

Dam, Henrik. Nilsen, Magnus. Øverby, Kristoffer

Kartlegging og varmetapsberegninger av et fjernvarmenett

Bacheloroppgave i Fornybar energi

Veileder: Alemayehu Gebremedhin

Medveileder: Per Ove Aasen

Mai 2021

Dam, Henrik. Nilsen, Magnus. Øverby, Kristoffer

Kartlegging og varmetapsberegninger av et fjernvarmenett

Bacheloroppgave i Fornybar energi
Veileder: Alemayehu Gebremedhin
Medveileder: Per Ove Aasen
Mai 2021

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



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2021		
Kartlegging og varmetapsberegninger av et fjernvarmenett	Antall sider: 63		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Henrik Dam, Magnus Nilsen, Kristoffer Øverby			
Veileder: Alemayehu Gebredmedhin			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Per Ove Aasen, Marcus Vendt, Bergene Holm avd. Kirkenær			

Sammendrag:

Denne oppgaven tar for seg varmetapsanalyser og kartleggingen av et industrielt fjernvarmenett. Formålet med oppgaven var å danne en teknisk tegning av anleggets rørgater, undersøke varmelekkasjer i nettet, samt analysering av avvik i tilknytning til energiregnskap fra fjernvarmeforbruk. Oppdragsgiver er Bergene Holm AS avd. Kirkenær - en trevarebedrift som spesialiserer seg innen sagbrukvirksomhet og tørking av trelast. Tørkeprosessen foregår i ulike kammere og kanaler som benytter seg av fjernvarme til oppvarming. Fjernvarmen produseres av nabobedriften Solør Bioenergi, og deler av biobrenselet deres består av restprodukter i form av flis og bark fra Bergene Holms sagbrukvirksomhet. Handelsavtalen mellom bedriftene bidrar til en klimavennlig produksjon med god ressursutnyttelse.

Problemstillingen baserer seg på at oppdragsgiver ønsket en bedre totaloversikt over sitt fjernvarmenett. Bedriften ønsket en teknisk tegning av fabrikkområdet, med nøyaktig plassering av rørgater og varmevekslere. Varmetapsberegninger og undersøkelse av varmelekkasjer i nettet ble også etterspurt. I tillegg ønsket bedriften å oppklare noen avvik i sitt energiregnskap, hvor datasettet feilaktig indikerte at bedriften til tider var produsent av energi.

Den tekniske tegningen av fjernvarmeanlegget ble konstruert i AutoCAD, og presenteres med farge- og linjekoding som indikerer dimensjoner og rørenes plasseringen over eller under bakken. Rørdata ble delvis supplert av teknisk leder, mens ytterligere informasjon om nettverkets struktur ble innhentet ved befaring på fabrikkområdet. Satellittbilder fra Norgeskart ble også benyttet for å verifisere rørenes posisjon.

For å undersøke bedriftens unormale energiregnskap ble data fra de ulike tørkerene energimålere analysert. Det ble funnet mangelfulle målinger av temperaturdata på flere returmålere, i tillegg til enkelte målere som leste av høyere temperatur på returvannet enn turvannet. Avvikene ble presentert i tabellform, og det anbefales at bedriften undersøker om avvikene kan skyldes tekniske feil på energimålerne.

For å undersøke kilder til varmelekkasje i nettet ble termisk fotograferingsutstyr tatt i bruk. Det ble avdekket flere uisolerte rørpartier med høye overflatetemperaturer, samt porter og dører til tørkekammer med tydelige varmelekkasjer i ytterkantene.

For å tallfeste størrelsen på varmetapet fra noen av de uisolerte rørene ble det foretatt teoretiske tapsberegninger ved hjelp av temperaturdata fra termografiene. Resultatene ble sammenlignet med varmetap fra tilsvarende isolerte rør og presentert som potensiell energibesparelse ved etterisolering. Det ble vist at varmetapet kunne begrenses med opptil 86 prosent ved å legge isolasjon.

En teoretisk beregning av systemets varmetap ble også utført, bestående av tap fra rørgatene som går mellom de ulike tørkerne. Resultatet indikerte et gjennomsnittlig energitap på ca. 3600 kWh/døgn. To beregningsverktøy for varmetap ble dannet i Excel; et for energibesparelse ved etterisolering av rør og et annet for beregning av varmetap fra rørgater over og under bakken. Hensikten med programvaren var å tilby Bergene Holm og fjernvarmeindustrien forøvrig med et nyttig verktøy for estimering av varmetap og beregning av besparelser knyttet til etterisolering av rørgater.

Stikkord

Fjernvarme
Teknisk tegning
Energiledelse
Varmetap
Energieffektivisering

Henrik van Dam

Magnus P. Nilsen

Kristoffer Øverby

Henrik van Dam

Magnus Nilsen

Kristoffer Øverby

Forord

«Kartlegging og varmetapsberegninger av fjernvarmenett» er en bacheloroppgave innen fornybar energi skrevet av Henrik van Dam, Kristoffer Ballantine Øverby og Magnus Pareli Nilsen. Oppgaven er utført for trelastbedriften Bergene Holm, avdeling Kirkenær. Arbeidet med oppgaven startet den 7. januar 2021 og ble levert den 20. mai 2021. Til tross for Covid-19 pandemien og utfordringer knyttet til bedriftsbesøk og befaring, har oppgaven kommet godt i mål med god digital kommunikasjon med oppdragsgiver, samt god veiledning fra NTNU Gjøvik. Vi ønsker å takke tekniske ledere Per Ove Aasen og Gunnar Svendsrud v/ Bergene Holm for teknisk bistand og innsikt i produksjonsanlegget, driftsleder hos Solør Bioenergi Bengt Einardsrud for informasjon om fjernvarmenettet, Mathias Nordahl Nebb ved Cebyc for hjelp med Energinet og Heidi Martinsen for opplæring i AutoCAD. Vi ønsker å takke Marcus Vendt og Bergene Holm avd. Kirkenær for en meget spennende og relevant bacheloroppgave. Helt til slutt ønsker vi å gi en stor takk til vår interne veileder hos NTNU Gjøvik, Alemayehu Gebredmedhin, som har gitt god støtte og veiledning underveis i oppgaveprosessen.

Abstract

Survey and heat loss calculations of a district heating grid

This thesis regards the district heating system of Bergene Holm's sawmill in Kirkenær, that specialises in chamber-drying various types of wood. Their drying process relies on power from a neighboring district heating plant. The objectives are to construct a technical draft of the industrial district heating grid, execute theoretical calculations of system heat losses and analyse deviations in conjunction with statistical energy records, provided by the company's database in Energinet. The tasks will lead to better infrastructure, decrease overall economic losses and reduce their environmental impact. The technical draft was constructed using the drafting software AutoCAD and showcases the entire system of district heating pipelines. Pipe dimensions and positioning were supplied by the technical leader, while pictures taken during observation of the factory grounds verified this information. Satellite imagery from Norgeskart was also used in determining the overall pipeline grid. The map consists of color-coding for pipe dimensions and linetype for positioning above/underground, as well as other points of interest. Deviations in measurement from several energy meters were detected by analysing energy data. Some temperature measurements of return water were missing, while other data showed higher return temperatures compared with flow temperature. Relevant datasheets with highlighted deviations were presented to Bergene Holm. The pipelines were examined with thermal imaging equipment, to detect insufficient insulation and other hot spots for heat losses. Several bare pipe sections with high surface temperatures were found, along with drying-chamber gates who were shown to have substantial heat losses. Heat loss calculations of bare pipes were performed with the help of surface temperature data supplied by the thermal imagery. Comparative energy savings between uninsulated versus insulated pipes were presented, and the results revealed potential heat loss reduction of up to 86 percent by laying insulation on exposed pipes. A theoretical heat loss calculation was also done for pipelines that connect the different drying chambers. Two heat loss calculation tools were programmed in Excel - one for heat loss from uninsulated pipes and another for heat loss from pipelines above/underground. The tools ensured correct computing while providing the district heating industry with valuable tools for heat loss calculation and potential energy savings from post-insulating.

Innhold

Forord	v
Abstract	vii
Innhold	ix
Figurer	xiii
Tabeller	xvii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling og Formål	2
1.3 Mulige årsaker til negativt restregnskap	3
1.3.1 Ukalibrert hovedmåler/undermåler	3
1.3.2 Defekt hovedmåler/undermåler	3
1.3.3 Ukjent energiprodusent i fjernvarmenettet	4
1.4 Avgrensninger	4
1.5 Begrensninger som følge av Covid-19 pandemien	4
1.6 Leserveiledning	5
1.7 Litteraturstudie	5
1.8 Norsk Trelastindustri	6
1.9 FNs Bærekraftsmål og Parisavtalen	6
2 Teori	9
2.1 Om fjernvarmenett	9
2.2 Ulike generasjoner med fjernvarme	9
2.3 Energieffektivisering	10
2.4 Bergene Holms fjernvarmenett	10
2.4.1 Plassering av fjernvarmerør	10
2.4.2 Kanal og kammertørkere	11
2.4.3 Energimålere	11
2.4.4 Varmevekslere	12
2.5 Varmetap	13
2.5.1 Stråling	14
2.5.2 Konveksjon	14

2.5.3	Konduksjon	15
2.6	Varmetap i fjernvarmenett	15
2.6.1	Varmetap ved distribusjon	15
2.6.2	Varmeledningsevne λ og λ_i	16
2.6.3	Varmetap i rør over bakken	16
2.6.4	Varmetap i rør under bakken	17
2.6.5	Varmetap fra uisolerte rør	19
2.7	Autocad	19
2.8	Termisk kamera	19
2.9	Energinet	20
3	Metode	21
3.1	Materialer	22
3.1.1	Teknisk tegningen av rørgaten	22
3.1.2	AutoCAD	22
3.1.3	Termisk kamera	22
3.1.4	Hygrometer	24
3.1.5	Avstandsmåler	25
3.1.6	Energinet	25
3.2	Teknisk tegningen av rørgaten	26
3.3	Bruk av termisk kamera	28
3.4	Uisolerte rør	29
3.5	Systemets varmetap	33
3.6	Analyse av målerdata i Energinet	37
4	Resultat	39
4.1	Teknisk tegningen av rørgaten	39
4.2	Lokalisering av varmetap med termisk kamera	41
4.2.1	Bilder av rørgaten	41
4.2.2	Bilder av dør og port til tørkekammer	48
4.3	Uisolerte rør	51
4.4	Systemets varmetap	52
4.5	Analyse av målerdata i Energinet	53
5	Diskusjon og analyse	55
5.1	Teknisk tegningen av rørgaten	55
5.1.1	Hindringer i arbeidet med den tekniske tegningen	56
5.2	Termiske Bilder	56
5.2.1	Bilder av rørgaten	57
5.2.2	Bilder av porter og dører til tørkekammer	57
5.2.3	Lokalisere nedgravde rør	57

5.3	Systemets varmetap	58
5.3.1	Manuelle målinger av temperatur	58
5.3.2	Avvik i restforbruket 11. mars og 14. april	58
5.3.3	Gjennomsnittsdata fra mars og april	59
5.3.4	Sag, råsortering og verksted	59
5.3.5	Teoretisk energiforbruk	59
6	Konklusjon og anbefalinger	61
6.1	Konklusjon	61
6.2	Videre arbeid	62
6.2.1	Hva kan den tekniske tegningen brukes til?	62
6.2.2	Oppdatering av den tekniske tegningen	63
6.3	Kontribusjoner i tillegg til oppgavebesvarelsen	63
	Bibliografi	65

Figurer

2.1	Energimåler til B.H. Modell: 531. Produsent: Supercal. (Bilde tatt av Magnus Nilsen med tillatelse fra B.H.)	12
2.2	Varmeveksler til B.H. Modell: Cetepac. Produsent: Cetetherm. (Bilde tatt av Magnus Nilsen med tillatelse fra B.H.)	13
2.3	Illustrasjon av tur- og returrør under bakken, [28]	18
3.1	Arbeidsprosessen for oppgaven	21
3.2	Det termiske kameraet som er brukt i oppgaven. Produsent: Flir. Modell: B200 Western, (Bilde tatt av Alf Dalby, Forskningsassistent, institutt for vareproduksjon og byggteknikk. Med tillatelse fra NTNU i Gjøvik).	23
3.3	Eksempel på måling med FLIR Tools. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	23
3.4	Hygrometer. Produsent: Biltema. Modell: 84-0802 Luftfuktigheten er markert med hvit rute. (Bilde tatt av Kristoffer Øverby, med tillatelse fra NTNU i Gjøvik)	24
3.5	Avstandsmåler: Produsent: Leica, modell: DISTO D3. (Bilde tatt av Kristoffer Øverby, med tillatelse fra NTNU i Gjøvik)	25
3.6	Arbeidsprosess med den tekniske tegningen.	26
3.7	Rørgaten på tak er markert med røde linjer, bildet er hentet den 28.04.2021	27
3.8	Bilde tatt med termisk kamera (Bilde tatt av Kristoffer Øverby, med tillatelse fra B.H.)	28
3.9	Rør ved varmeveksler i bygg 9	30
3.10	Rør ved varmeveksler i bygg 21	31
3.11	Rør ved inntak til kammertørker i bygg 15	32
3.12	Arbeidsprosessen for systemets varmetap	33
3.13	Arbeidsprosessen med analysen av målerdata	37
3.14	Restregnskap fra 1.3.2021 til 30.4.2021. Søylene under x-aksen indikerer et negativt energiforbruk.	38
4.1	Teknisk tegningen av rørgaten (Laget av Henrik van Dam)	40

4.2	Normalt og termisk bilde av uisolert rør i bygg 9 hvor høyeste temperatur er 111°C. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	41
4.3	Normalt og termisk bilde av uisolert rør under bygg 10 hvor høyeste temperatur er 97.2°C. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	42
4.4	Normalt og termisk bilde av uisolert rør i bygg 8 hvor høyeste temperatur er 81.4 °C. (Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)	42
4.5	Normalt og termisk bilde av hovedpumpen til varmeveksler i bygg 9. Pumpen er uisolert og høyeste temperatur er 82.2°C. (Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)	43
4.6	Sp1 måler temperaturen på et uisolert område i rørgaten, mens Sp2 fokusere på en liten bit isolasjon på rørgate. I bilde (b) vises målinger hvor temperaturen på isolasjonen er 33.6°C og uisolert rør er 80.1°C. Det er da en minking på 47.4°C eller 59.1 prosent	44
4.7	Normalt og termisk bilde av rør i bygg 8 der høyeste temperatur er 99.8°C og temperatur i sentrum av bilde er 40.3°C. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	44
4.8	Måling på isolert område Sp1 er 41.5°C, mens uisolert område Sp2 blir målt til 97.9°C. Differansen mellom de to temperaturene er da 56.4°C eller 57.6 prosent	45
4.9	Bilde (a) og (b) viser varmeveksler i bygg 21. Høyeste temperatur er 89.3°C. I isolasjonen er det sprekker og i bildet (b) kan en se at temperaturen i sprekke- ne er betraktelig høyere enn i den uslitte delen. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	45
4.10	Sp1 måler temperaturen på sprekk i isolasjonen, mens Sp2 måler temperaturen på uslitt isolasjon. Målingene i bilde (b) viser en økning på 30.7°C eller 58.14 prosent.	46
4.11	Målinger i figur 5.6 5.8 og 5.10	47
4.12	Normalt og termisk bilde av dør til kanaltørker 3 i bygg 9, hvor høyeste temperatur er 55°C. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	48
4.13	Normalt og termisk bilde av dør til kanaltørker 1 i bygg 9, hvor høyeste temperatur er 53.4 °C (Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)	48
4.14	Målinger av temperaturer i dør til tørkekammer. Sp1 er på 50.1°C og Sp2 er på 47.5°C.	49
4.15	Varmetap gjennom port til tørkekammer 6 i bygg 12, der høyeste temperatur er 33.9°C (Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)	49

4.16	Normalt og termisk bilde av forside ((a) og (b)) og bakside ((c) og (d)) av port til tørkekammer 13 i bygg 15, hvor det i bilde (b) er høyeste temperatur på 51.1°C og bilde (d) er på 53.1°C. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)	50
4.17	Sammenligning av tapseffekten fra rør med og uten isolasjon	51
4.18	Sammenligning av energitap fra rør med og uten isolasjon	51

Tabeller

2.1	Rørdimensjoner i fjernvarmenettet til B.H.	11
2.2	Varmevekslere i fjernvarmenettet til B.H.	13
2.3	Lambdaverdier/varmeledningsevneverdier brukt i oppgaven	16
3.1	Rørdimensjoner og tilsvarende farge	27
3.2	Rørspesifikasjoner inne i bygg 9	30
3.3	Rørspesifikasjoner inne i bygg 21	30
3.4	Rørspesifikasjoner inne i bygg 15	31
3.5	Rørspesifikasjoner for rørstrekk A	34
3.6	Rørspesifikasjoner for rørstrekk C	34
3.7	Rørspesifikasjoner for rørstrekk E	35
3.8	Rørspesifikasjoner for rørstrekk D	35
3.9	Rørspesifikasjoner for rørstrekk B	35
3.10	Rørspesifikasjoner for rørstrekk F	36
3.11	Rørspesifikasjoner for rørstrekk B gjennom bygg 21	36
3.12	Rørspesifikasjoner for rørstrekk G	36
4.1	Energibesparelsen fra ulike rørpartier i nettet	52
4.2	Tapseffekt fra de ulike rørstrekkene.	52

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

SSB definerer fjernvarme som «Et varmeanlegg som via et rørsystem leverer varme til eksterne kunder fra en varmesentral med dimensjonerende effekt på minst 1 MW» [1, p. 1]. I Norge har fjernvarme hatt en jevn økning i forbruk de siste årene - hvor det i 2012 ble levert 3.73 *TWh*, mens det i 2019 ble levert 5.87 *TWh* [2]. Dette tilsvarer 8.1 prosent av Norges energiforsyning til oppvarming og kjøling [3]. I 92 prosent av norske byer er fjernvarmeanlegg bygget ut eller er under oppbygging [4], og fjernvarme har dermed et stort potensiale til å øke sin andel av oppvarmingsbehovet. Elektrisitet dekker hovedandelen av oppvarming i Norge. Ved å implementere mer fjernvarme og legge tilrette infrastruktur for videre utbygging kan Norge frigjøre store deler av den elektriske energien og benytte den i andre kraftkrevende sektorer, f.eks. industrien. Alternativt kan også den frigjorte andelen eksporteres ut på det Europeiske markedet, hvor i dag rundt halvparten av kraft blir produsert med kull [5]. Hvis noe av denne produksjonen kan erstattes med strøm fra norske vannkraftverk vil man kunne se en betydelig miljøgevinst ved å redusere de totale utslippene av CO₂. Satsing på fjernvarme i Norge kan dermed bidra til å redusere klimagassutslippene i Europa og hjelpe verden med å nå FN's bærekraftsmål for 2030.

Bacheloroppgaven omhandler kartlegging og analyse av et industrielt fjernvarmenett, og går i hovedsak ut på å danne tekniske tegninger av rørgatene og å undersøke varmetapet i nettet. Oppdragsgiver er trelastfirmaet Bergene Holm AS avd. Kirkenær (forkortes B.H.), som benytter seg av fjernvarme i sin produksjonsvirksomhet. B.H. har produsert trelast i over 60 år og er totalleverandør av trelast. Bedriften produserer et vidt spekter av trelastprodukter, blant annet listverk, innvendig panel, utvendig kledning, justert konstruksjonsvirke og gulv. Bergene Holm AS har fem sagbruk, seks høvlerier og tre overflatebehandlingsanlegg i Norge. Denne oppgaven tar for seg fjernvarmenettet på B.H.'s avdeling i Kirkenær. Anlegget opererer hovedsaklig med sagbrukvirksomhet, men en god del av produksjonen går også

til tørking av trelast. Tørkeprosessen foregår i ulike kammere og kanaler som varmes opp ved hjelp av fjernvarme. Fjernvarmen kjøpes direkte fra nabobedriften Solør Bioenergi, og Bergene Holm er første forbrukerledd i et større distribusjonsnettverk i Kirkenær. Ettersom tørkeprosessene deres er energikrevende mottar de høy temperatur på tur-vannet sitt (ca. 110 grader). Solør Bioenergi benytter flis av impregnert returtre i sine biokjeler, og deler av dette brenselet er restprodukter fra B.H. sitt sagbruk. Denne gjensidige produksjonsavtalen mellom bedriftene bidrar til god ressursutnyttelse og gjenvinning av energi med minimalt karbonavtrykk, samt at B.H. får billigere fjernvarme. Fjernvarmen brukes også til romoppvarming av enkelte bygg hos B.H.

B.H. brukte i gjennomsnitt 31.57 GWh/år fjernvarme i perioden 2016-2020 [6]. Et energieffektivt rørrnett med lave tap er derfor ettertraktet av oppdragsgiver, fordi det vil bidra til økonomisk besparelse, samtidig som det minker miljøavtrykket til bedriften. Tekniske tegninger av fjernvarmenettet bør foreligge av hensyn til eventuell fremtidig utbygging eller annen anleggsvirksomhet på området.

1.2 Problemstilling og Formål

B.H. har konstruert sitt fjernvarmenett over flere tiår, og dokumentasjon på det tekniske arbeidet som har blitt utført er svært mangelfull. Det foreligger ingen tekniske tegninger eller dokumentasjon over rørsystemet; hverken rørdimensjoner, lengde på rørgater, eller rørene er plassert over og under bakken. All kunnskapen om fjernvarmenettet ligger hos teknisk ansvarlig Per Ove Aasen, som har vært ansatt hos B.H. i over 30 år. Deler av problemstillingen går derfor ut på å lage en teknisk tegningen over hele fjernvarmenettet til B.H., fra inntak hos Solør Bioenergi til returvannet som sendes videre ut på distribusjonsnett. I tillegg har det vært ønskelig fra bedriften sin side å få en teoretisk utregning av systemets varmetap, samt å avdekke eventuelle varmelekkasjer som kan utbedres med etterisolering.

B.H. opplever stadige avvik i regnskapet over sitt energiforbruk i Energinet, et online data-behandlingsprogram. Der har de en statistisk oversikt over sitt totale energiforbruk av fjernvarme, elektrisitet og drivstoff. I Energinet føres også et såkalt restregnskap over det totale fjernvarmeforbruket, som skal gi en indikator på hvor store tap de har i sitt fjernvarmesystem. Resten, eller systemets varmetap, beregnes ved å ta differansen mellom varmeleveransen fra Solør Bioenergi og det individuelle forbruket til tørkere og romoppvarming. Problemet ligger i at dette regnskapet tidvis er negativt, noe som i prinsippet betyr at B.H. produserer energi. Dette stemmer ikke, da B.H. kun er forbruker og ikke har noen energiprodusent i sitt nett [7]. Oppdragsgiver ønsker derfor å avdekke eventuelle årsaker til denne feilen, og en del av problemstilling blir da analysing av datamateriell og energimålere i Energinet.

De konkrete problemstillingene lyder som følger:

- Teknisk tegning av B.H. sitt fjernvarmenett
- Varmetapsberegninger og undersøkelse av lekkasjer i nett
- Analyse av datamateriell knyttet til upålitelig energiregnskap

1.3 Mulige årsaker til negativt restregnskap

B.H. 's totale energiforbruk fra fjernvarme beregnes ved hjelp av et hovedmålersystem som står plassert hos Solør Bioenergi. Denne leser av den totale varmeleveransen fra Solør, og er hva B.H. som kunde må betale for. I tillegg står det plassert flere undermålere i de ulike delene av nettet, som har til hensikt å måle det individuelle forbruket fra hver tørker. Siden restregnskapet er differansen mellom hovedmåler og undermålere, representerer den varmetapet fra alle distribusjonsledninger som går mellom de ulike produksjonsområdene i fjernvarmesystemet. For at varmetapet skal bli negativt er undermålerne nødt til å registrere et høyere energiforbruk enn hovedmåleren, noe som tyder på at feilen kan ligge hos en eller flere av undermålerne.

På bakgrunn av dette vurderes følgende teorier som aktuelle forklaringer på det negative energieresultatet:

1.3.1 Ukalibrert hovedmåler/undermåler

Hvis en eller flere hovedmålere hos Solør Bioenergi eller undermålere hos B.H. ikke er kalibrert riktig kan det oppstå feil i utregningen av det totale energiforbruket. Man er avhengig av at sensorene for utregning av temperatur og volumstrøm har samme referansepunkt slik at verdiene som leses av er riktig i forhold til hverandre. For eksempel vil for lave verdier på hovedmåler i kombinasjon med for høye verdier på undermåler kunne gi et negativt utslag på restregnskapet.

Teorien kan undersøkes ved å verifisere de verdiene fra energimålerne med eksternt målerverktøy.

1.3.2 Defekt hovedmåler/undermåler

En defekt energimåler vil kunne gi utslag på det teoretiske energiforbruket. Hvis en volumstrømsensor er ute av drift vil energiforbruket bli redusert betydelig. En defekt tur eller retur-temperatursensor vil kunne gi enten et veldig lavt eller altfor høyt energiforbruk. Det antas at feilen kan ligge på en eller flere av temperaturmålere for returvannet. Hvis returtemperaturen ikke tas med i energiberegningen, vil forbruket på undermålerne overstige det totale forbruket registrert av hovedmåler hos Solør Bioenergi. Som til gjengjeld vil kun-

ne gi et negativt energieresultat. En mer utfyllende forklaring på utregning av energiforbruk vil komme i teoridelen.

Teorien kan undersøkes ved å analysere energidata fra de ulike målerne i Energinet.

1.3.3 Ukjent energiproducent i fjernvarmenettet

Negativt varmetap i et fjernvarmenett er å anse som teoretisk umulig, med mindre vannet varmes opp av en intern energikilde i nettet. Det kan være maskiner som avgir høy nok varme til at dette gir utslag på vanntemperaturen, som igjen kan påvirke forbruket.

Teorien kan undersøkes ved fysiske undersøkelser på produksjonsanlegget, for eksempel med termisk kamerautstyr.

1.4 Avgrensninger

Oppgaven vil kun omfatte B.H. sin del av fjernvarmeanlegget, selv om bedriften i realiteten er knyttet opp mot et større distribusjonsnettverk i Kirkenær. Rørstrekket som går ut fra Solør Bioenergi og inn på fabrikkområdet til B.H. vil også bli inkludert. Teknisk leder har sagt at det finnes vannlekkasjer i nettet, det er ikke en del av bacheloroppgaven å se på dette, da gruppen ikke har kompetanse innen dette. Det ble ikke sett på alderen på fjernvarmenettet eller individuelle rør og komponenter, da det ville blitt alt for omfattende og det finnes veldig lite dokumentasjon fra B.H. sin side.

1.5 Begrensninger som følge av Covid-19 pandemien

Den pågående Covid-19 pandemien medførte komplikasjoner i startfasen av oppgaveskrivingen. Som følge av oppgavens natur var det fra et tidlig stadium nødvendig med fysisk befarings på anleggsområdet - for å innhente tekniske opplysninger og få en totaloversikt over fjernvarmenettet. Da smittetrykket var som verst i januar-februar frarådet norske myndigheter reising mellom fylkene, og B.H. var lenge usikre på om de skulle tillate et fysisk besøk av oss. Etersom store deler av arbeidsoppgavene baserer seg på observasjoner og datainnsamling fra anlegget, ble det umulig å foreta beregninger eller konstruere tekniske tegninger før en befarings hadde blitt gjennomført. 10. februar ble det besluttet at vi kunne besøke; så fremt det ble dokumentert negative testresultater på smitte. Allikevel ble prosjektarbeidet forsinket med over en måned, da oppgaven ble gitt 7. januar og første befarings ble gjennomført 17. februar.

1.6 Leserveiledning

Bergene Holm avd. Kirkenær vil for enkelhets skyld forkortes til B.H. Bergene Holm AS som helhet vil beskrives som Bergene Holm. AutoCAD er programmet som brukes til å lage den tekniske tegningen. Energinet er programmet som dataene ligger i. Oppgaven er skrevet på en form som er tilpasset personer med grunnleggende ingeniørfaglig kompetanse innen fjernvarme på bachelornivå.

1.7 Litteraturstudie

Fjernvarme er et grundig undersøkt tema, og det er gjort betydelige mengder forskninger på optimalisering av fjernvarmeanlegg. Den seneste forskningen har for det meste hatt fokus på hvilken rolle fjernvarme vil spille i fremtidens fornybare energisystemer, og hva som kreves for en overgang til fjerdegenerasjons fjernvarmenett. I [8] blir fjerdegenerasjonssystem utforsket og det blir sett på hva som skal til for å konvertere nåværende tredjegerasjonssystemer om til et fjerdegenerasjonssystem. Ifølge denne undersøkelsen må tredjegerasjonssystemer minke rørdimensjon og forbedre isolasjon, dette vil, ifølge rapporten, føre til store reduksjoner i varmetap. I [9] er det gjort en lignende forskning, her settes det fokus på hva som må til for å minke miljøavtrykket til fjernvarme. Det konkluderer med at minking av tur- og returtemperatur vil ha størst innvirkning på reduksjon av varmetap, mens det samtidig må brukes fornybare energikilder (som solfangere) i oppvarmingsprosessen for å redusere utslipp. I en masteroppgave ved NTNU [10] ble det sett på hvilke tiltak som må til for å optimalisere to eksisterende fjernvarmesystem. Her blir det konkludert at installasjon av en akkumulatortank vil være lønnsomt, denne tanken vil kunne lagre varmtvann over perioder hvor det brukes mindre varme, som i sommermånedene [11]. I 2019 ble det gjort forskning hvor det ble sett på effekten av isolasjonstykkelsen i et fjernvarmesystem. Her ble det brukt et dataprogram til å bestemme den optimale isolasjonstykkelsen i vegger og rundt rør for å minimalisere kostnadene for oppvarming. Det ble konkludert med at varmebehov og varmebærertemperaturen kan minke ved å legge til mere isolasjon i systemet, dette vil bidra med å redusere operasjonskostnadene [12]. I [13] er det gjort en forskning med fokus på Danmarks energisystem. Her ble det sett på hvor stor rolle fjernvarme vil ha i Danmarks fremtidige fullstendige fornybare energisystem. I rapporten blir det spådd en stor vekst av fjernvarmebruk, og det konkluderes at fjernvarme vil utvide seg til å dekke mellom 63 og 70 prosent, mot nåværende 46 prosent, av Danmarks oppvarmingsbehov innen 2060.

Det antas fra disse artiklene at store reduksjoner i tap oppnås ved store endringer i systemet. Disse endringene inkluderer; minke turtemperatur og rørdimensjon, tilføye nye komponenter

ter i systemet som en akkumulatortank og forbedre isolasjonen i systemet. Fra litteraturstudie tas det også inn for seg at fjernvarme er en energikilde for fremtiden som vil øke betydelig i bruksandel mye på grunn av dens fornybare evne.

Fjernvarme er dermed en utprøvd teknologi, og det er liten tvil om at det vil gi energibesparelser ved å etterisolere et rørsystem. Oppgaven vil altså først og fremst være nyttig for bedriften, men en sammenligning av isolert og uisolert rør og analyse av besparelser ved etterisolering vil dekke et tilsynelatende hull i forskningsmengden av fjernvarmesystemer. Utregningsmetodene av varmetap i denne rapporten kan bidra til andre prosjekter med lignende tema, da slike oppgaver kan løses med samme metoder.

For å løse oppgavene er det hentet inspirasjon fra tidligere forskninger da metodene baserer seg på artikler funnet under litteraturstudie. Disse metodene, og hvor de er hentet fra, blir nærmere sett på i senere kapitler.

1.8 Norsk Trelastindustri

Trelastindustri i Norge er liten sett i internasjonal sammenheng, den omfatter ca. 200 bedrifter med omtrent 5000 ansatte [14]. De siste årene er det blitt produsert mellom 2 og 2,5 millioner kubikkmeter årlig. Ca. 31 prosent av dette blir eksportert [15]. Trelastindustrien er en del av eiendom-, bygg- og anleggssektoren som står for nær 40 prosent av verdens ressursbruk og 36 prosent av de totale klimagassutslippene [16]. Aktørene innenfor industrien har derfor et stort ansvar når det gjelder å minimalisere klimagassutslipp. Eiendom-, bygg- og anleggssektoren i Norge har som mål å gjøre industrien uavhengig av fossile brensler for å begrense globalt klimautslipp. Dette skal gjøres i tråd med FNs bærekraftsmål.

1.9 FNs Bærekraftsmål og Parisavtalen

FNs bærekraftsmål og Parisavtalen er avtaler inngått av verdens nasjoner for å blant annet stoppe klimaendringene. Parisavtalen har som mål å sørge for at gjennomsnittstemperaturen på jorden ikke stiger med mer en 2°C, og helst ikke mer en 1.5°C [17]. Avtalen tilsier at alle land er forpliktet til å begrense sine utslipp; hvor det før opprettelse av avtalen kun var i-land som var pålagt dette. Ifølge Parisavtalen skal alle nasjoner lage nye mål for å kutte utslipp hvert femte år. Hver gang målene fornyes skal de bli mer ambisiøse [18].

FNs bærekraftsmål er en felles arbeidsplan for alle nasjoner og har som mål å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030 [19]. Bærekraftmålene består av 17 punkter, hvor punkt 7, 9, 12 og 13 er relevante for denne oppgaven. Disse

punktene tar for seg energieffektivisering, bærekraftig utvikling og stopping av klimaendringene.

- Punkt 7 av FNs bærekraftsmål er å «sikre tilgang til pålitelig, bærekraftig og moderne energi til en overkommelig pris» [20, p. 1].
- Punkt 9 av FNs bærekraftsmål er å «bygge solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon» [21, p. 1].
- Punkt 12 av FNs bærekraftsmål er å «sikre bærekraftig forbruks- og produksjonsmønstre» [22, p. 1].
- Punkt 13 av FNs bærekraftsmål er å «handle umiddelbart for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem» [23, p. 1]

Innenfor hvert bærekraftsmål har FN satt delmål. Enkelte av disse delmålene er i større grad enn hovedmålene knyttet til temaene i denne oppgaven:

- 7.2: «Innen 2030 øke andelen fornybar energi i verdens samlede energiforbruk betydelig» [20, p. 1]
- 7.3: «Innen 2030 få forbedringer av energieffektivitet på verdensbasis til å gå dobbelt så fort» [20, p. 1]
- 9.4: «Innen 2030 oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk og mer utstrakt bruk av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser, der alle land gjør en innsats etter egen evne og kapasitet» [21, p. 1]
- 12.2: «Innen 2030 oppnå bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser» [22, p. 1]

Opgaven skal hjelpe bedriften med å minke sitt varmetap i fjernvarmenettet, og på den måten bidra til en mer bærekraftig energiutvinning. Dette vil kunne gi B.H. et mer energieffektivt varmenett ved å redusere ressursbruk til energiproduksjonen. I tillegg skal det dannes en teknisk tegning av fjernvarmesystemet. Målet bak tegningen er å skape et godt grunnlag for videre utbygging og ombygging av anlegget, som vil være med å heve kvaliteten på bedriftens infrastruktur. På denne måten vil oppgaven jobbe opp mot de nevnte punktene i FNs bærekraftsmål.

Kapittel 2

Teori

2.1 Om fjernvarmenett

Fjernvarme fungerer ved at energi i form av oppvarmet vann blir produsert i et sentralvarmeanlegg og fraktet rundt i bydeler, bygg eller til industriområder, for bruk til oppvarming eller i varmekrevende prosesser. Energien i fjernvarme blir produsert ved å brenne ulike masser som treprodukt, brennbart avfall eller gass. Det er også mulig å bruke spillvarme fra industri og varmepumper til oppvarming av vannet. I noen tilfeller, som ved topplast (maksimalt effektbehov i nettet), kan det også være nødvendig å supplere med elektrisk oppvarming. En stor fordel med fjernvarme er at man kan ha flere energikilder, som gir veldig stor grad av fleksibilitet i nettet. Man kan for eksempel bruke bioenergi til grunnlast (gjennomsnittlig effektbehov i nettet) og enten bruke gass eller elektrisitet ved topplast. [24] [25]

2.2 Ulike generasjoner med fjernvarme

Fjernvarme deles inn i fire ulike generasjoner ut ifra temperaturen og trykket som blir brukt i nettet. Første generasjon fjernvarme brukte vanndamp som energibærer, som førte til korrosjon på rør og store varmetap. Denne generasjonen var vanlig mellom 1880 tallet og 1930 tallet. Andre generasjon fjernvarme brukte vann under høyt trykk og temperatur over 100 grader, som gir mindre varmetap i forhold til første generasjon. Da både med bedre isolasjon og mindre temperatur i forhold til omgivelsene. Denne generasjonen ble vanlig på 1930 tallet og ble brukt fram til 1970 tallet, men det finnes også rester av denne teknologien i dag på ulike steder. Den tredje generasjonen med fjernvarme ble introdusert på 1970 tallet og tok over fort fordi det var lett å bygge videre på andre generasjonens infrastruktur og at delene kommer prefabrikkerte. Det var gunstig da det gjør montering lettere. Den fjerde generasjonen med fjernvarme bygger videre på prinsippene om mindre temperatur, billigere og enklere, med mindre varmetap. [8].

2.3 Energieffektivisering

Energieffektivisering er et viktig mål for de fleste industriland og bedrifter, fordi det gir økonomiske fordeler samtidig som det skaper konkurransedyktighet. Det er også viktig med tanke på hensynsfull ressursbruk, og omdømmet en bedrift vil få ved å praktisere dette. Energieffektivitet kan defineres som: brukbar energi produsert av systemet delt på total mengde energi produsert av systemet [26].

$$\text{Brukbar energi produsert/Total energi produsert} \quad (2.1)$$

I et fjernvarmenett vil energieffektivisering basere seg på å ha så lave varmetap som mulig. Dette oppnås ved de metoder som er nevnt tidligere i litteraturstudiet kap. 1.7 (reduere turtemperatur og rørdimensjoner, tilføye varmelagringskomponenter i systemet og forbedre isolasjonen). Lavere tap vil føre til et mer bærekraftig anlegg der bruken av biobrensel reduseres til et minimum. I et fjernvarmenett tilsvarer den totale energien produsert den varmen som genereres av biokjelen. Brukbar energi er den brukbare energien kunden får levert til seg, dvs. total energi minus tap som følge av virkningsgraden til biokjelen og varmetap i distribusjonsledningene.

2.4 Bergene Holms fjernvarmenett

Fjernvarmenettet til bedriften består av en stor varmveksler på 8MW som sitter i bygg 9. Fra bygg 9 går det et rørsystem til byggene 5, 7, 8, 10, 12, 13 og 16 og et rørsystem til byggene 14, 15, 17, 21 og 23. Den mest energiintensive delen av bedriften består av tørkingen i byggene 8, 10, 12, 13, 14 og 15. Her kreves det høye temperaturer, så tredje generasjon passer bra til dette. Ellers blir energien brukt til oppvarming av byggene og det er antatt av teknisk leder at tørking består av 95% brukt energi, og oppvarming av de resterende byggene 5%. Den eldste delen av fjernvarmenettet til bedriften ble bygd på 70-tallet og siden da har det blitt bygd på del for del. Temperaturene i varmenettet ligger på gjennomsnittlig 105°C i tur og 82°C i retur. Grunnen til at temperaturene er såpass høye er fordi prosessene krever mye energi og fordi bedriften sitter først i fjernvarmenettet som går fra Solør bioenergi. Dette er ved normal drift, mens ved drift i ferier vil en se at tur og returtemperaturene går drastisk ned sammen med flow. Siden B.H. trenger høye temperaturer til sine prosesser kan ikke et fjerde generasjons fjernvarmenett brukes, da denne generasjonen benytter mye lavere temperaturer [27].

2.4.1 Plassering av fjernvarmerør

Fjernvarmerør kan legges både over og under bakken, avhengig av hva som er mest hensiktsmessig med tanke på logistikk. I urbane distrikt er det mest hensiktsmessig å legge rørene

under bakken for å unngå veier og annen bebyggelse, mens i industrien kan de ofte være plassert innendørs eller på tak i friluft. Plasseringen vil ha ulik økonomisk betydning for utbygger. Ved plassering av rør i friluft slipper man omkostningene knyttet anleggsvirksomheten ved nedgraving, mens nedgravde rør vil ha et lavere varmetap på grunn av bakkens isolerende effekt.[28] Derfor er teoretiske beregninger av varmetap viktige å inkludere i planleggingen av et nytt fjernvarmenett.

Tabell 2.1: Rørdimensjoner i fjernvarmenettet til B.H.

Type	Ytre dia.[mm]	Indre dia.[mm]
DN65	73	62.68
DN125	141.3	128.2
DN150	168.3	154.08
DN200	219.1	202.74
DN250	273.1	254.46

2.4.2 Kanal og kammertørkere

B.H. benytter seg av to ulike metoder for tørking av trelast: kammertørking og kanaltørking. Tørking i kammer foregår ved at trevarene plasseres i et kammer hvor store vifter sirkulerer varmluft rundt i rommet. Etter hvert som vannet i treverket fordampes vil den fuktige luften trekkes ut gjennom ventilasjonen, helt til produktet har oppnådd ønsket slutfuktighet og tørkeprosessen avsluttes. En kanaltørker fungerer på lignende vis, men består i stede av et avlangt kammer med skinner, hvor treverket sendes gjennom ulike soner som holder et konstant klima. Trevirket sendes gradvis gjennom tørkeren og utsettes for et stadig skarpere klima underveis.[29]

I en kammertørker vil klimaet variere gjennom tørkeprosessen fordi avtrekksluften vil bli tørrere etterhvert som treverket mister fuktinnhold. En kanaltørker kan derimot holde en mye høyere og konstant fuktighet på avtrekksluften (tilnærmet konstant metning på 100%), ettersom tørkeprosessen til enhver tid tilpasses av de ulike klimasonene. Dette medfører at kanaltørkerene er mer energispare, siden det kreves mindre energi for å fjerne 1kg vann fra treverket i en kanaltørker - sammenlignet med kammertørker. [30]

2.4.3 Energimålere

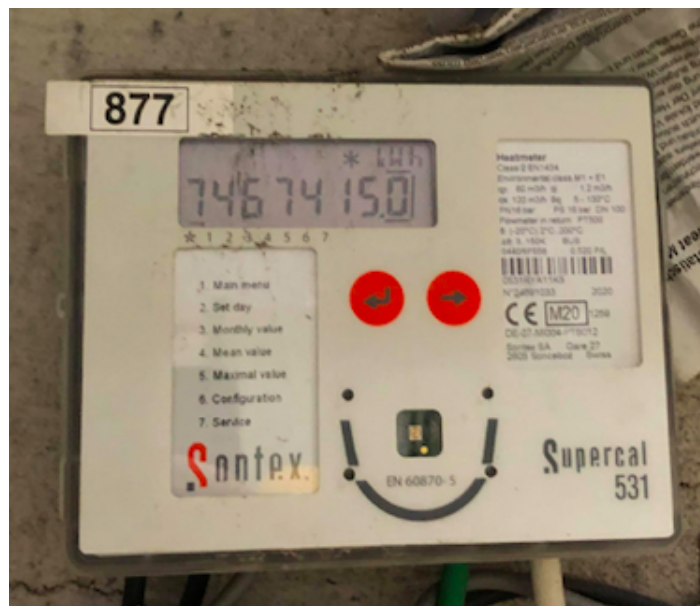
Når det i oppgaven snakkes om “hovedmålere” og “undermålere” menes det energimålere som i fjernvarmeindustrien brukes til å beregne energimengden som leveres av systemet. Målerne mottar data fra en tur- og returtemperaturmåler, samt en sensor for volumstrøm. Videre tas temperaturdifferansen mellom tur og retur-vannet som multipliseres med volum-

strømmen og den spesifikke varmekapasiteten til vann ($C_p = 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$) [31]. Utregningen danner formelen for det totale energiforbruket i det aktuelle systemet, og systemet defineres av plasseringen til tur og retur-sensorene.

Følgende formel er hentet fra [32]:

$$Q = m * C_p * (T_2 - T_1) [\text{kWh}] \quad (2.2)$$

Q	=	Total energiforbruk	[kWh]
m	=	Volumstrøm	[m^3/s]
C_p	=	Vannets spesifikke varmekapasitet	[$\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
T_2	=	Vannets turtemperatur	[$^{\circ}\text{C}$]
T_1	=	Vannets returtemperatur	[$^{\circ}\text{C}$]



Figur 2.1: Energimåler til B.H. Modell: 531. Produsent: Supercal.

(Bilde tatt av Magnus Nilsen med tillatelse fra B.H.)

2.4.4 Varmevekslere

Varmeveksler er et apparat for å overføre varme mellom to væsker, da vann i fjernvarmesammenheng, varmevekslingen skjer ofte gjennom en barriere for å forhindre at de to væskene blandes, slik at man har lukkede systemer [33]. Varmevekslere er ofte brukt i fjernvarme for å ha lukkede systemer, noe som kan være nyttig for eksempel når deler av fjernvarmenettet ligger kaldt og trenger glykol for å forhindre frysing, men som er unødvendig eller ikke ønsket i andre deler. [34]

Tabell 2.2: Varmevekslere i fjernvarmenettet til B.H.

Bygg	Effekt
9	8 MW
10	0.8 MW
17	0.6 MW
21	1.1 MW



Figur 2.2: Varmeveksler til B.H. Modell: Cetepac. Produsent: Cetetherm.
(Bilde tatt av Magnus Nilsen med tillatelse fra B.H.)

2.5 Varmetap

Varme overføres ved tre ulike prosesser: stråling, konveksjon, og konduksjon. Som regel vil flere av disse prosessene skje samtidig i en varmeoverføring. Varmetap ansees som en varmeoverføring fra høy til lav temperatur[35].

2.5.1 Stråling

Varmetap gjennom stråling skjer ved emisjon av elektromagnetiske bølger. Strålingens intensitet varierer med bølgelengden, og vanligvis ligger den på det infrarøde spekteret. Ved svært høye temperaturer går strålingen over i synlig lys og kan derfor sees av mennesker, som f.eks. et glovarmt jern i en smie. Alle legemer absorberer og sender ut varmestråling. Når et objekt mottar like mye stråling som det sender oppstår termisk likevekt, og det forblir ingen temperaturendring som følge av stråling. Sendes det derimot ut mer stråling enn det absorberes får vi et varmetap.[36] Et legemes evne til å sende ut termisk stråling betegnes av en emissivitetskoeffisienten. Denne rangeres fra 0-1, hvor 1 er en teoretisk og uoppnåelig perfekt stråler. Når det gjelder varmetap vil en overflate med høy emissivitet ha et større potensial for tap enn ved lav emissivitet. [37]

Formel for varmetap som følge av stråling er hentet fra [38], og beregnes på følgende vis:

$$h_{rad} = \sigma * \epsilon * (T_s^4 - T_a^4)/(T_s - T_a)[W] \quad (2.3)$$

σ (Stefan Boltzmann lov)[39]	=	$5,67 * 10^{-8}$	$[W * m^2 * K^{-4}]$
ϵ (Emissivitets koeff., oksidert stål)[37]	=	0,79	
T_s	=	Overflatetemperatur, rør	$[^{\circ}C]$
T_a	=	Omgivelsestemperatur, luft	$[^{\circ}C]$

2.5.2 Konveksjon

Konveksjon er utvekslingen av varme gjennom molekylstrømmer i væsker og gasser. Når vann blir varmet opp i en kjele, vil vannet i bunnen av kjelen varmes opp først. Det varme vannet vil få lavere tetthet som følge av oppvarmingen og dermed stige til overflaten, mens det kjøligere vannet med høyere tetthet vil synke til bunns og varmes opp. Prosessen gjentar seg inntil alt vannet i kjelen har nådd kokepunktet.[40] Konveksjon er derfor en faktor som må tas hensyn til ved varmetap mellom luft og væsker, slik som i et fjernvarmerør.

Formel for varmetap som følge av konveksjon er hentet fra [41], og beregnes på følgende vis:

$$h_{konv} = 1,32 * ((T_s - T_a)/D)^{0,25}[W] \quad (2.4)$$

D	=	Ytre diameter, rør	$[mm]$
T_s	=	Overflatetemperatur, rør	$[^{\circ}C]$
T_a	=	Omgivelsestemperatur, luft	$[^{\circ}C]$

2.5.3 Konduksjon

Konduksjon er overføringen av termisk energi som følge av kollisjoner mellom molekyler. Temperaturen til et stoff sier noe om hvor mye kinetisk energi molekylene i det angitte stoffet har. Når en metallkjele settes på en varm kokeplate vil den termiske energien få molekylene i plata til å vibrere sterkt og kolliderer med metallpartiklene i kjelen. Vibrasjonene brer seg utover i kjelen og skaper termisk energi som bidrar til varmeutvekslingen mellom mediene. Varmeoverføring ved konduksjon skjer i større grad mellom faste stoffer som er i direkte kontakt, ettersom atomene sitter tettere sammen enn i f.eks. gasser. I hvilken grad et stoff tillater varmeoverføring bestemmes av den termiske motstanden. En god varmeleder vil ha lav termisk motstand som vil danne et godt grunnlag for konduksjon. [42]

Konduksjonsbidraget i den totale transmisjonskoeffisienten regnes ved å finne den termiske motstanden til overføringsmediet. Formelen er hentet fra [38]

$$r_{\text{rør}}(\text{termiskmotstand, rør}) = D_2 * \ln(D_2/D_1)/2 * k_{\text{rør}} [W/m * K] \quad (2.5)$$

$k_{\text{rør}}$ (Konduktivitet., karbonstål)	=	45 [43]	[W/m * K]
D_2	=	Ytre diameter, rør	[mm]
D_1	=	Indre diameter, rør	[mm]
$D_2 - D_1$	=	Tykkelsen på rør	[mm]

2.6 Varmetap i fjernvarmenett

En av de viktigste oppgavene ved planlegging av fjernvarmenett er å begrense systemets varmetap. Den totale varmforsyningen er summen av kundenes varmeetterspørsel og varmetap ved distribusjon. For at et slikt system skal være økonomisk lønnsomt er det derfor viktig at tapene minimeres, både før og etter at vannet har nådd kunden. Derfor legges det store kostnader i å utbedre isolasjonen på fjernvarmerør, slik at temperaturen på vannet kan holdes så høy som mulig. Store varmetap gjør generell fjernvarme til en mindre konkurransedyktig oppvarmingsmetode. Derfor er det viktig å kalkulere varmetap gjennom distribusjonsrør, å kalkulere temperaturtap og å kalkulere årlige varmetap [28].

Fjernvarmen som sendes ut fra produsenten må, i tillegg til å dekke kundenes varmebehov, også dekke det totale varmetapet i distribusjonsnettet.

2.6.1 Varmetap ved distribusjon

I henhold til [25] er størrelsen på varmetapet avhengig av type isoleringsmateriale, isoleringstykkelse, marktemperatur, lengde på rørgate og temperaturen til energibæreren og

ifølge [8] vil høyere distribusjonstemperatur, føre til høyere varmetap. Varmetapet bestemmes først og fremst av varmelekkasje fra røret, varmelekkasjen bestemmes igjen av varmeledningsevnen gjennom isoleringen. Etter [25] har tredje generasjons fjernvarmenett som oftest tap på 5-10 prosent, mens eldre nett har høyere .

2.6.2 Varmedningsevne λ og λ_i

Varmedningsevne er en måleenhet for hvor lett varme trenger gjennom et materiale. Varmedningsevne er da uavhengig av tykkelsen på materiale. Lav varmedningsevne betyr at varmen beveger seg sakte gjennom materiale, mens høy varmedningsevne betyr at materiale slipper ut mye varme. Det er målt i watt per meter kelvin [$W/m * K$]. [44]

For utregningene av varmetap i denne oppgaven brukes det to varmedningsevne variable: λ og λ_i . λ_i er varmedningsevnen til isolasjonen rundt rør i fjernvarmenettet. λ er varmedningsevnen til bakken som røret ligger i. Ifølge [45] kan varmedningsevne til bakken være vanskelig å få noen konkrete tall på da den vil variere med mengde fuktighet i bakken og dybde på rør fra bakkeoverflate. B.H. sitt rørnett bruker to typer isolasjon; PUR skum og mineralull av typen Rockwool rørså 800. Disse isolasjonstypene har følgende verdier av varmedningsevne:

Tabell 2.3: Lambdaverdier/varmedningsevneverdier brukt i oppgaven

PUR skum	$\lambda_i = 0.026$ [46]	[$W/m * K$]
RockWool Rørså 800	$\lambda_i = 0.033$ [47]	[$W/m * K$]
Varmedningsevne til bakken	$\lambda = 1.5$ [46]	[$W/m * K$]

B.H. har valgt å isolere alle nedgravde rør med PUR skum mens rør i friluft er kledd med mineralull fra RockWool.

2.6.3 Varmetap i rør over bakken

Beregningen av varmetap fra rør i friluft er nokså ukomplisert, ettersom de eneste varierende faktorene er isolasjonens varmedningsevne, rørdimensjoner og temperaturdifferansen mellom vannet og lufta i omgivelsene.

Varmetap for et isolert rør over bakken er formel 2.6 og er funnet av [28].

$$P_{hl} = K_{total} * \pi * d * L = 2\lambda_i * \pi * L * (T - T_a) / \ln(D/d) [W] \quad (2.6)$$

λ_i	=	Isolasjonens varmeledningsevne	$[W/m * K]$
D	=	Isolasjonens ytre diameter	$[mm]$
d	=	Isolasjonens indre diameter	$[mm]$
L	=	Rørlengde	$[m]$
T	=	Vanntemperatur	$[^{\circ}C]$
T_a	=	Omgivelsestemperatur	$[^{\circ}C]$

2.6.4 Varmetap i rør under bakken

For å regne på tap i rør under bakken viser tidligere forskning at det kan brukes flere metoder. Ifølge [45] er det forskjellige metoder for symmetriske og usymmetriske rør. Samtidig som det ifølge [48] er forskjellige formler for tur- og returrør, og viktig å ta hensyn til de forskjellige isolasjonseffektene (også kalt varmeresistansene) som forekommer når rør er gravd ned. I denne oppgaven brukes det derfor tre variabler for de forskjellige isolasjonseffektene som er fått av [28]: R_g , R_i og R_c . Formel 2.7 og 2.11 er også fått av [28]

Varmetap fra turrør

$$P_s = L * \pi * d * ((R_g + R_i) * \omega_s - R_c * \omega_r) / ((R_g + R_i)^2 - R_c^2) [W] \quad (2.7)$$

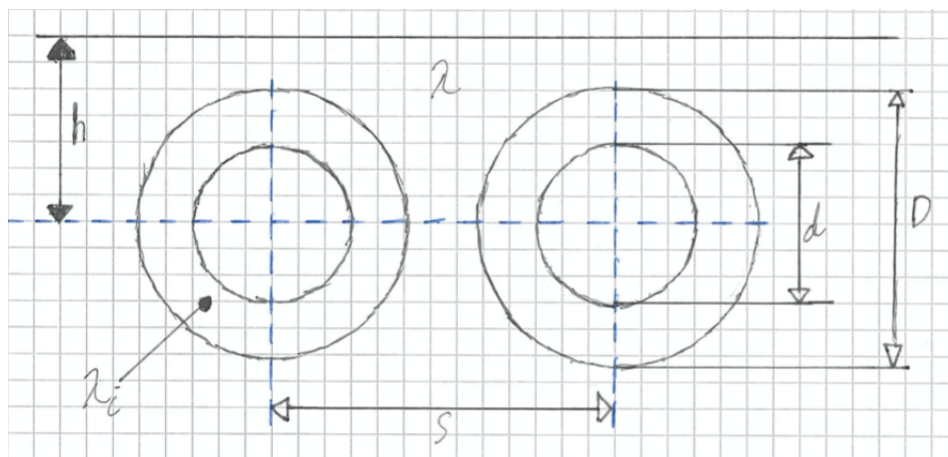
Den totale varmeresistansen for rør under bakken består av tre komponenter. Bakkens resistans R_g , isolasjonens resistans R_i og resistansen fra de sammenfallende temperaturene mellom tur- og returrør R_c . Jo større isolasjonsresistansen er, desto mindre blir bakkens resistans og den sammenfallende resistansen [28].

$$R_i = (d/2 * \lambda_i) * \ln(D/d) [m^2 * K/W] \quad (2.8)$$

$$R_g = (d/2 * \lambda) * \ln(4h/D) [m^2 * K/W] \quad (2.9)$$

$$R_c = (d/2 * \lambda) * \ln(((2h/s)^2 + 1)^{0.5}) [m^2 * K/W] \quad (2.10)$$

L	= Rørlengde	[m]
d	= Isolasjonens indre diameter	[mm]
D	= Isolasjonens ytre diameter	[mm]
R _g	= Bakkens resistans	[m ² * K/W]
R _i	= Isolasjonens resistans	[m ² * K/W]
R _c	= Motstand mellom rørene	[m ² * K/W]
ω _s	= Tur temperatur	[°C]
ω _r	= Retur temperatur	[°C]
λ _i	= Varmekonduktivitet for isolasjon	[W/m * K]
λ	= Varmekonduktivitet for bakken	[W/m * K]
s	= Avstand mellom rørsentre	[m]
h	= Avstand mellom rør sentre og bakke overflate	[m]



Figur 2.3: Illustrasjon av tur- og returrør under bakken, [28]

Varmetap fra returrør

$$P_r = L * \pi * d * ((R_g + R_i)\omega_r - R_c * \omega_s) / ((R_g + R_i)^2 - R_c^2) [W] \quad (2.11)$$

L	= Rørlengde	[m]
d	= Isolasjonens indre diameter	[mm]
R _g	= Bakkens resistans	[m ² * K/W]
R _i	= Isolasjonens resistans	[m ² * K/W]
R _c	= Motstand mellom rørene	[m ² * K/W]
ω _s	= Tur temperatur	[°C]
ω _r	= Retur temperatur	[°C]

2.6.5 Varmetap fra uisolerte rør

Beregning av varmetap fra isolerte rør er relativt ukomplisert så lenge man vet isolasjonens varmeledningsevne. Denne oppgis vanligvis av produsenten. Ved uisolerte rør er man derimot nødt til å gjøre grunnberegningene selv og lage sin egen termiske transmisjonskoeffisient basert på en rekke faktorer som beskriver varmeledningen. Varmetapet fra stråling, konduksjon og konveksjon må alle taes med i beregningen. Prinsippet går ut på å danne en koeffisient for hvert bidrag, og summere disse til en total termisk transmisjonskoeffisient K [$W/m^2 * K$]. [38]. K settes deretter inn i formel 2.6

Koeffisienten beregnes i dette tilfellet med hensyn på at rørmaterialet er karbonstål.

Formel for total termisk transmisjonskoeffisient er hentet fra [38] og ved å følge stegene:

$$h_{luft} = h_{rad} + h_{konv} [W] \quad (2.12)$$

$$r_{total} = r_{rør} + 1/h_{luft} [W/m * K] \quad (2.13)$$

$$K_{total} = 1/r_{total} [W/m^2 * K] \quad (2.14)$$

2.7 Autocad

CAD står for "Computer Assisted Design", oversatt til dataassistert konstruksjon og er en fellesnevner for program som brukes til design og simulering av ulike konsept. AutoCAD er et slikt program og et av de mest populære. Dette programmet brukes innen ulike retninger, som arkitektur, GIS og mekanisk design [49]. Funksjoner AutoCAD har som er relevante til denne oppgaven er mulighet til å tegne linjer og polylinjer, samt endre tykkelse, farge og linjetype (stipla, punkt osv.) gjennom kommandoen PEDIT. Andre funksjoner som er relevante er mulighet til å legge inn tekst og figurer i den tekniske tegningen for å vise hvor ulike elementer er.

2.8 Termisk kamera

Et termisk kamera oppdager infrarød energi og finner forskjeller i varme på et område, for så å konverterer det om til bilder. Kamera illustrerer temperaturer med farger, høy temperatur er illustrert med varme farger (fra gul til rødt). Mens lav temperatur med kalde farger (fra blått til grønt). Temperaturer er oppgitt i grader celsius.

Det finnes diverse målesikkerheter innenfor bruk av termisk kamera. Fra Catphones sine hjemmesider [50] fås det at målenøyaktigheten avhenger av både miljømessige og utvendige faktorer. Med miljømessige faktorer menes det luftfuktighet eller temperatur fra objekter

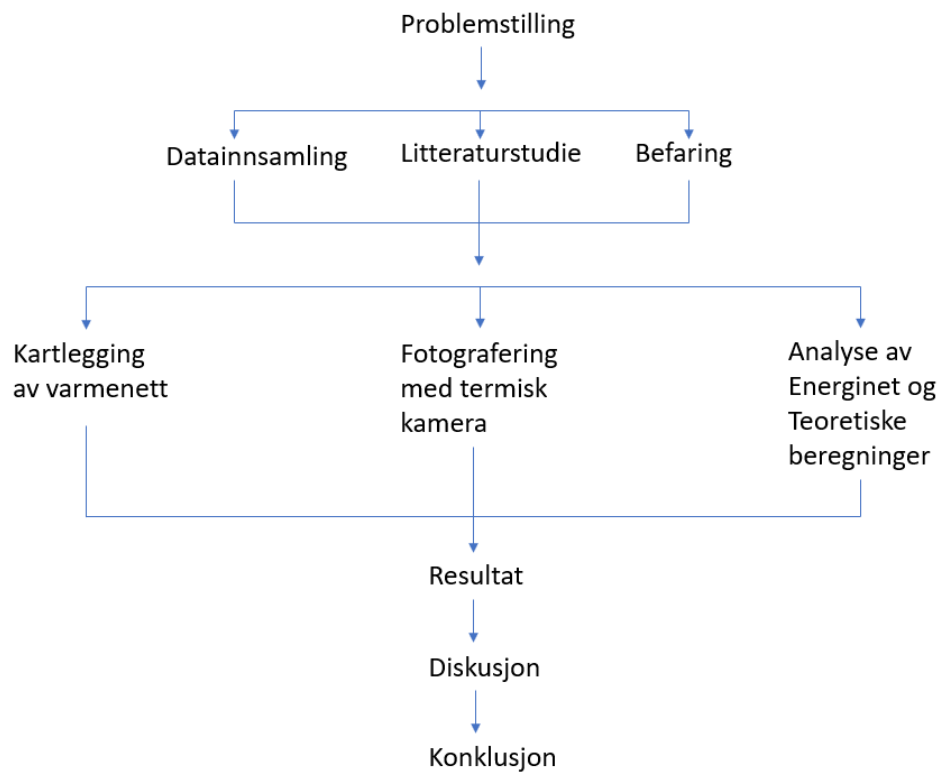
i nærheten som kan reflektere av det målrettede objektet. Gasser i luften kan forvrengte målingene til kamera fordi de absorberer stråling [51]. Det er derfor viktig å måle luftfuktighet før man tar bilder, slik at kamera tar denne faktoren i betraktning. Med utvendige faktorer menes det strålingsevnen/emissiviteten til materiale (om materiale er blankt eller matt) og avstand fra materiale, dette er funnet av [52, p. 9] hvor det er gjort en forskning på termisk kamera som konkluderer med «Shooting distance causes errors and underestimates surface temperatures.» og «Emissivity of the object should be fixed in the settings of the camera according to emissivity tables. Indeed, different values of emissivity may modify the temperature readings of an object by various degrees celsius.» [52, p. 8]. Avstand og luftfuktighet kan bli tatt til høyde for ved å bruke avstandmåler og et hygrometer. Hygrometeret brukes for å måle luftfuktighet. Emissivitet er et materials evne til å avgi stråling og måles med en skala fra 0 til 1. Høy emissivitetsfaktor vil si at materiale avgir lite stråling. Målrettet objekt for fotografering i denne oppgaven er uisolerte stålrør som er laget av et matt materiale, det vil derfor ha en høy emissivitetsfaktor.

2.9 Energinet

B.H. fører regnskap over sitt energiforbruk i Energinet, et online databehandlingsprogram som gir en statistisk oversikt over deres totale energiforbruk fra fjernvarme, elektrisitet og drivstoff. Energinet har funksjoner som gjør at man kan se energiforbruket på ulike detaljnivå og over ulike perioder. Dataene ligger systematisk inne etter de forskjellige byggene og tørkerene. Forbruket i fjernvarmenettet beregnes av et hovedmålersystem som står hos Solør Bioenergi. I tillegg fører B.H. et restregnskap som skal vise hvor store tap de har i sitt fjernvarmesystem. Resten beregnes ved å finne differansen mellom forbruket til hovedmålerne og undermålerne. Data fra 2016 og frem til i dag ligger tilgjengelig i Energinet. [6]

Kapittel 3

Metode



Figur 3.1: Arbeidsprosessen for oppgaven

I dette kapittelet vil de ulike metodene som ble benyttet i kartleggingen og analysen av varmetapet til B.H. 's fjernvarmenett bli beskrevet. Det ble brukt kvantitative metoder i oppgaven da data som ble samlet var i form av tall, eksempelvis; effekt, energi, temperaturer. Disse variablene forekommer i regresjonsanalysen. Data som ble brukt i oppgaven er i hovedsak hentet fra Energinet hvor det ble utført tabellanalyse, og fra ekspertisen til ansatte hos B.H. For å kvalitetssikre innsamlet data var det nødvendig å foreta befaringer på anlegget til B.H. Dette ble gjort for å utføre målinger, avbilde rørgaten, lese av dimensjoner på rør og gjøre observasjoner som var nødvendig for å lage den tekniske tegningen. Teknisk

leder hos B.H., Per Ove Aasen, er også en god kilde, da han har jobbet i bedriften siden de første rørene ble lagt. Reliabiliteten til innsamlet data varierer, da det i eksempelvis termisk kamera kan forekomme målefeil, mens dimensjoner i rørgaten blir lest av på rør og er lite sannsynlig feil. Oppgaven inneholder kun data som er relevant for problemstillingen.

3.1 Materialer

I dette kapittelet er det en oversikt over materialene som er blitt brukt, og hva de er brukt til.

3.1.1 Teknisk tegningen av rørgaten

Alt materiale som tilhører den tekniske tegningen ligger som vedlegg i mappen «Teknisk tegning», da det er mange bilder og dokumenter med ulike filformat og størrelser som ikke får en naturlig plass i selve dokumentet. Fra B.H. ble det supplert et situasjonskart som inneholder alle byggene og informasjon om bygg. Dette situasjonskartet er lagt ved som vedlegg i form av en pdf. I tillegg ble det supplert to skisser fra teknisk leder Per Ove Aasen, den ene skissen inneholdt informasjon om plassering av varmevekslere, målere og rørgatene, mens den andre inneholdt rørdimensjoner. Disse er lagt ved som Rørkart 1 og Rørkart 2. På befaring ble det tatt bilder av rørgaten, disse er lagt ved som vedlegg, i mappen Bilder fra befaring 25.03.

3.1.2 AutoCAD

For å lage den tekniske tegningen er programmet AutoCAD valgt. Dette er valgt da det ble funnet tidligere forskning som tok for seg kartlegging av et urbant område med AutoCAD. Forskningen konkluderte med «AutoCAD is good at drawing, especially in road vertical and pipeline drawing»[53, p. 20]. Situasjonskartet til B.H. er også laget med dette programmet og det har mange gode funksjoner som ble benyttet. [54].

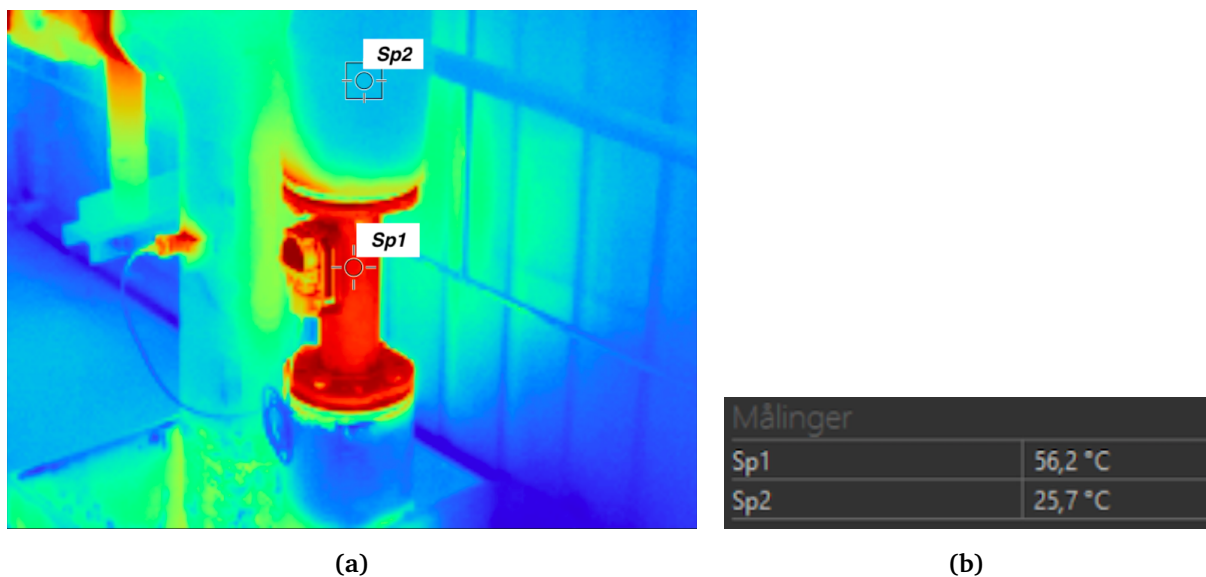
3.1.3 Termisk kamera

For å lokalisere varmetap og måle overflatetemperaturer i rørgaten ble termisk kamera brukt. Ideen er fått av [55, p. 1] hvor det ble brukt termisk kamera for å oppdage varmetap fra bygninger. I forskningen står det «Because of the versatile nature of IR thermal cameras, it is easy to detect and locate hot and cold pipes in water heating systems within building elements and to check heat losses due to poorly insulated ducts, cracks in concrete structures, and pipes». Kamera brukt i oppgaven er av typen FLIR B200 Western som oppdager temperaturforskjeller ned til 0,01 grader celsius [56]. Dette er lånt av NTNU i Gjøvik. Før

kamerabruk deltok gruppen på et kurs hvor det ble gjennomgått brukerveiledning og introduksjon til termisk fotografering. På kurset ble det også gjennomgått målesikkerheter innenfor termisk fotografering.



Figur 3.2: Det termiske kameraet som er brukt i oppgaven. Produsent: Flir. Modell: B200 Western,
(Bilde tatt av Alf Dalby, Forskningsassistent, institutt for vareproduksjon og byggtknikk. Med tillatelse fra NTNU i Gjøvik).



Figur 3.3: Eksempel på måling med FLIR Tools.
(Bilde tatt av Magnus Nilssen. Med tillatelse fra B.H.)

Med lån av kamera fulgte dataprogrammet FLIR Tools med. Her kan bilder lastes inn og innstillinger som emissivitetsfaktor og luftfuktighet endres. I tillegg gjorde programmet det mulig å analysere bildene mere nøyaktig da man kan se på temperaturer på spesifikke punkt.

I figur 3.2 kan man se et eksempel fra en måling i FLIR Tools. Programmet beskriver målingene med forkortelsen Sp. Målepunkt er illustrert med et retikkel. Bilder er tatt med tillatelse fra B.H.

3.1.4 Hygrometer



Figur 3.4: Hygrometer. Produsent: Biltema. Modell: 84-0802 Luftfuktigheten er markert med hvit rute.

(Bilde tatt av Kristoffer Øverby, med tillatelse fra NTNU i Gjøvik)

I noen av rommene som ble fotografert var det høy luftfuktighet, sannsynligvis fra dampen til tørkerne på anlegget. Dette kan påvirke temperaturmålingene til det termiske kamera. Det ble derfor anskaffet et hygrometer som sørget for at målingene ble nøyaktige. Hygrometeret er kjøpt på biltema og kan fås av [57].

3.1.5 Avstandsmåler



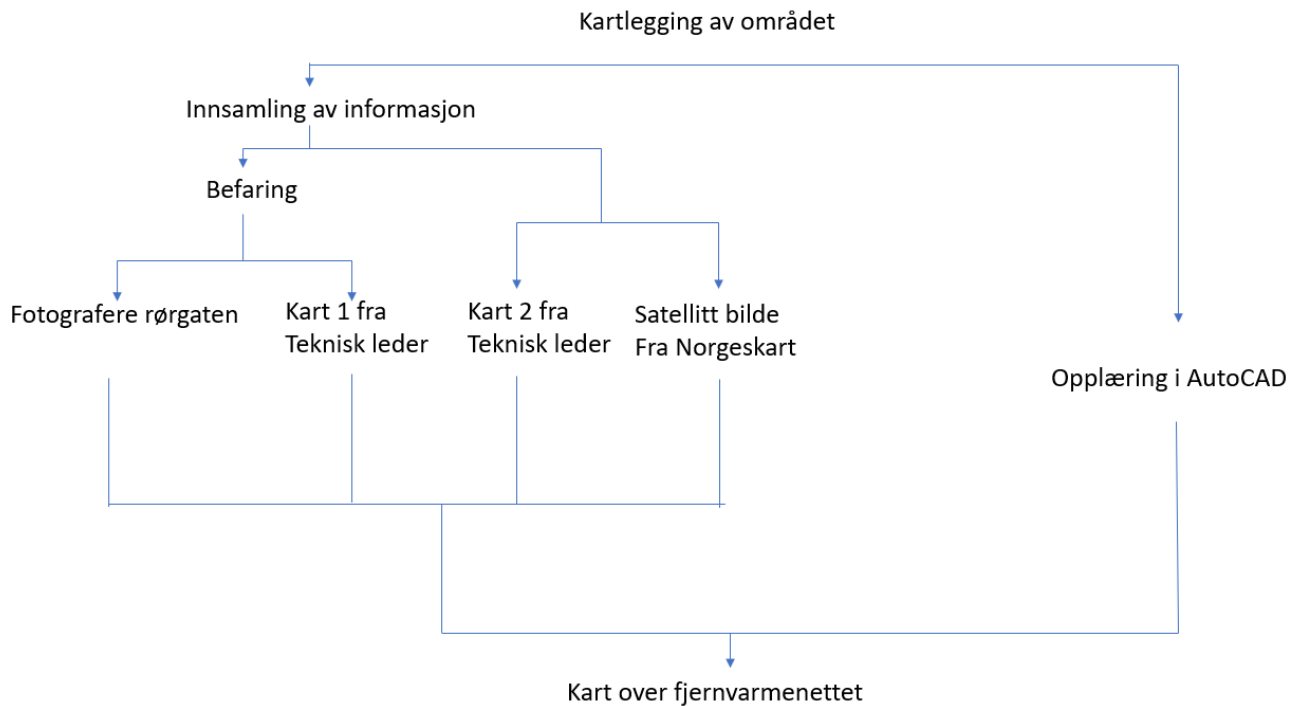
Figur 3.5: Avstandsmåler: Produsent: Leica, modell: DISTO D3.
(Bilde tatt av Kristoffer Øverby, med tillatelse fra NTNU i Gjøvik)

For å få riktige målinger med termisk kamera er det viktig å ha nøyaktig avstand til overflaten hvor temperaturen skal beregnes. For å utføre målingene ble det lånt en avstandsmåler fra NTNU i Gjøvik, denne var av modellen Leica DISTO D3. Denne måleren bruker laser, og det antas at den måler helt nøyaktig.

3.1.6 Energinet

Energinet ble valgt som analyseringsverktøy for å avdekke de eventuelle avvikene i B.H. sitt energiregnskap. Programmet var nyttig ettersom all relevant energidata fra de individuelle energimålerne i fjernvarmenettet lå tilgjengelig. Datamaterialet ble illustrert grafisk og ga muligheten til å få en statistisk oversikt over forbruket fra en ønsket tidsperiode.

3.2 Teknisk tegningen av rørgaten



Figur 3.6: Arbeidsprosess med den tekniske tegningen.

Den tekniske tegningen av rørgaten ble laget ved hjelp av teknisk leders kunnskap og egne observasjoner. Ved hjelp av skissene fra teknisk leder og bilder fra befaringskartet til B.H. redigert i programmet AutoCAD til å inneholde fjernvarmerørene mellom varmevekslere og tørkere, samt målere. Utgangspunktet for den tekniske tegningen av fjernvarmenettet er altså situasjonskartet til B.H. Dette er laget av bedriften Sjøtil og Fornæss, nå Prosjektråd Innlandet. Dette situasjonskartet viser tydelig bygningene på området til B.H. Å bruke dette kartet gir det beste grunnlaget for kartelegging av rørgaten, da det inneholder korrekte avstander og dimensjoner av bygg. Samt at det for B.H. er kjente farger og tegn, som vil gjøre det enklere å benytte. I hele fjernvarmenettet går det to rør ved siden av hverandre, et tur og et returrør, disse er slått sammen til en linje i den tekniske tegningen for å forenkle det. På samme måte er varmevekslere gjort om til en sirkel med tegnet VV inni. Rørene er fargekodet etter størrelse, se tabell 3.1, og har full eller stipla linje i henhold til om rørene ligger under bakken eller inni/over bygg. På befaringskartet er det tatt bilder og gjort observasjoner for å underbygge kartene fra teknisk leder, samt å finne flere kilder på hvor rørene går og hvor store de er, slik at den tekniske tegningen viser nettet så korrekt som mulig, utenom de forenklingene som er gjort. Det er også sett i Norgeskart.no hvor rørstrekket på topp av byggene 7-10 og byggene 14,15 og 17 går. Dette kan sees i figur 3.7. Programmet AutoCAD blir brukt til å lage den tekniske tegningen. Dette var et program gruppen ikke har

vært borti tidligere, så det har vært jobbet en del med å bygge kompetanse innen programmet. Rørene er laget som linjer og polylinjer, altså en linje som går mellom flere punkter, og linjene er tykke, for å gjøre det lett å se røret. I den tekniske tegningen brukes det også fire symboler, MX, der M står for måler og X er et tall som viser til hvilken tørker måleren hører til, for eksempel vil M1 vise at dette er måleren til kanaltørker 1. Det andre tegnet som blir brukt er VV, som står for varmeveksler. Det blir også brukt røde punkt som viser at røret går opp/ned og svarte punkt som viser overgang til mindre oppvarmingssystem. Den tekniske tegningen er laget enkelt for at det skal være lett å ta i bruk. Hovedfunksjonen er å vise hvor rørene går og hvor store de er. For varmetapsberegningens del er det lagt inn bokstaver så man har en visuell representasjon av hvilket rør varmetapene er beregnet i.

Tabell 3.1: Rørdimensjoner og tilsvarende farge

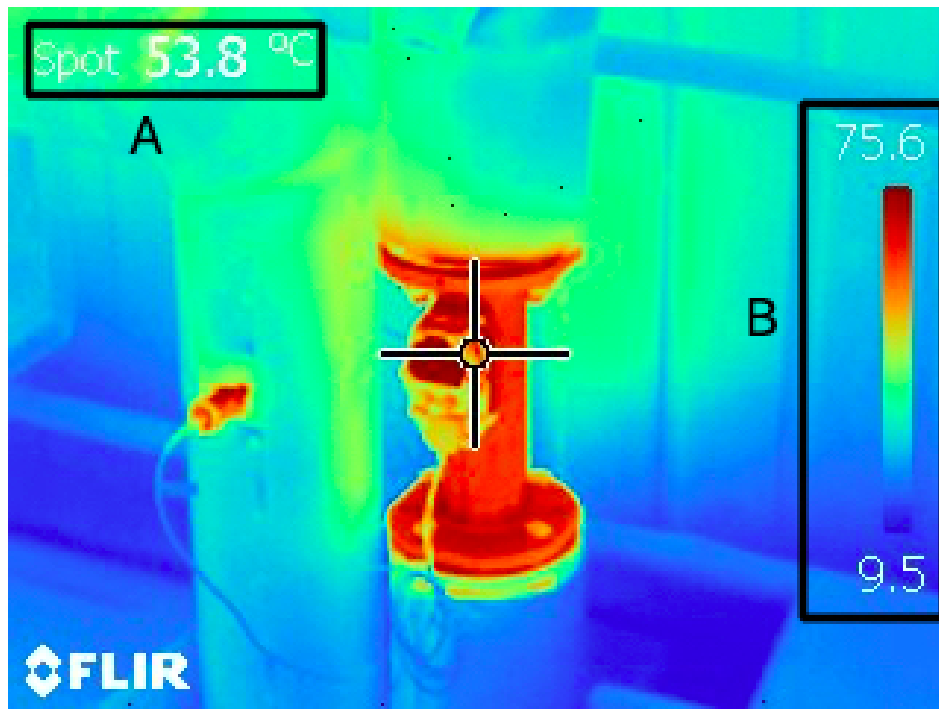
Dimensjon	Farge
DN250	Svart
DN200	Mørk blå
DN150	Mørk grønn
DN125	Rød
DN65	Lilla



Figur 3.7: Rørgaten på tak er markert med røde linjer, bildet er hentet den 28.04.2021

3.3 Bruk av termisk kamera

Med termisk kamera ble det undersøkt hvor på anlegget og i rørgaten det er varmelekkasjer. Kamera ble også brukt til å måle temperatur på uisolerte rør da disse tallene ble brukt til å regne ut varmetap.



Figur 3.8: Bilde tatt med termisk kamera
(Bilde tatt av Kristoffer Øverby, med tillatelse fra B.H.)

Figur 3.8 er et bilde tatt med det termiske kamera brukt i oppgaven. Punkt A i figur 3.8 er temperaturen i sentrum av bilde. Søylen i punkt B viser differansen av temperatur i bilde, hvor 9.5°C er laveste og 75.6°C er høyeste temperatur.

På befaring ble varmetap lokalisert ved å først se etter uisolerte områder eller områder med slitt isolasjon i rørgaten. Disse områdene ble deretter tatt bilde av. Før en tar bilder er det viktig å trykke på autofokus knappen for å få optimal bildekvalitet. Etter befaring ble bildene overført til PC hvor de ble analysert i programmet FLIR Tools. I FLIR Tools ble temperaturer fra isolerte og uisolerte områder sammenlignet, og overflate temperaturer for uisolerte rør ble funnet. Disse temperaturene ble deretter brukt til å kalkulere varmetap. Termisk kamera ble også brukt for å lokalisere rør under bakken, hvor det ble sett etter varme strekninger i bakken.

Måleusikkerheter blir tatt høyde for ved bruk av avstandsmåler og et hygrometer. Før bilder tas må luftfuktighet i rom og avstand fra målrettet objekt måles, og deretter plottes inn i

kameraets innstillinger. Flere av bildene blir tatt i nærheten av tørkekammere hvor det siger ut damp, luftfuktigheten er dermed høyere enn normalt i noen av områdene det undersøkes. Når det gjelder emissivitet blir det innstilt i forhold til karbonstål. Denne faktoren fås av [37] og er på 0.79.

3.4 Uisolerte rør

Noe av varmetapet hos B.H. skyldes lekkasjer og dårlig og mangelfull isolering. B.H. har flere uisolerte rørpartier på sitt fjernvarmenett. Termisk fotografering avslørte relativt høye temperaturer på overflaten av stålet, opp mot 111°C , som gjenspeiler store kilder til varmetap. For å få et inntrykk av størrelsen på varmetapet fra uisolerte rør ble det foretatt en utregning av noen utvalgte områder i nettet, basert på overflatetemperaturer innhentet fra termografiene. Formelene for utregning av total termisk transmisjonskoeffisient ble benyttet, deretter ble koeffisienten satt inn i formel 2.7 (formel for varmetap i enkelt rør i friluft). I likhet med beregningen av systemets varmetap ble det også her dannet et beregningsverktøy i Excel, for å forenkle beregningene. Formlene ble programmert slik at de ulike variablene enkelt kan fylles inn, og verktøyet ble lagt til som vedlegg i oppgaven. Varmetap både med og uten isolasjon ble beregnet og deretter sammenlignet for å gi et bilde av potensiell energibesparelse ved etterisolering. For å illustrere de årlige besparelsene ble varmetapet multiplisert med brukstiden på produksjonsanlegget.

Forutsetninger for beregningen:

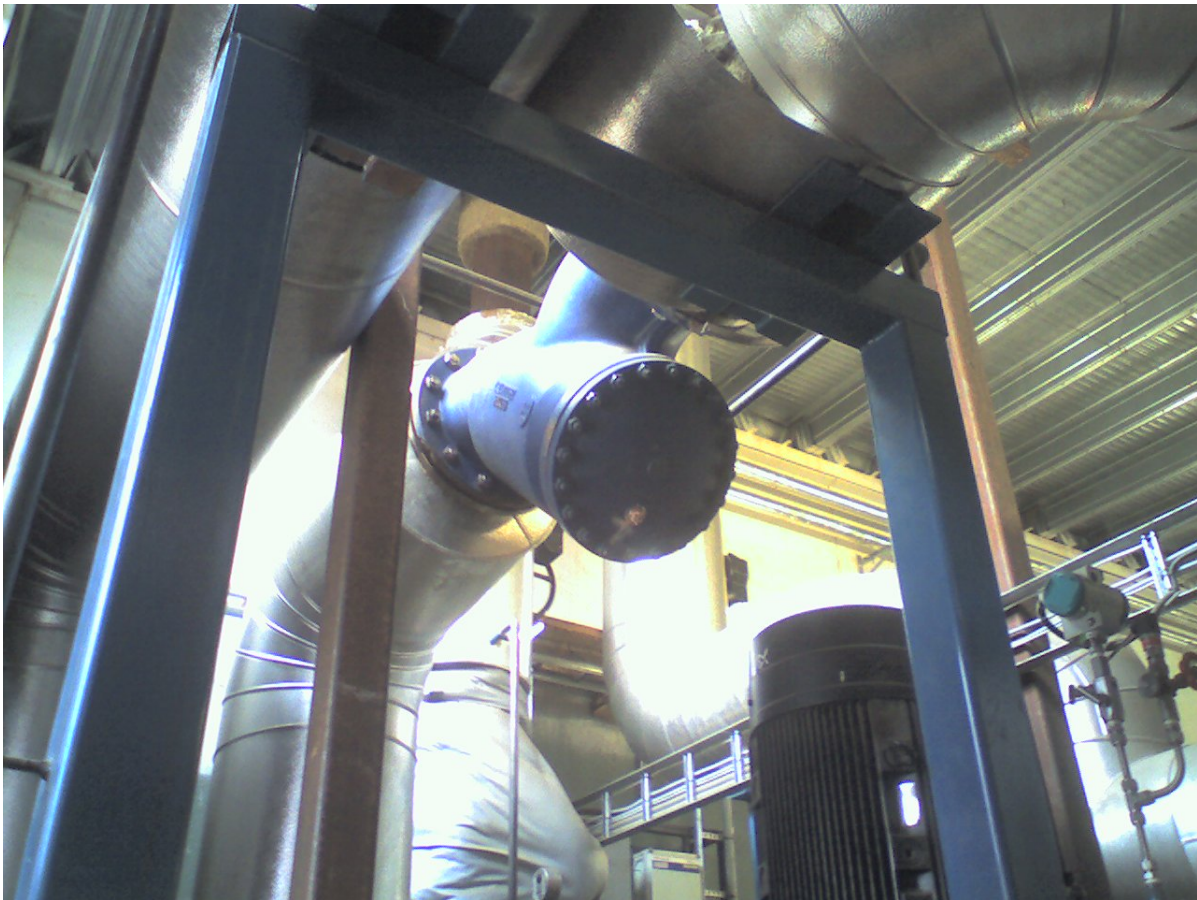
- Rørmaterialet er vanlig stål (karbonstål).
- Den termiske konduktiviteten av stålet er $45[\text{W}/\text{m} * \text{K}]$.
- Overflaten til de uisolerte rørene regnes for å være oksidert stål, med en emissivitetsfaktor $\varepsilon = 0.79$
- Det antas at rørene etterisoleres med 100 mm isolasjon av typen Rockwool Rørskål 800, med en $\lambda = 0.033[\text{W}/\text{m} * \text{K}]$.
- Antatt årlig brukstid ved produksjonsanlegget er 48 uker.

Varmetapet fra følgende rørpartier ble beregnet:

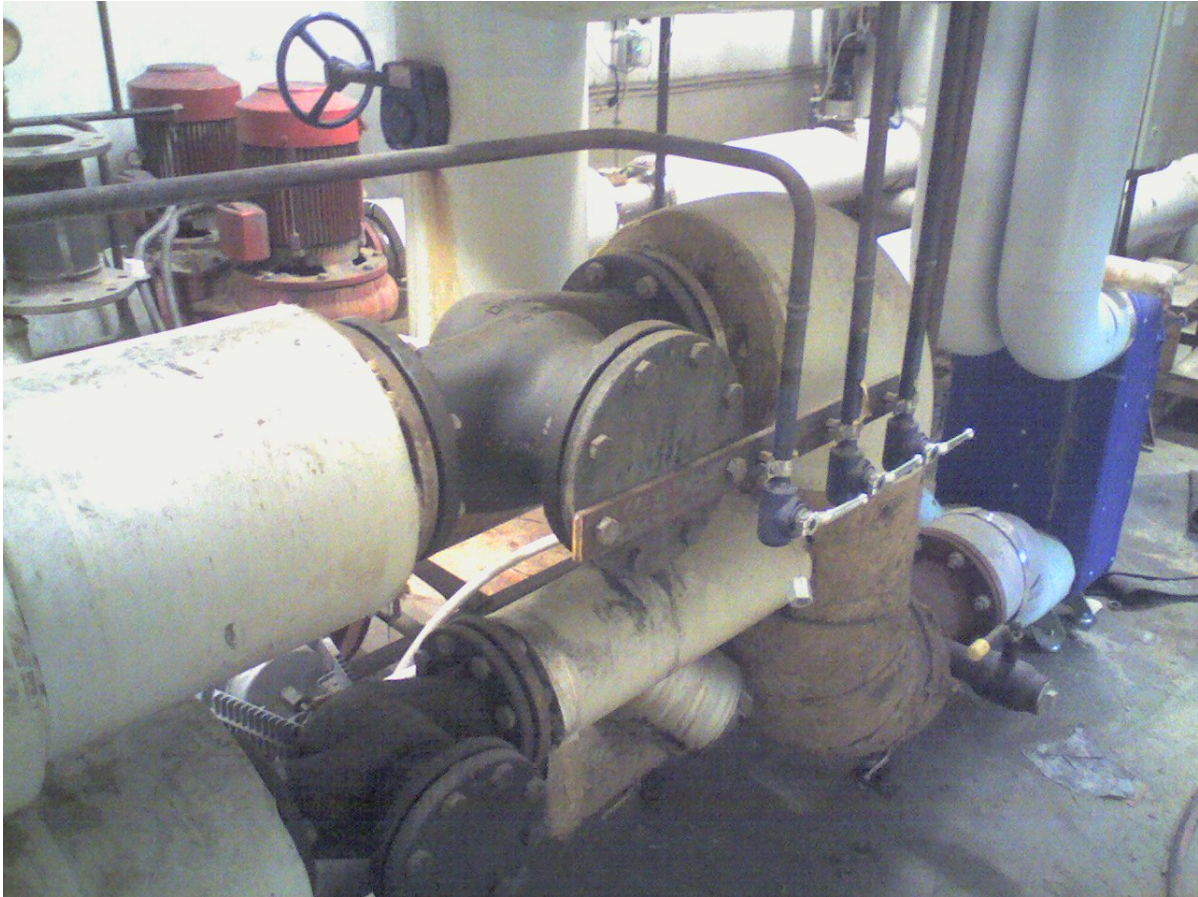
Inne i bygg 9:

Tabell 3.2: Rørspesifikasjoner inne i bygg 9

Dimensjon	=	DN 250
Lengde	=	1.5m
Omgivelses temperatur	=	20°C
Overflatetemp.	=	111°C
Vanntemp.	=	110°C

**Figur 3.9:** Rør ved varmeveksler i bygg 9**Inne i bygg 21:****Tabell 3.3:** Rørspesifikasjoner inne i bygg 21

Dimensjon	=	DN 125
Lengde	=	1.5m
Omgivelses temperatur	=	20°C
Overflatetemp.	=	94°C
Vanntemp.	=	110°C

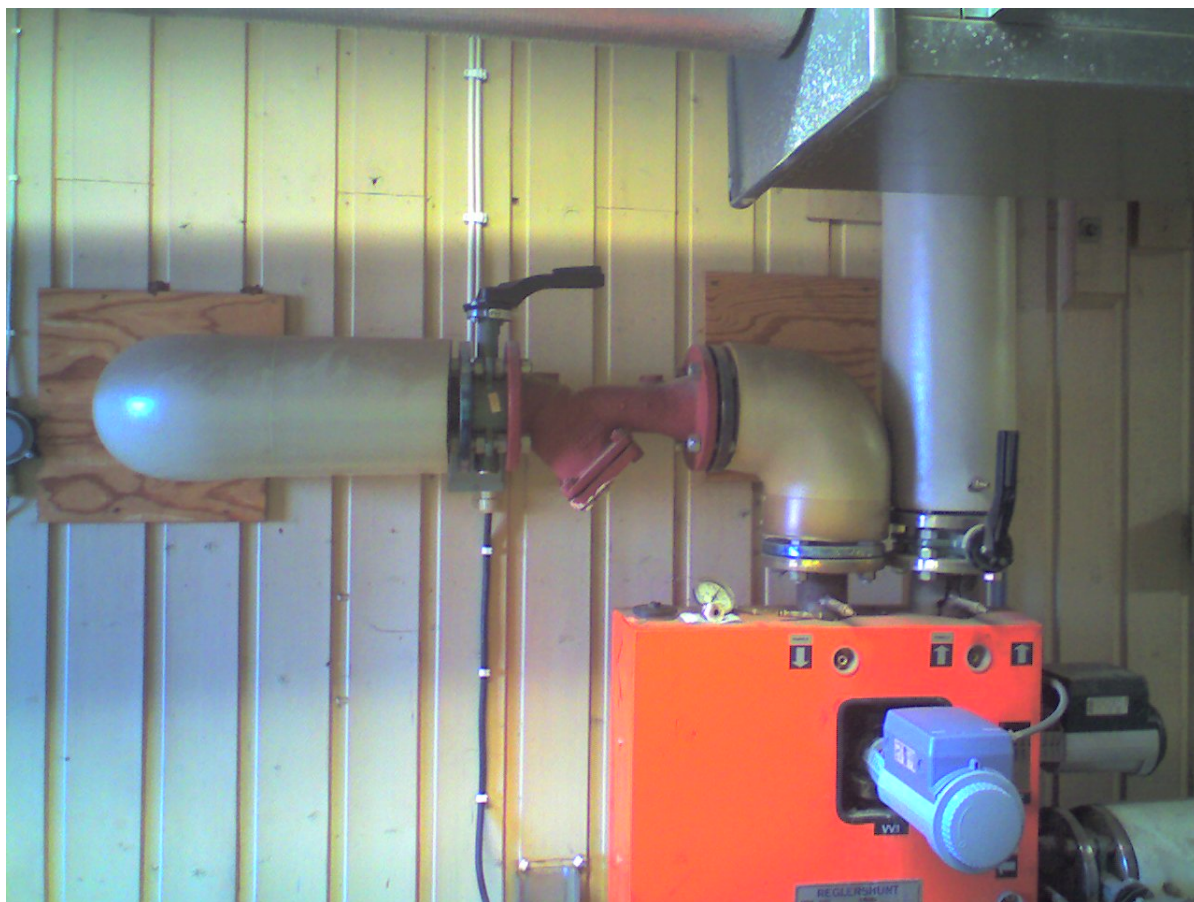


Figur 3.10: Rør ved varmeveksler i bygg 21

Inne i bygg 15:

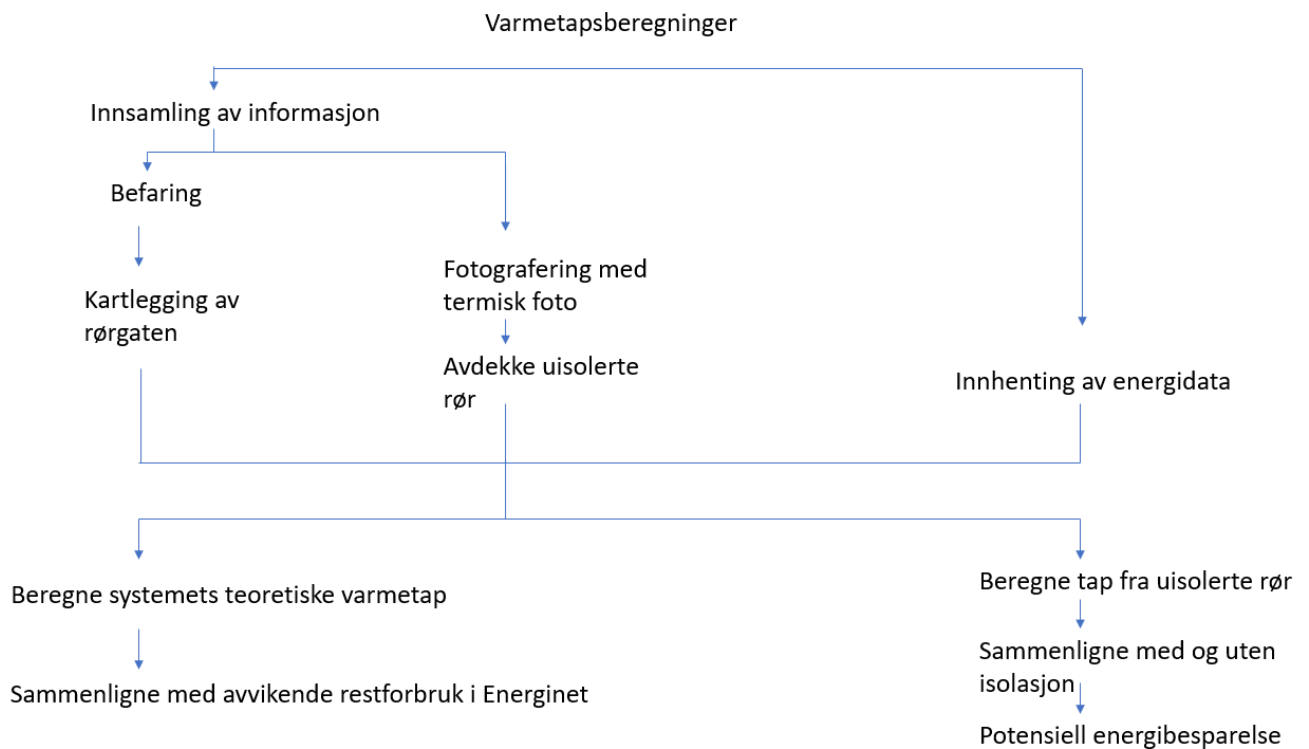
Tabell 3.4: Rørspesifikasjoner inne i bygg 15

Dimensjon	=	DN 65
Lengde	=	1m
Omgivelses temperatur	=	20°C
Overflatetemp.	=	100°C
Vanntemp.	=	110°C



Figur 3.11: Rør ved inntak til kammertørker i bygg 15

3.5 Systemets varmetap



Figur 3.12: Arbeidsprosessen for systemets varmetap

Det ble besluttet å foreta en teoretisk beregning av det totale varmetapet i B.H. 's fjernvarmenett. Dette omfatter kun tap fra rørstrekk som går mellom de ulike varmevekslerene, og ikke forbruket fra tørkere og romoppvarming, da denne dataen allerede ligger tilgjengelig i Energinet. Formålet med beregningen var å gi oppdragsgiver en oversikt over anleggets gjennomsnittlige varmetap, og for å sammenligne resultatet med det upålitelige restforbruket i Energinet. Beregningene vil gi en tilnærming av hva B.H. kan forvente av varmetap i sitt nett.

For utregning av varmetap i rør under bakken er formlene 2.7 og 2.11 valgt, disse er hentet fra [28]. De er valgt fordi de tar hensyn til de faktorer tidligere nevnt i kap. 2.6.4, som isolasjonseffekter, skille mellom tur- og returrør, og symmetri i rørgaten. Beregning av varmetap i rør i luft er også hentet fra [28] og er mindre komplisert, her brukes formel 2.6

Ettersom noen av formlene er nokså kompliserte og består av mange ulike variabler, ble det dannet et beregningsverktøy i Excel. Formlene ble programmert inn slik at rørdimensjoner og temperaturer enkelt føres inn og gir ut det totale varmetapet for rørstrekket. Hensikten med verktøyet var å minimere risikoen for feilberegning, i tillegg til å supplere oppdragsgiver med et brukervennlig verktøy slik at de kan foreta sine egne tapsberegninger i fremtiden.

Beregningsprogrammet ble lagt til som vedlegg i oppgaven.

Forutsetninger for beregningen:

- Det momentane varmetapet vil svinge, ettersom det til enhver tid avhenger av temperatur på vannet i rørene og omgivelsestemperaturen i lufta eller bakken. Derfor ble det besluttet å beregne systemets gjennomsnittlige varmetap basert på årlig produksjons og klimadata fra 2020. [6] [58]
- Lufttemperatur og temperatur i bakken ble tilnærmet som gjennomsnittlig utetemperatur for Kongsvinger 2020 = 7.88°C. [58]
- Temperaturforskjellen mellom tur/retur ble satt til $\Delta T=18^{\circ}\text{C}$ for tørkere og $\Delta T=7^{\circ}\text{C}$ for romoppvarming.
- Temperaturfallet gjennom varmeveksler er antatt av teknisk leder til å være 1,5°C. [27].

Varmetap fra følgende rørstrekk ble beregnet individuelt, deretter summeres hvert bidrag til en total. Det anbefales å se på den tekniske tegningen for visuell referanse til de ulike rørgatene.

Rørstrekk A:

Tabell 3.5: Rørspesifikasjoner for rørstrekk A

Plassering	=	Nedgravd
Dimensjon	=	DN 250
Lengde	=	500m
Isolasjon	=	50mm PUR
Dybde	=	80cm
Avstand	=	70cm
T_{tur}	=	109.85°C
T_{retur}	=	92.25°C

Rørstrekk C:

Tabell 3.6: Rørspesifikasjoner for rørstrekk C

Plassering	=	Friluft
Dimensjon	=	DN 200
Lengde	=	135m
Isolasjon	=	100mm Rockwool
T_{tur}	=	108.06°C
T_{retur}	=	90.06°C

Rørstrekk E:**Tabell 3.7:** Rørspesifikasjoner for rørstrekk E

Plassering	=	Nedgravd
Dimensjon	=	DN 150
Lengde	=	120m
Isolasjon	=	80mm PUR
Dybde	=	80cm
Avstand	=	100cm
T_{tur}	=	106.56°C
T_{retur}	=	99.56°C

Rørstrekk D:**Tabell 3.8:** Rørspesifikasjoner for rørstrekk D

Plassering	=	Nedgravd
Dimensjon	=	DN 125
Lengde	=	70m
Isolasjon	=	80mm PUR
Dybde	=	80cm
Avstand	=	100cm
T_{tur}	=	106.56°C
T_{retur}	=	99.56°C

Rørstrekk B:**Tabell 3.9:** Rørspesifikasjoner for rørstrekk B

Plassering	=	Nedgravd
Dimensjon	=	DN 200
Lengde	=	45m
Isolasjon	=	80mm PUR
Dybde	=	80cm
Avstand	=	100cm
T_{tur}	=	108.06°C
T_{retur}	=	90.06°C

Rørstrekk F:

Tabell 3.10: Rørspesifikasjoner for rørstrekk F

Plassering	=	Friluft
Dimensjon	=	DN 65
Lengde	=	45m
Isolasjon	=	100mm Rockwool
T_{tur}	=	108°C
T_{retur}	=	90°C

Rørstrekk B (gjennom bygg 21):**Tabell 3.11:** Rørspesifikasjoner for rørstrekk B gjennom bygg 21

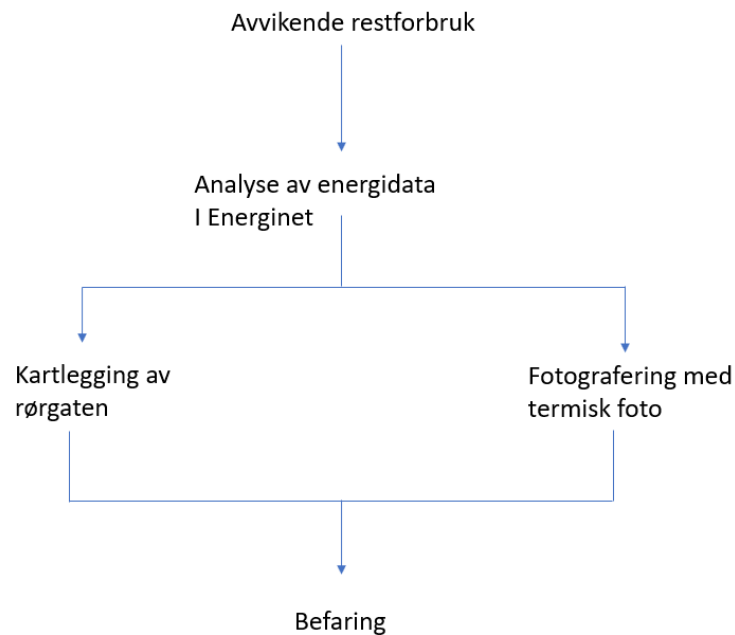
Plassering	=	Friluft
Dimensjon	=	DN 200
Lengde	=	60m
Isolasjon	=	100mm Rockwool
T_{tur}	=	108°C
T_{retur}	=	90°C

Rørstrekk G:**Tabell 3.12:** Rørspesifikasjoner for rørstrekk G

Plassering	=	Nedgravd
Dimensjon	=	DN 150
Lengde	=	250m
Isolasjon	=	80mm PUR
Dybde	=	80cm
Avstand	=	100cm
T_{tur}	=	106.5°C
T_{retur}	=	99.5°C

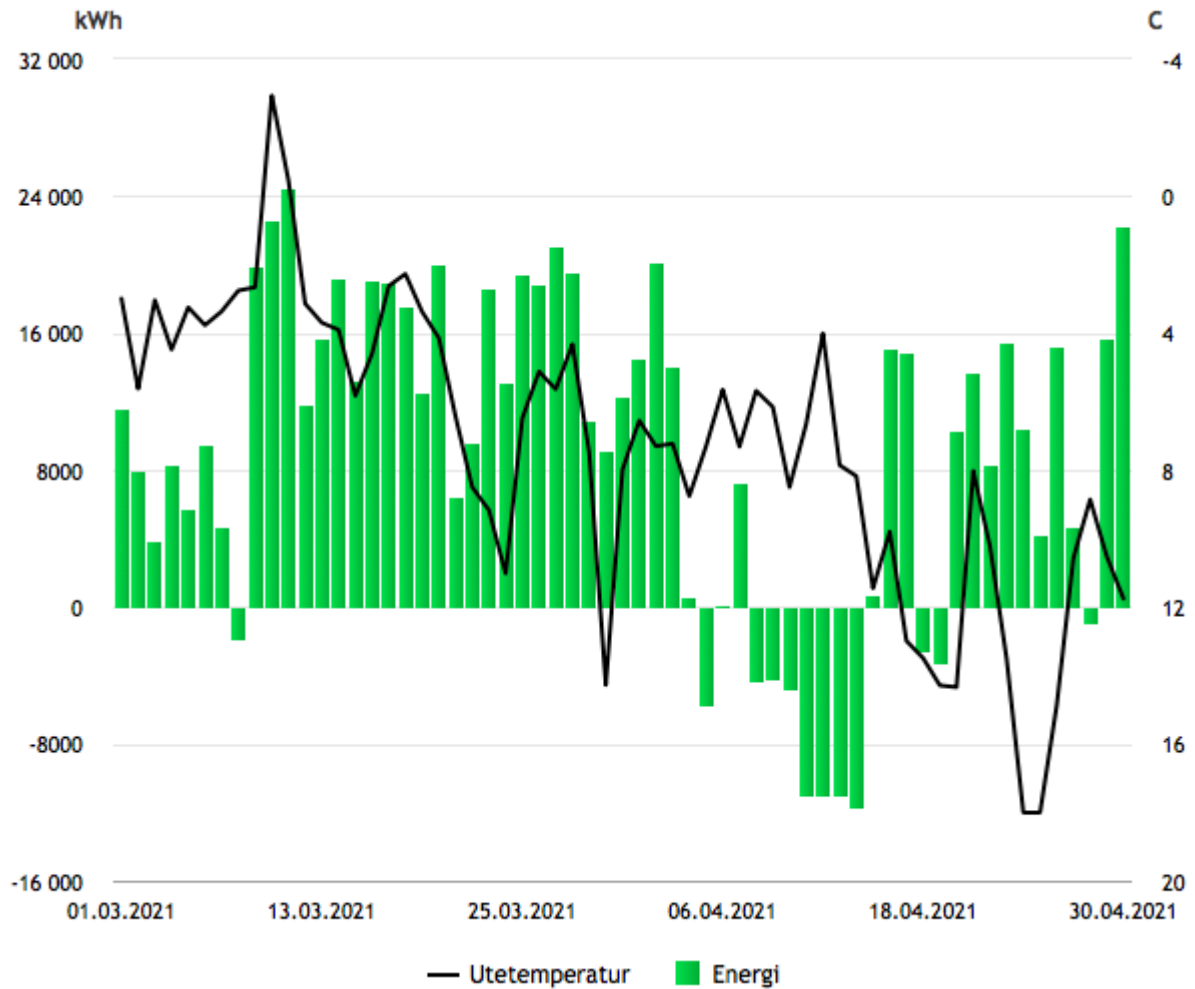
Systemets totale varmetap beregnes ved å legge sammen tap fra hvert rørstrekk. Summen blir multiplisert med 24 for å presentere svaret som energiforbruk per døgn ($kWh/døgn$).

3.6 Analyse av målerdata i Energinet



Figur 3.13: Arbeidsprosessen med analysen av målerdata

For å avdekke mulige årsaker til B.H. 's negative energiregnskap ble data fra Energinet analysert. En grafisk oversikt over det daglige restregnskapet viser at forbruket tilsynelatende kun er negativt i enkelte perioder, mens det til andre tider er positivt slik man kan forvente. Derfor ble det besluttet å sammenligne rådata fra to ulike datoer; den ene med positivt forbruk (11. Mars) og den andre med negativt (14. April), i håp om å avdekke anormaliteter. All tilgjengelig data fra B.H. 's energimålere ble analysert på de to dagene; energiforbruk, temperaturer og volumstrøm fra de ulike tørkekammerene og tørkekanalene samt romoppvarming. For å verifisere at målerene gjør korrekte kalkulasjoner av energiforbruk ble det også foretatt en teoretisk utregning med rådata fra de ulike målerene i Energinet.



Figur 3.14: Restregnskap fra 1.3.2021 til 30.4.2021. Søylene under x-aksen indikerer et negativt energiforbruk.

Det ble også foretatt en analyse av målerdata fra alle energimålerne i mars og april, 2021. Formålet var å få et enda bredere datagrunnlag, slik at reliabiliteten til den første analysen kunne verifiseres ved å utelukke eventuelle avvik ved engangstilfeller.

Datamaterialet fra de ulike energimålerne ble plottet i Excel og presentert i tabell. Eventuelle avvik ble markert med rødt for enkel visuell lesbarhet.

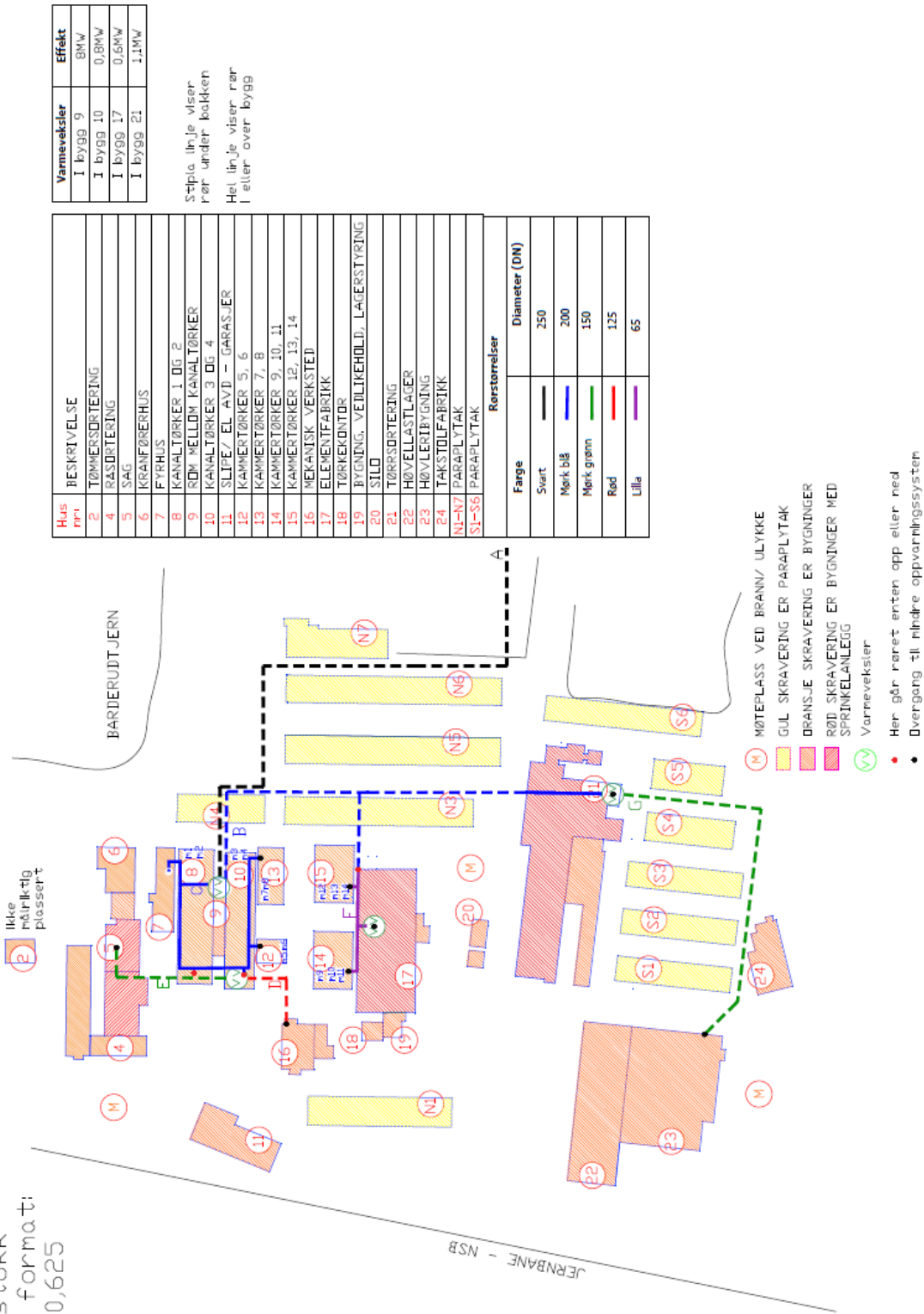
Kapittel 4

Resultat

4.1 Teknisk tegningen av rørgaten

På neste side kan man se den tekniske tegningen av fjernvarmenettet med tabeller som inneholder rørdimensjoner, bygningsnummer og varmevekslerenes effekt. De tilhørende .dwg og .pdf filene finnes som vedlegg. .pdf filen har navnet Teknisk tegning A3 og .dfw filene har navn Teknisk tegning og Teknisk tegning med bokstaver. Det anbefales å se på Teknisk tegning A3 for et større og bedre bilde av den tekniske tegningen. Det ble også funnet at varmerøret fra varmeveksler 10 til bygg 16 er overdimensjonert i forhold til behov. Over bygg 2 er det et område som B.H. bruker som utelager av treverk, her er det ikke noe fjernvarme eller behov for fjernvarme, så det er ikke med.

Målestokk
i A3 format:
1:1640,625

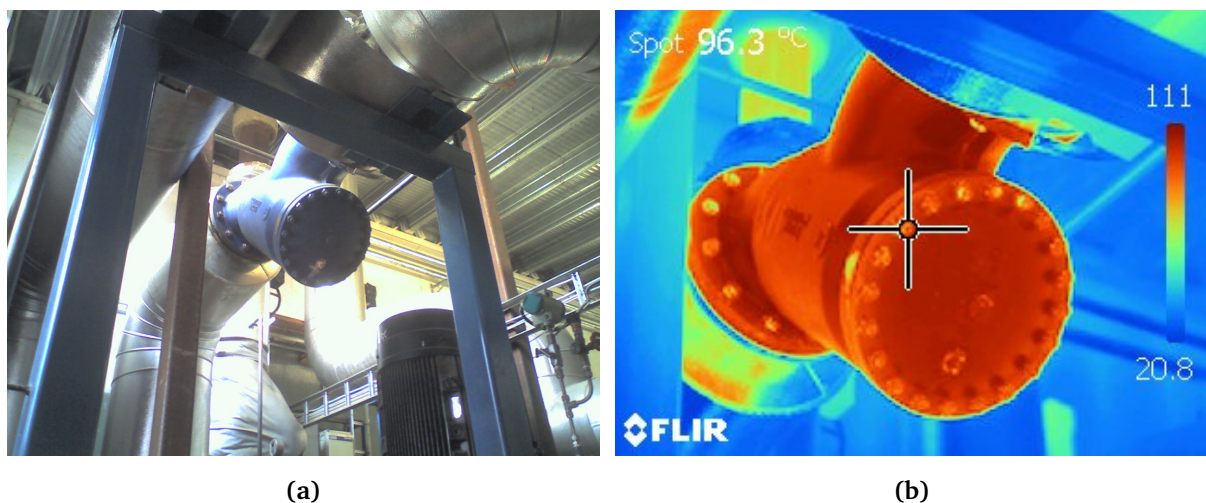


Figur 4.1: Teknisk tegningen av rørgaten (Laget av Henrik van Dam)

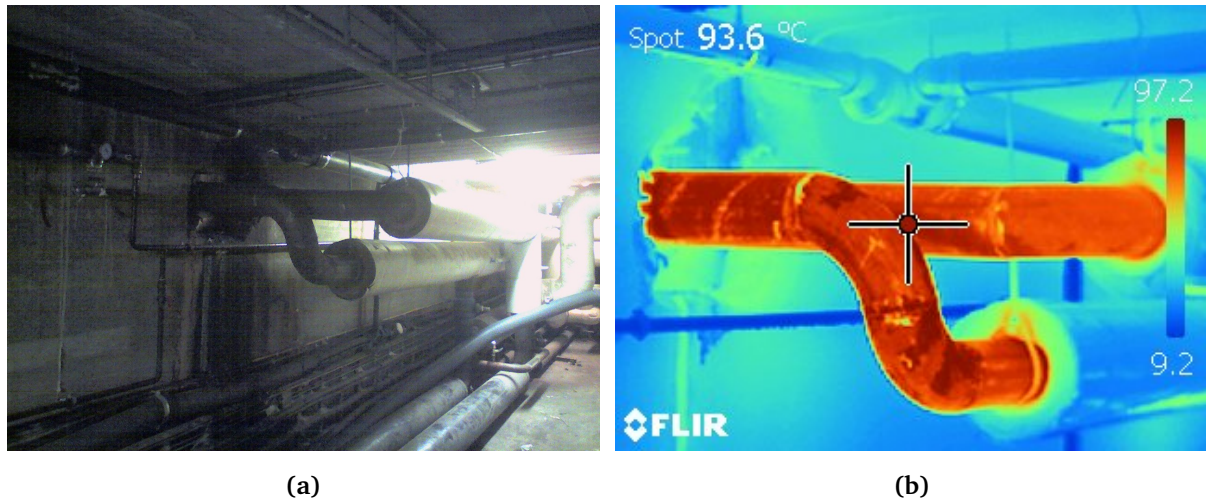
4.2 Lokalisering av varmetap med termisk kamera

I dette kapittelet blir det sett på termiske bilder tatt på befaring. Målrettede objekter er områder i porter, dører og rør med høy temperatur. Med dataprogrammet FLIR Tools er det sett nærmere på bildene. Dette er gjort for å vise variasjon i varmelekkasje på områder og for å gi et inntrykk av hvor effektiv isolasjon er. Kamera ble også brukt i utregningen av varmelekkasjer fra uisolerte rør da det fant overflatetemperatur på rør. Resultatet fra disse utregningene vil komme senere i kapittel 4.3. Målet med disse bildene er å vise at det finnes flere strekk i rørgaten og områder på anlegget der det er varmetap. Det viste seg å være så mange steder at det blir overflødig å inkludere alle bildene i rapporten. Derfor inkluderes kun bilder med store varmetap og bilder der det inneholder informasjon som blir sett på som mere relevant. Alle termiske bilder tatt på befaring er lagt ved i vedlegg. Minimum temperatur blir ikke nevnt da det er temperaturen på uinteressante områder.

4.2.1 Bilder av rørgaten

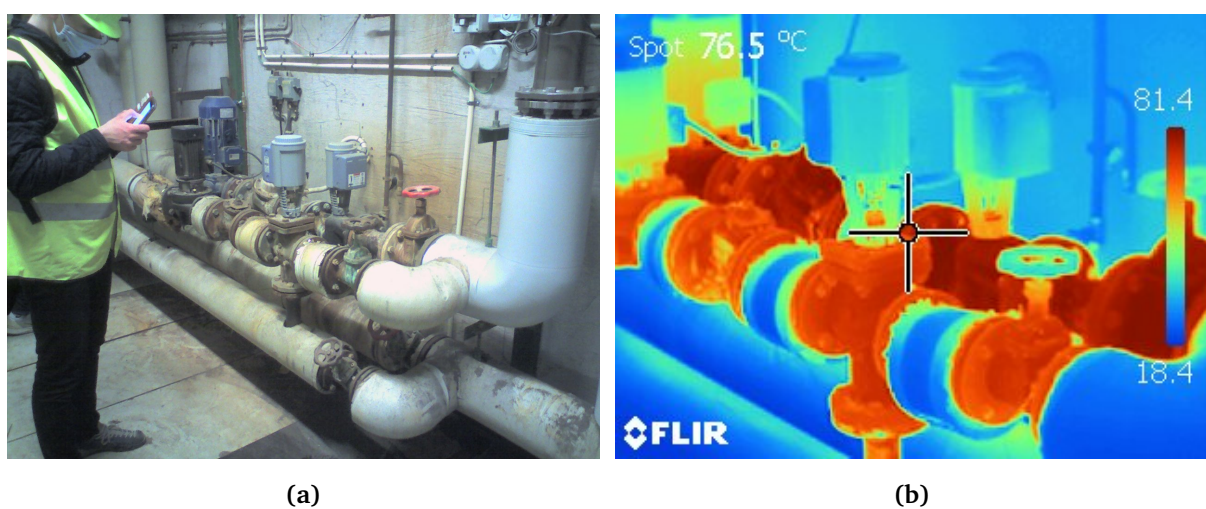


Figur 4.2: Normalt og termisk bilde av uisolert rør i bygg 9 hvor høyeste temperatur er 111°C. (Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)



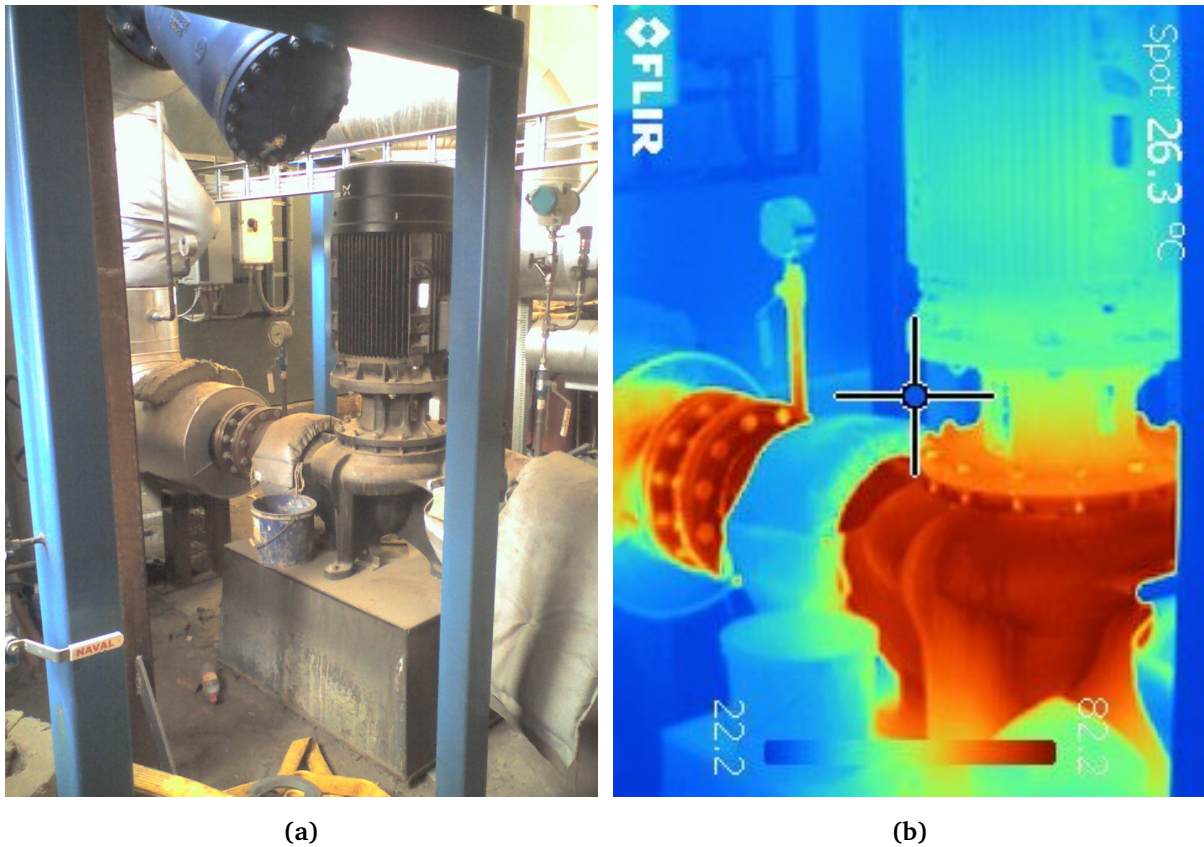
Figur 4.3: Normalt og termisk bilde av uisolert rør under bygg 10 hvor høyeste temperatur er 97.2°C.

(Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)

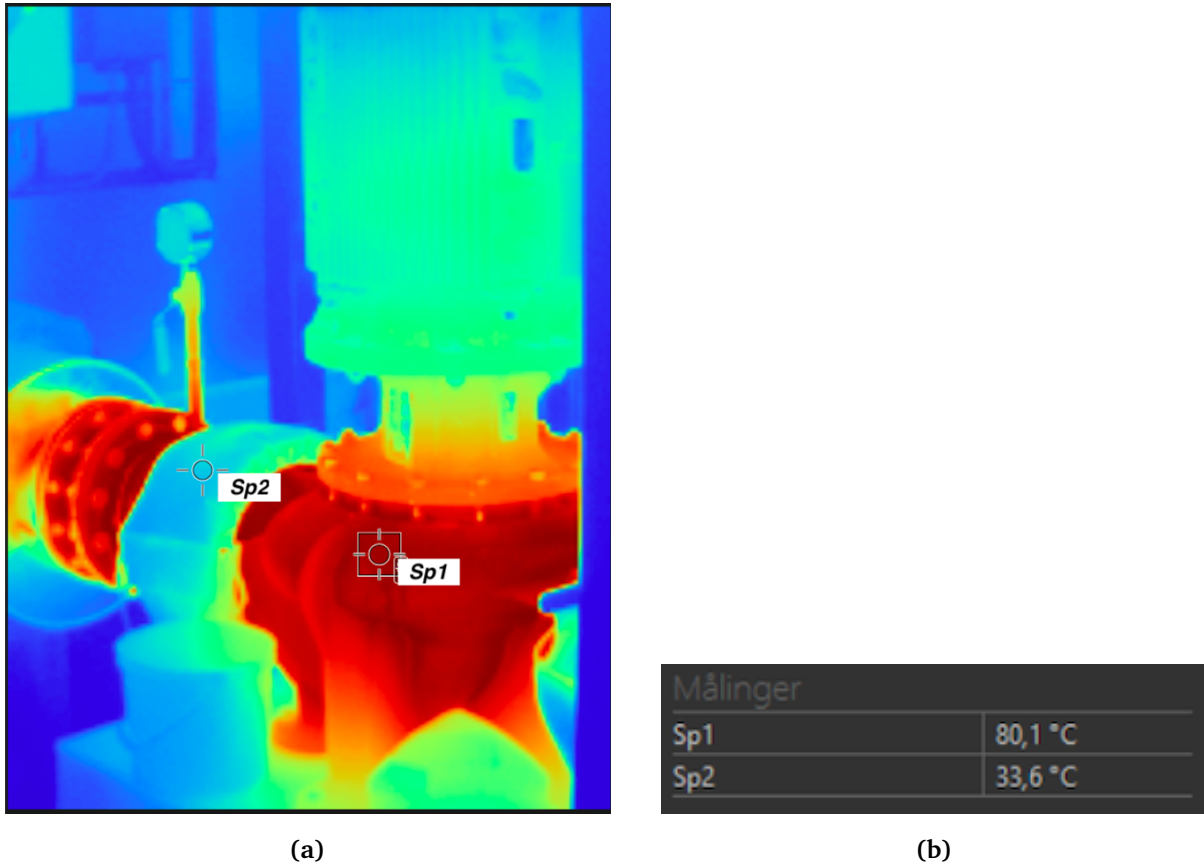


Figur 4.4: Normalt og termisk bilde av uisolert rør i bygg 8 hvor høyeste temperatur er 81.4 °C.

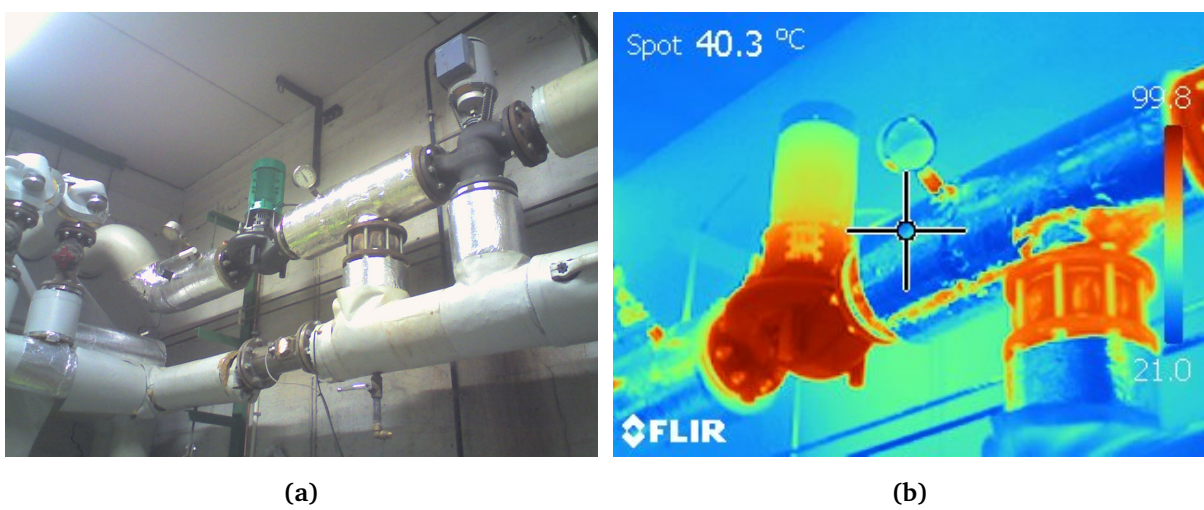
(Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)



Figur 4.5: Normalt og termisk bilde av hovedpumpen til varmeveksler i bygg 9. Pumpen er uisolert og høyeste temperatur er 82.2°C.
(Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)

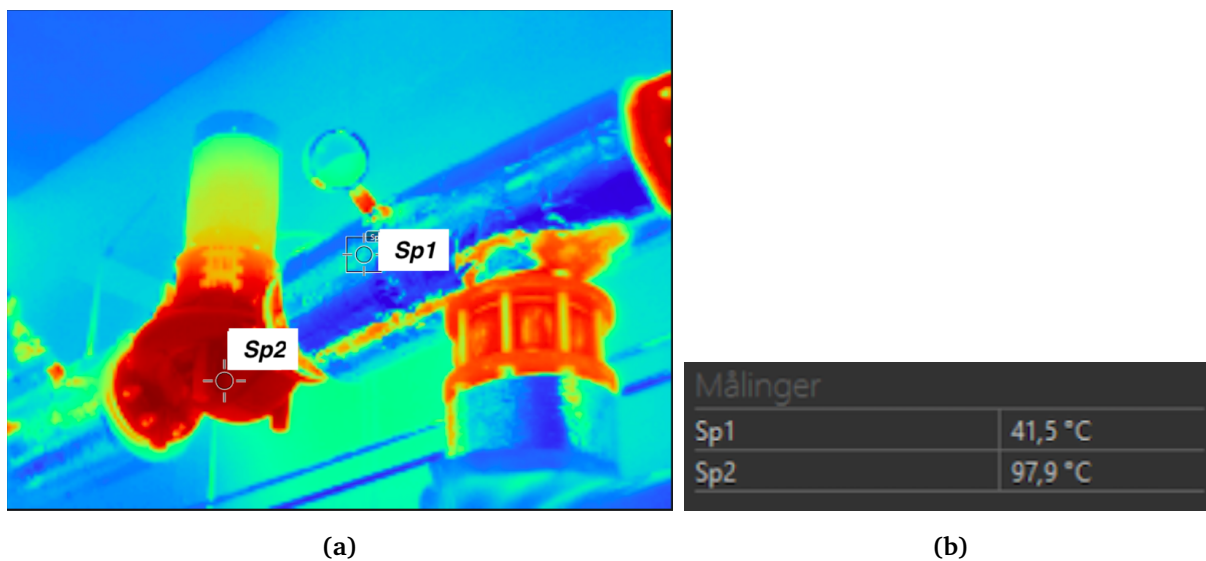


Figur 4.6: Sp1 måler temperaturen på et uisolert område i rørgaten, mens Sp2 fokuserer på en liten bit isolasjon på rørgate. I bilde (b) vises målinger hvor temperaturen på isolasjonen er 33,6°C og uisolert rør er 80,1°C. Det er da en minking på 47,4°C eller 59,1 prosent

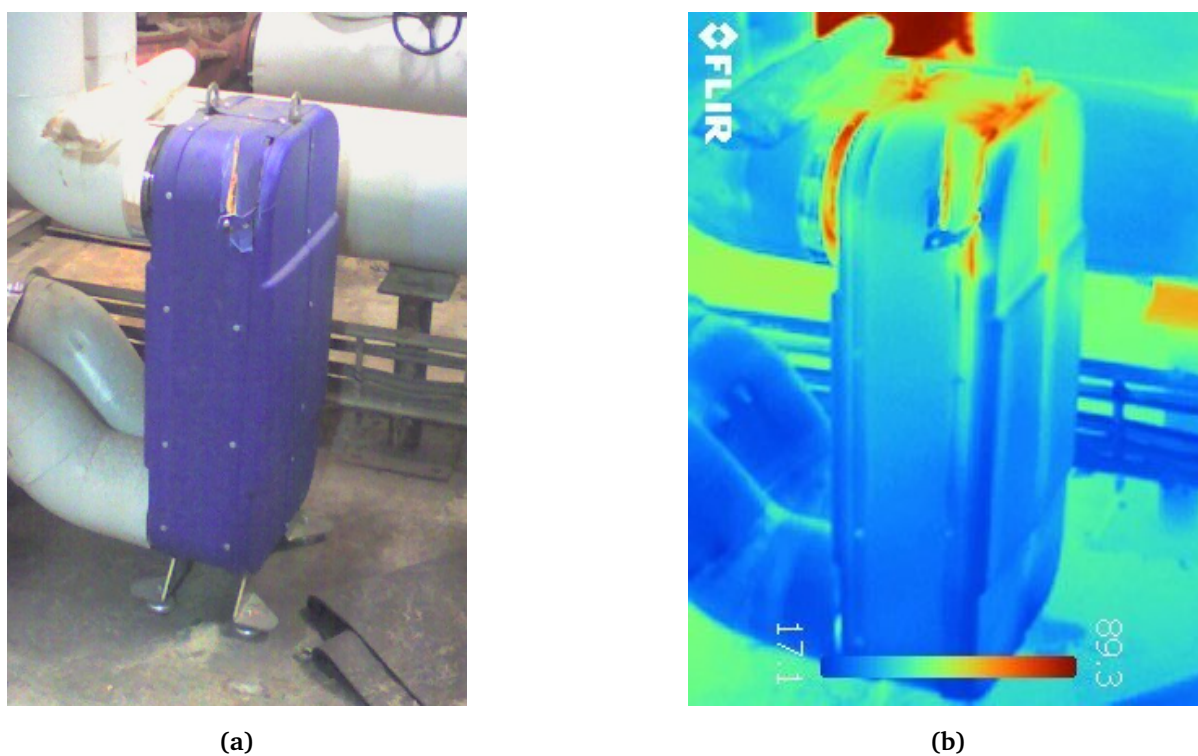


Figur 4.7: Normalt og termisk bilde av rør i bygg 8 der høyeste temperatur er 99,8°C og temperatur i sentrum av bilde er 40,3°C.

(Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)

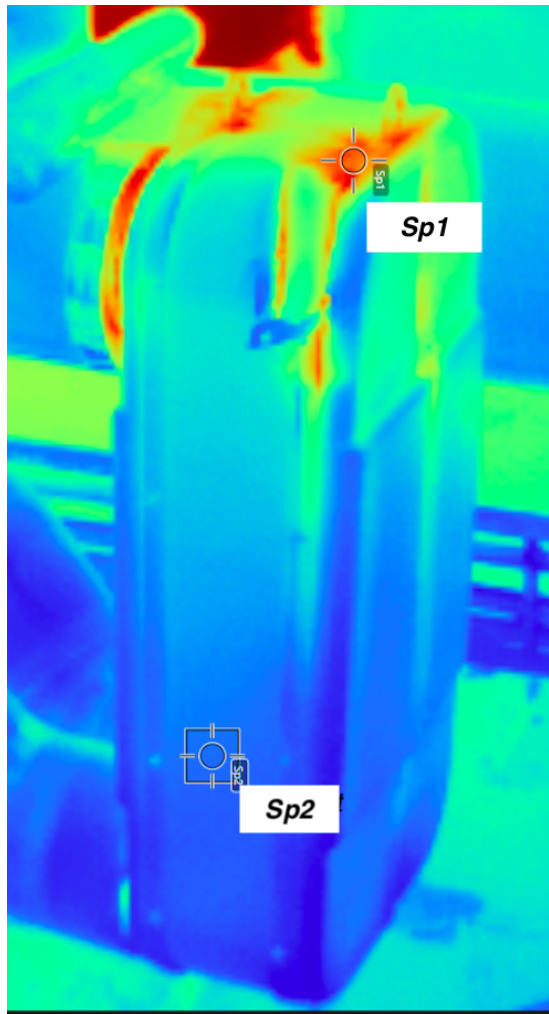


Figur 4.8: Måling på isolert område Sp1 er 41.5°C, mens uisolert område Sp2 blir målt til 97.9°C. Differansen mellom de to temperatuere er da 56.4°C eller 57.6 prosent



Figur 4.9: Bilde (a) og (b) viser varmeveksler i bygg 21. Høyeste temperatur er 89.3°C. I isolasjonen er det sprekker og i bildet (b) kan en se at temperaturen i sprekken er betraktelig høyere enn i den uslitte delen.

(Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)

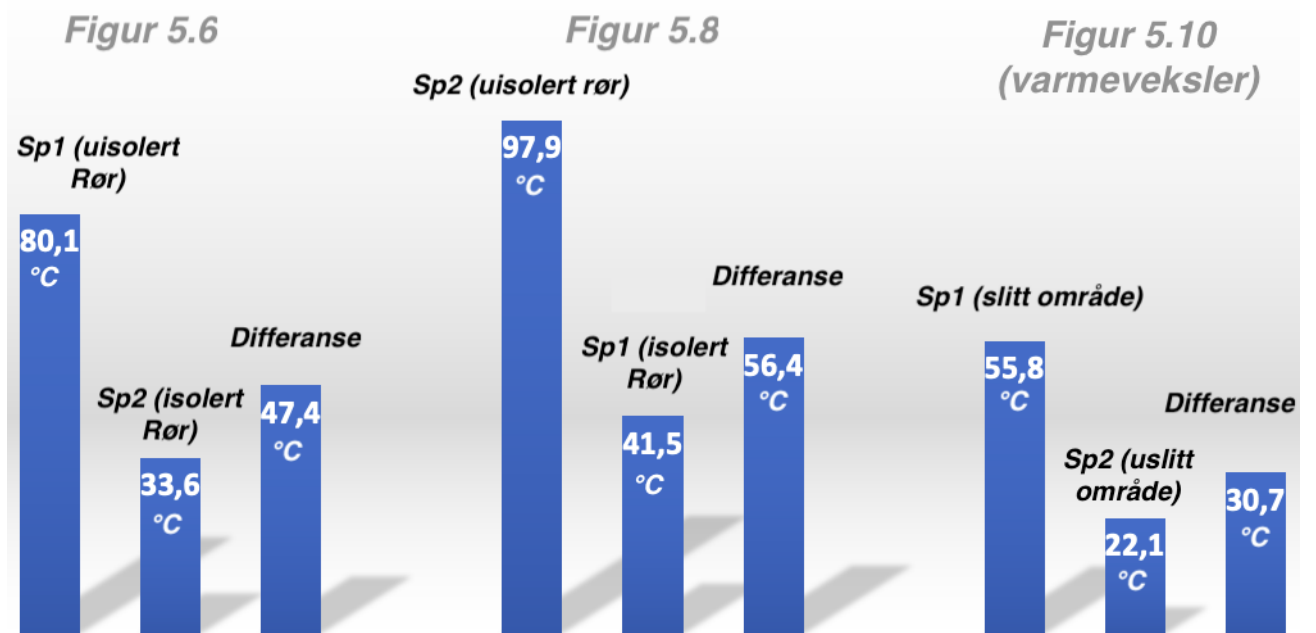


(a)

Målinger	
Sp1	52,8 °C
Sp2	22,1 °C

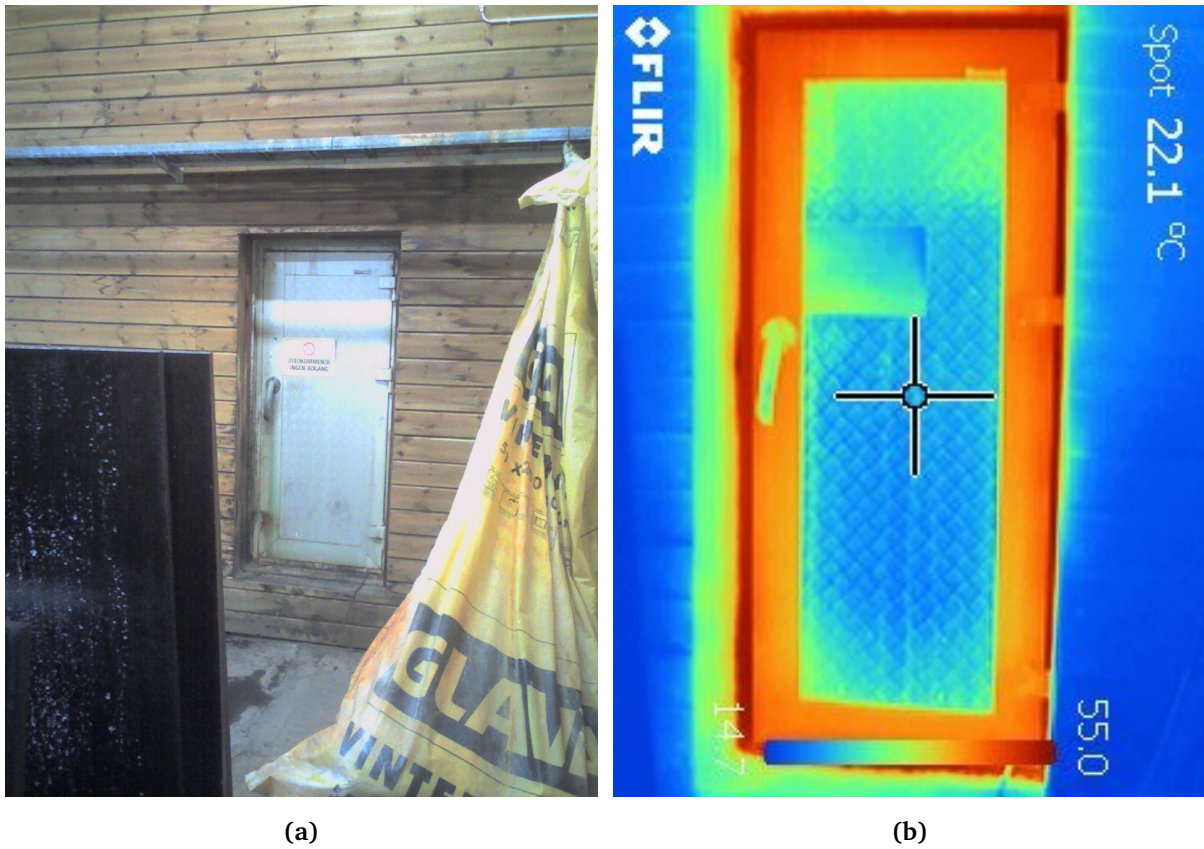
(b)

Figur 4.10: Sp1 måler temperaturen på sprekk i isolasjonen, mens Sp2 måler temperaturen på uslitt isolasjon. Målingene i bilde (b) viser en økning på 30.7°C eller 58.14 prosent.



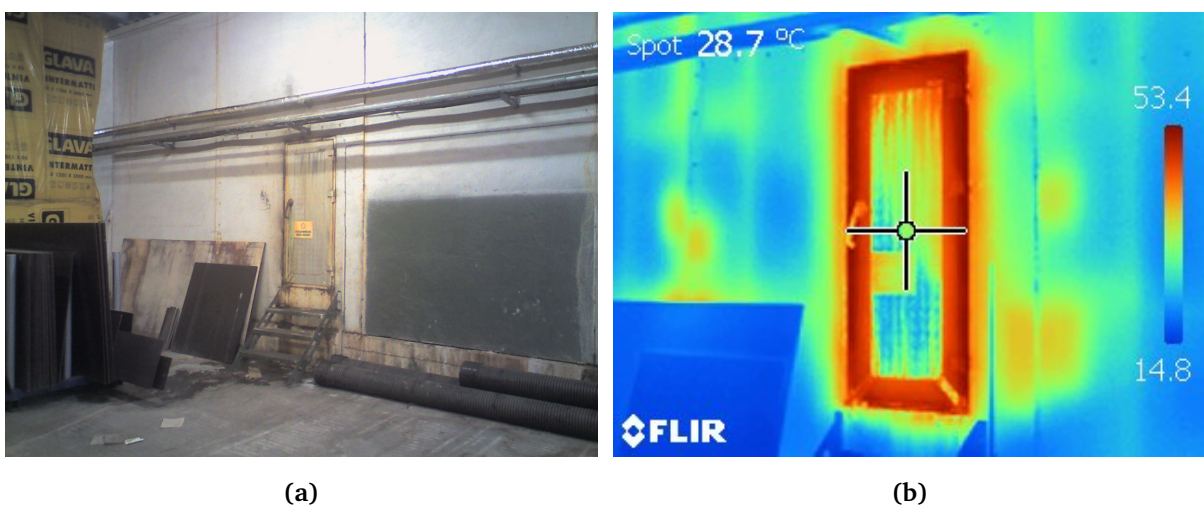
Figur 4.11: Målinger i figur 5.6 5.8 og 5.10

4.2.2 Bilder av dør og port til tørkekammer



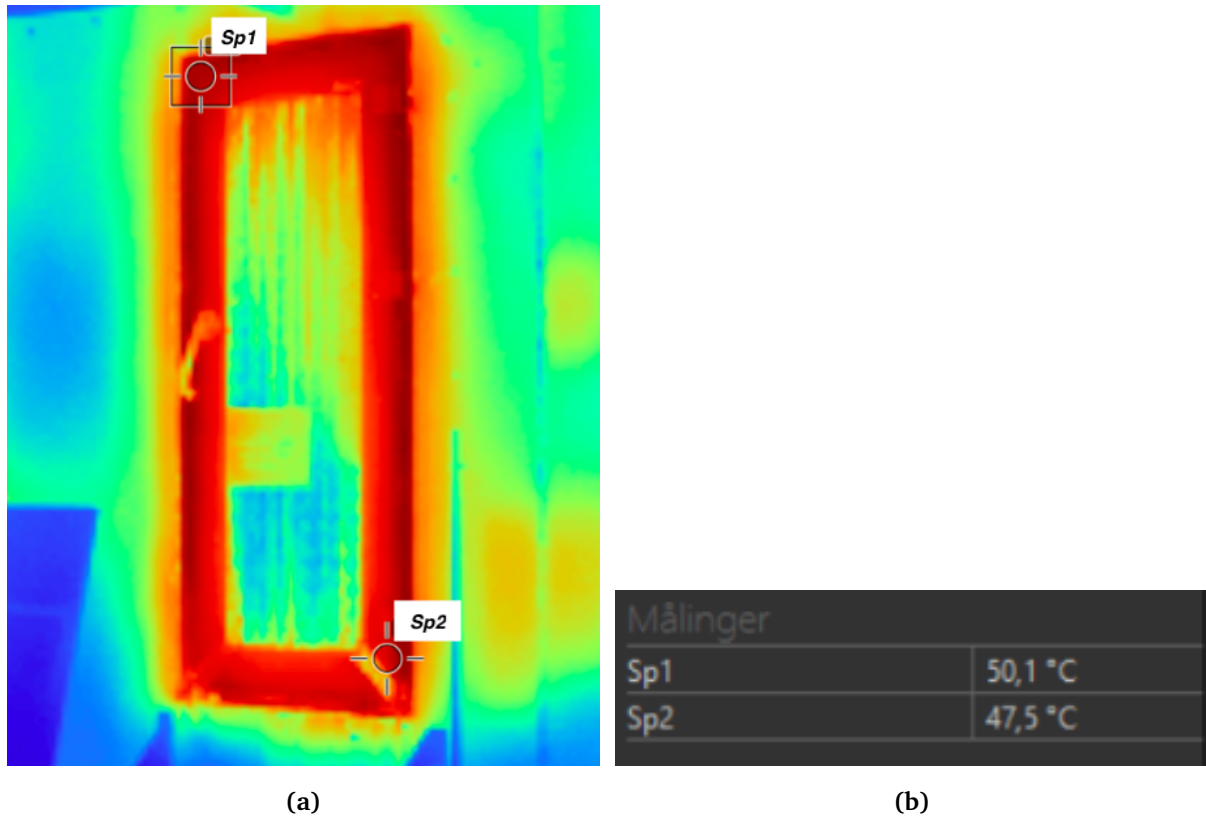
Figur 4.12: Normalt og termisk bilde av dør til kanaltørker 3 i bygg 9, hvor høyeste temperatur er 55°C.

(Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)

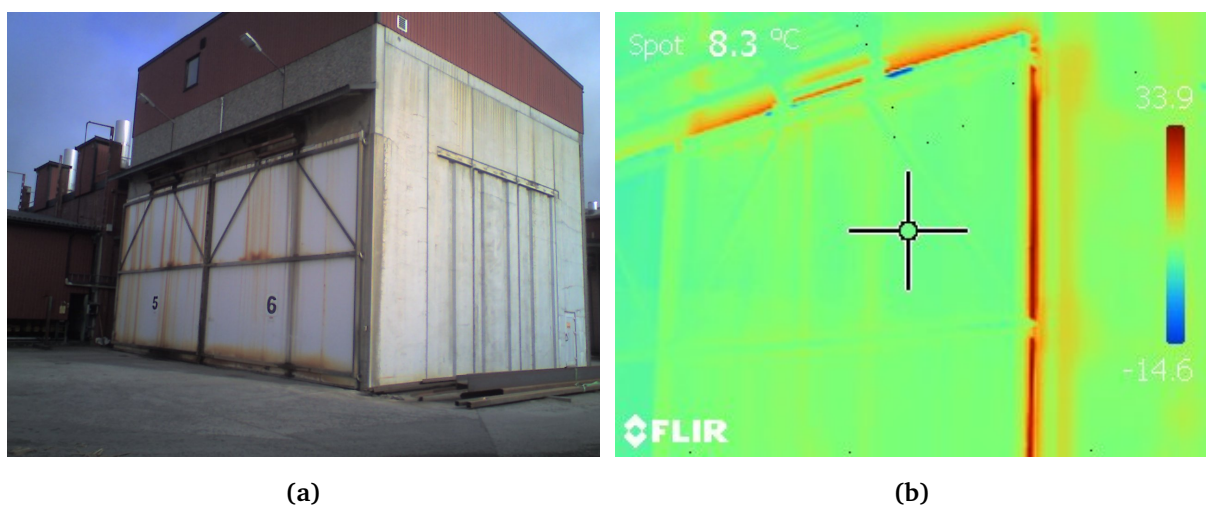


Figur 4.13: Normalt og termisk bilde av dør til kanaltørker 1 i bygg 9, hvor høyeste temperatur er 53.4 °C

(Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)



Figur 4.14: Målinger av temperaturer i dør til tørkekammer. Sp1 er på 50.1°C og Sp2 er på 47.5°C.

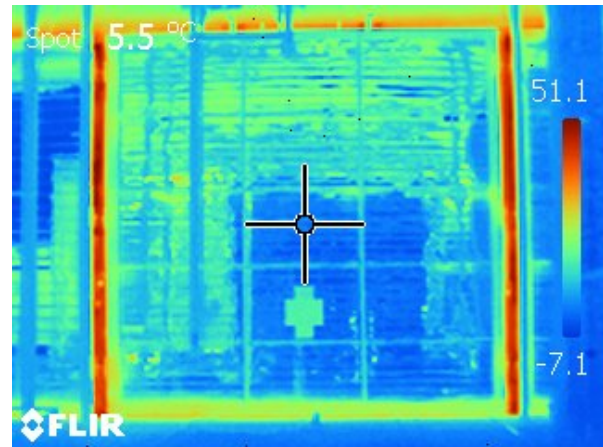


Figur 4.15: Varmetap gjennom port til tørkekammer 6 i bygg 12, der høyeste temperatur er 33.9°C

(Bilde tatt av Kristoffer Øverby. Med tillatelse fra B.H.)



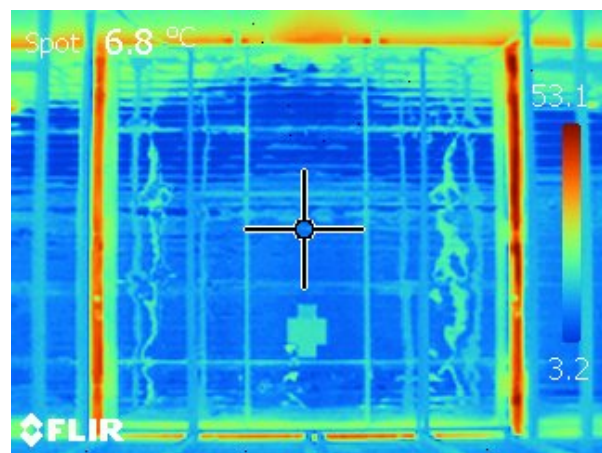
(a)



(b)



(c)

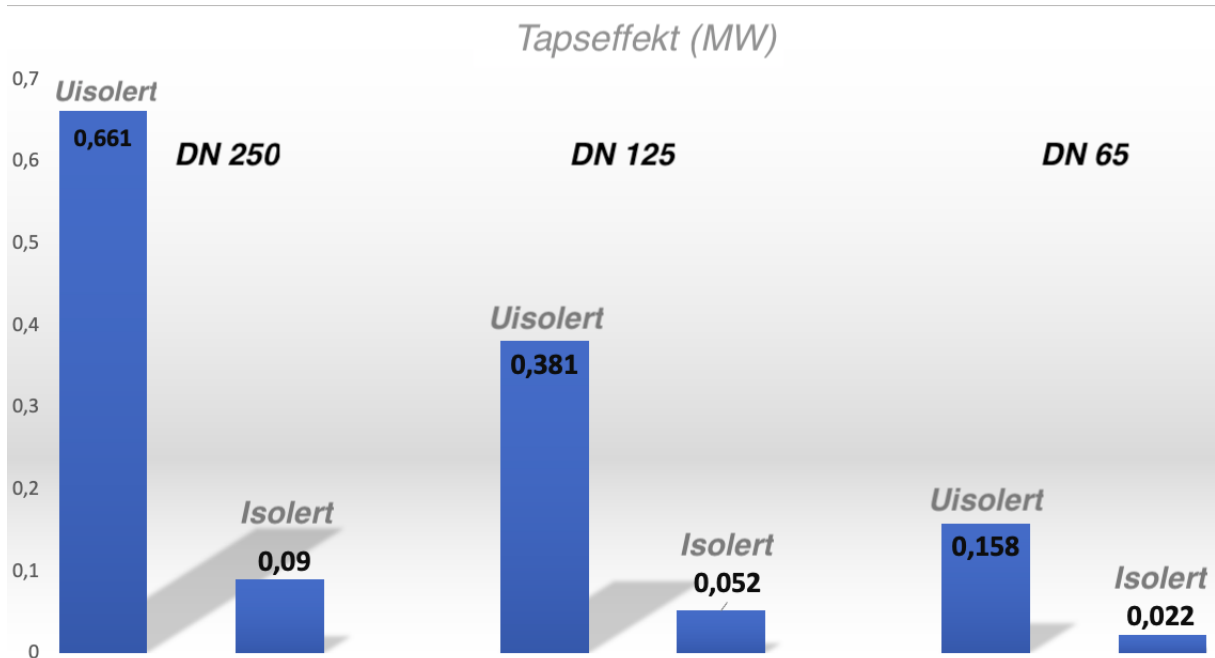


(d)

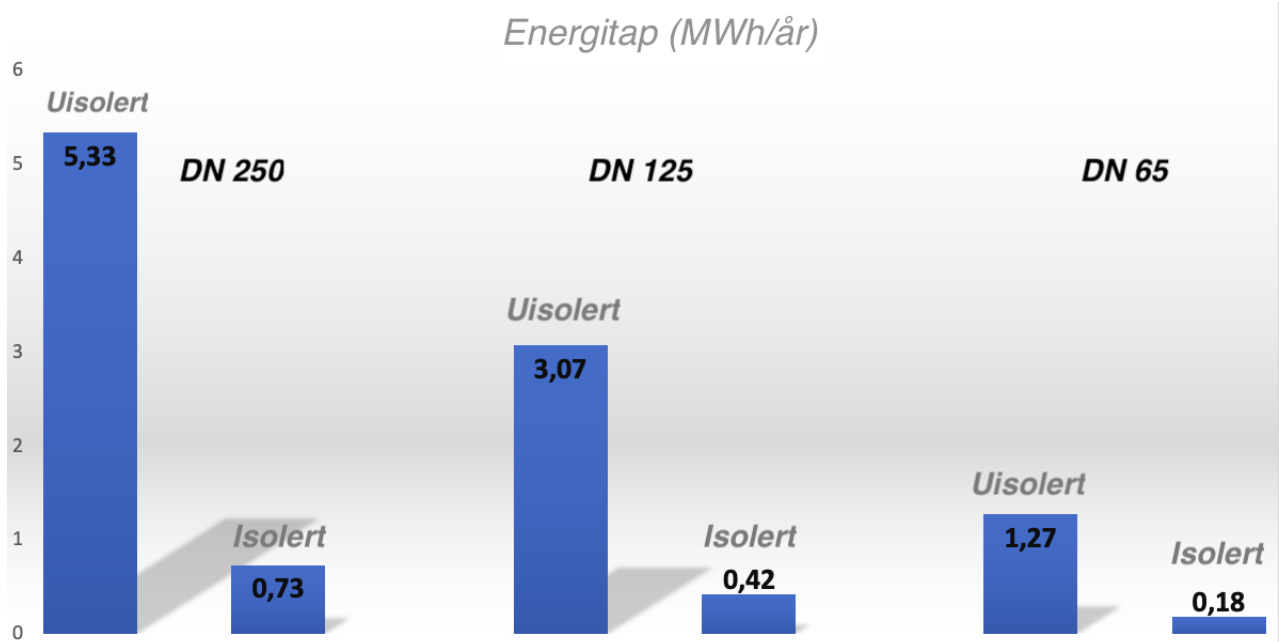
Figur 4.16: Normalt og termisk bilde av forside ((a) og (b)) og bakside ((c) og (d)) av port til tørkekammer 13 i bygg 15, hvor det i bilde (b) er høyeste temperatur på 51.1°C og bilde (d) er på 53.1°C.

(Bilde tatt av Magnus Nilsen. Med tillatelse fra B.H.)

4.3 Uisolerte rør



Figur 4.17: Sammenligning av tapseffekten fra rør med og uten isolasjon



Figur 4.18: Sammenligning av energitap fra rør med og uten isolasjon

Tabell 4.1: Energibesparelsen fra ulike rørpartier i nettet

Rørtype	Energibesparelse ved etterisolering
DN 250:	$5.33MWh/\text{år} - 0,73MWh/\text{år} = \underline{4,6MWh/\text{år}}$
DN 125:	$3.07MWh/\text{år} - 0,42MWh/\text{år} = \underline{2.65MWh/\text{år}}$
DN 65:	$1.27MWh/\text{år} - 0,18MWh/\text{år} = \underline{1.09MWh/\text{år}}$

4.4 Systemets varmetap

Tabell 4.2: Tapseffekt fra de ulike rørstrekkene.

Rørstrekk	Tap		Tapseffet [kW]
Rørstrekk A:	Tap fra tur + retur	=	68,03
Rørstrekk C:	Tap, tur	=	6,63
Rørstrekk C:	Tap, retur	=	5,44
Rørstrekk E:	Tap fra tur + retur	=	8,4
Rørstrekk D:	Tap fra tur + retur	=	7,38
Rørstrekk B:	Tap fra tur + retur	=	29,52
Rørstrekk F:	Tap, tur	=	1,08
Rørstrekk F:	Tap, retur	=	0,89
Rørstrekk B (gjennom bygg 21):	Tap, tur	=	3,31
Rørstrekk B (gjennom bygg 21):	Tap, retur	=	2,72
Rørstrekk G:	Tap fra tur + retur	=	17,49

$$\text{Systemets totale tap, tur + retur} = 150,89kW * 24\text{timer} = 3621,36kWh/døgn$$

4.5 Analyse av målerdata i Energinet

Tabell 4.3: Energidata fra 11. mars.

	Målt energiforbruk [kWh]	Teoretisk energiforbruk [kWh]	Tur [°C]	Retur [°C]	Volumstrøm [m ³]
Kammer 12	2,593.00	2,548.30	81.34	77.93	643.61
Kammer 13	5,358.80	5,416.45	90.42	81.83	543.06
Kammer 14	8,884.50	8,096.48	77.65	67.26	671.13
Kammer 11	6,388.90	6,500.62	88.64	80.73	707.79
Kammer 10	4,202.10	4192.68	90.93	84.81	590.02
Kammer 09	0	0	0	0	0
Kammer 08	0	-9,578.82	85.86	99.09	623.56
Kammer 07	2,007.30	1,934.31	81.74	78.76	559.03
Kanal 3	7,019.13	8,060.04	104.34	81.98	310.45
Kanal 4	8,282.10	9,300.99	104.48	87.03	459.05
Kammer 05	0	0	0	0	0
Kammer 06	0	0	0	0	0
Sag, råsortering og verksted	7,281.40		NA	NA	NA
Justerverk, høvleri og administrasjon	8,020.50	8,260.57	98.1	94.61	2,038.50
Element, bygg	2,824.10	3,010.71	89	83.08	438
Kanal 1	17,111.30	18,609.80	104.98	83.23	736.9
Kanal 2	0	-77.99	23.92	23.96	1,679.20
Totalt energiforbruk (Solør Bioenergi) [kWh]	104,500.00	107,275.13	110.11	90.93	4,817.00
Restforbruk (varmetap) [kWh]	24,526.87	41,000.99			
Fargekode:	Rød = Avvik	Brun = Manglende data			

Tabell 4.4: Energidata fra 14. april.

	Målt energiforbruk [kWh]	Teoretisk energiforbruk [kWh]	Tur [°C]	Retur [°C]	Volumstrøm [m ³]
Kammer 12	4,828.39	6,400.30	89.27	80.78	648.64
Kammer 13	219.86	-17.60	54.60	54.63	504.89
Kammer 14	298.55	22.13	48.08	48.05	634.66
Kammer 11	223.40	241.08	101.32	101.01	669.13
Kammer 10	0.00	38.88	55.32	55.26	557.61
Kammer 09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kammer 08	202.00	199.49	43.63	43.33	572.14
Kammer 07	0.00	-64.50	40.87	40.97	555.01
Kanal 3	12,105.20	12,609.21	108.08	90.07	602.40
Kanal 4	12,515.60	13,184.95	108.19	91.93	697.70
Kammer 05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kammer 06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sag, råsortering og verksted	5,939.40	6,155.77	101.81	97.72	1,295.00
Justerverk, høvleri og administrasjon	8,014.80	8,097.46	102.59	99.28	2,104.90
Element, bygg	1,739.10	1,363.05	99.71	97.05	440.90
Kanal 1	19,272.10	20,434.13	109.01	82.31	658.50
Kanal 2	28,338.60	29,785.46	105.18	90.68	1,767.45
Totalt energiforbruk (Solør Bioenergi) [kWh]	82,000.00	88,268.66	115.06	95.72	3,927.00
Restforbruk (varmetap) [kWh]	-11,697.00	-10,181.13			
Fargekode:	Rød = Avvik	Blå = Tørker ikke i drift			

Tabell 4.5: Energidata fra mars.

	Målt energiforbruk [kWh]	Teoretisk energiforbruk [kWh]	Tur [°C]	Retur [°C]	Volumstrøm [m ³]
Kammer 12	172,835.30	174,310.45	81.95	74.55	20,267.61
Kammer 13	161,679.40	162,479.98	86.61	78.19	16,603.46
Kammer 14	209,155.95	212,380.81	85.06	76.31	20,884.21
Kammer 11	164,017.60	163,516.34	84.94	78.36	21,381.89
Kammer 10	161,663.55	163,722.89	87.39	79.65	18,200.33
Kammer 09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kammer 08	295.70	-195,034.94	78.63	88.03	17,852.35
Kammer 07	151,900.10	151,741.46	85.86	78.37	17,431.44
Kanal 3	305,087.28	355,427.67	105.18	85.29	15,375.43
Kanal 4	323,232.94	361,304.65	105.62	89.31	19,060.33
Kammer 05	0.00	49.11	93.90	0.00	0.45
Kammer 06	0.00	24,357.94	104.67	0.00	200.23
Sag, råsortering og verksted	145,508.50	55,186.53	104.09	82.75	2,225.10
Justerverk, høvleri og administrasjon	226,326.10	233,186.88	99.14	95.97	63,293.00
Element, bygg	60,130.10	61,379.51	91.93	88.04	13,576.40
Kanal 1	578,560.90	631,296.89	105.96	82.24	22,899.70
Kanal 2	347,076.27	357,917.83	62.70	56.76	51,845.10
Totalt energiforbruk (Solør Bioenergi) [kWh]	3,432,500.00	3,530,167.78	111.58	91.87	154,106.00
Restforbruk (varmetap) [kWh]	425,030.33	616,943.77			
Fargekode:	Rød = Avvik	Brun = Manglende data			

Tabell 4.6: Energidata fra april.

	Målt energiforbruk [kWh]	Teoretisk energiforbruk [kWh]	Tur [°C]	Retur [°C]	Volumstrøm [m ³]
Kammer 12	101,627.82	105,639.23	70.75	66.03	19,257.24
Kammer 13	88,649.99	87,013.92	73.12	68.32	15,597.62
Kammer 14	109,561.90	109,300.60	68.35	63.54	19,551.87
Kammer 11	94,171.40	93,420.77	85.14	81.19	20,349.66
Kammer 10	109,681.50	110,274.52	78.84	73.36	17,314.32
Kammer 09	0	0	0	0	0
Kammer 08	2,621.90	-103,029.18	67.69	72.71	17,659.05
Kammer 07	102,968.60	106,453.43	76.05	70.81	17,479.91
Kanal 3	323,105.80	348,506.57	104.48	86.97	17,125.20
Kanal 4	325,658.67	356,688.13	104.68	88.77	19,289.87
Kammer 05	0	0	0	0	0
Kammer 06	0	0	0	0	0
Sag, råsortering og verksted	105,727.20	245,235.13	99.04	89.87	23,010.40
Justerverk, høvleri og administrasjon	206,245.81	215,904.22	99.17	96.2	62,548.30
Element, bygg	46,429.00	46,344.16	94.03	91.01	13,203.80
Kanal 1	539,645.00	630,639.93	105.09	80.37	21,950.47
Kanal 2	789,297.03	813,490.61	101.77	88.14	51,353.20
Totalt energiforbruk (Solør Bioenergi) [kWh]	3,083,600.00	3,132,107.71	110.24	92.09	148,481.00
Restforbruk (varmetap) [kWh]	138,298.38	-33,774.33			
Fargekode:	Rød = Avvik	Brun = Manglende data			

Kapittel 5

Diskusjon og analyse

5.1 Teknisk tegningen av rørgaten

Målet med den tekniske tegningen var å lage en god oversikt av området. Spørsmål som er interessante å diskutere rundt den tekniske tegningen er: inneholder den tekniske tegningen alle relevante elementer i fjernvarmenettet? Er den tekniske tegningen oversiktlig? Er den tekniske tegningen funksjonell? Har den tekniske tegningen god kvalitet? Og hvordan fungerte AutoCAD?

Den tekniske tegningen inneholder alle varmevekslere, rør, målere, endepunkt og punkt hvor røret går opp/ned. Det brukes symboler for å indikere de ulike elementene i den tekniske tegningen uten at det tar for mye plass, dette gjør den tekniske tegningen oversiktlig. Til rørene brukes det fem forskjellige farger. Disse fargene velges for å skille seg ut fra de eksisterende fargene på situasjonskartet og for å tydelig skille mellom de forskjellige rørdimensjonene. Dette går også inn på funksjonaliteten til den tekniske tegningen, da det inneholder forenklinger som gjør det lettere å ta i bruk. Et eksempel på dette er; hver linje på den tekniske tegningen viser et turrør og et returrør samlet. Man kan også se om røret ligger under bakken eller inni bygg/på tak, da hele linjer viser rør på tak eller inni bygg og stiplet linje viser rør i bakken. Utgangspunktet til den tekniske tegningen er situasjonskartet laget av Sjøtil og Fornes, dette gjør at den tekniske tegningen holder høy standard i forhold til målelengder og plassering av bygninger. Vi mener at den tekniske tegningen holder en høy standard, da det blir laget med utgangspunkt i et situasjonskartet som er profesjonelt laget, samt at rørsystemet tegnes ned ved hjelp av teknisk leders skisser og egne observasjoner. At gruppen har fått hjelp hos Heidi Martinsen har også gjort at vi er trygge på at den tekniske tegningen holder god kvalitet.

Begrensingene i og med den tekniske tegningen inkluderer:

- Den tekniske tegningen viser kun byggene og ikke de ulike rommene inni byggene eller dører
- Viser tur og returrør som ett rørstrekk
- Detaljnivå, den tekniske tegningen bør sees i A3 format
- Viser ikke etasjer

Disse begrensningene er satt for å sørge for at den tekniske tegningen er funksjonell og oversiktlig.

Det kan være interessant for bedriften å gjøre endringer for å få med momentene i denne listen, men i henhold til oppgaven er det ikke sett på som nødvendig å gå i så dype detaljer. Det kan være ønskelig for bedriften å legge inn rom og dører i den tekniske tegningen, da det vil gjøre det enklere for folk som ikke er kjent på området å finne frem. Dette ble ikke gjort fordi det ikke går under oppgaven.

5.1.1 Hindringer i arbeidet med den tekniske tegningen

Det var flere hindringer i arbeidet med den tekniske tegningen, da det finnes lite og spredt informasjon. I tillegg førte covid-19 til at det ble gjennomført begrenset antall befaringer. Dette har gjort at mye mer arbeid enn tenkt har blitt gjort i Gjøvik. Det som hadde vært interessant er å legge ned mer arbeid i å finne dokumentasjon på rørgata. Da dette ville gitt større kvalitetssikring og informasjon om alder på fjernvarmenettet. Dette ble nedprioritert da gruppen ikke fikk reist på ønskelig mengde befaringer. Det er i tillegg tvil på om dokumentasjonen for rørgatene i det hele tatt eksisterer.

5.2 Termiske Bilder

Hensikten med de termiske bildene er å bevise at det er flere områder i rørgaten og på anlegget der det finnes varmetap, og å måle temperaturen på uisolerte deler av rørgaten. Bildene inkludert i denne rapporten viser at det er områder med lekkasjer. Det var så mange områder at det blir ansett som overflødig å inkludere alle. Bildene gir også en antydning at forbedring av isolasjon vil påvirke energieffektivisering av fjernvarmeanlegget.

Bruk av hygrometer og avstandsmåler ble benyttet for å redusere måleusikkerhet. Allikevel er det mulighet for at hygrometeret har en feilmargen på sine målinger, som kan gi utslag på målingen av overflatetemperaturen. Dette kan videre ha påvirket varmetapsberegningen av de uisolerte rørene. Måleusikkerhet i termisk kamera har ingen innvirkning på selve lokaliseringen av varmetapene i nettet, ettersom lekkasjene vises ut ifra fargene i termografiene.

5.2.1 Bilder av rørgaten

Bildene gir et innblikk i mangelfull og slitt isolasjon i rørgaten til B.H. Søylediagrammet i figur 4.11 sammenligner resultater fra de ulike målingene gjort med programmet FLIR Tools. Av diagrammet gis det en antydning på hvor stor effekt isolasjon har, da det presenterer differansen mellom isolert og uisolert rør, og differansen mellom slitt og uslitt isolasjon. Gjennomsnittlig differanse mellom uisolert og isolert rør er 51.9°C . Mens differanse mellom slitt og uslitt isolasjon er 30.7°C , dette er på en varmeveksler med en relativt liten rift i isolasjonen. Det gir dermed en antydning på utfallet av slitt isolasjon, da små sprekker kan gi store utslag. Dette er en av mange områder der det ble observert slitt isolasjon. Målet bak figur 4.11 var å illustrere hvor effektiv isolasjon er, og via dette, bidra med å vise hvor mye total isolering av rørgaten vil ha å si for energieffektivisering av fjernvarmesystemet. Disse faktorene gir tilsammen et godt grunnlag for å konkludere at det finnes store varmelekkasjer i rørgaten.

Mange av de uisolerte områdene i rørgaten befinner seg rundt ventiler som i figur 4.4. Dette er områder som kan være vanskelige å isolere på grunn av formen på røret, og det er mulig isolasjon ikke vil ha like stor effekt som på et glatt rør. Ut i fra de termiske bildene blir potensialet for forbedring av isolasjon i rørgaten sett på som stor. Men besparelser for minket varmetap må også veies opp mot kostnaden som kreves for å legge ny isolasjon.

5.2.2 Bilder av porter og dører til tørkekammer

Figur 4.15 og 4.12 illustrerer varmetap gjennom dør til tørkekammere. Temperatur rundt dørrammen i figurene er over 50°C og på befaring ble det observert damp sige ut fra dørene, som førte til at is som la seg på pakningene i dørrammen. Dette kan føre til at pakningene sprekker på grunn av frostsprengning som vil føre til enda mere varmetap. I figurene 4.15 og 4.16 er det bilder av porter til tørkekammere, det observeres store varmetap langs kantene i alle bildene. Det er totalt 14 tørkekammere på anlegget og utifra observasjoner, disse bildene og bilder inkludert i vedlegg under mappen Termisk kamera antas det at alle 14 har lignende tap. Det er vanskelig å anslå eksakte varmetap ut fra tørkekammere og det har ikke blitt prioritert i denne rapporten, men problemet kan mulig løses ved å legge isolasjon langs dørkarmer og langs kanter på portene. Dette anses som et lite energieffektivt område på anlegget med stort potensiale for forbedring.

5.2.3 Lokalisere nedgravde rør

På befaring ble det også forsøkt å lokalisere nedgravde rør ved bruk av termisk kamera. Dette ble ikke vellykket da det ikke var noen utslag på områder der det er antatt at rørene ligger. Dette kan være grunnet været, da det var en varm dag med lite skyer. Forsøkes dette

igjen vil optimale forhold være en kald overskyet dag. Det kan også skyldes at det ikke er store nok varmetap fra rør under bakken til at varmen kommer opp på overflaten.

5.3 Systemets varmetap

Resultatene fra varmetapsberegningene må sees på som en tilnærming til reelt energiforbruk, ettersom flere forenklinger ble foretatt i utregningene. Det totale tapet vil i realiteten alltid variere ut ifra produksjonsmengden på anlegget og klimaforholdene i området. Produksjonsmengden styrer behovet for høyere vanntemperaturer til de ulike tørkeprosessene, og som oppgaven tidligere har beskrevet vil høyere temperatur føre til større varmetap. Omgivelsestemperaturen rundt rørgatene i bakken og friluft vil også påvirke varmetapet, dermed vil været i Kirkenær også ha en direkte innvirkning på varmetapet. Beregningene ble foretatt med hensyn på at alle rørgatene var isolert, men ettersom befaringen på fabrikkområdet avslørte flere uisolerte rørparter kan man med god sikkerhet si at det reelle varmetapet er høyere enn hva resultatet i denne oppgaven tilsier.

5.3.1 Manuelle målinger av temperatur

Det ble gjort forsøk på å foreta manuelle temperaturmålinger av vannet i rørgatene, til bruk i varmetapsberegningene. Det ble benyttet avlange termometer som ble stukket inn i penetreringspunkt i rørgaten. Dette viste seg å være teknisk komplisert fordi man ikke klarte å penetrere rørgatene tilstrekkelig for å nå inn til vannet og gjøre tilfredstillende målinger. Dermed ble det i stede besluttet å anta vanntemperaturer basert på energidata i Energinet.

5.3.2 Avvik i restforbruket 11. mars og 14. april

Resultatet fra sammenligningen av de to dagene i Energinet, med henholdsvis positivt og negativt varmetap, ga ikke noe klart svar på det avvikende restforbruket til B.H. Allikevel ble det avdekket enkelte data som skilte de to datoene fra hverandre. Den mest åpenbare forskjellen var at seks av tørkekammerne ikke var i bruk den 14. April, mens alle tørkere bortsett fra kanal 2 var operative den 11. Mars. Når en tørker er ute av drift vil tilførselen på varmtvann stenges, slik at vannet sirkuleres internt og temperaturen på vannet bevares best mulig. Dette kan tydes ved en lav temperaturforskjell mellom tur og returtemperatur.

Analysen indikerte at noe kan være galt med enkelte av energimålerne. 14. Mars (dagen med negativt restforbruk) ble det observert at flere av kammerene som ikke var i drift hadde høyere temperatur på returvannet enn det som ble målt på turvannet, noe som tilsier at vannet har blitt varmet opp i løpet av syklusen. Dette er å anse som en teoretisk umulighet, med mindre vannet oppvarmes av en intern/ekstern effektkilde. Ettersom det ikke ble

funnet noe bevis på en slik kilde, må man anta at årsaken er at temperatursensorene måler ulikt og har individuelle avvik. Allikevel forventes det at returvannet alltid holder en lavere temperatur som følge av det konstante varmetapet i rørgaten.

5.3.3 Gjennomsnittsdata fra mars og april

Analysen indikerer en åpenbar feil med energimåleren til kammer 8. Målingene fra både mars og april viste at returtemperaturen var høyere en turtemperaturen, returtemperaturen var i gjennomsnitt +9,4C over turtemperaturen i mars, og +5C i april. Det ble også registrert svært lavt forbruk i kammer 8 sammenlignet med de andre tørkekammerene. Analysen av datasettet avdekket også avvik på energimålere hos kammer 5 og 6. I mars ble det målt turtemperatur på begge kammerene, mens ingenting ble målt på retur. Det ble målt volumstrømmer på henholdsvis $0.45m^3$ i kammer 5 og $200m^3$ i kammer 6. Dette tyder på at det har vært noe sirkulasjon i systemet som burde ha gitt en temperaturmåling på returvannet.

5.3.4 Sag, råsortering og verksted

Loggføring av temperatur- og volumstrømsdata fra denne energimåleren ble ikke inkludert i Energinet før 28/03. B.H. ble gjort oppmerksom på dette og Mathias fra Cebyc rettet opp i feilen slik at loggføringen startet. Datasettet fra mars på denne måleren er derfor ikke å anse som fullstendig og dette vil påvirke den teoretiske energiberegningen til en viss grad.

5.3.5 Teoretisk energiforbruk

Det teoretiske energiforbruket vil ikke tilsvare det reelle forbruket fra produksjonen. Dette skyldes at energimålerne opererer med tellerverk, noe som vil si at de måler de momentane vanntemperaturene som forekommer til enhver tid. Siden temperaturdataen i resultater er basert på gjennomsnittlige verdier, vil det teoretiske forbruket fravike reelt forbruk. Beregningen var ment som et visuelt støtteverktøy for å lettere kunne oppdage avvik i målingene. Et eksempel er kammer 8, hvor det ble registrert høyere temperatur på returvannet enn på tur. Energimåleren målte 0 kWh i døgnforbruk, mens den teoretiske beregningen viste et negativt varmetap på -9.579 kWh. Dette gir en god visuell indikator på et avvik, ettersom negativt energiforbruk ikke er noe som skal forekomme i et fjernvarmenett når varme forbrukes.

Kapittel 6

Konklusjon og anbefalinger

6.1 Konklusjon

Den tekniske tegningen som er laget inneholder alle viktige komponenter av fjernvarmenettet til B.H. Fjernvarmerørene er lagt inn med en fargekoding som gjør at man tydelig ser rørdimensjonen. Arbeidet som er lagt ned kan reproduseres og det er ikke gjort antagelser når det kommer til hvor rørene går eller hvor målerne står. At den tekniske tegningen er laget i AutoCAD vil også gjøre at det er lett å fortsette arbeidet dersom det skulle være nødvendig for bedriften å gjøre endringer på området. Om det finnes andre bedrifter som har behov for samme type arbeid legger denne oppgaven godt opp til det, da fargekodinga er god og metodene for å finne plasseringen av rørgater, varmevekslere og andre komponenter lett kan reproduseres. AutoCAD fungerer veldig bra til å lage den tekniske tegningen, det har ikke vært store problem med å redigere fila selv om gruppen måtte lære seg programmet under arbeidet med oppgaven.

Analysen av datamateriellet i Energinet avdekket avvik på flere energimålere på anlegget. Allikevel gir ingen av disse noen entydig forklaring på årsaken til det svingende restregnskapet. Datamålingene tyder på at en eller flere av energimålerne ikke opererer som de skal, og det anbefales derfor å gjøre nærmere undersøkelser og funksjonstesting av målerne. Det bør sørges for at de leser av korrekte temperatur- og volumsstrømsverdier, slik at energiforbruket stemmer. I tillegg må det verifiseres at undermålerne er kalibrert riktig i forhold til hverandre og hovedmålerene hos Solør Bioenergi, slik at utregningen av restregnskapet kan ansees som pålitelig.

Befaringen på B.H. 's anlegg og termisk fotografering avslørte en rekke uisolerte rør og skadet isolasjon på rørgatene. Utregningene viste en potensiell reduksjon i varmetap på opp mot 86 prosent ved etterisolering av uisolerte rørgater. Det vises til de vedlagte termografiene i oppgaven, og anbefales i første omgang å prioritere utbedring av røroverflater med

størst areal og høyest overflatetemperatur; da disse vil stå for det meste av varmetapet. I tillegg avdekket termografiene også porter og dører med svekkede pakninger. Her anbefales det å vurdere en form for tetning rundt kammerporter og dører til kanaltørkerne, da termografiene indikerte størst varmetap fra disse områdene. Dette gjelder da spesielt port til kammer 13 og inspeksjonsdørene til kanal 1 Og 2.

Hvis B.H. forbedrer isolasjonen i sitt varmenett vil det ha en direkte innvirkning på anleggets energieffektivisering. I tillegg vil utbedringene gjøre at bedriften bidrar til at verden når FNs bærekraftsmål for 2030. Et energieffektivt varmenett vil føre til reduksjon i ressursbruken og dermed redusere de totale utslippene knyttet til ressursutvinning. Lavere tap i nettet og mindre bruk av ressurser vil også redusere prisen på oppvarming av anlegget og dermed kunne gjøre fjernvarme til en mer konkurransedyktig form for energi. Utbredt bruk av fjernvarme vil bidra til å avlaste det elektriske nettet ved at strømbehovet til oppvarming kan reduseres. Den frigjorte energien kan da benyttes i andre kraftkrevende sektorer, eller eksporteres til land som per dags dato er avhengige av fossilt brensel. Slik kan fjernvarme ha en direkte innvirkning på det globale utslippet av klimagasser.

6.2 Videre arbeid

Da oppgaven omhandler et eldre fjernvarmenett og det ble gjort funn som ikke kan utredes i arbeidet med selve bacheloroppgaven er det på plass med et lite kapittel om videre arbeid og anbefalinger til bedriften.

6.2.1 Hva kan den tekniske tegningen brukes til?

Den tekniske tegningen kan brukes til detaljert utredning, dersom det for eksempel er ønskelig å utvide produksjonen på området. Da vil den tekniske tegningen være til hjelp for å bestemme hvor ulik produksjon kan foregå best i forhold til eksisterende infrastruktur. For eksempel vil det være mulig å bruke røret som går til bygg 16 til å levere varme til nye tørkere, da dette røret er veldig overdimensjonert siden det kun brukes til oppvarming av bygg 16. Den tekniske tegningen er relevant for FNs bærekraftsmål da det bidrar med å gi B.H en bedre infrastruktur. Dersom det skulle være behov for å grave på området vil den tekniske tegningen gjøre dette til en mindre spennende jobb, da det blir mindre risiko for å treffe rør når man vet hvor de ligger. På den måten vil fremtidig arbeid på anlegget ha større mulighet til å bli mere bærekraftig. Den tekniske tegningen gir også grunnlag for mer effektiv energibruk da det gir informasjonen om effekten til varmevekslere. Utifra dette kan eventuelle utvidelser planlegges etter energibruk og hvilken varmeveksler som har mulig-

het for å levere ønsket effekt. Dette betyr også at utbyggingen kan bli billigere. Dersom det skulle bli oppdaget skader på rørstrekk vil den tekniske tegningen også være til hjelp, da man kan planlegge tørking og bruken av andre energikilder til oppvarming i forhold til hvor i nettet man har tilgang til varme.

6.2.2 Oppdatering av den tekniske tegningen

Dersom det skal graves ved rør kan det være greit å ta et målband for å sjekke omkretsen og verifisere DN ut ifra dette. Her må man ta bort de 10 centimeterne med isolasjon. Dette kan gjøres for å være helt sikker på rørets dimensjon. Man bør også være oppmerksom på rørets og isolasjonens tilstand. Det anbefales å oppdatere den tekniske tegningen dersom det kommer nye rørstrekk eller dersom gamle rørstrekk skal fjernes. Oppdatering av den tekniske tegningen kan gjøres i AutoCAD.

6.3 Kontribusjoner i tillegg til oppgavebesvarelsen

Fremgangsmetoden til den tekniske tegningen i denne oppgaven kan benyttes til å få oversikt over infrastruktur i eldre fjernvarmesystemer som mangler en slik oversikt. Det er også produsert to beregningsverktøy i form av Excel-filer, som kan brukes til å beregne varmetap fra uisolerte rør og distribusjonsledninger i fjernvarmenett. Disse verktøyene kan komme godt med i en vurdering av etterisolasjon og planlegging av fjernvarmenett/utbygging av eksisterende nettverk.

Bibliografi

- [1] SSB. (2015). «Fjernvarme og Fjernkjøling,» adresse: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/fjernvarme/aar/2016-05-13?fane=om>.
- [2] SSB. (2020). «Stadig mer bruk av fjernvarme,» adresse: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/stadig-mer-bruk-av-fjernvarme>.
- [3] Regjeringen. (2018). «Ny rapport om energibruk i oppvarming og kjøling,» adresse: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-rapport-om-energibruk-i-oppvarming-og-kjoling/id2696634/>.
- [4] Fjernvarme. (2020). «Fjernvarme,» adresse: <https://www.fjernvarme.no/fakta/fjernvarme>.
- [5] Statkraftvarme. (2020). «Klima og Miljø,» adresse: <https://www.statkraftvarme.no/om-fjernvarme/Klima-og-miljo/>.
- [6] Energinet. (2021). «Energinet,» adresse: https://www.energinet.net/report_new/default/index/id/meter_values.
- [7] B. Einardsrud, personal communication, 2021.
- [8] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund og B. V. Mathiesen, «4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems,» *Energy*, årg. 68, s. 1–11, 2014.
- [9] A. Volkova, V. Mašatin og A. Siirde, «Methodology for evaluating the transition process dynamics towards 4th generation district heating networks,» *Energy*, årg. 150, s. 253–261, 2018.
- [10] R. Klefstad, S. E. Høiby og U. C. Næss, «Potensialet for optimalisering av fjernvarme-forbruk i eksisterende bygg,» B.S. thesis, NTNU, 2019.
- [11] Enova. (2020). «Akkumulatortank,» adresse: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/akkumulatortank/>.
- [12] P. Jie, F. Yan, J. Li, Y. Zhang og Z. Wen, «Optimizing the insulation thickness of walls of existing buildings with CHP-based district heating systems,» *Energy*, årg. 189, s. 116 262, 2019.

- [13] H. Lund, B. Muller, B. V. Mathiesen og A. Dyrelund, «The role of district heating in future renewable energy systems,» Energy, årg. 35, nr. 3, s. 1381–1390, 2010.
- [14] Skogveven. (2018). «Treindustri,» adresse: <http://www.skogveven.no/lex.cfm?id=353>.
- [15] M. Foslie. (2020). «Trelastindustri,» adresse: <https://snl.no/trelastindustri>.
- [16] B. Landsforening, «Grønt Skifte - byggenæringens bidrag til løsning,» BNLs miljø- og energipolitikk m. årg. 1, nr. 1, s. 1–12, 2016.
- [17] SNL. (2020). «Parisavtalen - SNL,» adresse: <https://snl.no/Parisavtalen>.
- [18] FN. (2020). «Parisavtalen,» adresse: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>.
- [19] FN. (2020). «FNs bærekraftsmål,» adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>.
- [20] FN. (2020). «Ren energi til alle,» adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>.
- [21] FN. (2020). «Industri, Innovasjon og Infrastruktur,» adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur>.
- [22] FN. (2020). «Ansvarlig forbruk og produksjon,» adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon>.
- [23] FN. (2020). «Stoppe Klimaendringene,» adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>.
- [24] Fjernvarme. (2018). «Fjernvarme,» adresse: <https://www.fjernvarme.no/fakta/fjernvarme>.
- [25] A. Gebremedhin, Kompendium fjernvarmedelen i emnet FENG2001 Elektriske energisystem og fjernvarme 2018, bd. 1, s. 52–54.
- [26] M. G. Patterson, «What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues,» Energy policy, årg. 24, nr. 5, s. 377–390, 1996.
- [27] P. O. Aasen, personal communication, 2021.
- [28] S. W. Svend Fredriksen, District Heating and Cooling. 2014, bd. 1, s. 76–77.
- [29] AG. (2021). «Fisketørker - Trelasttørker,» adresse: <https://www.ag.no/produkter-og-tjenester/fisket%C3%B8rker-trelastt%C3%B8rker>.
- [30] M. Eikerol, «1: Energisparing og energiøkonomisering ved trelasttørking,» årg. 1, s. 12, 1981.
- [31] Wikipedia. (2021). «Specific heat capacity,» adresse: https://en.wikipedia.org/wiki/Specific_heat_capacity.

- [32] Adgefficiency. (2021). « $Q = m C_p dT$,» adresse: <https://adgefficiency.com/energy-basics-q-m-cp-dt/>.
- [33] A. T. Al-Sammarraie og K. Vafai, «Heat transfer augmentation through convergence angles in a pipe,» Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, årg. 72, nr. 3, s. 197–214, 2017.
- [34] Engineeringtoolbox. (2003). «Ethylene Glycol Heat-Transfer Fluid,» adresse: https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html.
- [35] Indeeco. (2015). «How to Calculate Heat Loss,» adresse: <https://indeeco.com/news/2015/01/02/how-calculate-heat-loss>.
- [36] Engineeringtoolbox. (2003). «Radiation Heat Transfer,» adresse: https://www.engineeringtoolbox.com/radiation-heat-transfer-d_431.html.
- [37] Engineeringtoolbox. (2003). «Emissivity Coefficient Materials,» adresse: https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html.
- [38] Chegguide. (2015). «Heat Loss from Insulated Pipe,» adresse: https://cheguide.com/heat_loss_insulation.html.
- [39] T. E. of Encyclopaedia Britannica. (2021). «Stefan-Boltzmann law,» adresse: <https://www.britannica.com/science/Stefan-Boltzmann-law>.
- [40] M. G. W. M. Communication. (2014). «Examples of Convection,» adresse: <https://examples.yourdictionary.com/examples-of-convection.html>.
- [41] Engineersedge. (2021). «Convection heat transfer coefficients equations and calculator,» adresse: https://www.engineersedge.com/heat_transfer/convection_heat_transfer_coefficients_13855.htm.
- [42] A. S. Hashemi. (2011). «Conduction Heat Transfer,» adresse: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/conduction-heat-transfer>.
- [43] S. Structurals. (2019). «Comparing the Thermal Conductivity of Stainless Steel to other Metals,» adresse: <https://www.stainless-structurals.com/blog/comparing-the-thermal-conductivity-of-stainless-steel-to-other-metals/>.
- [44] T. green age. (2020). «Loft insulation - An introduction,» adresse: <https://www.thegreenage.co.uk/article/thermal-conductivity-r-values-and-u-values-simplified/>.
- [45] B. Bøhm, «On transient heat losses from buried district heating pipes,» International journal of energy årg. 24, nr. 15, s. 1311–1334, 2000.
- [46] B. D. AS, «Projektering 9:301,» årg. 1, s. 1, 2020.
- [47] Rockwool. (2020). «Rørskål 800 m/tape,» adresse: <https://www.rockwool.no/produkter/vvs/rorskal-800-mtape/?sortiment=undefined&selectedCat=brosjyrer>.

- [48] A. Dalla Rosa, H. Li og S. Svendsen, «Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses,» *Energy*, årg. 36, nr. 5, s. 2407–2418, 2011.
- [49] F. universe. (1995). «Autodesk, Inc. History,» adresse: <http://www.fundinguniverse.com/company-histories/autodesk-inc-history/>.
- [50] Catphones. (2020). «HOW ACCURATE IS THE TEMPERATURE MEASUREMENT USING THE FLIR THERMAL CAMERA?» Adresse: <https://www.catphones.com/en-ie/faq/how-accurate-is-the-temperature-measurement-using-the-flir-thermal-camera/>.
- [51] W. Minkina og S. Dudzik, *Infrared thermography: errors and uncertainties*. John Wiley & Sons, 2009.
- [52] E. Faye, O. Dangles og S. Pincebourde, «Distance makes the difference in thermography for ecological studies,» *Journal of Thermal Biology*, årg. 56, s. 1–9, 2016.
- [53] Y. Song og Y. Jing, «Urban Planning and Design Based on AutoCAD to Expand GIS Function,» 2020.
- [54] D. E. Weisberg. (2006). «Chapter 8 Autodesk and AutoCAD,» adresse: <http://cadhistory.net/08%20Autodesk%20and%20AutoCAD.pdf>.
- [55] R. Ali, J. Zeng, M. Kavacic og Y.-J. Cha, «Heat loss detection using thermal imaging by a small UAV prototype,» i *Smart Structures and NDE for Industry 4.0, Smart Cities, and Energy Systems* International Society for Optics og Photonics, bd. 11382, 2020, 113820S.
- [56] Flir. (2020). «How do thermal cameras work?» Adresse: <https://www.flir.com/discover/rd-science/how-do-thermal-cameras-work/>.
- [57] Biltema. (2021). «Termometer/hygrometer test,» adresse: https://www.biltema.no/hjem/oppbevaring/oppbevaringsbokser/termometerhygrometer-test-2000043373?gclid=CjwKCAjwhMmEBhBwEiwAXwFoEQGtdyXJANLWJg7e4c_LrkNY0psxDvabJiDe4RQ0LQz1zy89gXtgVBwE.
- [58] N. og Meteorologisk institutt. (2020). «Temperaturdata Kongsvinger 2020,» adresse: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-90090/Norge/Innlandet/Kongsvinger/Kongsvinger?q=2020>.

