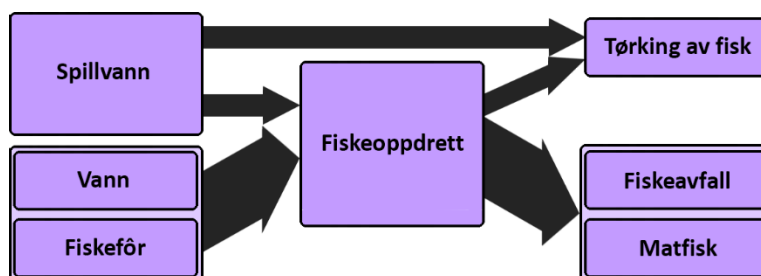
Figur 13: Hydroponisk system. Bildet laget av Oslo Aquaponics. (Oslo Aquaponics, 2017)



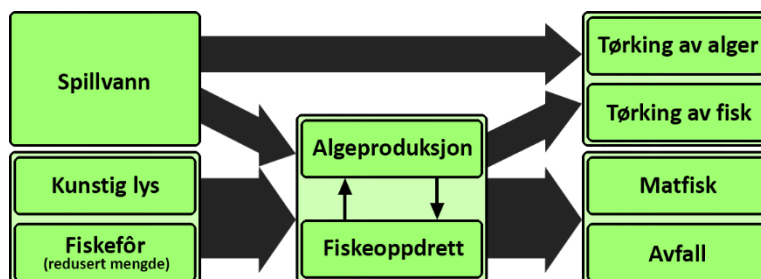
Figur 14: Verdikjede for hydroponisk system. Bildet er basert på rapporten som dreier seg om spillvarmeutnyttelse i Nyhamna (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013)

Samproduksjon

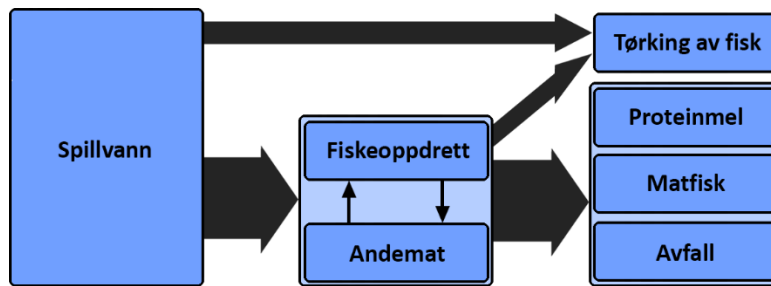
En biomassefabrikk kan være interessert i å redusere kostnadene i produksjonsprosessen ved at næringsstoff, råvare eller fiskefôr er kortreist fra anlegget. Videre illustreres det med figur 15, 16 og 17 tre tilfeller av verdikjeder ved produksjon av ulike typer biomasse. Bildene er utarbeidet fra rapporten for spillvarmeutnyttelse i Nyhamna (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013). De ble tegnet igjen for å skape mer intuitiv forståelse. Her kan man også legge merke til at spillvann har potensial til å kunne brukes i flere prosesser ved ulike anlegg. Dette kan redusere fraktkostnader og effektivisere varmeutnyttelse.



Figur 15: Verdikjede for fiskeoppdrett og tørrfisk



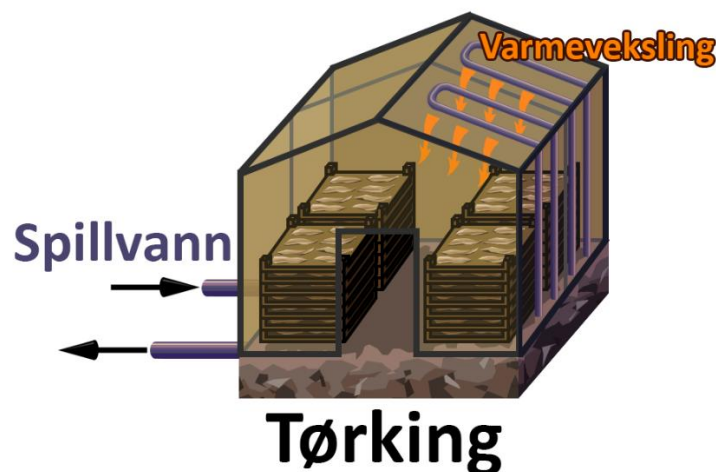
Figur 16: Verdikjede for algedyrking, fiskeoppdrett og tørking



Figur 17: Verdikjede for dyrking av andemat, fiskeoppdrett og tørring

Tørring

Tørring innebærer reduksjon av fuktighetsnivå i et stoff. Denne prosessen kan foregå ved normale utetemperaturer, men ved å tilføre spillvarme kan prosessen ta mindre tid som fører til økning i effektiviteten av produksjon og tørkeanlegget blir da mer produktivt og lønnsomt (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013). Man har interesse i å tørke produkter på grunn av å redusere vann mengden og da også redusere antall skadelige bakterier og mikroorganismer. Dette kan fører til bedre kvalitet og en forlenget lagringstid av tørkede matvarer. For flis og annet biobrensel vil vann forhindre evnen til forbrenning, så ved tørring vil sluttproduktet kunne forbrenne bedre. Videre kan man se en figur som illustrerer mulig bruk av spillvann for tørring.



Figur 18: Prinsippskisse av spillvarmeutnyttelse, tørkingsanlegg

Tørke av flis

Med flis menes det treflis som er trevirke kuttet i små biter. Flis er et kjent biobrensel, men den må tørkes først før den kan brukes i fyringsanlegg. Typisk avgir treflis 4,5-5 kWh energi per kilogram, energi som er avhengig av type tre og tørkingsgrad. (Rosvold, 2011). Ved å la flisen ligge i tørkingsanlegg i 4-6 måneder, får man en nødvendig reduksjon i fuktighet. Her kan spillvann hjelpe med å akselerere prosessen (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Flis kan bli brukt som brensel i vannkjeler for elektrisitetsproduksjon. Det som må vurderes for denne type prosjekt er kvalitet og tilgang til fuktig flis i regionen, effektivitet, lønnsomhet ved bruk av spillvann fra Kårstø, transportkostnader samt kunders vilje til å kjøpe dette produktet (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Tørke av fisk

Tørking av fisk har en lang historie i Norge og har hatt en stor økonomisk og kulturell betydning. Det var og er fortsatt torsk som er mest brukt til tørking. Denne prosessen tar mellom 5 til 6 måneder til ferdig produkt, etter dette vil tørrfisken bare inneholde omtrent 30% vann (Wikipedia, 2018).

Spillvarme kan gjerne benyttes ved varmeveksling mot luft i løpet av tørkeprosessen. Det er mulig å bruke spillvann i tørking sammen med fiskeoppdrett. På denne måten virker varmen positivt på to ledd av tørrfiskproduksjonen (Line Ekanger; Kjetil Haga et al., 2013).

Resultat

Kategori	Tiltak	Optimalt temperaturområde	Mulighet for bruk
Jordbruk	Kunstig jordvarme (50-25 cm i bakken)	~30-70 °C	
	Kunstig vanning	~10-90 °C	
Drivhus	Varmeveksling mot luft	~10-90 °C	
	Gulv-/sandvarme	~25-90 °C	
Vannbasert biomasse	Varmeveksling mot algedyrking	~10-75 °C	
	Varmeveksling mot andematanlegg	~10-75 °C	
	Varmeveksling mot fiskeoppdrett	~10-75 °C	
	Varmeveksling mot skjell dyrking	~10-75 °C	
Hydroponiske systemer	Varmeveksling mot fiskeoppdrettstank	~10-75 °C	
	Varmeveksling mot hydroponisk plantedyrking	~10-75 °C	
Næring	Fjernvarme	~25-100 °C	
	Snøsmelting	~20-100 °C	
Tørking	Tørking av produkter	~10-90 °C	

Tabell 5: Mulige brukere av spillvannet til Kårstø gassprosesseringsanlegg

Gul – kan gjennomføres under de rette forholdene, **grønn** – reelt bruk.

Tabellen over lister mulige brukere av spillvannet. For Kårstø gassprosesseringsanlegg er det snakk om spillvarme med 14,96 °C. Det anbefales å fokusere først på kunder som er markert med grønn farge fordi det er lite fordeling av varme som kreves for disse alternativene.

Det er verdt å nevne at gunstige temperaturområder ble hentet fra studier, rapporter og nettsider som kan gi en innsikt i muligheter. Flesteparten av disse temperaturene ble utarbeidet etter erfaring ved spesielle forhold og for enkelte bedrifter. Det kan ikke garanteres at spillvann på 14,96 °C vil tilpasse alle kategorier med ulike betingelser og ulike virksamheter. Man vil derfor kun kunne bruke denne informasjonen som et grunnlag for videre undersøkelse av bruksmuligheter for en spesifikk bedrift.

Aktuelle kunder i området rundt Kårstø

Jordbruk og drivhus

Anlegget er til stor grad omringet av jorder og gårdsbruk. Som tidligere forklart i rapporten er oppvarming av jord, drivhus og kunstig vanning reelle alternativ for videre bruk av spillvannet. Her kan det være mange aktører som kan være interessert, og de kan ha behov for store mengder spillvann.

Haugaland Næringspark

Haugaland Næringspark ble startet i 2010. Siden dette har næringsparken utviklet seg mye. Det er startet utbygging av Gismarvik havn, det er åpnet et produksjonsanlegg for ferdigbetong og det er også planer om å opprette en vindpark. Næringsparken vil utvikles videre og det kan tenkes at det vil være behov for energi fra spillvann i fremtiden. Gismarvik ligger ca. 8,5 kilometer fra Kårstø (Haugaland Næringspark, u.d.).

Haugneset industriområde

Det er startet en planleggingsfase for et landoppdrett på Haugneset, kun 3 kilometer øst for Kårstøanlegget. Anlegget vil muligens ha behov for spillvann til å varme opp bassenger for å produsere enkelte typer produkter fra oppdrettsnæringen. Dette alternativet vil bli sett nærmere på i kapittelet «Eksempel på mulige prosjekter» (Olsen Ø. , 2019).

AlgaePro

Det er planer for et anlegg for algedyrking like ved Kårstø. Anlegget har vært i kontakt med Equinor for å finne ut om hvilke muligheter som er tilstede for bruk av spillvann fra Kårstø (Seland & Klungtveit, 2019). Planleggingen har kommet langt på veg og har kun behov for flere investorer for å kunne bli realisert. Equinor har stilt seg positive til videre planlegging for videresending av spillvann til AlgaePro sitt anlegg. Et anlegg på 55 000 kvadratmeter til en verdi av 20 millioner kroner (Riise, 2018).

Distribusjon

Rørsystem

Når man skal sende store mengder spillvann fra et sted til et annet, er det flere ting man må ta hensyn til. Man ønsker å holde på så mye av varmen som mulig, derfor velger man å isolere rørene. Man ønsker å kunne holde et visst trykk i røret for å motvirke trykktapet som vil forekomme, og man ønsker å gjøre det så billig som mulig. I dette kapittelet skal vi se nærmere på aspektene ved et slikt rørsystem.

Polyuretan

Polyuretan ble først produsert på 1930-tallet som et tiltak på mangelen av plast under 2. verdenskrig. Prof. Dr. Otto Bayer er kreditert som opphavsmannen. For produksjon av polyuretan er grunnprinsippet nokså enkelt. Det oppstår under en reaksjon mellom polyol og diisocyanat eller polymerisk isocyanat med tilgang til katalysatorer og klebe. Det er like vel mange ulike varianter av disse ingrediensene som gjør at man kan få mange ulike typer materialer, med mange ulike kvaliteter (American Chemistry Council, u.d.).



Figur 19: Polyuretan brukt som isolasjon rundt rør (Kraft, 2009)

Bruksområdet for polyuretan er stort og blir brukt over alt. Man kan produsere myke materialer som blir brukt i senger, sofaer og klær. Man kan lage materialer som er rettet mot varmeisolering. Det kan sprayes over materialer for å gi det bedre værbeskyttelse og det blir også brukt under kirurgiske inngrep (American Chemistry Council, u.d.).

Rørmateriale

Det finnes mange forskjellige situasjoner hvor ulike typer rørmaterialer er egnet, men i de aller fleste tilfeller vil det være stålrør som blir brukt for situasjoner som krever høyere trykk. En ekstra fordel med dette er også at stålrør kommer i mange forskjellige former og størrelser som gjør det lett å finne riktige dimensjoner til en akseptabel pris (Society of Petroleum Engineers, 2015).

Dimensjoner og kriterier for rørsystemet

Her vil det bli sett på to ulike tilfeller. Det er to kilder spillvann ut fra Kårstøanlegget. En på 21 414,3 m³/h med en temperatur på 13,18 °C og en på 23 283,87 m³/h på 16,6 °C. Det vil være mulig å spesifisere hvilke rør man trenger for ulike prosjekter med ulike krav til strømningsrate. Videre i rapporten vil det bli sett nærmere på tre scenarioer. Et scenario hvor man bruker DN300-rør, DN900-rør og et hvor man sender alt spillvannet som er tilgjengelig. For å sende alt spillvannet som er tilgjengelig kreves det fire DN900-rør og et DN600-rør. Det blir sett nærmere på hvordan man kommer frem til dette senere i rapporten. Tidligere i rapporten ble den totale strømningsraten og temperaturen på det sammenblandede vannet regnet ut. Den totale strømningsraten ble da satt til 44 698,17 m³/h med en temperatur på 14,96 °C. Verdier for utregningene er hentet fra Kårstø. (Seland & Klungtveit, 2019). Se vedlegg a og b.

For å unngå at det blir liggende igjen vann og sedimenter i lave punkter langs røret, tenker man seg en minimumshastighet på rundt 0,9 m/s. For å unngå erosjon og slagskader på røret ved lukking av ventiler, settes en makshastighet på 4,5 m/s (Society of Petroleum Engineers, 2015). Det sees videre på hvordan man kommer frem til de ulike rørdiametrene. Dette kan gjøres ved bruk av formel (8).

$$D = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{3600 \cdot V} \cdot \frac{4}{\pi}} \quad (8)$$

SYMBOL EHNENET FORKLARING

<i>D</i>	m	Rørets indre diameter
<i>Q̇</i>	m ³ /h	Strømningsraten
<i>V</i>	m/s	Hastigheten til væsken gjennom røret

Tabell 6: Symboler, enheter og forklaringer til formel 8

For å bestemme nødvendige rørdimensjoner og antall pumper ser man først på hvor mye spillvann et hypotetisk anlegg trenger relativt til dets ytelse. For eksempel, 1 MW varmpumpeanlegg kan fint motta 1 MW spillvarme. Varmestrømmens verdi kan da finnes ved bruk av formel (1) og (2), strømningsraten vil være 120,6 m³/h. Man setter deretter opp en rekke mulige verdier for varmemestrøm som kan mottas av varmeavtakeren, som i dette tilfellet er et varmpumpeanlegg. Formel (8) vil hjelpe med å bestemme minimale og maksimale rørdiametre. Type rør bestemmes etter standarden EN250:2009, en tabell med alle rørdimensjonene etter standarden kan sees på vedlegg c.

Varmestrøm/ytelse, MW	Volumstrøm til spillann, m ³ /h	Prosentvis andel spillvann, %	Rørdiameter, m		Type rør etter EN250:2009	
			Min.	Maks.	Min.	Maks.
0,15	18,1	0,04	0,0377	0,0843	DN40	DN80
1	120,6	0,27	0,0974	0,2177	DN100	DN200
10	1 205,5	2,70	0,3078	0,6883	DN300	DN600
20	2 411,0	5,39	0,4353	0,9734	DN450	DN900
50	6 027,5	13,48	0,6883	1,5390	DN700	DN1200
100	12 055,1	26,97	0,9734	2,1765	DN1000	—
370,78	44 698,2	100,00	1,8743	4,1911	—	—

Tabell 7: Rørdimensjoner avhengig av strømningsrate og strømningshastighet

Utfra tabellen ser man at ved de to siste situasjonene, med ytelsen på 100 MW og 370,78 MW, vil det være lurt å sende spillvann i flere enn ett rør på grunn av at rørdimensjonene blir

store. Dette vil medføre enorme utgifter og vil derfor kraftig påvirke prosjektets lønnsomhet. Det skal sees videre på trykktap og kostnader knyttet til rør opp til DN1200. Man ser også at selv om det er mulig å frakte 18,1 m³/h uten problemer, blir en slik volumstrøm for liten i forhold til tilgjengelige mengder. Dette alternativet betraktes som ikke gjennomførbar og tas derfor vekk.

Standarden satt til rørene er EN250:2009. Hvor krav for tykkelse på rørene er gitt ut fra EN10220:2002. Denne standarden er valgt ut ifra hva som er blitt observert brukt ved leverandører av fjernvarmerør (Brødrene Dahl).

Videre må man finne trykktapet som oppstår grunnet friksjonen mellom vannet og stålrøret. For å finne trykktapet gjennom rør, bruker man gjerne formel (11). Først må friksjonskoeffesienten som er avhengig av Reynolds tall og relativ ruhet beregnes. Resultatene blir satt opp i tabell 10.

I et horisontalt rør setter man absolutt ruhet for et stålrør til 0,03 mm (DiPippo, 2016). Når man da har diameteren til røret og absolutt ruhet kan man finne relativ ruhet. Det kommer formel (9) som man bruker for å beregne det. Her blir det satt opp et eksempel for rørdimensjon DN 300.

$$\text{Relativ ruhet} = \frac{\text{Absolutt ruhet}}{\text{rørets diameter}} \quad (9)$$

$$\text{Relativ ruhet}_{DN300} = \frac{0,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 10^{-4}$$

For å komme frem til friksjonsfaktoren i røret må man også ha Reynolds tallet. Det kan man finne på følgende vis. Det blir brukt her og videre væskens hastighet lik 2,7 m/s som ligger mellom 4,5 m/s og 0,9 m/s. Kinematisk viskositet for vann ved gjeldende temperatur er satt til $1,1442 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (Wikipedia, 20019).

$$\text{Reynolds tall} = \frac{d \cdot V}{\nu} \quad (10)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
d	m	Rørets indre diameter
V	m/s	Væskens hastighet gjennom røret
ν	m ² /s	Kinematisk viskositet for væsken

Tabell 8: Symboler, enheter og forklaringer til formel 10

$$\text{Reynolds tall}_{DN300} = 7,08 \cdot 10^5$$

Vi leser så av friksjonskoeffesienten i et Moody-diagram fra oppgavens vedlegg d:

$$\mu_{DN300} = 0,014$$

Med denne informasjonen kan man finne frem til trykktapet skapt av friksjonen mellom vannet og stålrøret per 1000 m slik:

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot l \cdot V^2 \cdot \rho}{2 \cdot d} \quad (11)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
ΔP	Pa	Trykktap
μ	-	Friksjonskoeffesient
l	m	Lengde rør
V	m/s	Væskens hastighet gjennom røret
ρ	kg/m ³	Tetthet til vann
d	m	Rørets indre diameter

Tabell 9: Symboler, enheter og forklaringer til formel 11

$$\Delta P_{DN300} = 174353 \text{ Pa}$$

Nå kan det settes opp en tabell med trykktap per km ved ulike typer rør.

Type rør	Relativ ruhet, –	Reynolds tall, –	Friksjonskoeffesient, –	Trykktap, Pa
DN100	$3 \cdot 10^{-4}$	$2,36 \cdot 10^5$	0,0175	653 822
DN300	10^{-4}	$7,08 \cdot 10^5$	0,0140	174 353

DN600	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^6$	0,0122	75 968
DN900	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$2,12 \cdot 10^6$	0,0111	46 079
DN1000	$3 \cdot 10^{-5}$	$2,36 \cdot 10^6$	0,0109	40 724
DN1200	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,83 \cdot 10^6$	0,0107	33 314

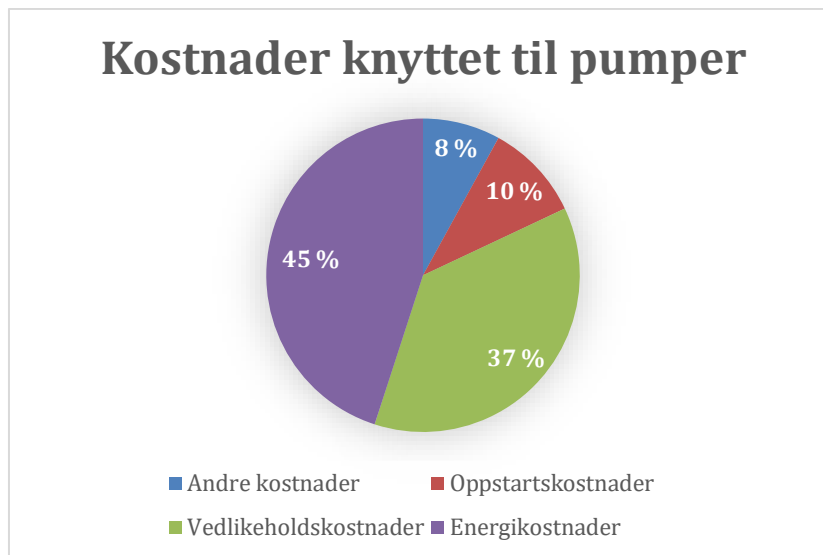
Tabell 10: Trykktap ved ulike typer rør

I denne oppgaven ble det sett på forenklet utregning for trykktap i rørene. I praksis ville det krevd en detaljert gjennomgang av høydedifferanse, trykktap i ventiler, pumper og svinger. Dette vil være variabler som må spesifikt tilrettelegges hvert enkelt prosjekt og vil gå ut over rammene satt for rapporten. Det må da påpekes at gjennomsnittlig trykktap vil i realiteten bli høyere enn dette.

Pumper

I et system hvor man frakter spillvann gjennom rør vil man ha behov for krefter som fører vannet gjennom rørene. Dette gjøres ved hjelp av pumper. Pumper vil være en stor faktor i et prosjekt som dette. I tillegg til at det er potensielt sett en stor investeringskostnad, vil man ha behov for kontinuerlig energitilførsel, som også må bli tatt i betraktning når man skal beregne ut lønnsomheten til prosjektet. Det er også viktig å se på hvilke miljøpåkjenninger som vil være knyttet til pumper med tanke energibruken som kreves for å drive pumpene.

Man setter opp en tabell som viser estimerte kostnader knyttet til pumper ved noen gitte mulige rørsystemer. Det er fire kriterier som inngår i endelige kostnader knyttet til pumper, disse kan sees på figur 20. Denne oppgave vil gi et grovt anslag til kostnadene som skal bestå av prisen til pumpene og strømkostnadene som betales under opereringstiden.



Figur 20: Kostnad knyttet til pumper (World Pumps, 2008)

For å estimere prisen på pumpene brukes en prislister fra Salmson (Salmson, 2016). Utdrag fra prislister med pris, beskrivelse og valgte pumpe markerte med blå ligger i vedlegg e og f.

$$\Delta P_{pumpe} = \rho \cdot g \cdot h \tag{12}$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
ΔP	Pa	Trykktap
ρ	kg/m ³	Tetthet til vann, 1 000 kg/m ³
g	m/s ²	Tyngdens akselerasjon, 9,81 m/s ²
h	m	Pressure head

Tabell 11: Symboler, enheter og forklaringer til formel 12

$$\Delta P_{pumpe} = 490500 \text{ Pa} = 4,905 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Man ser videre at prisen er €1 500 som med nåværende valutakurstilsvarer 14 620,2 kroner (per 04.05.19) (ValutaFX, 2019). Dette er prisen per 22,4 m³/h og 4,905·10⁵ Pa, prisen per 1 m³/h og 10⁵ Pa er da 133,1 kroner. Tabell 13 illustrerer hvor mye man betaler for pumper ved et valgte rørsystem.

For å regne ut hvor mye elektrisitet som kreves for å drive disse pumpene brukes formel (13).

$$E = \frac{Q \cdot \Delta P}{3600 \cdot \eta} \quad (13)$$

<i>SYMBOL</i>	<i>ENHET</i>	<i>FORKLARING</i>
<i>E</i>	<i>W</i>	<i>Effekt</i>
<i>Q</i>	<i>m³/s</i>	<i>Strømningsrate</i>
<i>ΔP</i>	<i>Pa</i>	<i>Trykktap</i>
<i>η</i>	–	<i>Pumpens virkningsgrad</i>

Tabell 12: Symboler, enheter og forklaringer til formel 13

Man må her ta i betraktning at pumper ikke har en 100% virkningsgrad. Virkningsgraden for pumper er ligger imellom 75 og 93% (Olsen L. M., 2016). Det blir her da valgt en virkningsgrad mellom dette på 85%.

Til slutt setter det opp en tabell med kostnader knyttet til pumper. Strømningrater her er baserte på en hastighet av 2,7 m/s. Strømkostnad er basert på 75 øre/kWh som ble brukt tidligere ved beregning av COP til varmepumper

Type rør	Strømningsrate, m ³ /h	Trykktap, 10 ⁵ Pa	Pumpepris, NOK/km rør	Strøm som kreves, kW/km rør	Strømkostnader per døgn ved kontinuerlig bruk, NOK/km rør
DN100	76,3	6,53822	66 382,0	16,30	293,40
DN300	687,1	1,74353	159 410,0	39,15	704,70
DN600	2 748,3	0,75968	277 818,5	68,23	1 228,14
DN900	6 183,6	0,46079	379 149,7	93,12	1 676,16
DN1000	7 634,1	0,40724	413 689,6	101,60	1 828,80
DN1200	10 993,1	0,33314	487 318,9	119,68	2 154,24

Tabell 13: Strøm- og pumpekostnader

Varmetap i rørsystemet

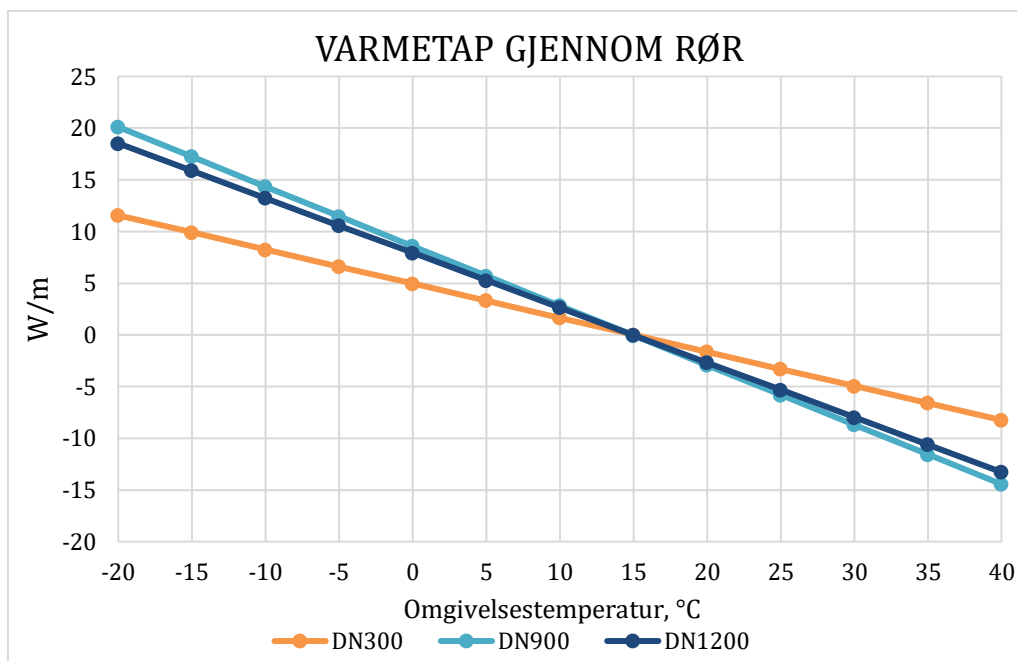
Som man har sett på tidligere, brukes polyuretan for å isolere rørene. Rørene vil likevel miste noe varme til omgivelsene ved å sende spillvannet gjennom rør (Eastop, Croft, & Watson, 1993). Det blir derfor sett på hvor stort dette tapet vil være.

$$\bar{Q} = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot (T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (14)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
T_1	K	Temperatur til spillvann
T_2	K	Omgivelsestemperatur
λ	$W/m \cdot K$	Koeffisienten for varmeoverføring
r_1	m	Rørets indre radius
r_2	m	Rørets ytre radius
\bar{Q}	W/m	Varmestrøm per meter

Tabell 14: Symboler, enheter og forklaringer til formel 14

Det settes opp en graf som viser varmetapet i et DN300-rør, et DN900-rør og et DN1200 rør. For å kompensere for høyere varmestrøm ut av DN900-røret, øker man isoleringen fra et 10 cm tykt lag rundt DN300-røret til 15 cm rundt DN900-røret. For DN1200 settes det et 22 cm tykt lag isolering. Det er her brukt en koeffisient for varmeoverføring på 0,026 W/mK. Denne verdien er hentet fra selskapet Brødrene Dahl sin katalog for fjernvarmerør (Brødrene Dahl). Temperaturen på væsken som strømmer gjennom røret er 14,96 °C. Eksakte dimensjoner for de indre stålrørene er oppgitt i vedlegg c.



Figur 21: Varmetap gjennom tre typer rør ved ulike omgivelsestemperatur

Negative verdier på figur 21 betyr at varme blir tilført spillvannet fra omgivelsene, som vil være varmere enn selve spillvannet.

For å sette dette inn i et annerledes perspektiv settes det opp to tabeller som viser forventet temperaturendring på spillvannet når det er sendt over lengre distanser. Tabellen 15 viser temperaturendringen til spillvannstrøm på 76,3 m³/h, temperaturen til spillvann er også 14,96 °C. Tabell 15 viser temperaturendringen til 10 993,1 m³/h spillvann ved 14,96 °C som blir sendt gjennom et DN1200-rør. Lengden på rørene er estimert ut ifra vegnettet.

Temperaturendringen i DN100 rør							
Omgivelsestemperatur (°C)	-20	-10	0	10	20	30	40
Sted	Temperaturendring til spillvann ved distribusjon (°C)						
Haugneset (3 km)	-0,215	-0,154	-0,092	-0,031	0,031	0,093	0,154
Haugaland NP ² (8,5 km)	-0,610	-0,435	-0,261	-0,087	0,088	0,262	0,437
Haugesund (26,9 km)	-1,930	-1,378	-0,826	-0,274	0,278	0,830	1,382

Tabell 15: Temperaturendringen til spillvann ved distribusjon i DN100 rør

² Næringspark

Temperaturrendringen i DN1200 rør							
Omgivelsestemperatur (°C)	-20	-10	0	10	20	30	40
Sted	Temperaturrendring til spillvann ved distribusjon (°C)						
Haugneset (3 km)	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0,001	0,002	0,003
Haugaland NP (8,5 km)	-0,012	-0,009	-0,005	-0,002	0,002	0,005	0,009
Haugesund (26,9 km)	-0,038	-0,027	-0,016	-0,005	0,005	0,016	0,027

Tabell 16: Temperaturrendringen til spillvann ved distribuering i DN1200 rør

Ut ifra dette kan man se at man kan tape ca 2 °C ved å sende spillvannet via DN100 rør over avstander som er lengre enn 26,9 km. Temperaturfall på 2 °C tilsvarer 27,7 % av all tilgjengelig energimengde. Man må da passe på å begrense avstander ved distribuering av spillvann med rørtyper DN100 og muligens DN300. Temperaturrendringen i tilfellet med DN1200 rør vil ikke overskride 0,038 °C, det vil si at maksimalt temperaturfall ikke vil bli større enn 0,045 °C ved et 26,9 km langt distribusjonssystem. Selv om man ønsker å sende spillvannet helt til Haugesund ved -20 °C omgivelsestemperatur. Prosentvis er dette et tap av 0,5% av all energistrøm.

Kostnader og lønnsomhet

Ved gjennomføring av prosjekter som skal utnytte spillvarmen spiller kostnader og investeringer viktige roller. De kommer til å bestemme prosjektets evne til å være økonomisk forsvarlig i løpet av sin levetid. Man må ha kunnskap om hvor mye det vil koste å prosjektere, bygge og vedlikeholde et anlegg. Man må kjenne kostnader knyttet til kjøping, frakting og montering av utstyr og materialer. Hensikten med dette kapitlet er å gi innsikt i priser og investeringer som er forventet, samt resultat av prosjektets lønnsomhet over dets levetid.

Først skal det påpekes investeringer knyttet til materialer og nødvendig utstyr, det vil si mengden penger som kreves for at det skal kunne bygges et anlegg. Deretter kommer kostnader for drift og vedlikehold. Dette er faste og variable kostnader som man må betale for å holde driften effektiv og i operasjon. Til slutt er det utgifter som kommer av å drive pumper, varmepumper og annet utstyr som krever egen energitilførsel, vanligvis snakker man om elektrisitet.

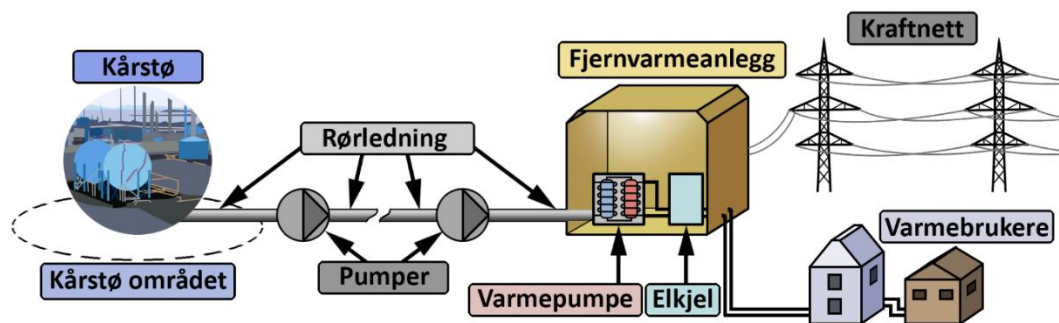
Selv om informasjon om kostnader vanligvis gir en ganske god oversikt over prosjektets priser og gjennomførbarhet, må det brukes andre verktøy som hjelper med å bestemme priser i framtiden og eventuell lønnsomhet ved å sammenligne med andre typer prosjekt. Dette kan gjøres ved å beregne LCOE og tilbakebetalingstid. Disse begrepene skal forklares videre i dette kapitlet.

Man må vite at denne oppgaven bare vil gi en idé om hva man bør forvente, den går ikke i dybden med å finne ut alle mulige utgifter som kan potensielt fremkomme, den kan heller ikke garantere at alle kostnader blir de samme for ulike typer virksomheter. Målet med dette studiet er å vise muligheter og begrensninger. Derfor foreslås det at man godtar følgende resultater med omtrent 50% avvik (Dahl, 2018).

Utgifter

Som utgangspunkt ble det valgt et fjernvarmeanlegg med en viss avstand fra Kårstø, som skal bygges med tanke på å ta opp spillvann med 14,96 °C og varme opp vann til 60 °C for så å føre dette til kunder. Anlegget vil også kunne brukes til kjøling. Mer konkrete tilfeller blir beskrevet i «Eksempel på mulige prosjekter».

I figur 22 blir det vist som illustrerer ulike trinn fra spillvannets utslippspunkt på Kårstø til sluttspunkt ved fjernvarmekunder. Alle kostnader blir så satt opp i tabell 17.

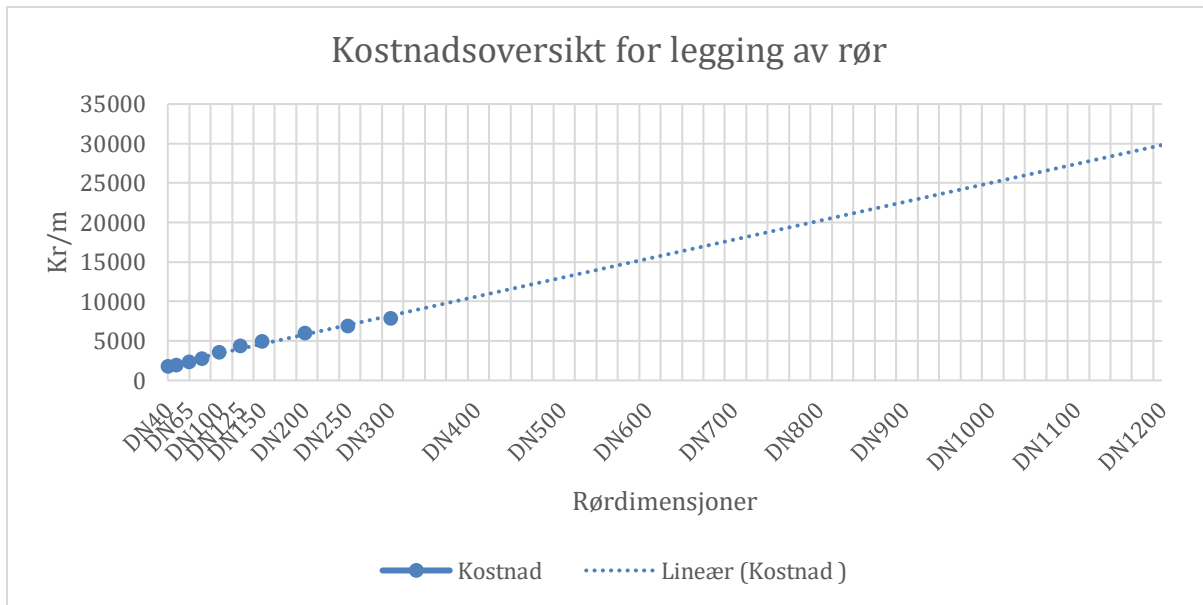


Figur 22: Illustrasjon av utgifter på forskjellige trinn av prosjektet utbyggelse og vedlikehold

Typen utgifter	Enhet	Mengde utgifter	Kommentar
Investeringskostnader: (for 1 MW_v)			<i>Kilde til alle utgifter nedenfor: (NVE, 2019)</i>
Fjernvarmeanlegg	NOK/enhet	1 500 000	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
• Installasjon	NOK	2 160 000	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
Tilpasning til kjøling	NOK/ kWh _v	800	
Varmepumpe	NOK/ kWh _v	1 500	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
• Installasjon	NOK/ kWh _v	2 160	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
• Spesifikt brenselforbruk	kWh _{el} /kWh _v	0,23	<i>ved oppvarming (basert på COP som er lik 4,44, se kapittel «Virkningsgrad»)</i>
• Spesifikt brenselforbruk	kWh _{el} /kWh _v	0,1	<i>ved kjøling (basert på effektfaktor for kjøling – 10)</i>
Elkjel	NOK/kW _v	1 242	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
• Spesifikt brenselforbruk	kWh _{el} /kWh _v	1,02	<i>basert på virkningsgraden til el-kjel (0,98)</i>
Byggetidsrenter	NOK/kW _v	163	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
Faste driftskostnader	NOK/kW _v /år	30	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
Variable driftskostnader	øre/kWh _v	1,2	<i>Avhenger av anleggets kapasitet</i>
Brenselpris	øre/kWh _{el}	75	<i>Tatt som eksempel, i realiteten varierer avhengig av anleggets størrelse</i>

Tabell 17: Kostnader knyttet til varmpumpeanlegg

En grafisk fremstilling av kostnader knyttet til rørledninger demonstreres på figur 23. Kostnadene inkluderer kjøp av rørmateriell, rørmontasje, grøftarbeid, prosjekt og byggeledelse (Rosenberg, 2010).

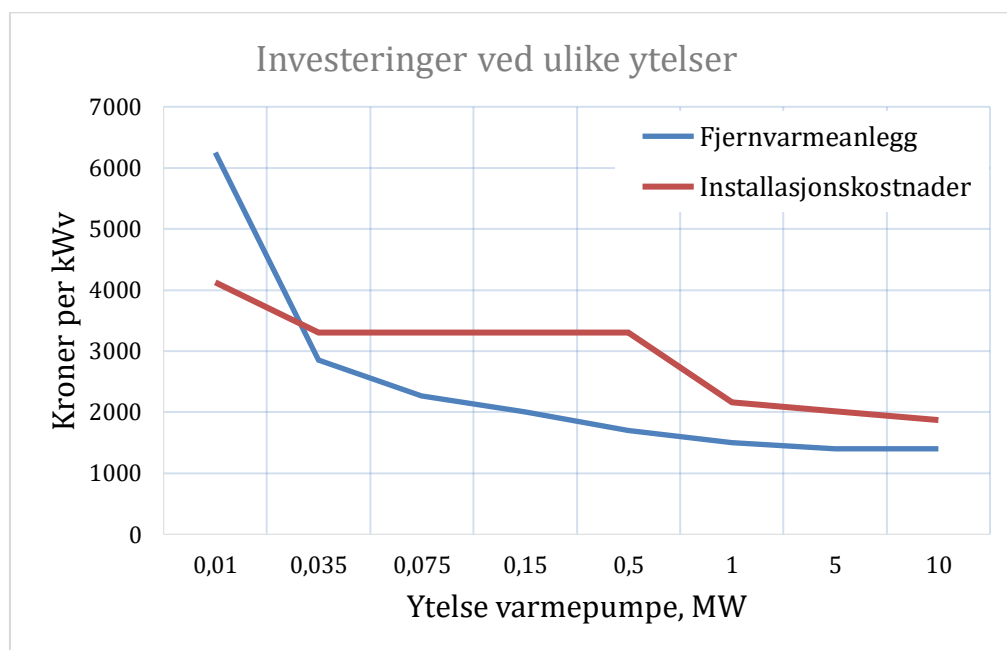


Figur 23: Kostnadsoversikt for legging av rør

Typer utgifter	Enhet	Mengde utgifter	Kommentar
Rørledning:			
• DN100	NOK/m	3 600	Kilde: (Rosenberg, 2010)
• DN300	NOK/m	7 900	Kilde: (Rosenberg, 2010)
• DN600	NOK/m	15 000	Lineær interpolering fra data gitt i kilden
• DN900	NOK/m	22 000	Lineær interpolering fra data gitt i kilden
• DN1000	NOK/m	25 000	Lineær interpolering fra data gitt i kilden
• DN1200	NOK/m	30 000	Lineær interpolering fra data gitt i kilden
Rørledning på Kårstø sitt område	Koster omtrent 4 ganger mer med samme typer rør		Informasjon hentet fra Kårstø (Seland & Klungtveit, 2019)
Pumpe	NOK/kW _{el}	4071,812	Kilde: Tabell 13. Strøm- og pumpekostnader
Brenselpris	øre/kWh _{el}	75	Tatt som eksempel, i realiteten varierer avhengig av anleggets størrelse

Tabell 18: Kostnader knyttet pumper og rørledninger

Investeringskostnadene for utbygging og installasjon ved forskjellige kapasiteter til et fjernvarmeanlegg er vist på figur 24.



Figur 24: Investeringer i varmepumpeanlegg ved forskjellige ytelser (NVE, 2019)

Tabell 19 viser mer detaljert oversikt over investeringer for anlegg ved tre mulige avstander.

Investeringer i anlegg og distribusjonssystem, NOK			
Type rør / anleggets kapasitet, MW	Destinasjon		
	Haugneset, (3 km)	Haugaland NP, (8,5 km)	Haugesund, (26,9 km)
DN100 / 0,82	42 702 331,9	110 237 385	336 172 835
DN300 / 7,36	120 495 459	272 437 780	780 753 906
DN600 / 29,43	290 637 858	572 380 598	1 514 938 129
DN900 / 66,21	514 589 357	920 121 513	2 276 810 905
DN1000 / 81,74	595 317 168	1 051 481 977	2 577 560 609
DN1200 / 117,70	806 908 727	1 351 828 061	3 174 830 922

Tabell 19: Investeringer for anlegg ved tre mulige avstander

LCOE og tilbakebetalingstid

Når man kalkulerer lønnsomheten til et prosjekt, må man ikke stole på dagens prisnivå. Valutakurs veksler stadig og på grunn av et økonomisk fenomen kalt inflasjon får man vekst av prisnivået. Til slutt har man renter og vedlikeholdskostnader over hele prosjektets levetid. man bruker derfor et begrep som kalles nåverdi. Det hjelper å vise hvor mye prosjektet koster i dag med tanke på at priser i framtida blir høyere. LCOE, eller Levelized Cost of Electricity, er et begrep som viser nåverdi til energipris som anlegg skal produsere. LCOE er et nyttig verktøy for energi- og vareproduserende anlegg, fordi dette begrepet viser til det laveste prisnivået energien eller varen kan selges til kunder for, før det ikke lenger vil være lønnsomt. Hvis prisnivået er høyere enn nåværende elektrisitetspris, kan prosjektet miste sine kunder, det er billigere med strøm fra kraftnett og derfor kan prosjektet regnes med å ikke bli lønnsomt (Olivares, 2018).

En formel for LCOE gir et forhold mellom totale utgifter over forventet levetid og total energiproduksjon også gjennom levetiden. Resultat er oppgitt i øre/kWh.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} = \frac{\text{Totale utgifter}}{\text{Total energiproduksjon}} \quad (15)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
Σ		Et symbol for summering
I_t	NOK	Investeringer
M_t	NOK/år	Årlige drift- og vedlikeholdskostnader
F_t	NOK/år	Årlige brensel- og strømknstnader
E_t	kWh/år	Årlig produksjon av energi/varme
n	år	Levetid
r	%	Diskonteringsrente

Tabell 20: Symboler, enheter og forklaringer til formel 15

Tilbakebetalingstid på en annen side viser hvor lang tid det tar før inntektsstrømmen dekker investeringene og anlegget begynner å tjene penger.

$$Tilbakebetalingstid = \frac{Investeringer}{\text{Årlig inntektsstrøm}} \quad (16)$$

Årlig inntektsstrøm er besparelser som man får ved å kutte eller begrense elektrisitetsforbruket.

For å beregne dette må man først ha alle kostnader knyttet til investeringer på plass. Tall og forklaringer for enkelte kostnader og utgifter ble gitt i kapittelet «Utgifter». Der kan man se at kostnader er stort sett avhengige av anleggets kapasitet og avstand fra Kårstø. Så med tanke på dette utarbeides det flere verdier for LCOE ved ulike forhold. Det blir sett på tre tilfeller med forskjellige destinasjoner som mottar spillvann. Disse er Haugsneset (3 km), Haugaland Næringspark (8,5 km) og Haugesund (26,9 km). Her skal det brukes seks alternativer til rør, DN100, DN300, DN600, DN900, DN1000 og DN1200. Investeringskostnader knyttet til anlegg og varmpumpe utarbeides fra mengde varmeenergi produsert fra spillvann. Dette gjøres ved å beregne hvor mye varme som kan produseres fra tilgjengelig spillvarme fra Kårstø.

COP vil bestemme anleggets varmeproduksjon. På figur 6 så man forholdet som beskriver COP. Det er skrevet igjen som formel (17).

$$COP = \frac{\dot{Q}_{varm}}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_{kald} + \dot{W}}{\dot{W}} \quad (17)$$

SYMBOL	ENHET	FORKLARING
\dot{Q}_{varm}	W	Varmestrøm som tilføres varmeavtakeren
\dot{Q}_{kald}	W	Varmestrøm fra varmekilde (spillvann)
\dot{W}	W	Eletrisk strøm til varmpumpe

Tabell 21: Symboler, enheter og forklaringer til formel 17

Utfra formelen (17) får man formel (18):

$$\dot{Q}_{varm} = \frac{\dot{Q}_{kald} \cdot COP}{COP - 1} \quad (18)$$

Her blir \dot{Q}_{varm} den produserte varmemestrømmen fra anlegget og skal derfor betraktes som dets kapasitet. Resultatene er presentert på tabeller 22 og 23. Data for fullasttimer er tatt fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE, 2019).

Avstand fra Kårstø	LCOE, øre/kWh, levetid: 30 år, vanlig antall fullasttimer					
	DN100	DN300	DN600	DN900	DN1000	DN1200
Haugneset, (3 km)	81,2	46,1	35,7	31,2	30,4	28,8
Haugaland NP, (8,5 km)	175,5	72,4	48,5	40,1	38,5	35,3
Haugesund, (26,9 km)	491,2	160,3	91,3	69,8	65,7	57,2
Anleggets kapasitet, MW	0,82	7,36	29,43	66,21	81,74	117,699

Tabell 22: LCOE for varmepumpeanlegg inkludert utbyggingskostnader. Grønt felt viser sikker variant og røde felter er ikke økonomisk lønnsomme. Gule felter står imellom og man må gå videre fram med å undersøke kostnader mer nøyaktig.

Avstand fra Kårstø	LCOE, øre/kWh, levetid: 30 år, vanlig antall fullasttimer					
	DN100	DN300	DN600	DN900	DN1000	DN1200
Haugneset, (3 km)	73,0	39,6	29,5	24,8	24,2	22,7
Haugaland NP, (8,5 km)	167,4	65,9	42,3	33,7	32,3	29,2
Haugesund, (26,9 km)	483,0	153,8	85,1	63,4	59,5	51,1
Anleggets kapasitet, MW	0,82	7,36	29,43	66,21	81,74	117,699

Tabell 23: LCOE for varmepumpeanlegg ekskludert utbyggingskostnader. Grønt felt viser sikker variant og røde felter er ikke økonomiske lønnsomme. Gule felter står imellom og man må gå videre fram med å undersøke kostnader mer nøyaktig.

Fra tabeller kan man se at utbyggingskostnader ikke vil ha en vesentlig påvirkning på prosjektets lønnsomhet. Det er mange faktorer som vil ha en større påvirkning, disse er anleggets kapasitet eller antall fullasttimer. Man kan se et eksempel på tabell 24 som viser LCOE ved forlenget antall fullasttimer til 1,5 ganger mer enn vanlig.

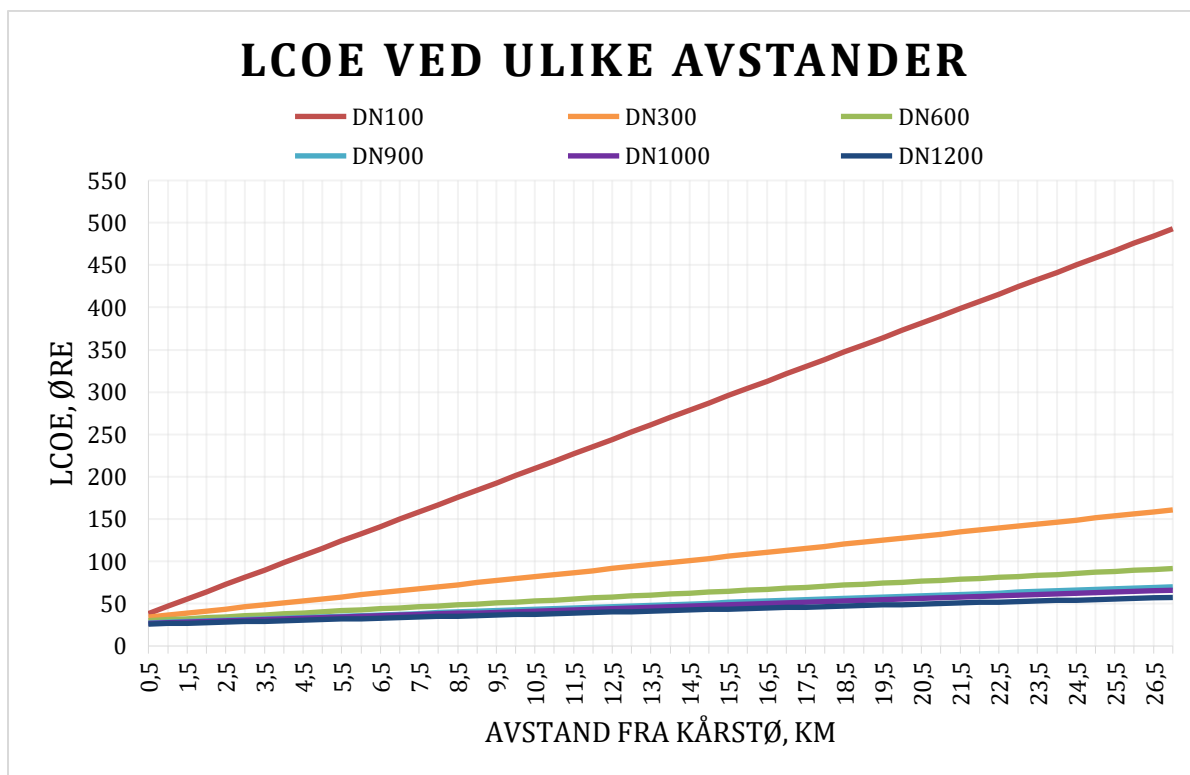
Avstand fra Kårstø	LCOE, øre/kWh, levetid: 30 år, vanlig antall fullasttimer					
	DN100	DN300	DN600	DN900	DN1000	DN1200
Haugneset, (3 km)	61,1	39,1	31,2	27,4	26,7	25,5
Haugaland NP, (8,5 km)	124,0	56,6	39,7	33,3	32,2	29,8
Haugesund, (26,9 km)	334,5	115,2	68,3	53,1	50,3	44,4
Anleggets kapasitet, MW	0,82	7,36	29,43	66,21	81,74	117,699

Tabell 24: LCOE for varmepumpeanlegg inkludert utbyggingskostnader og med forlenget fullasttimer. Grønt felt viser sikker variant og røde felter er ikke økonomiske lønnsomme. Gule felter står imellom og man må gå videre fram med å undersøke kostnader mer nøyaktig.

En annen ting som øker lønnsomheten er faktoren for teknologiforbedring 2016-2035. Den har en verdi på 0,8 og med den menes det at i 2035 forventer man at teknologiene har utviklet seg til den graden at LCOE blir bare 0,8 av LCOE beregnet i 2016. Selv om den ikke utgjør en stor påvirkning på prosjektets gjennomførbarhet nå, anbefales det å bemerke seg faktoren i framtiden (NVE, 2019).

Det ble observert at utvidelse av levetiden har en negativ påvirkning på lønnsomheten, grunnen til dette er at man fortsatt må betale for pumper som frakter spillvann. Og elektrisitetsprisen vil øke med tiden. I tillegg må man passe på vedlikehold av distribusjonssystemet.

Det er avstand fra Kårstø som spiller størst rolle når man skal bestemme hvor effektivt kostnader benyttes. For å illustrere dette ble det laget en figur 25 med LCOE verdier i forhold til avstand fra Kårstø.

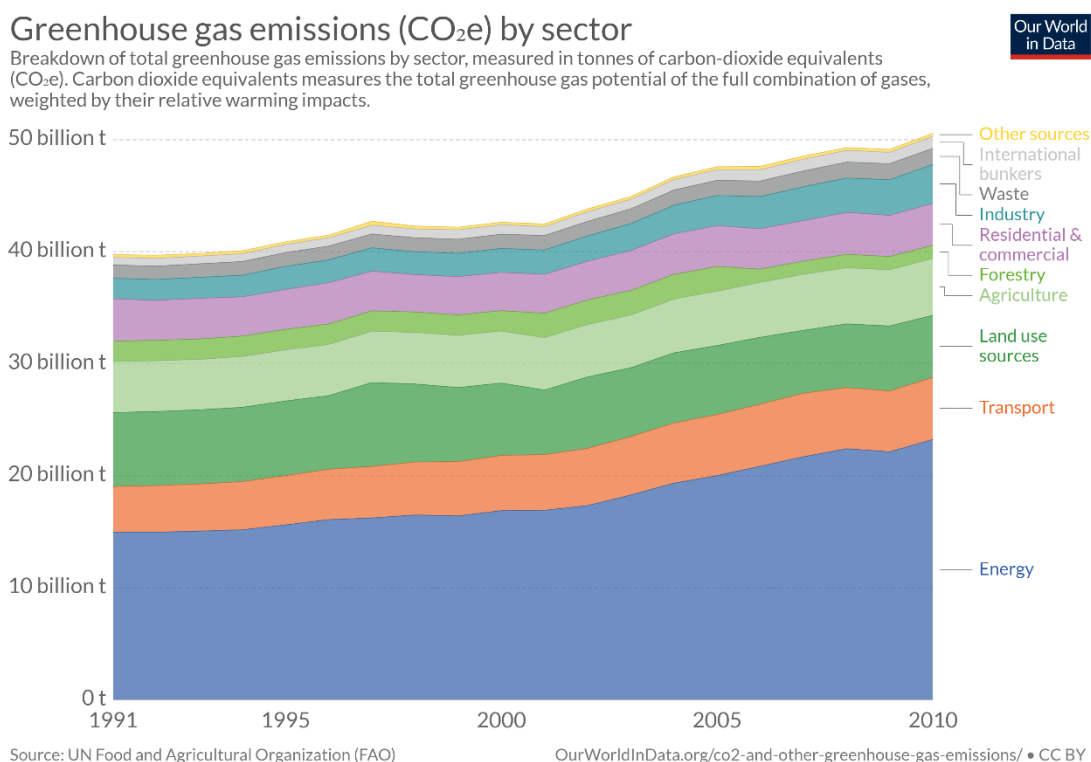


Figur 25: LCOE for anlegg designet for spillvannstrøm fra forskjellige typer rør, levetid på 30 år

Det er flere faktorer som påvirker sluttresultatet, av disse kan degraderingsrate for utstyr, byggetid, diskonteringsrente og elektrisitetspris begrense eller heve mulighetene for prosjektutvikling. Man må selvsagt gjøre dype analyser med tallene som er tilpasset anleggets beliggenhet, utstyr, behov, tid med fullasttimer og levetid før man kan bestemme prosjektets framtid. Sammen med tilbakebetalingstid vil noen prosjekteksempler bli presentert mer detaljert i kapittelet «Eksempel på mulige prosjekter».

Miljømessige fordeler og ulemper

I 1860 var det 286,37 ppm CO₂ i atmosfæren. I 2015 var det 397,89 ppm. Utslipp av klimagasser har siden den industrielle revolusjon økt drastisk. Dette har da også potensialet til å ha store konsekvenser for klimaet vårt. Konsekvenser som at den globale temperaturen stiger, havnivået stiger og ekstremvær blir mer og mer vanlig (Ritchie & Roser, 2017). Selv om det har kommet mye godt ut fra utviklingen av industrien, er det viktig at man gjør det man kan for å minimere ulempene som følger med. Derfor vil man her se gjennom hvilke påvirkninger et prosjekt knyttet opp mot bruk av spillvann fra Kårstø vil ha.



Figur 26: Utslipp av klimagasser delt inn i sektor (Ritchie & Roser, 2017)

I Sørvest-Norge kan man regne med at det blir sluppet ut ca. 72 g CO₂ eq/kWh fra strømmettet (Energi og klima, 2019). Fra tidligere vet man at man har i forhold til gjennomsnittlig havtemperatur totalt 370,78 MW med energi tilgjengelig i spillvannet fra Kårstø. Men til hvor stor grad vil dette kunne påvirke miljøet?

Unngåtte klimautslipp

Det blir sett på to scenarier hvor spillvannet blir brukt i et fjernvarmeanlegg. Det blir brukt varmepumper for å maksimere de lave temperaturene i vannet. Man regner da ut COP av disse prosessene. Først et eksempel på utnyttelse av vann med en gjennomsnittlig havtemperatur satt til 8 °C. Som tidligere bruker man her formel (7) og (5).

$$COP_{8^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}} = 3,84$$

$$COP_{14,96^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}} = 4,44$$

Ut fra dette kan man nå sette opp en tabell som viser hvor mye CO₂eq som teoretisk sett vil bli unngått å bli sluppet ut i atmosfæren. Det er satt opp to tilfeller hvor man bruker alt spillvann tilgjengelige fra Kårstø sammenliknet med at man bruker sjøvann ved 8 °C og ren elektrisitet.

	Elektrisitet	Spillvann	Sjøvann	Spillvann
kWh el/kWh varme	1	0,2252	0,2604	0,2252
Utslipp, g CO ₂ eq /kWh varme	72	16,24	18,75	16,24
Utslippskutt ved bruk av spillvann	i forhold til elektrisitet		i forhold til sjøvann	
Utslippskutt, g CO ₂ eq /kWh varme	55,76		2,51	
Tilgjengelig varme i spillvann, MW	370,78		370,78	
Potensiell utslippsreduksjon per år, tonn CO ₂ eq	181 110,31		8 229,81	

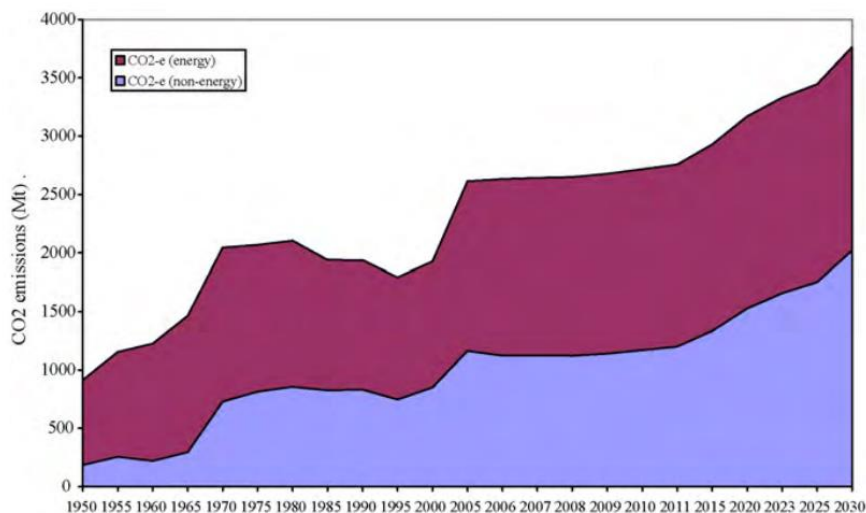
Tabell 25: Forventede besparelser av CO₂eq sluppet ut i atmosfæren grunnet besparelse av elektrisitet ved et slikt prosjekt.

Klimautslipp grunnet prosjektet

Man må da videre tenke på hvilke påkjenninger et slikt prosjekt vil ha på miljøet. Det blir satt opp en tabell som viser estimater for utslipp ved et slikt prosjekt. Først ser vi på de aspektene som estimatene er basert på.

Produksjon av stål og forming av rør

Stålproduksjon har utført store forbedringer med tanke på utslipp av klimagasser de siste tiårene. På verdensbasis har man de siste fem tiårene redusert SEC med hele 85%. Fra 64 GJ/tcs i 1950 til 16GJ/tcs i 2018. Produksjonen av stål er like vel en stor kilde til utslipp. Totalt i verden var utslippene 2613 Mt CO₂ eq og det ble estimert at i 2010 ville dette stige til 2716 Mt CO₂ eq og 3100 Mt CO₂ eq i 2020 (Yellishettya, Ranjitha, & Tharumarajah, 2010). Gitt at 2005 sitt totale utslipp av klimagasser var 47,6 Gt CO₂ eq (Ritchie & Roser, 2017), tilsvarer det da i 2005 ca. 5,5% av alle klimagassutslipp.



Figur 27: Utslipp av klimagasser forekommet av stålproduksjon på verdensbasis (Yellishettya, Ranjitha, & Tharumarajah, 2010)

Produksjonen av stål vil da være en stor bidragsyter til utslippene knyttet til prosjektet, men stålproduksjonen er ikke alt som er relevant ved produksjonen av rør. Rørene må fortsatt formes og rulles som videre vil bidra til klimagassutslippene.

Produksjon av isolering (polyuretan)

Ved et slikt prosjekt vil isolasjonen av rørene være meget viktig. Mesteparten av volumet til røret vil bestå av isolasjon og det er da viktig å ta med dette i beregningene for utslipp.

Transport

Denne kategorien baserer seg på transport av rør og utstyr (Nacap, 2010).

Drivstoff og utstyr

Her inngår drivstoffbruken til blant annet graveutstyr, løfteutstyr, transportutstyr, og rørleggingsutstyr. Hvor graving av grøfter og flytting av jord er den største utslagsgiveren i denne kategorien (Nacap, 2010).

Coating og sveising

Når det kommer til sveising vil ikke det ha en stor innvirkning på tallene i denne kategorien. Elektrisitet til sveiseapparatene vil bli produsert av dieselgeneratorer som kommer under kategorien «drivstoff og utstyr». Coatingen av rørene vil der imot ha en større påvirkning. Det er estimert at et tonn polypropylen fører til 1,7 tonn CO₂ utslipp (Nacap, 2010).

Annet

Ved store rørleggingsprosjekter som man snakker om med spillvann fra Kårstø, vil det kreve at et stort selskap som spesialiserer seg i prosjekter knyttet til legging av rør er delaktig. Når man gjør utregninger for klimagassutslipp er det da viktig å ta med utslippene som kommer av å drifte kontorbygninger, samt transport av personell (Nacap, 2010).

Dimensjoner av rør	Produksjon/ forming av stål	Transport	Drivstoff for utstyr	Coating og sveising	Annet	Totalt stålrør	Isolering
Klimagass utslipp, tonn CO ₂ /km rør							
DN100	16,23	1,43	2,31	0,36	0,68	21,01	109,26
DN300	72,61	6,38	10,34	1,60	3,04	93,97	297,97
DN600	174,37	15,33	24,82	3,85	7,29	225,66	615,76
DN900	368,25	32,37	52,42	8,13	15,39	476,56	1 121,86
DN1000	450,33	39,58	64,10	9,94	18,82	582,78	1 513,25
DN1200	614,34	54,00	87,45	13,57	25,68	795,03	2 225,31

Tabell 26: Forventet klimagassutslipp grunnen prosjektet

Data er hentet fra en presentasjon av Nacap, fremvist under IPLOCA sin konvensjon 2014 (Nacap, 2010) og en rapport publisert av Royal Society of Chemistry (von der Assen & Bardow, 2014).

I tabellen er produksjonen av isolasjonen oppgitt i tonn CO_{2eq}/km rør mens stålrørproduksjonen og videre utbyggingen av røret satt opp som tonn CO₂/km rør. Dette er fordi dataen som er hentet fra kildene er oppgitt i disse enhetene.

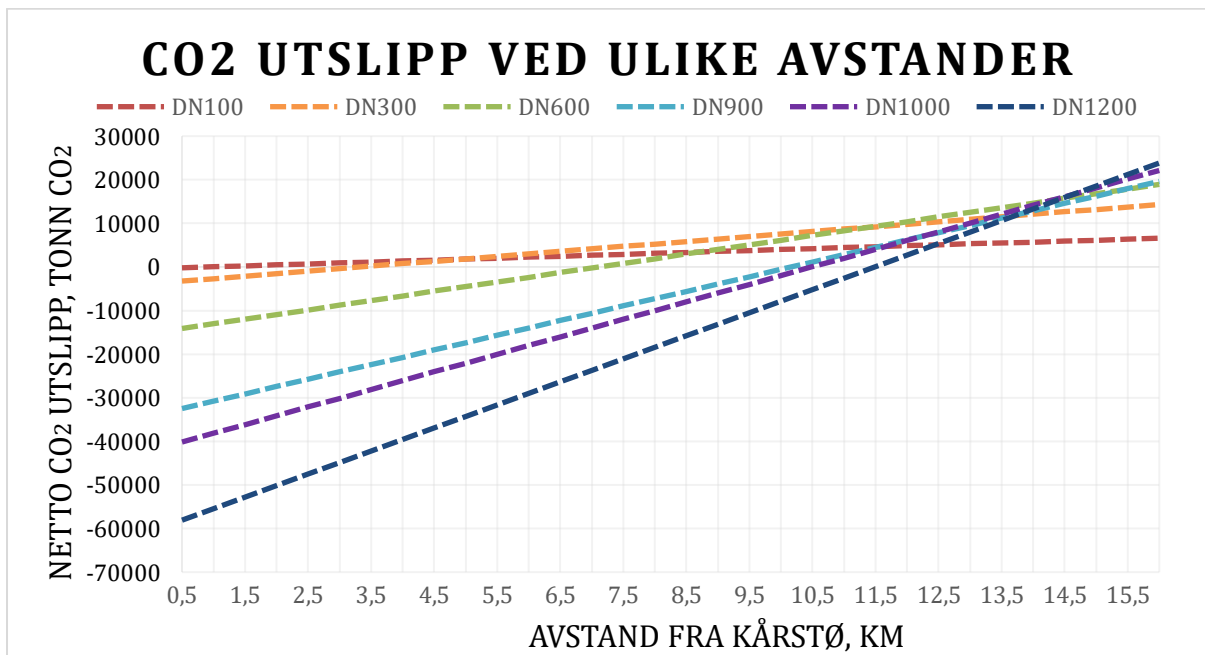
Pumper

Her vises det til at pumper skal bruke en viss mengde elektrisitet og at det slippes ut 72 g CO₂ eq/kWh el (Energi og klima, 2019).

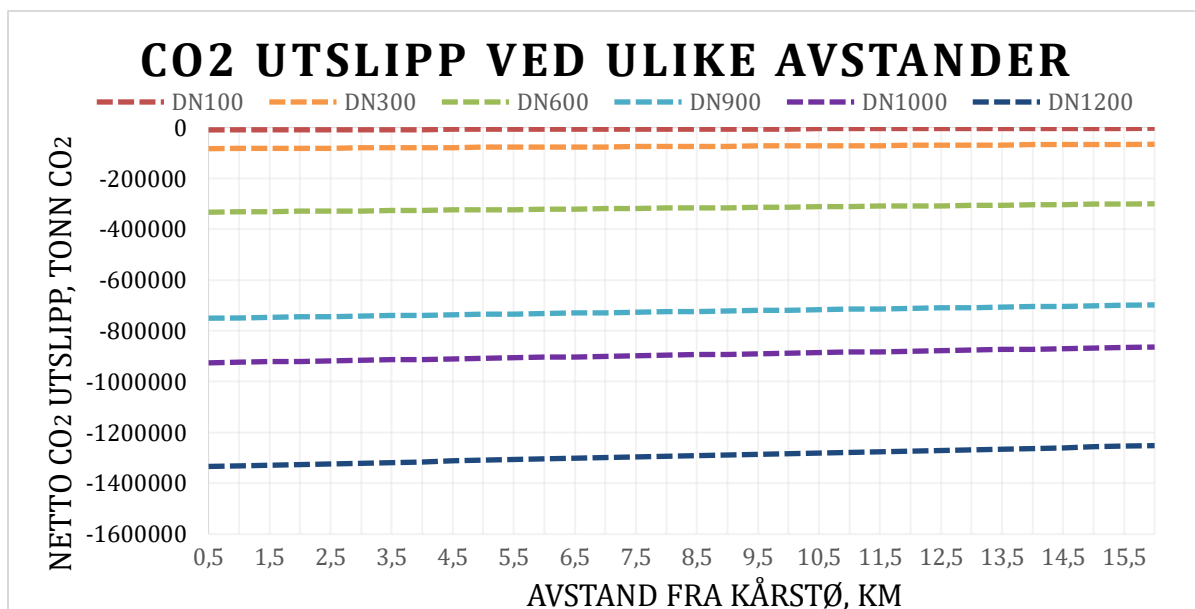
Avstand fra Kårstø	Klimagass utslipp, tonn CO ₂					
	DN100	DN300	DN600	DN900	DN1000	DN1200
Haugsnestet, (3 km)	925,27	2222,34	3873,06	5285,94	5767,30	6793,61
Haugaland NP, (8,5 km)	2621,59	6296,64	10973,68	14976,82	16340,69	19248,57
Haugesund, (26,9 km)	8296,55	19927,00	34728,46	47397,25	51713,49	60916,05
Strømforbruk av pumper, kWh/km/30 år	4283640	10288620	17930844	24471936	26700480	31451904

Tabell 27: forventet klimagassutslipp som effekt av elektrisiteten som blir brukt til å drive pumpene

Totalt



Figur 28: Netto CO₂ mengde som slippes ut over levetiden ved forskjellige lengder av distribusjonssystem. I forhold til bruk av sjøvann som varmekilde.



Figur 29: Netto CO₂ mengde som slippes ut over levetiden ved forskjellige lengder av distribusjonssystem. I forhold til bruk av elektrisitet som varmekilde.

Figurene 28 og 29 viser seks linjer som presenterer totalt CO₂ utslipp ved seks hypotetiske varmpumpeanlegg som utnytter forskjellige mengder spillvann. Spillvannsmengdene er direkte avhengige av type rør som frakter vannet. Rørdimensjonene som er brukt er DN100 og opp til DN1200. Negative verdier betyr at over anleggenes levetid forventes det at man vil kunne spare seg for utslipp av CO₂ som ellers ville blitt sluppet ut ved å bruke sjøvann for varmeproduksjon (figur 28) og elektrisitet for varmeproduksjon (figur 29).

Man ser at ved å erstatte sjøvann med spillvann får man en viss reduksjon før en bestemt avstand for flere typer anlegg. Det indikerer at med denne distansen fra Kårstø vil anlegget produsere mer CO₂ enn tilsvarende varmpumpeanlegg med sjøvann som varmekilden.

I et scenario hvor elektrisitet erstattes med spillvann får man en utslippsreduksjon som vil tillate utbyggelse av varmpumpeanlegg på et bredt utvalg av distanser. Det er bare prosjekter med rørlengder på over 100 km som kan føre til netto CO₂ utslipp som vil påvirke miljøet negativt.

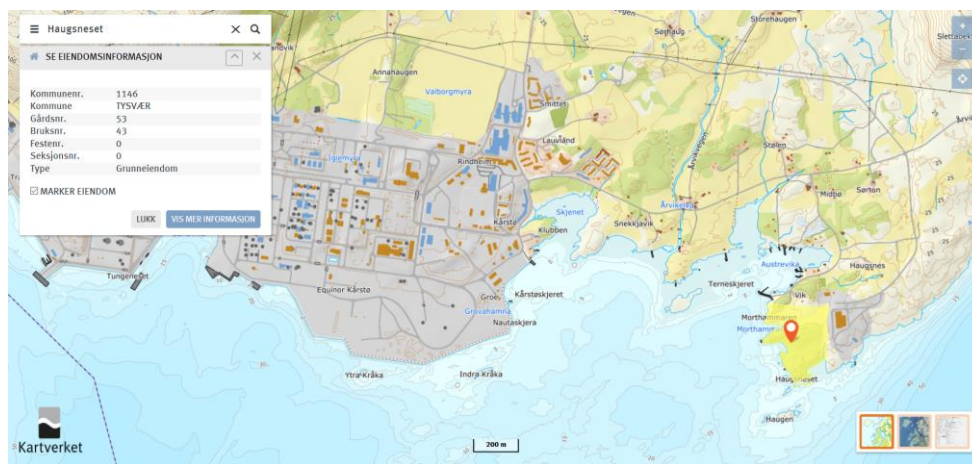
Det som man også må merke seg er at denne grafen viser nettoutslipp over antatt levetid på 30 år og at stigningen av elektrisitetspriser ikke ble tatt med i betraktningen. CO₂ utslipp grunnet utbyggelse av selve anlegget ble heller ikke tatt med i betraktningen. Grafene kan

også påvirkes av høydeforskjellen mellom spillvannets utslippspunkt og mottakspunkt, det vil fastslå antall pumper mer nøyaktig.

Stigningsraten viser hvor mye elektrisitet som blir brukt av pumpene ved distribusjon. Selv om produsert elektrisitet i Norge stort sett kommer fra fornybare kilder, kan norsk kraftnett ikke sees på som en ren energikilde i helhet. Dette er fordi elektrisitet blir delvis importert fra andre land som til større grad bruker ikke-fornybare energikilder (Energi og klima, 2019). Import av elektrisitet fra andre land vil derfor ha en negativ påvirkning på prosjektet.

Eksempel på mulige prosjekter

Ved samarbeid med Øyvind Olsen og Annette Sæther ble det fremmet informasjon om Haugsneset industriområde, eid av Tysvær kommune. Det er lokalisert øst for Kårstø prosessanlegg. Området er ca. 65 da eller 65 000 m². Haugsneset industriområdet grenser til Equinor sitt anlegg med omformerstasjoner som forsyner elektrisk kraft til offshore installasjoner (Olsen Ø. , 2019).



Figur 30: Haugsneset industriområdet markert på kart (Norgeskart, 2019).

Øyvind Olsen (2019) har dette å si om prosjektet:

«Haugsneset industriområdet er regulert for industriformål og Tysvær kommune jobber aktivt med nye industrietableringer, blant annet landbasert oppdrett. Et mulig oppdrettsanlegg vil kunne utnytte de fordelaktige egenskapene og ressursene i dette industriområdet. Et slikt anlegg er energikrevende, ved at det er behov for kontinuerlig sirkulasjon av store mengder sjøvann oppvarmet til 14-16 °C. Tysvær kommune ønsker å bidra til at mulige industrietableringer på Haugsneset industriområdet kan utnytte kjølevann fra andre industrianlegg i nærområdet for å sikre hensiktsmessig energitilgang.

Tilrettelegging og bruk av slikt kjølevann reguleres gjennom kommersielle avtaler mellom «leverandør» og «kunde». Slike avtaler må baseres på at kjølevannet kan tilrettelegges og leveres til kommersielt konkurransedyktige betingelser.» (Olsen Ø. , 2019).

Man velger da å presentere Kårstø sitt spillvann som en varmekilde for et landbaserte anlegg på Haugsneset. Selv om distribueringsavstand gir en god oversikt over prosjektet, vil miljømessige konsekvenser være avhengige av mengde transportert spillvann, ifølge beregningene.

For en slik situasjon som dette er det nødvendig å bistå med å bestemme et definitivt svar på om spillvanntilførsel fra Kårstø er et gjennomførbart prosjekt. Med tanke på dette blir det utarbeidet en tabell med tre ulike tilfeller som skal vise besparelser ved å unngå elektrisitetsforbruk for oppvarming. Det første tilfellet skal illustrere situasjonen hvor man bare bruker elektrisitet til oppvarming. I det andre tilfellet vil anlegget bruke varmepumper til oppvarming og sjøvann som varmekilde. I det tredje tilfellet vil det brukes varmepumper med spillvann på 14,96 °C som varmekilde.

Det settes en tabell med el-pris satt til 75 øre/kWh som utgangspunkt. Det blir også gått ut ifra at strømprisen vil stige med 2% hvert år. Varmekostnader står for hvor mye man vil betale i løpet av anleggets levetid for varmeenergi.

Type rør	Energistrøm fra spillvann, MW	Varmeenergi, kWh/år	Varmekostnader, NOK		
			1. tilfellet	2. tilfellet	3. tilfellet
DN100	0,633	5 545 080	221 562 020	57 698 442	49 901 356
DN300	5,700	49 932 000	1 995 108 234	519 559 436	449 348 701
DN600	22,798	199 710 480	7 979 732 899	2 078 055 442	1 797 237 139
DN900	51,295	449 344 200	17 954 224 013	4 675 579 170	4 043 744 147
DN1000	63,327	554 744 520	22 165 652 482	5 772 305 334	4 992 264 073
DN1200	91,191	798 833 160	31 918 581 576	8 312 130 619	7 188 869 724

Tabell 28: Totale kostnader knyttet til bruk av varmepumpe. Haugsneset, 3 km fra Kårstø

Besparelser er da avhengige av anleggets ytelse or derfor valgt type rør, for eksempel med 0,633MW av tilført spillvarme, det vil si ved valgt DN100 rør, kan man spare 171,67 millioner kroner ved å bruke spillvann istedenfor elektrisitet. Men man vil kunne spare 24,73 milliarder kroner hvis anlegget er designet for DN 1200 rør. Med kjente investeringer i anlegg og distribusjon settes det opp ekstra tabeller 29 og 30 med besparelser og tilbakebetalingstider for ulike kombinasjoner av løsninger.

Type rør	Besparelser i løpet av levetid, NOK	
	Brukes spillvann istedenfor elektrisitet	Brukes spillvann istedenfor sjøvann
DN100	171 660 664	7 797 086
DN300	1 545 759 533	70 210 735
DN600	6 182 495 760	280 818 303
DN900	13 910 479 866	631 835 023
DN1000	17 173 388 409	780 041 261
DN1200	24 729 711 852	1 123 260 895

Tabell 29: Besparelser ved ulike type anlegg

Tilbakebetalingstid, år						
Type rør	Brukes spillvann istedenfor elektrisitet			Brukes spillvann istedenfor sjøvann		
	Haugsnestet (3 km)	Haugaland NP (8,5 km)	Haugesund (26,9 km)	Haugsnestet (3 km)	Haugaland NP (8,5 km)	Haugesund (26,9 km)
DN100	11	23	46	72	>100	>140
DN300	4	9	19	34	62	>100
DN600	3	5	11	31	46	72
DN900	2	4	8	27	38	60
DN1000	2	4	8	26	36	58
DN1200	2	3	7	25	34	54

Tabell 30: Tilbakebetalingstider til ulike type anlegg på tre distanser

Konklusjon

Målet med oppgaven er å undersøke potensialet for reelt bruk av spillvann fra Kårstø prosessanlegg. Ifølge informasjonen gitt av anlegget ble det funnet aktuelle varmemengder som slippes ut i havet hver dag. Oppgaven listet opp muligheter for utnyttelse av spillvannet, noen av dem ser man bort ifra på grunn av liten virkningsgrad og derfor lav effektivitet. Andre alternativer som medfører bruk av varmepumper og/eller varmeveksling presenteres som gode varianter for bruk av spillvarmen.

Det ble sett på hvordan man kan realisere distribusjonssystem fra Kårstø for ulike avstander med ulike typer rør. Rapporten beregnet også hvilket varmetap og hvilke kostnader man bør forvente ved distribuering av spillvann, samt hvilken påvirkning et slikt prosjekt ville hatt på miljøet. I tillegg til dette ble det beregnet hvilke kostnader som er involvert i et slikt prosjekt. Det ble vurdert om prosjektet kan bli lønnsomt etter ulike forhold ved bruk av økonomiske hjelpemidler som LCOE og tilbakebetalingstid.

Etter å ha sett på de ulike mulighetene som er tilgjengelige for Kårstø i dag ser man at det ikke er mange lønnsomme alternativer tilgjengelig for videresending og videre bruk av spillvann. De største begrensningene knyttet til et prosjekt som utnytter spillvann er temperaturområdet som Kårstø kan tilby.

Opgaven så da på potensielle brukere som eksisterer eller som kan oppstå i Tysvær kommune. Det vil si virksomheter som kan dra nytte av spillvannet om de etablerer seg i nærheten av Kårstøanlegget. Informasjon om disse ble funnet ved hjelp av Haugaland Vekst og Kårstø prosessanlegg.

Det ble gjort klart i oppgaven at varmetap gjennom rør kan være en vesentlig faktor å betrakte når man skal velge om man skal gå for et prosjekt som dette eller ikke. For typer rør med diameter opp til 0,1 m vil et 26,9 km langt distribusjonsnett føre til temperaturfall som overstiger 1,93 °C ved omgivelsestemperatur på -20 °C, som tilsvarer tap av 27,7% av all varmeenergi. Ved bruk av distribusjonsnettet med 1,2 m rørdiameteren, kan man levere spillvann over lengre avstander med et varmetap som er mindre enn 1%.

Det vil i tillegg være viktig å tenke på kostnadsøkningene som kommer av lengre rør. Man så at etter ca. 4 km med transport og utnyttelsen av 0,2 % av den totale mengden spillvann som er tilgjengelig, vil det ikke være mulig å skape et lønnsomt produkt. Grunnen til dette er at LCOE vil bli for høy. Men ved transport og utnyttelse av 6,1 % av tilgjengelig mengde spillvann, øker rimelig avstand opp til ca 27 km. Virksomheter som kan dra nytte av tilført varmemestrøm som etablerer seg i nærområdet må etablere seg nærmere enn dette for å kunne dra nytte av spillvannet på en økonomisk forsvarlig måte.

Når det kommer til miljømessig gevinst for et slikt prosjekt, må man ta i betraktning alle påkjenningene som kommer av å sette opp et slikt rørsystem. Beregningene utført i denne rapporten viser en rekke avstander fra Kårstø der det ikke vil være miljømessig gunstig i det hele tatt å utføre et prosjekt. Disse avstandene varierer fra 1 km til over 100 km avhengig av hvilke rør man bruker.

Det blir da ut ifra denne informasjonen mulig å se at man kan i teorien utnytte energien fra spillvannet til Kårstø til en større grad enn i dag, men det er mange kriterier som skal møtes for at et slikt prosjekt skal bli realisert med økonomisk og miljømessig gevinst.

Det viktigste man må passe på ved gjennomføring av dette prosjektet er mengde utnyttet spillvann. Det har en direkte påvirkning på økonomi, kostnader, CO₂ utslipp, varmetap og hvor langt man kan sende spillvannet før man ikke sitter igjen med noen gevinst. Hvis man ønsker å dra nytte av mindre mengder spillvann, er det større sjans for å ende med et ikke lønnsomt prosjekt. Det ble bestemt at distansen fra Kårstø og derfor utgifter som følger av det kunne neglisjeres ved tilstrekkelig nok tilført spillvann og høy prosent av varmeutnyttelse.

Med tanke på lønnsomhet anbefales det å maksimere spillvannutnyttelsen av et anlegg som vil motta spillvannet. For dette kan det bygges et kundegrnlag og infrastruktur, helst nærmest mulig Kårstø, for best distribuering og bruk av produsert varme. Det kan være effektivt å etablere en rekke spillvarmeutnyttende anlegg som blir bundet i en samproduksjon som ble beskrevet i oppgaven.

Bruk av spillvarme har et stort potensial for utslippsreduisering forutsatt at anlegg vil kutte elektrisitetsforbruk og erstatte dette med spillvann. Det blir også beregnet at man kan skape et

lønnsomt produkt ved de rette forholdene. I tillegg vil oversikten av tilgjengelig varmemestrøm fra Kårstø indikere at gjenvinning av varmeenergi er en effektiv strategi å følge.

Videreutvikling av et slik varmeutnyttende prosjekt krever fremtidige arbeid. Man må da gå fram med å lage en detaljert undersøkelse av kostnader knyttet til distribusjonsnett, studere mer nøyaktig muligheter og lønnsomheten for spesifikke tilfeller som deretter vil tilpasse behov fra ulike anlegg. For dette må det holdes en tett kontakt med en virksomhet som har en interesse i spillvarmeutnyttelsen. Det må tas vannprøver som vil bestemme vannkvaliteten og så avhengig av den mulige bruksområder. Man må også presisere klimagassutslipp ved betingelser og forutsetninger som gjelder bygging av distribusjonsnett, anlegg som skal utnytte spillvann og infrastruktur som skal tilføre produsert varme. Til slutt må det utføres en dyp analyse av varmetap ved virkelig varmeoverføring.

Referanser

- Salmson. (2016, Januar 1). *2016 PRICE LIST*. Hentet fra salmson.com:
<http://www.salmson.com/fileadmin/templates/pdf/Price%20List%20Salmson%202016.pdf>
- A. Rettig, M. Lagler, T. Lamare et al. (2011, September 4-9). *Application of Organic Rankine Cycles (ORC)*. Hentet fra zhaw.ch:
<https://www.zhaw.ch/storage/engineering/institute-zentren/iefe/PDFs/orc-final-paper-wec2011-2011-07-30.pdf>
- American Chemistry Council. (u.d.). *Polyurethane Applications*. Hentet Mai 1, 2019 fra
<https://polyurethane.americanchemistry.com>:
<https://polyurethane.americanchemistry.com/Applications/>
- Berner, E. (2017, August 24). *vekst – botanikk*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/vekst_-_botanikk
- Brødrene Dahl. (u.d.). *VMT (VA) Konsept*. Hentet fra dahl.no:
https://www.dahl.no/globalassets/hovedside/produkter-og-tjenester/vmtva/kataloger/pdf/fjernvarme_2016.pdf
- Cooper, D.J., Meyer L.E. and Varley R.J. (2009). *OTEC Commercialisation Challenge*. Houston, Texas: Offshore Technology Conference.
- Dahl, H. J. (2018). *ING 3045 Prosjektarbeid i tverrfaglig team, Ingeniørfagelig systemteknig "Systems Engineering"*. Haugesund: Høgskolen på Vestlandet.
- DiPippo, R. (2016). *Geothermal Power Generation*. Elsevier Ltd.
- Eastop, T. D., Croft, D. R., & Watson, W. E. (1993). *Applies Thermodynamics For Engineering Technologists, 5th Edition*. Longman Group UK.
- Energi og klima. (2019). *Live-data: Strøm og CO2*. Hentet Mars 12, 2019 fra energiogklima.no: <https://energiogklima.no/klimavakten/live-data-strom-og-co2/>
- Finnemore, E. J., & Franzini, J. B. (2009). *Fluid Mechanics with Engineering Applications, Tenth Edition*. McGraw-Hill Education.
- Gassco. (2011, November). *gassco.no*. Hentet fra Kårstø gassprosesseringsanlegg:
https://www.gassco.no/globalassets/nedlastbart/informasjonsmaterieill/karsto_norsk_ny.pdf
- Google. (2019). *Google Maps*. Hentet fra www.google.com/maps:
<https://www.google.com/maps/place/Equinor+K%C3%A5rst%C3%B8/@59.2773275,5.5187335,16z/data=!4m5!3m4!1s0x463bbcbc0d157e91:0x72a896d2695f04e5!8m2!3d59.2790102!4d5.5232181>

- Haugaland Næringspark. (u.d.). *Parken*. Hentet Mars 20, 2019 fra Haugaland-park.no:
<http://www.haugaland-park.no/parken/>
- Haugaland vekst. (u.d.). *Forside: Om Haugaland vekst*. Hentet fra haugalandvekst.no:
<https://haugalandvekst.no/>
- Havforskningsinstituttet. (2017). *Stasjon: Indre Utsira*. Hentet fra www.imr.no:
<http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/view?station=Bud>
- Jahn Thronsen Einar, Skarstad Egeland. (2018, Februar 20). *Alger*. Hentet fra snl.no:
<https://snl.no/alger>
- Kraft, S. (2009, Juli 17). *Polyuretan som dekker et stålrør*. Hentet fra upload.wikimedia.org:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Stahlflex_28_90.jpg
- Kvalavåg, A.-E. (2019, Februar 25). *Tiril Fjeld skal lede Haugaland Næringspark*. Hentet fra
tysver-bygdeblad.no: <https://tysver-bygdeblad.no/2019/02/25/tiril-fjeld-skal-lede-haugaland-naeringspark/>
- Line Ekanger; Kjetil Haga et al. (2013, Oktober). *RAPPORT FORPROSJEKT – SPILLVARMEUTNYTTELSE NYHAMNA*. Hentet fra mrfylke.no:
<https://mrfylke.no/content/download/263775/2132487/file/Apoint%2C+Sensacon+og+Front+2013.pdf>
- Midtfjellet Vindkraft AS. (2016). *VINDPARKEN*. Hentet fra midtfjellet.no:
<https://midtfjellet.no/om-oss/vindparken/>
- Nacap. (2010). *Carbon Footprint of Pipeline Projects*. Hentet fra iploca.com:
<http://www.iploca.com/platform/content/element/7551/NacapPresentationCarbon-FootprintofPipelineProjects.pdf>
- Norges forskningsråd. (2008, April 14). *Oppdrettsfisk kan bli klimaflyktning*. Hentet fra
forskning.no: <https://forskning.no/oppdrett-fisk-partner/oppdrettsfisk-kan-bli-klimaflyktning/976919>
- Norgeskart. (2019, April 9). *Norgeskart*. Hentet fra www.norgeskart.no:
https://www.norgeskart.no/?_ga=2.194700324.880186882.1556784907-1781706164.1556784907#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=12&lat=6608863.84&lon=-39121.50&markerLat=6608677.643554687&markerLon=-37623.74609375001&panel=Seeiendom&sok=Haugneset&showSelecti
- Norsk institutt for bioøkonomi. (2006, Mars 20). *Andemat - liten plante med store muligheter*. Hentet fra forskning.no: <https://forskning.no/partner-bioforsk-fisk/andemat---liten-plante-med-store-muligheter/977332>
- NVE. (2019, April 8). *Dokumentasjon for kostnader i energisektoren*. Hentet fra nve.no:
<https://www.nve.no/energiforsyning/energiforsyningsdata/dokumentasjon-for-kostnader-i-energiesektoren/?ref=mainmenu>

-
- Olivares, A. (2018). *Fornybar energi ING3036 Innledning*. Haugesund: Høgskulen på Vestlandet.
- Olsen, L. M. (2016, Juni 1). *Ocean Thermal Energy Conversion*. Hentet fra <http://bora.uib.no>: <http://bora.uib.no/handle/1956/12655>
- Olsen, Ø. (2019, April 26). Veiledningsmøte. (M. Maistrenko, & K. Holme, Intervjuere) Oslo Aquaponics. (2017, August 20). *Aquaponics in Oslo*. Hentet fra osloaquaponics.wordpress.com: <https://osloaquaponics.wordpress.com/2017/08/20/aquaponics-in-oslo/>
- OTEC foundation. (2012, Juli 11). *Advanced Composite Cold Water Pipe*. Hentet fra [otecnews.org](http://www.otecnews.org): <http://www.otecnews.org/2012/07/advanced-composite-cold-water-pipe/>
- Pedersen, B. (2018, Juni 22). *Termodynamikk*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/termodynamikk>
- Ragnøy, M. M. (2014, Oktober 15). *Teknologikartlegging. Kraftgjenvinning fra lavtemperatur spillvarme*. Hentet fra [enova.no](https://www.enova.no): https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/32F7D6B3999F48EFBF5AEB4FC58A5370.pdf&filename=Teknologikartlegging_Kraftgjenvinning%20fra%20lavtemperatur%20spillvarme.pdf
- Riise, O. J. (2018, Juli 4). *Tekfisk, nyheter*. Hentet fra Fiskebladet: <https://fiskeribladet.no/tekfisk/nyheter/?artikkel=61058&fbclid=IwAR0E20-Tocg0XOmmX55DO7Jngh6z1ESQgAOuGiwDC04SD-dFKGxjID0357g>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017, Mai). *CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions*. Hentet fra ourworldindata.org: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Rosenberg, M. (2010). *Kostnader for fjernvarmeutbygging*. Nittedal: Bioen as . Hentet fra <http://spotidoc.com/doc/2841584/kostnader-for-fjernvarmeutbygging>
- Rosvold, K. A. (2011, April 10). *flis – bioenergi*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/flis_-_bioenergi
- S. M. Masutani, P. K. Takahashi. (2001). *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)*. Hentet fra [curry.eas.gatech.edu](http://www.curry.eas.gatech.edu): http://www.curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter2/Ency_Oceans/OTEC.pdf
- Seland, S., & Klungtveit, G. (2019, April 10). Veiledningsmøte. (M. Maistrenko, & K. Holme, Intervjuere)

- Skjånes, K. (2015, Desember 11). *MIKROALGERS POTENSIAL SOM PROTEINKILDE I FÔR TIL STORFE OG GRIS - Selvbergning i den nye bioøkonomien*. Hentet fra brage.bibsys.no:
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2382562/NIBIO_RAPPORT_2015_1_62.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Society of Petroleum Engineers. (2015, Juni 2). *Petrowiki.org*. Hentet fra Pipeline design consideration and standards:
https://petrowiki.org/Pipeline_design_consideration_and_standards#Pipe_materials_-_basics
- Statistisk sentralbyrå. (2009). *Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 2006*. Oslo: Statistisk sentralbyrå . Hentet fra
https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_200934/rapp_200934.pdf
- Statistisk sentralbyrå. (2014, Juli 14). *Energibruk i husholdningene*. Hentet fra www.ssb.no:
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi/hvert-3-aar>
- Statistisk Sentralbyrå. (2018, Mai 31). *Fjernvarme og fjernkjøling*. Hentet fra ssb.no:
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/fjernvarme>
- Susanna Rosén & Madeleine Skiljaica. (2017, Juni 7). *11 vekster du kan dyrke i drivhus*. Hentet fra www.viivilla.no: <https://www.viivilla.no/hage/drivhus/11-vekster-du-kan-dyrke-i-drivhus/>
- Tho, E. (2019, Februar 25). *Tiril Fjeld slutter i Atea og skal drive næringspark*. Hentet fra h-avis.no: <https://www.h-avis.no/nyheter/naringsliv/tysvar/tiril-fjeld-slutter-i-atea-og-skal-drive-naringspark/s/5-62-773742>
- Tryggestad, I. S. (2015, Juni). *Optimalisering av fjernvarme ved bruk av spillvarme fra industri og varmpumpe til fjernvarme*. Hentet fra brage.bibsys.no:
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2350138/13632_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- UiO: Institutt for biovitenskap. (2018, November 19). *Andemat*. Hentet fra mn.uio.no:
<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/a/andemat.html>
- ValutaFX. (2019, Mai 4). *KONVERTER EURO TIL NORSKE KRONER*. Hentet fra no.valutafx.com: <https://no.valutafx.com/EUR-NOK.htm?>
- Vines, J. (2007, April 28). *Kårstø anlegget*. Hentet fra upload.wikimedia.org:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Kaarstoe_anlegget.jpg
- von der Assen, N., & Bardow, A. (2014, April 28). *Life cycle assessment of polyols for polyurethane production using CO2 as feedstock: insights from an industrial case study*. Hentet fra pubs.rsc.org:
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/gc/c4gc00513a>

Wikipedia. (2019, April 13). *Viscosity*. Hentet fra wikipedia.no:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>

Wikipedia. (2018). *Tørrfisk*. Hentet fra no.wikipedia.org:
<https://no.wikipedia.org/wiki/T%C3%B8rrfisk>

World Pumps. (2008, Januar). *Determining the real cost of powering a pump*. Hentet fra
sciencedirect.com:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262176207704352>

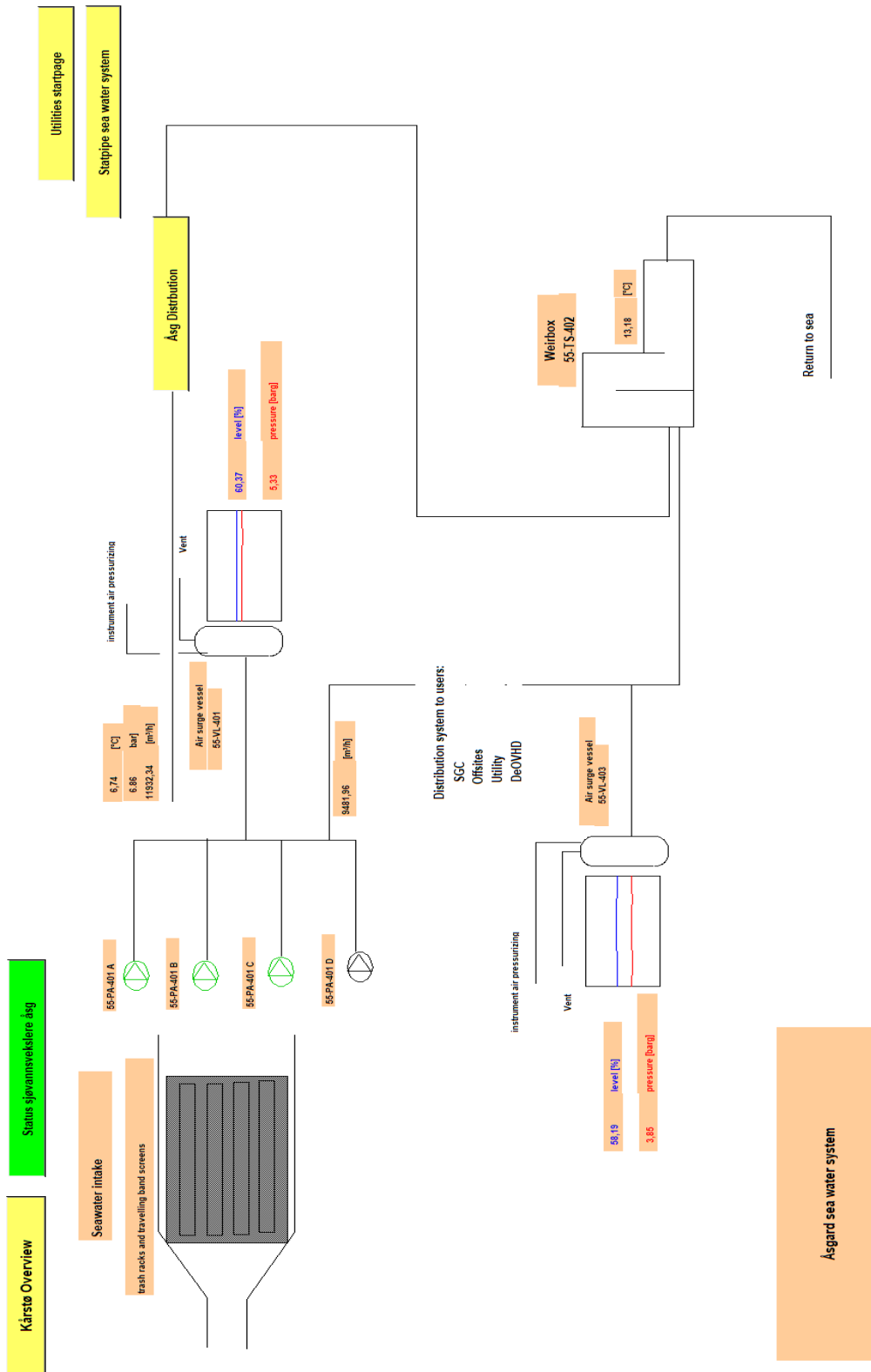
Yellishettya, M., Ranjitha, P. G., & Tharumarajah, A. (2010, Oktober). *Iron ore and steel
production trends and material flows in the world*:. Hentet fra sciencedirect.com:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910000674>

Vedleggsliste

Vedleggsnummer	Forklaring
Vedlegg a	Strømningskart for kjølevannssystemt Åsgard på Kårstø
Vedlegg b	Strømningskart for kjølevannssystemt Statpipe/Sleipner på Kårstø
Vedlegg c	Dimensjoner for rør etter standard EN250:2009
Vedlegg d	Moody diagram
Vedlegg e	Teknisk informasjon for pumpe
Vedlegg f	Prisliste for pumper

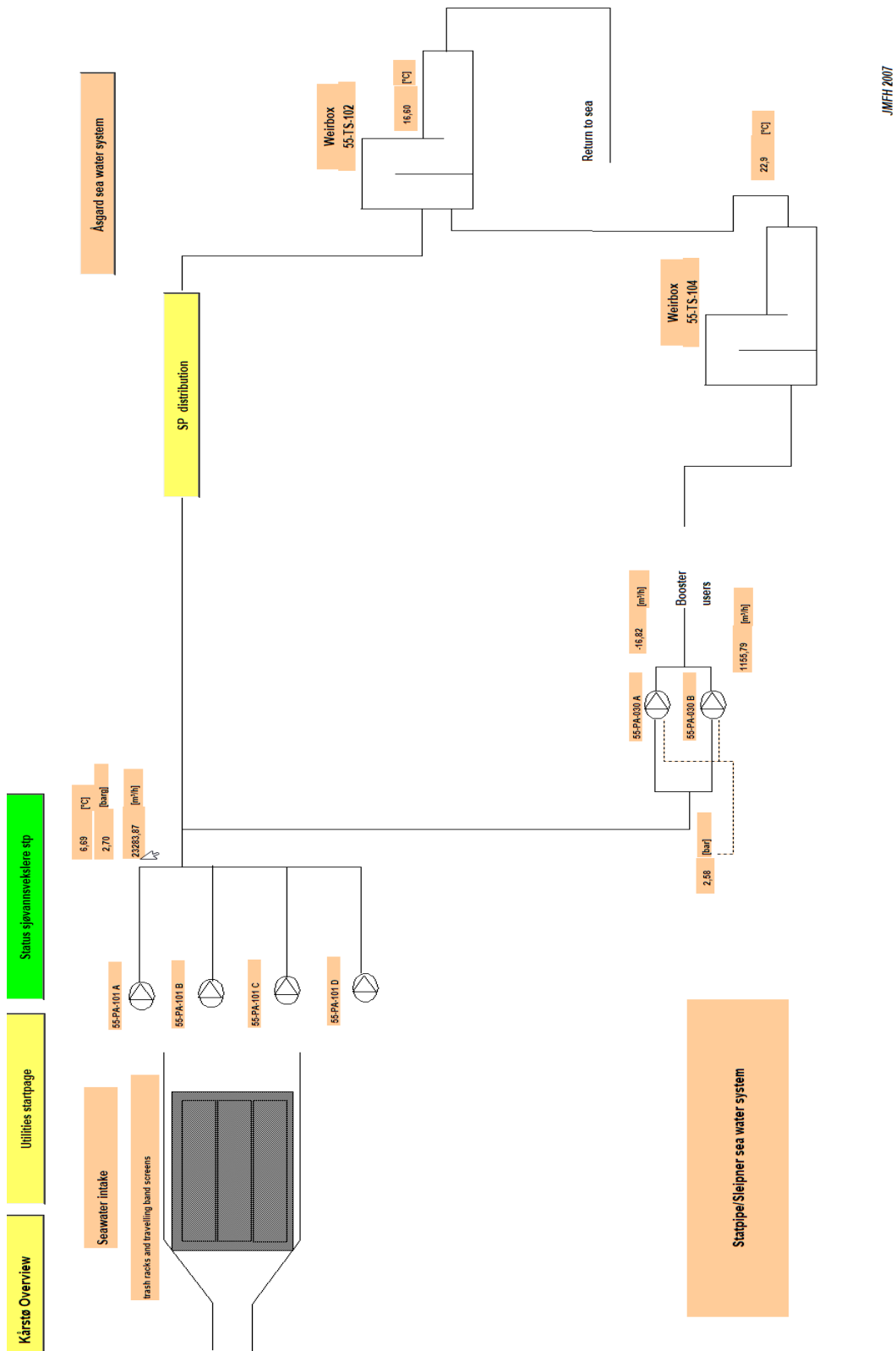
Tabell 31: Vedleggsliste

Vedlegg a



JMFH 2007

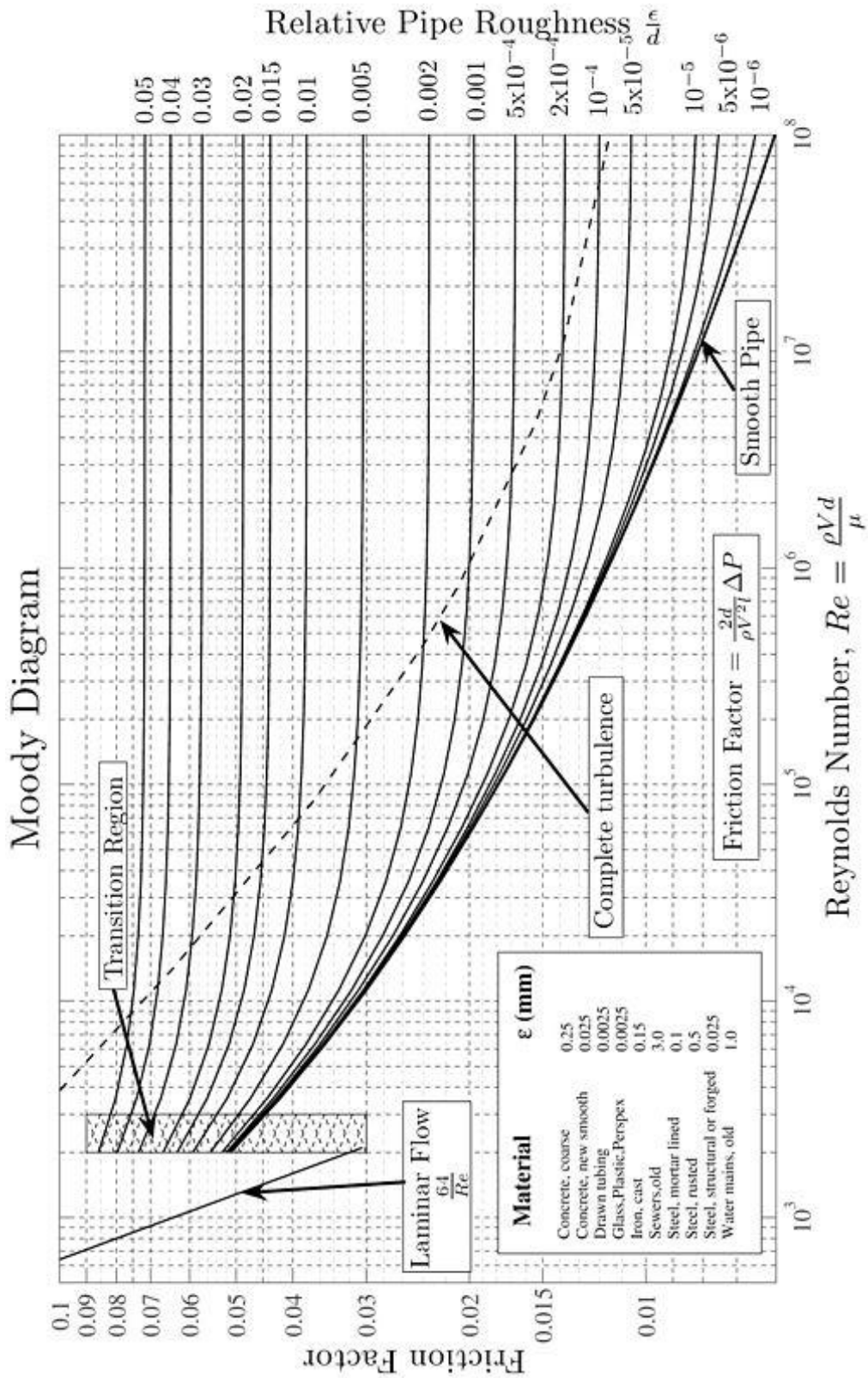
Vedlegg b



Vedlegg c

Nominal diameter DN	Outside diameter D_s mm	Minimum nominal wall thickness T mm
15	21,3	2,0
20	26,9	2,0
25	33,7	2,3
32	42,4	2,6
40	48,3	2,6
50	60,3	2,9
65	76,1	2,9
80	88,9	3,2
100	114,3	3,6
125	139,7	3,6
150	168,3	4,0
200	219,1	4,5
250	273,0	5,0
300	323,9	5,6
350	355,6	5,6
400	406,4	6,3
450	457,0	6,3
500	508,0	6,3
600	610,0	7,1
700	711,0	8,0
800	813,0	8,8
900	914,0	10,0
1 000	1 016,0	11,0
1 200	1 219,0	12,5

Vedlegg d



Vedlegg e

MULTI-H 800

HORIZONTAL MULTISTAGE PUMPS

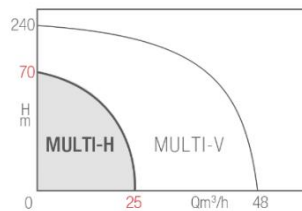


Pump casing and impellers in stainless steel 304 or 316L

● 1-PHASE MODEL



> PERFORMANCE RANGE



> COMMON ACCESSORIES FOR THE RANGE

ARTICLE N°	REFERENCE S14	UNIT PRICE
18787	Pressure gauge	16.80 €
4015478	Tank 0.16L	60 €

> ACRONYMS

M	⇒ 1-phase 230 V
T	⇒ 3-phase 400 V - 50 Hz
S	⇒ Stainless steel 304
X	⇒ Casing in stainless steel 316L - Hydraulic in stainless steel 316L
V	⇒ VITON gasket
E	⇒ EPDM gasket

MULTI-H 1600

HORIZONTAL MULTISTAGE PUMPS

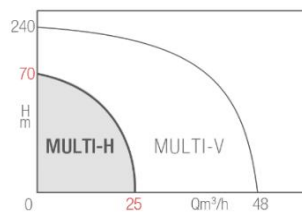


Pump casing and impellers in stainless steel 304

● 3-PHASE MODEL



> PERFORMANCE RANGE



> COMMON ACCESSORIES FOR THE RANGE

ARTICLE N°	REFERENCE S14	UNIT PRICE
4013168	Suction valve	53 €
4015489	Discharge valve	27 €
4013153	Non-return valve	244 €
18787	Pressure gauge	16.80 €
4015478	Tank 0.16L	60 €

> ACRONYMS

M	⇒ 3-phase 400 V - 50 Hz
S	⇒ Stainless steel 304
E	⇒ EPDM gasket

Vedlegg f

WATER SUPPLY

> SPECIFIC REFERENCES & ACCESSORIES

ARTICLE N°	REFERENCE S06	UNIT PRICE	SUCTION/ DISCHARGE	MOTOR POWER KW	CIRCUIT BREAKER	SUCTION VALVE	DISCHARGE VALVE	NON-RETURN VALVE	DRY RUNNING PROTECTION KIT (DOWN WATER SUPPLY)
4007427	MULTI-H802-SE-M	765 €	1"½ - 1"¼	0.75	4066595 - 171 €				4204187 - 201 €
4149042	MULTI-H802N-SE-T	729 €	1"½ - 1"¼	0.75	4066593 - 171 €				-
4007429	MULTI-H803-SE-M	861 €	1"½ - 1"¼	1.1	4066595 - 171 €				4204187 - 201 €
4149061	MULTI-H803N-SE-T	820 €	1"½ - 1"¼	1.1	4066594 - 171 €	4015489 27 €	4015488 19.70 €	4013152 218 €	-
4007431	MULTI-H804-SE-M	1 147 €	1"½ - 1"¼	1.5	4066596 - 171 €				4204187 - 201 €
4149082	MULTI-H804N-SE-T	1 001 €	1"½ - 1"¼	1.5	4066594 - 171 €				-
4149097	MULTI-H805N-SE-T	1 187 €	1"½ - 1"¼	1.85	4066595 171 €				-
4013258	MULTI-H802-XV-M	1 334 €	1"½ - 1"¼	0.75					4204187 - 201 €
4149053	MULTI-H802N-XV-T	1 268 €	1"½ - 1"¼	0.75	4066593 - 171 €				-
4013260	MULTI-H803-XV-M	1 500 €	1"½ - 1"¼	1.1	4066595 - 171 €				4204187 - 201 €
4149074	MULTI-H803N-XV-T	1 428 €	1"½ - 1"¼	1.1	4066594 - 171 €	4022135 160 €	4022134 133 €	4022137 849 €	-
4013262	MULTI-H804-XV-M	2 004 €	1"½ - 1"¼	1.5	4066596 - 171 €				4204187 - 201 €
4149093	MULTI-H804N-XV-T	1 740 €	1"½ - 1"¼	1.5	4066594 - 171 €				-
4149104	MULTI-H805N-XV-T	2 063 €	1"½ - 1"¼	1.85	4066595 - 171 €				-

> SPECIFIC REFERENCES & ACCESSORIES

ARTICLE N°	REFERENCE S06	UNIT PRICE	SUCTION/ DISCHARGE	MOTOR POWER KW	CIRCUIT BREAKER
4149108	MULTI-H1602N-SE-T	1 145 €	2" - 1"½	1.5	4066594 - 171 €
4149114	MULTI-H1603N-SE-T	1 259 €	2" - 1"½	1.85	4066595
4149120	MULTI-H1604N-SE-T	1 500 €	2" - 1"½	2.5	171 €