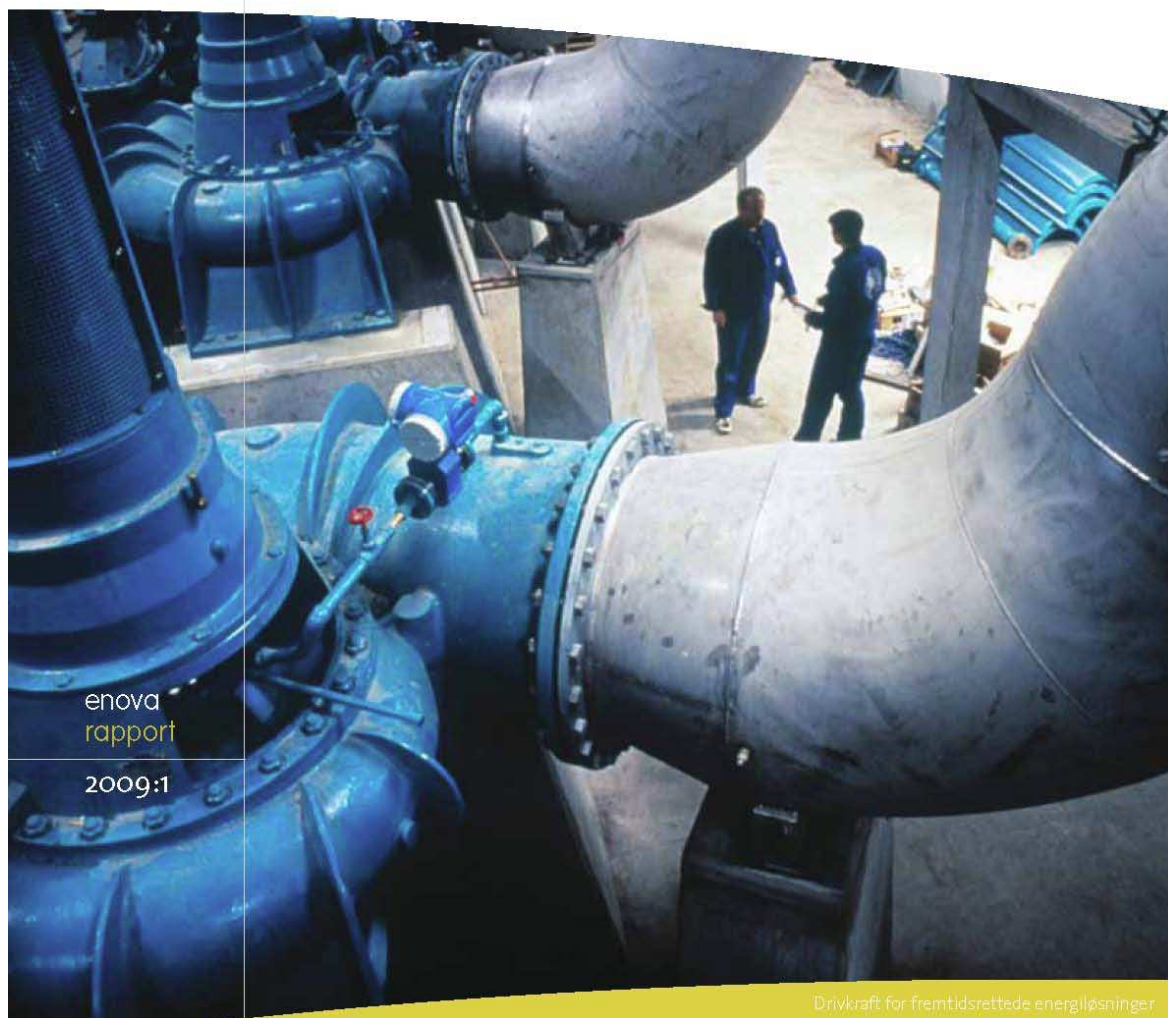


# Utnyttelse av spillvarme fra norsk industri

– en potensialstudie



enova  
rapport  
2009:1

Oppdragsnavn/dokumentnavn: <b>Potensialstudie for utnyttelse av spillvarme fra norsk industri</b>		<b>REVISJONSKODER:</b> (Se spesifikasjon KNE01-JS-0001) K : Intern arbeidsutgave A : Utgave for intern tverrfaglig kontroll (IDK) B : For kommentar hos oppdragsgiver C : For anbud- / tilbudsforespørsel D : For kontrakt E : For bygging/fabrikasjon/implementering/iverksettelse F : Som bygget, endelig utgave U : Utgått			
		<b>STATUSKODER:</b> (Se spesifikasjon KNE01-JS-0001) 1 : Akseptert for angjeldende bruk 2 : Akseptert med kommentar 3 : Ikke akseptert 4 : Ikke gjennomgått. (mottatt for informasjon)			
Oppdragsgiver: <b>Enova</b>	Tilgjengelighet: <b>Åpen</b>	Henvisning:			
Oppdragsgivers referanse: <b>SID:08/230</b>	Utarbeidet av: <b>Geir Sollesnes, Hans Even Helgerud</b>				
Ekstrakt:  Norsk Energi og NEPAS har kartlagt kilder og utredet mulighetene for å utnytte spillvarme fra norsk industri. Følgende bransjer er undersøkt: næringsmiddel, treforedling, sement- og Leca, kjemisk, aluminium og ferrolegeringer, dessuten en del andre energitunge bedrifter og de største avfallsforbrenningsanleggene.  Det er utarbeidet en forenklet "Veileder" som kan brukes for en første vurdering av om utnyttelse av spillvarme kan være teknisk/praktisk mulig og lønnsomt. Aktuelle teknologier er beskrevet. Rapporten peker på fire områder som bør prioriteres for teknologiutvikling.  Barrierer for utnyttelse av spillvarme fra industri er satt opp, og det er pekt på incentiver som kan gi økt utnyttelse.					
UTGIVER					OPPDAGSGIVER
E01	12.02.2009	Endelig	GES	HEK	ROV
A01	05.01.2009	Test	GES	GES	
Rev.	Dato	Tekst	Laget	Sjekket	Godkjent
			Sjekket		Status
Stikkord: <b>Spillvarme</b>		<b>Industri</b>		<b>Kraftproduksjon</b>	
<b>Fjernvarme</b>					
<b>Dokument-Nummer</b>	Oppdragsnummer Referansenummer <b>28769</b>	Dokumentkode: <b>TU</b>	Løpenummer: <b>0001</b>	Revisjon: <b>E01</b>	ISBN:
					Side 1 av 7

## Forord

Enova og Norsk Industri inngikk i 2007 en samarbeidsavtale for ytterligere å bidra til å gjøre industrien mer energieffektiv og å øke bruken av fornybare energikilder der det er mulig.

Som del av denne avtalen har partene i fellesskap tatt initiativ til å få gjennomført en bred kartlegging av teknisk og utnyttbart energipotensial for el- og varmeleveranser basert på spillvarme fra norsk industri. I denne kartleggingen er om lag 100 utvalgte bedrifter innenfor bransjene aluminium, ferrolegering, sement og Leca, treforedling, kjemisk og næringsmiddel blitt bedt om å bidra.

Oppdraget med studien er gjennomført av Norsk Energi i samarbeid med NEPAS.

Enova og Norsk Industri takker Norsk Energi og NEPAS for vel utført arbeid, og sender også en stor takk til alle bedrifter som har avsatt tid og stilt egne grunnlagsdata tilgjengelig for denne studien.

Enova 2. februar 2009

Boy Kåre Kristoffersen

## Innholdsfortegnelse

0	SAMMENDRAG.....	6
	SUMMARY .....	7
1.	INNLEDNING.....	7
1.1	Bakgrunn.....	7
1.2	Formål.....	7
1.3	Organisering.....	7
1.4	Bransjer.....	7
1.5	Begreper.....	7
1.6	Arbeidsmetodikk .....	7
2	SPILLVARMERESSURSER.....	7
2.1	Næringsmiddel .....	7
2.2	Treforedling .....	7
2.3	Sement og leca .....	7
2.4	Kjemisk.....	7
2.5	Aluminium .....	7
2.6	Ferrolegering.....	7
2.7	Øvrig industri .....	7
2.8	Avfallsforbrenning .....	7
2.9	Geografisk fordeling.....	7
2.10	Mulig kraftproduksjon.....	7
3	TEKNOLOGI .....	7
3.1	Omvandling fra varme til kraft .....	7
3.1.1	Damp turbin.....	7
3.1.2	Damp motor.....	7
3.1.3	Stirling-motor .....	7
3.1.4	ORC .....	7
3.1.5	Kalina Cycle.....	7
3.1.6	Oppsummering teknologidata .....	7
3.2	Varmepumpe.....	7
3.2.1	Generelt.....	7
3.2.2	Prosess.....	7
3.2.3	Typer.....	7
3.2.4	Leveranse .....	7
3.2.5	Utvikling .....	7
3.3	Behov for teknologiutvikling .....	7
4	VEILEDER.....	7
4.1	Generelt.....	7
4.2	Trinn 1 .....	7
4.2.1	Teknikk, produkt .....	7
4.2.2	Effekt.....	7
4.3	Trinn 2 .....	7
4.3.1	Kraftproduksjon.....	7
4.3.2	Fjernvarme. ....	7

4.4	Trinn 3 – fjernvarme.....	7
4.4.1	Fjernvarmegrunnlag.....	7
4.4.2	Dimensjonering - energi og effektbehov .....	7
4.4.3	Investeringskostnader varmeproduksjon.....	7
4.4.4	Investeringskostnader infrastruktur .....	7
4.4.5	Driftskostnader .....	7
4.4.6	Eksempler.....	7
5	BARRIERER OG INCITAMENTER.....	7
5.1	Grunnleggende forhold.....	7
5.2	Tekniske forhold .....	7
5.2.1	Temperatur. ....	7
5.2.2	Effekt, energi og varighet.....	7
5.2.3	Geografisk avstand. ....	7
5.2.4	Forurensing av spillvarmen.....	7
5.3	Infrastruktur .....	7
5.4	Barrierer i beslutningsprosesser/saksbehandling i bedriftene.....	7
5.4.1	Lønnsomhet.....	7
5.4.2	Kapitaltilgang .....	7
5.4.3	Interne ressurser.....	7
5.4.4	Interesse/engasjement .....	7
5.4.5	Kompetanse.....	7
5.4.6	Risiko.....	7
5.5	Incitamenter .....	7
6	REFERANSER .....	7
	Figurliste: .....	7

## 0 SAMMENDRAG

### *Bakgrunn*

Enova og Norsk Industri etablerte i 2007 en samarbeidsavtale om felles aktiviteter for mer effektiv energibruk og økt bruk av fornybare energikilder i norsk industri. Et av samarbeidsprosjektene i avtalen omhandler kartlegging av utnyttbar spillvarme. Norsk Energi og NEPAS har på denne bakgrunn kartlagt kilder og utredet mulighetene for å utnytte spillvarme fra norsk industri.

### *Formål*

Formålet med studien er:

- å gi detaljert info om utnyttbar spillvarme fra norsk industri, herunder gi underlag så Enova kan klarlegge hvor de bør satse innenfor feltet spillvarme fra industri.
- å være et hjelpemiddel for bedrifter/kommuner så de enkelt kan se hvor de ikke bør bruke ressurser til å undersøke anvendelse av spillvarme.

### *Spørreundersøkelse spillvarme*

Bransjer som har inngått i undersøkelsen er:

NACE 15-16	Næringsmiddel
NACE 20.2/21.1	Treforedling (masse- og papirfabrikker samt wallboard)
NACE 23.5	Sement- og Leca
NACE 23/24	Kjemisk
NACE 27.4	Aluminium
NACE 27.1/27.4	Ferrolegeringer
-	Øvrig industri/ilandføringsterminaler
-	Avfallsforbrenningsanlegg

Spørreskjema om unyttet spillvarme er sendt til totalt 105 stk bedrifter.

Skjemaset er blitt besvart av 72 industribedrifter som til sammen representerer 53,7 TWh/år energibruk, det utgjør 63 % av energibruken i norsk fastlandsindustri. I tillegg er skjemaet blitt besvart av fire avfallsforbrenningsanlegg som til sammen representerer ca 50 % av kapasiteten i Norge.

Samlet rapportert unyttet spillvarme fra bedriftene utgjør 19,2 TWh/år med 0 °C som referanse.

Geografisk fordeling er vist på kart i kap 2.2. Spillvarmen fordeler seg på temperaturnivåene:

7,0 TWh med temperatur > 140 °C
3,1 TWh med temperatur 60 - 140 °C
5,8 TWh med temperatur 40 - 60 °C
3,3 TWh med temperatur 25 - 40 °C

Teknisk/økonomisk mulig kraftproduksjon fra brenngass eller spillvarme med temperatur > 350 °C er beregnet til 900 GWh/år.

Beregnet kraftproduksjon fra spillvarme med temperatur 60 - 350 °C er 250 GWh/år. Det er da forutsatt at Stirling-motor og ORC-prosess er/blir kommersiell og lønnsom teknikk for industriell kraftproduksjon.

45 bedrifter utnytter større spillvarmemengder i dag. 36 bedrifter rapporterer at de har planer for å utnytte mer spillvarme internt eller eksternt.

#### *Veileder*

Det er utarbeidet en forenklet ”Veileder” som kan brukes for en første vurdering av om utnyttelse av spillvarme kan være teknisk/praktisk mulig og lønnsomt. Veilederen består av:

- Et blokkdiagram som viser hvilke teknikker og hvilke produkter som er aktuelle ut fra spillvarmens temperatur.
- Et Excel program som angir mulig teknologi og beregner mulig kraftproduksjon og lønnsomhet for spillvarme med temperatur < 350 °C, samt angir mulig energileveranse til et fjernvarmesystem.
- Orienteringsstoff og eksempler for videre vurdering av muligheter for å utnytte spillvarme i fjernvarmesystemer.

Veilederen har ”romslige” kriterier slik at de fleste prosjekter vil fremstå som gunstigere enn de viser seg å være ved en grundigere vurdering.

Bruk av spillvarme i prosesser er ikke tatt med fordi slik bruk vil være bransje- og bedriftsspesifikk. Dette gjelder både bruk i egen bedrift og bruk i nærliggende bedrifter.

#### *Teknologi*

Beskrivelse med teknologidata er satt opp for følgende teknologier:

- Dampturbin
- Dampmotor
- Stirling-motor
- ORC (Organic Rankine Circle)
- Kalina Cycle
- Varmepumper

#### *Behov for teknologiutvikling*

Undersøkelsen peker på behov for teknologiutvikling innenfor fire områder:

- Full-kommersialisere utstyr for kraftproduksjon fra spillvarmekilder med temperatur ned mot 60-70 °C.
- Utprøve LT-dampturbiner i Norge.
- Videreutvikle varmpumper for høy temperatur.
- Utvikle teknologi som muliggjør kraftproduksjon fra varmekilder med temperatur lavere enn 60-70 °C.

#### *Barrierer*

Det er mange ulike barrierer/begrensninger for utnyttelse av spillvarme.

To grunnleggende forhold er:

- Industribedriftens fremtid.
- Pris for spillvarmen i forhold til alternativ energipris.

Andre barrierer:

- Tekniske barrierer er primært temperatur, effekt og energi, geografisk avstand mellom kilde og bruker, samt om spillvarmekilden er forurenset.
- Mangel på utbygde fjern-/nærvarmesystemer og store kostnader for å anlegge slike systemer.

- Beslutningsprosesser/saksbehandling i bedriftene. Tilstrekkelig lønnsomhet og kapitaltilgang er normalt ufravikelige krav. Andre mulige barrierer er tilgang på interne ressurser, interesse/engasjement, kompetanse, risiko og planlagte endringer i bedriften.

*Incitamenter*

Lønnsomhet og miljø er som regel de viktigste årsakene til at en bedrift ønsker å realisere prosjekter med spillvarme.

Investerings- og/eller driftsstøtte, gunstige låneordninger eller 3. part finansiering er viktige tiltak som kan hjelpe frem prosjekter for å utnytte spillvarme.



## SUMMARY

### *Background*

In 2007 Enova and the Federation of Norwegian Industries signed an agreement for a common impact of a more efficient energy use and extended use of renewable energy sources in Norwegian industry.

One of the projects in this agreement, compile mapping of unexploited waste heat.

Based on this Norsk Energi and NEPAS have mapped the large sources in order to utilise waste heat from the Norwegian industry.

### *The goal*

The goal with this study is as follow:

- give detailed information about unexploited waste heat from Norwegian industry. This include information to Enova in order to decide the impact area for waste heat treatment
- develop a tool for private and public sector to decide the field of effort in order to focus on the proper utilisation of waste heat

### *Survey of waste heat utilisation*

The sectors involved in the survey are:

NACE 15-16	Food processing
NACE 21.1/20.2	Wood processing (pulp & paper mills and wallboard)
NACE 23.5	Cement and building block processing
NACE 23/24	Chemistry
NACE 27.4	Aluminium
NACE 27.1/27.4	Ferro alloy

Additionally 14 energy intensive industrial companies/oil and gas landing terminals, and 6 household waste combustion plants.

A questionnaire about not utilised waste heat was sent to 105 companies. 72 companies have replied, which represents 63 % of the total energy consumption in industry. In addition, 4 waste combustion plants have replied. They represent approximately 50 % of the Norwegian capacity.

Total data from about not utilised waste heat from industry make 19,2 TWh/year, with 0°C outdoor temperature reference point. A geographical dispersion is shown on the map in chapter 2.2. The waste heat is allocated on the following temperature levels:

7,0 TWh with temperature > 140 °C
3,1 TWh with temperature 60-140 °C
5,8 TWh with temperature 40-60 °C
3,3 TWh with temperature 25-40 °C

Generation of electricity using fuel gas or waste heat higher than 350 °C, and reliable technical and economical assessment, is estimated to 800 GWh/year. The potential for power generation based on waste heat on the temperature level 60 - 350 °C is estimated to 250 GWh/year.

This is based on a proper technology development of the Stirling engine and the ORC process as commercial technologies for industrial power generation.

36 % of the companies involved has reported their interest and plans to utilise more waste heat for internal or external consumption.

#### *Guide*

A simplified guide for making a feasibility study is developed with respect to technical/economical assessment.

The contents of the guide are:

1. A graph giving a visual view of feasible technology and products relevant to the waste heat temperature.
2. A spreadsheet that gives the view of feasible technical solution and calculate a potential power production and profit, by using waste heat with temperature less than 350 °C. Additionally the spreadsheet indicates feasible energy distribution to a district heating system.
3. Examples and literature for assessment of waste heat utilisation in district heating systems.

The guide has extensive criteria for project assessment, which means that most projects will appear more profitable than they actually are by using more accurate criteria for assessment.

Use of waste heat in industrial processes is not estimated due to sector and company specific reasons. This is both for own company but also for district enterprises.

#### *Technology*

The report gives key data for the following technologies:

Steam turbine  
Steam engine  
Stirling engine  
ORC (Organic Rankine Circle)  
Kalina Cycle  
Heat pump

#### *Need for development of technology*

Investigation undertaken, points out need for development within four areas:

- Commercialisation of technology which give possibility to generate electricity by using heat sources with temperature down to 60-70 °C.
- Demonstration of LP-steam turbine in Norway.
- Development of heat pumps for high temperature.
- Develop technology that makes it possible to generate power from lower temperature than 60-70 °C.

#### *Barriers*

You will find many different barriers and limitations by using waste heat.

We are talking about two fundamentals:

1. The future of the company.
2. The waste heat price compared to other competitive energy prices.

Other barriers include:

- Technical barriers are basically temperature, power, energy, geographical distance between the heat source and end user, and finally if the waste heat is polluted.
- Lack of district heating systems and high investment for developing systems like this.
- Profitability and competition with other alternative investments.

#### *Incentives*

Profitability and environment are the most important incentive for waste heat investment.

Subsidies and soft-loans or third part financing are other important economical instruments to succeed.

## 1. INNLEDNING

### 1.1 BAKGRUNN

Enova og Norsk Industri etablerte i 2007 en samarbeidsavtale om felles aktiviteter for mer effektiv energibruk og økt bruk av fornybare energikilder i norsk industri. Et av samarbeidsprosjektene i avtalen omhandler kartlegging av utnyttbar spillvarme.

I PIL-studien ”Potensialet for mer miljøeffektiv energibruk og produksjon i norsk prosessindustri” (1), utført av Kjelforeningen – Norsk Energi og Institutt for Energi-teknikk høsten 2002, konkluderes det med et samlet spillvarmepotensial på 9 TWh.

I studien deltok 4 energitunge bransjer; treforedling, ferrolegeringer, sement og Leca og aluminium, disse representerte til sammen 56 % (ca. 36 TWh) av samlet energibruk i norsk industri. Petroleum og kull/koks som råstoff samt drivstoff for kjøretøyer er da ikke regnet som energibruk. Både prosessmessige forbedringer av energibruk og utnyttelse av spillvarme ble undersøkt.

Med bakgrunn i denne studien gjennomførte Kjelforeningen - Norsk Energi i 2002 studien ”Strukturering av spillvarmepotensial – Vurdering av prosjekter for spillvarmeutnyttelse i fire energitunge bransjer” (2).

NEPAS utførte i 2007 studien ”Store energipotensialer i næringsmiddelindustrien – Energieffektivisering i næringsmiddelindustrien – en potensialstudie” (3).

På oppdrag fra Enova ble PIL-studien (1) gjenstand for en revitalisering høsten 2007. Oppdraget, ble den gang utført av Reinertsen Engineering m.fl. Arbeidet tok utgangspunkt i tiltakslistene fra den opprinnelige studien i de samme næringene og søkte å avdekke i hvilken grad de definerte tiltakene var blitt realisert.

Med unntak av aluminiumsindustrien, som i denne perioden gjennomførte betydelige investeringer i en omlegging fra Søderberg til prebake-teknologien, viser den nye kartleggingen at kun en beskjeden andel av identifiserte tiltak fra 2002 faktisk er gjennomført. Dette til tross for at en betydelig andel av disse lå i kategorien meget lønnsom. En del tiltak er dog under gjennomføring og vil realiseres i de nærmeste årene med utgangspunkt i kontrakter inngått mellom Enova og enkeltbedrifter.

Studiene indikerer at ulike typer barrierer skaper utfordringer med hensyn på utnyttelse. Dette gjør at det faktiske virkelighetsbildet, hvor stor del av spillvarmen som i praksis kan forventes utnyttet, bør klargjøres og kvantifiseres. Likeledes bør behov for teknologiutvikling klargjøres.

### 1.2 FORMÅL

Studien skal gi detaljert informasjon om utnyttbare spillvarmekilder i industrien, og være et underlag så Enova kan klarlegge hvor de bør satse innenfor feltet spillvarme fra industri.

Likeledes skal studien være et hjelpemiddel for bedrifter/kommuner så de enkelt kan se hvor de ikke bør bruke ressurser til å undersøke anvendelse av spillvarme.

### 1.3 ORGANISERING

Basis for arbeidet var Avtale SID:08/230 mellom Norsk Energi og Enova SF om utførelse av "Potensialstudie for utnyttelse spillvarme fra Norsk Industri".

Avtalen ble 12.1.2009 utvidet til også å omfatte 19 andre bedrifter.

Arbeidet er utført av Norsk Energi (NE) og NEPAS i arbeidsfellesskap.

Prosjektansvarlig:	Avd.sjef Ronny Valjord, Norsk Energi
Prosjektleder:	Geir Sollesnes, NE
Ass. prosjektleder:	Hans Even Helgerud, NEPAS
Prosjektmedarbeidere:	Thor Brønlund, NE
	Tor Olav Eikrem, NE
	Ida Falch, NE
	Hans Fauske, NE
	Endre Ottesen, NEPAS
	Raffaele Ragazzon, NE

### 1.4 BRANSJER

Studien omfatter følgende energitunge bransjer:

NACE 15-16	Næringsmiddel
NACE 20.2/21.1	Treforedling (masse- og papirfabrikker samt wallboard)
NACE 23.5	Sement- og Leca
NACE 23/24	Kjemisk
NACE 27.4	Aluminium
NACE 27.1/27.4	Ferrolegeringer
-	Øvrig industri/ilandføringsterminaler
-	Avfallsforbrenningsanlegg

I bransjene treforedling, sement- og Leca, aluminium samt ferrolegeringer ble alle fabrikkene tilskrevet.

I bransjene næringsmiddel og kjemisk industri har bedrifter med energibruk større enn 20 GWh/år blitt tilskrevet.

For "øvrig industri/ilandføringsterminaler" er 14 bedrifter/ilandføringsterminaler med energibruk større enn 200 GWh/år blitt tilskrevet.

De 6 største avfallsforbrenningsanleggene ble tilskrevet.

### 1.5 BEGREPER

#### *Spillvarme*

"Spillvarme" er ikke definert i spørreskjemaet, men bedriftene er bedt om å oppgi sine større spillvarmekilder. Prosjektets gjennomgang av besvarelser har til dels gått ut på å sjekke at de viktigste kildene er rapportert. I tråd med dette er da for eksempel spillvarme fra trykkluftkompressorer eller ventilasjonsluft fra bygninger stort sett ikke tatt med fra de energitunge bransjene.

Bare spillvarme som ikke utnyttes internt eller eksternt, er kartlagt.

All spillvarmeenergi er rapportert med 0 °C som referanse. Av denne grunn blir for eksempel energien i avløpsvann med moderat temperatur forholdsvis høy, og betydelig høyere enn energibruken som har varmet opp vannet.

Brenngass er tatt med som spillvarme og registrert i gruppen med temperatur over 140 °C. Tre bedrifter har rapportert at de har brenngass som ikke utnyttes i dag.

#### *Fjernvarme*

I samlebegrepet fjernvarme inkluderes både store konvensjonelle fjernvarmesystemer og nærvarmesystemer med begrenset antall brukere.

Fjernvarmesystemene kan operere med ulike temperaturområder.

## **1.6 ARBEIDSMETODIKK**

### *Spillvarme-ressurser*

For å få kartlagt spillvarme-ressursene fikk hver fabrikk tilsendt et spørreskjema, se vedlegg 1.

Kontaktpersoner ved bedriftene ble hentet fra Enovas Industrinettverk supplert med kontaktpersoner fra Norsk Industri. En del bedrifter utnevnte etter henvendelsen andre kontaktpersoner.

Bedrifter som ikke hadde svart innen fristen ble purret med mail og en eller flere telefonhenvendelse.

Data i besvarte skjemaer ble sjekket av fagpersoner for de enkelte bransjer. Mange bedrifter ble kontaktet for nærmere avklaring eller supplering av tallene.

Data fra skjemaene ble lagt inn i en database og brukt som underlag for det videre arbeid.

Dataene fra hver bedrift er konfidensielle. Bare aggregerte verdier vises derfor i åpen rapport, kun Enova har tilgang til databasen.

### *Veileder for grovvurdering av mulighet for å utnytte spillvarmeressurser*

Utforming og faglig innhold i "Veilederen" ble til dels utarbeidet i møter med ressurspersoner fra Norsk Energi.

Veilederen dekker bruk av spillvarme til:

- Kraftproduksjon
- Fjernvarme
- Fiskeoppdrett og jordvarme

Mulighet for intern eller ekstern utnyttelse til prosessformål vil være bedrifts-/bransjespesifikk og er derfor ikke tatt med i Veilederen.

### *Beskrivelse teknologi*

I beskrivelsen av teknologier for omforming av spillvarme til kraft eller fjernvarme er liste over ønskede teknologidata fra Enova brukt som utgangspunkt.

Firmaene Single Phase Power AS (SPP) og Opcon AB har vært behjelpelig med utforming av kapitlene om Stirling-motor resp. ORC.

*Barrierer for utnyttelse av spillvarme*

Barrierer i saksbehandling/beslutningsprosesser er diskutert i Norsk Industri's Arbeidsgruppe Grønn Energi, og er kommentert av Vattenfall Power Consultants.

## 2 SPILLVARMERESSURSER

Spillvarme i form av vann, damp og avgass med temperatur høyere enn omgivelsestemperatur finner vi i alle industribedrifter. Denne kartleggingen er konsentrert om de virksomhetene som har de antatt største ressursene.

105 bedrifter er forespurt. 72 bedrifter eller 69 % av de spurte har respondert på spørreundersøkelsen. Til sammen bruker disse bedriftene om lag 53,7 TWh/år. Dette utgjør 63 % av energibruk i norsk fastlandsindustri når energi i innsatsmaterialer og råmaterialer ikke regnes med.

45 bedrifter svarer bekreftende på spørsmålet om de har større spillvarmemengder som utnyttes i dag, og 60 bedrifter sier de har større spillvarmemengder som ikke utnyttes i dag. 36 bedrifter oppgir at de har planer for intern og/eller ekstern utnyttelse av spillvarme.

Bedriftene har gitt nærmere informasjon om spillvarmeressurser som ikke utnyttes i dag i form av temperatur, trykk (hvis damp), maks effekt, energimengde, tilgjengelighet (timer/år) og om kilden er forurenset. Spillvarmeressursene som er kartlagt er gruppert innenfor kategoriene vann, damp og avgass. Avgass kan i noen tilfeller inneholde brennbare stoffer slik at den kan utnyttes som brenngass. Bedriftene har rapportert fra 0-7 tilgjengelige spillvarmekilder, og til sammen er det kartlagt 137 spillvarmekilder over 25 °C. Ved beregning av energimengde er 0 °C benyttet som referansetemperatur.

Mengde spillvarme må reduseres mest mulig. ”Deretter” bør spillvarmen utnyttes med høyest mulig temperatur, dvs tidligst mulig i prosessen. Med praktiske tillempninger har bedriftene stort sett gjennomført dette ved utfylling av spørreskjemaet. For enkelte bedrifter kan imidlertid en grundigere prosessgjennomgang vise at temperaturen kan høynes i forhold til rapportert.

Tabell 2.1 viser antall bedrifter med tilhørende energibruk samt hvor stor andel rapportert disponibel spillvarme over 25 °C utgjør av samlet energibruk for disse bedriftene.

Tabell 2.1. Antall bedrifter med tilhørende energibruk samt andel disponibel spillvarme.

Bransje	Antall bedrifter	Energibruk [TWh/år]	Andel spillvarme av energibruk [%]			
			Total	Vann	Damp	Avgass
Næringsmiddel	15	0,5	15	7	2	6
Treforedling	17	11,2	44	29	2	13
Sement-og Leca	3	1,9	46	0	0	46
Kjemisk	9	2,0	157 <sup>1</sup>	139	10	8
Aluminium	7	18,5	12	1	0	11
Ferrolegering	12	8,3	58	13	2	43
Øvrig industri	7	10,2 <sup>2</sup>	29	4	0	25
Avfallsforbrenning <sup>3</sup>	2	1,1	17	17	0	0
<b>Sum</b>	<b>72</b>	<b>53,7</b>	<b>36</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>20</b>

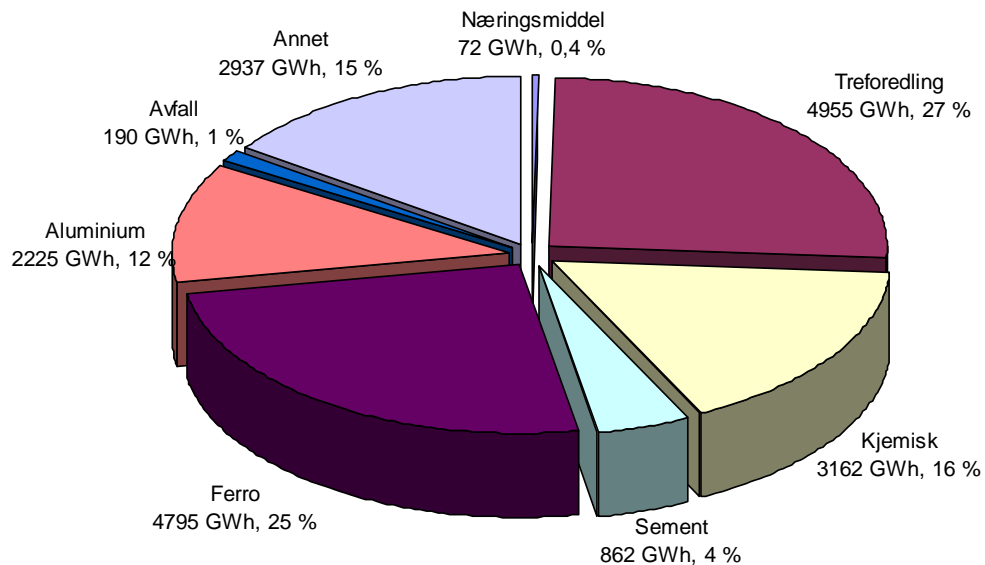
<sup>1</sup> På grunn av eksoterme kjemiske prosesser er energi i spillvarme større enn energibruk

<sup>2</sup> Sum kartlagte bedrifter.

<sup>3</sup> For avfallsforbrenning mener vi med ”Energibruk” energimengde i innfyrt avfall. Spillvarme er energi som ikke utnyttes til fjernvarme eller kraftproduksjon.



Totalt utgjør rapportert disponibel spillvarme 19 198 GWh/år med temperatur over 25 °C. Denne energimengden tilsvarer 36 % av respondentenes energibruk og 25 % av industriens totale energibruk. Figur 2.1 viser hvordan spillvarmeressursene fordeler seg på de ulike bransjer.



Figur 2.1. Bransjevis fordeling av kartlagte spillvarmeressurser

I hvilken grad disse spillvarmeressursene kan utnyttes avhenger blant annet av:

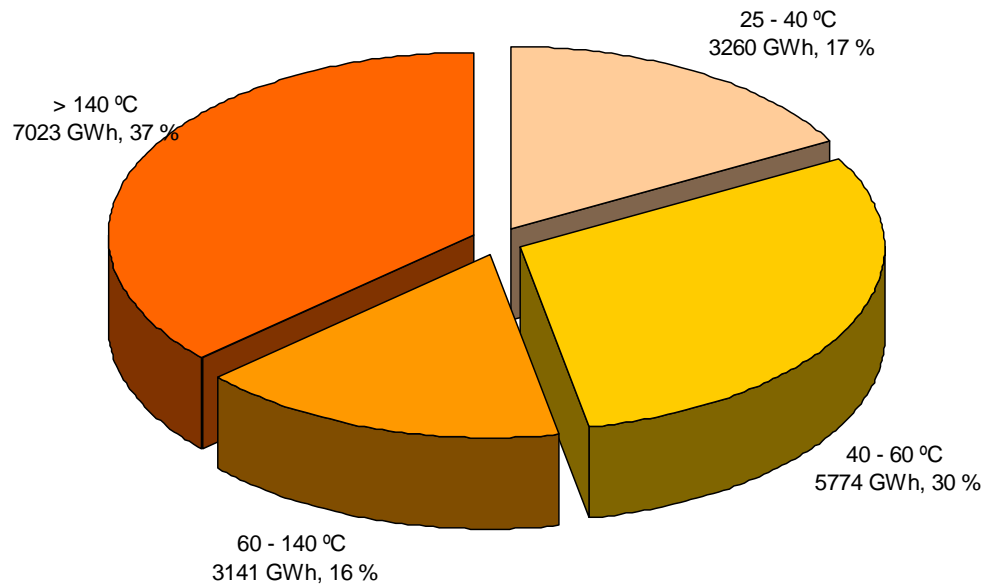
1. Kvaliteten på spillvarmeressursene (temperaturnivå, effekt, tilgjengelighet etc).
2. Teknologi for omforming til nyttbar varme eller elektrisk energi som også løser utfordringer med eventuelle forurensninger (partikler, støv/gasser, korrosive elementer).
3. Kundegrunnlaget for utnyttelse internt eller eksternt (behov, infrastruktur).

Det er valgt å gruppere spillvarmeressursene innenfor fire kvalitetsgrupper gitt ut ifra temperaturnivå. Temperaturnivået styrer langt på veg hvilken teknologi som er aktuell å bruke (se kapittel 4 – veileder). Temperaturklassene er valgt ut fra følgende kriterier:

- >140 °C: Kraftgjenvinning ved installasjon av dampturbin kan være aktuelt, i tillegg til ORC-system/Stirling-motor samt direkte bruk til fjernvarme. Brenngass er også tatt med i denne klassen.
- 60-140 °C: Kraftgjenvinning med ORC-system eller Stirling-motor kan være aktuelt, i tillegg til direkte bruk til fjernvarme.
- 40-60 °C: Direkte bruk til lavtemperatur fjernvarme kan være aktuelt, og spillvarmen kan være varmekilde for varmepumpe med god varmefaktor.
- 25-40 °C: Direkte bruk til fiskeoppdrett og jordvarme kan være aktuelt, og spillvarmen kan være varmekilde for varmepumpe.

Bedriftene har angitt i hvilken grad det foreligger planer for intern eller ekstern utnyttelse av disponibel spillvarme. Ikke alle har svart på spørsmålet, men av de som har svart fremgår det at det foreligger planer om å utnytte 753 GWh internt og 1380 GWh eksternt. Til sammen utgjør dette 11 % av kartlagte spillvarmeressurser.

Figur 2.2 viser hvordan kartlagt spillvarme fordeler seg på de ulike temperaturklasser.



Figur 2.2. Kartlagt spillvarme fordelt på ulike temperaturklasser

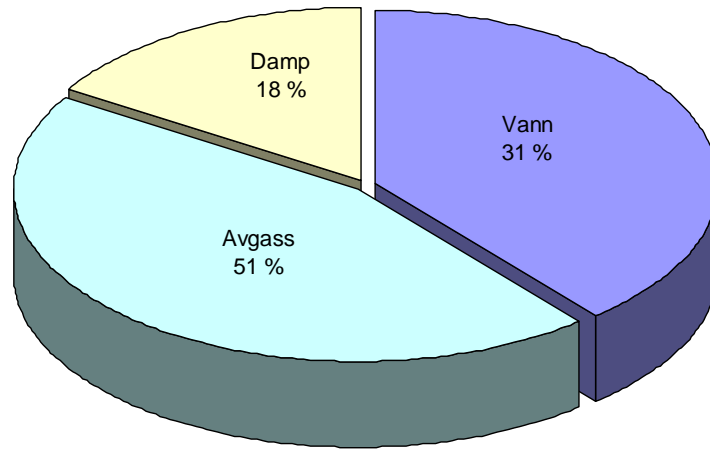
Det er også rapportert til dels store spillvarmemengder i form av avløpsvann/kjølevann med temperatur < 25 °C. Dette er ikke tatt med i rapporten fordi:

- Bare en del av bedriftene har rapportert slike kilder. Mange har spillvarmekilder med høyere temperatur som er mer aktuelle å utnytte, og har derfor ikke inkludert lavverdig varme.
- Spillvarme med temperatur < 25 °C slippes ut fra mange andre bedrifter og bransjer enn de som var med i undersøkelsen.
- Spillvarme med så lav temperatur har begrenset anvendelsesområde.

I påfølgende kapittel gis det en nærmere beskrivelse av spillvarmepotensialet innenfor de ulike bransjer.

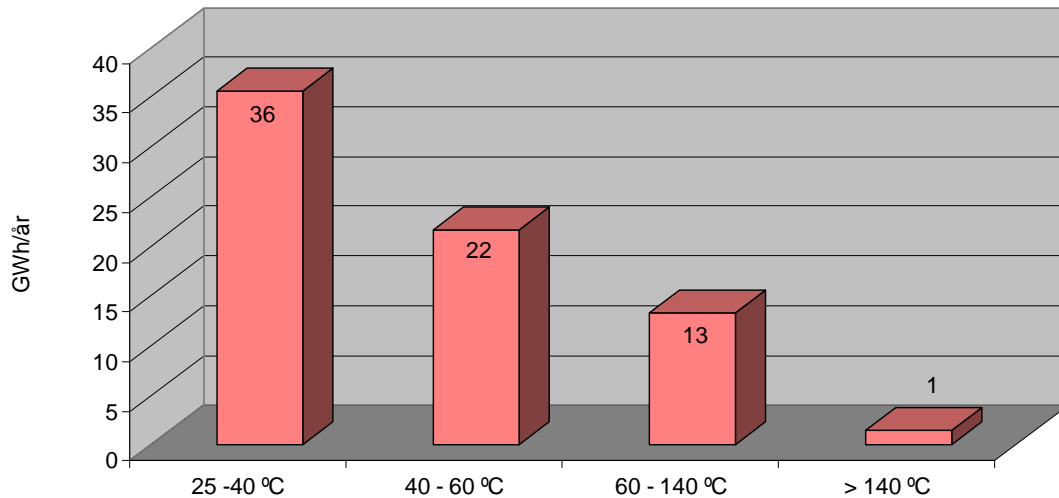
## 2.1 NÆRINGSMIDDEL

Det er kartlagt 15 større spillvarmekilder med temperatur over 25 °C fra like mange næringsmiddelbedrifter, med en samlet energimengde på 72 GWh/år. Noe av avgassen er beheftet med partikler/støv. Det foreligger planer om intern utnyttelse av 10 GWh/år. Figur 2.3 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på ulike energibærere.



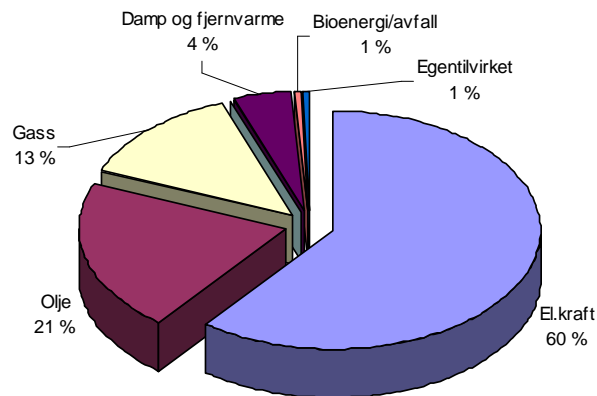
Figur 2.3. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i næringsmiddelindustrien

Figur 2.4 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser innenfor næringsmiddelindustrien.



Figur 2.4: Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser i næringsmiddelindustrien

Samlet energibruk for de 15 bedriftene utgjør 0,5 TWh/år, hvorav 38 % er elektrisk fastkraft. Bedriftenes energibruk tilsvarer 10 % av bransjens samlede energibruk. Figur 2.5 viser energibruk fordelt på energibærere for hele næringsmiddelindustrien (NACE 15-16). Ca 60 % av energibehovet i bransjen dekkes av elektrisk kraft.



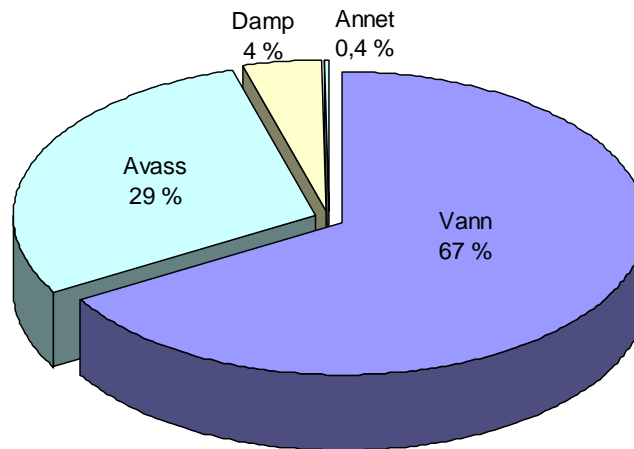
Figur 2.5 Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 15-16 Nærings- og nytelsesmidler (SSB – foreløpige tall 2007)

Næringsmiddelindustrien består av ca 2200 bedrifter og de 15 bedriftene som her er kartlagt er derfor ikke representative for hele bransjen. Flere av de kartlagte bedriftene har energikrevende tørkeprosesser som gir spillvarme i form av avgass eller damp. Med et større utvalg bedrifter ville trolig spillvarme til vann utgjøre en større andel. Typisk vil spillvarme med relativt lav temperatur være dominerende innenfor denne bransjen. Felles for mange næringsmiddelbedrifter er imidlertid at de har prosesser for både oppvarming og kjøling. Slike prosesser er godt egnet for intern varmeveksling, med eller uten bruk av varmpumpe.

Det ble i 2007 gjennomført en kartlegging av energisparepotensialet i næringsmiddelindustrien (2). En stor andel av energisparepotensialet på 30 % er relatert til intern utnyttelse av spillvarme fra industriprosesser og hjelpesystemer (kulde- og trykkluftskompressor).

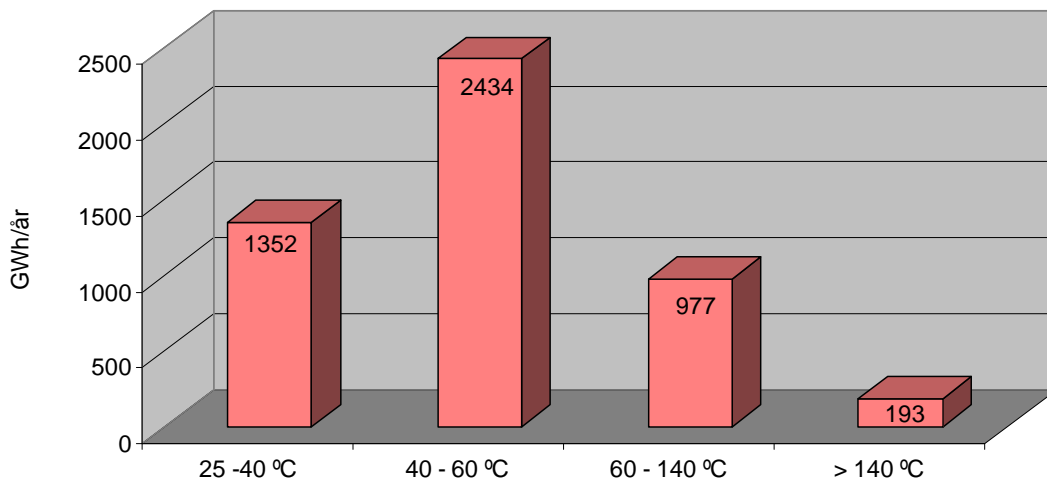
## 2.2 TREFOREDNING

Det er kartlagt 48 større spillvarmekilder med temperatur over 25 °C fra 17 treforedlingsbedrifter. 20 bedrifter ble tilskrevet. Samlet energimengde i spillvarmen er 4955 GWh/år. Mye av spillvarmen er beheftet med partikler/støv. Det foreligger planer om intern utnyttelse av 43 GWh/år. Figur 2.6 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.



Figur 2.6: Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i treforedlingsindustrien

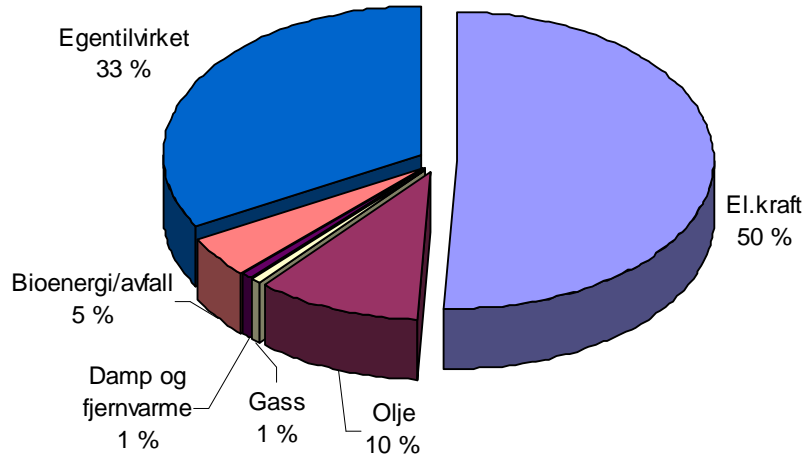
Figur 2.7 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser innenfor treforedlingsindustrien.



Figur 2.7: Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser i treforedlingsindustrien

Rapportert spillvarmemengde er høyere enn i 2002-undersøkelsen (1). Årsaken er at bedriftene denne gang har tatt med energiinnholdet i 40 – 60 °C råddamp fra papirmaskinene.

Samlet energibruk for de 17 bedriftene utgjør 10,8 TWh/år hvorav 46 % er elektrisk fastkraft. Gjenvunnet damp fra TMP-anlegg er da ikke regnet som energibruk. Bedriftene som er kartlagt står i henhold til SSBs energistatistikk for ca 97 % av samlet energibruk innenfor treforedling (NACE 21 + 20.2-5). Figur 2.8 viser energibruk fordelt på energibærere for bransjen. 67 % av total energibruk er innkjøpt energi. Av egentilvirket energi utgjør utnyttelse av bioenergi/avfall 92 %.



Figur 2.8. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 21.1 – Papirmasse, papir og papp samt 20.2-5 – Øvrige trevarer (SSB – foreløpige tall 2007)

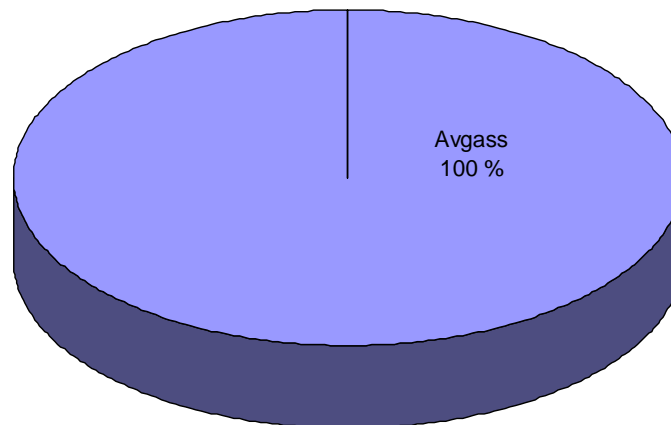
En stor og to små fabrikker er stoppet etter 2002.

Bransjen har i praksis begrensede muligheter for kraftproduksjon fra spillvarme.

Mange av fabrikkene kan levere spillvarme til fjernvarmeformål, primært til lavtemperatursystemer, men dette gjøres bare i meget beskjeden utstrekning i dag.

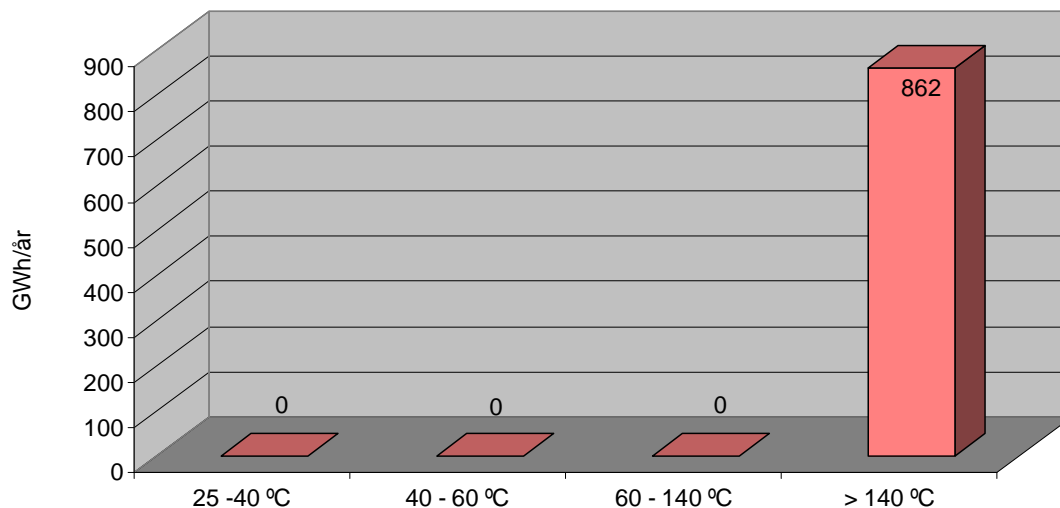
### 2.3 SEMENT OG LECA

Det er kartlagt 6 større spillvarmekilder med temperatur over 25 °C fra tre sement og Lecabedrifter. Samlet energimengde i spillvarmen er 862 GWh/år. Mye av spillvarmen er beheftet med partikler/støv. I følge svarskjema foreligger det ingen planer for intern eller ekstern utnyttelse av spillvarmen. Figur 2.9 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.



Figur 2.9. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere for sement og Lecabedrifter

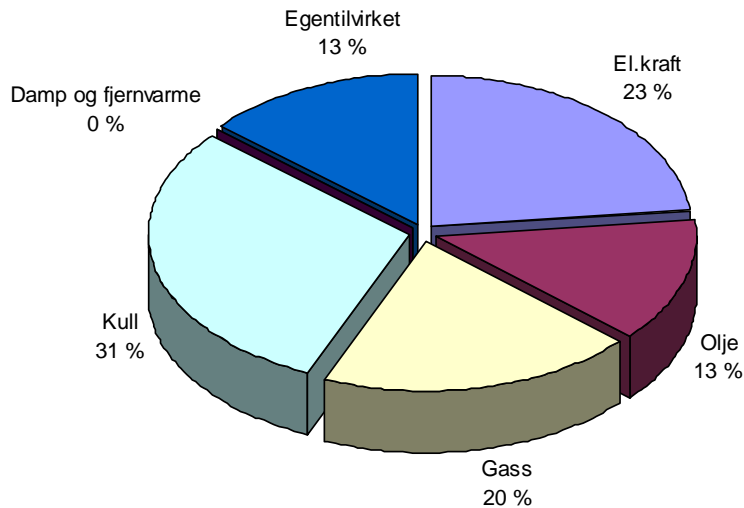
Figur 2.10 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser innenfor sement og Lecabedrifter.



Figur 2.10 Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser innenfor sement og Lecabedrifter

Rapportert spillvarmemengde er noe høyere enn i 2002-undersøkelsen (1). Årsaken er at bedriftene i 2002 forutsatte at planlagte enøk-tiltak/kraftproduksjon var gjennomført. Tiltakene er fortsatt ikke gjennomført.

Samlet energibruk for de tre bedriftene utgjør 1,9 TWh/år hvorav 14 % er elektrisk fastkraft. Bedriftene inngår i næringsgruppen; "Andre ikke metallholdige mineralprodukter" (NACE 26) og dekker ca 47 % bransjens samlede energibruk. Figur 2.11 viser energibruk fordelt på energibærere i bransjen. Egentilvirket energi er brenning av spesialavfall.



Figur 2.11. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 26 - Andre ikke metallholdige mineralprodukter (SSB – foreløpige tall 2007)

En Leca-produsent har stoppet etter 2002, bare blokkproduksjonen fortsetter.

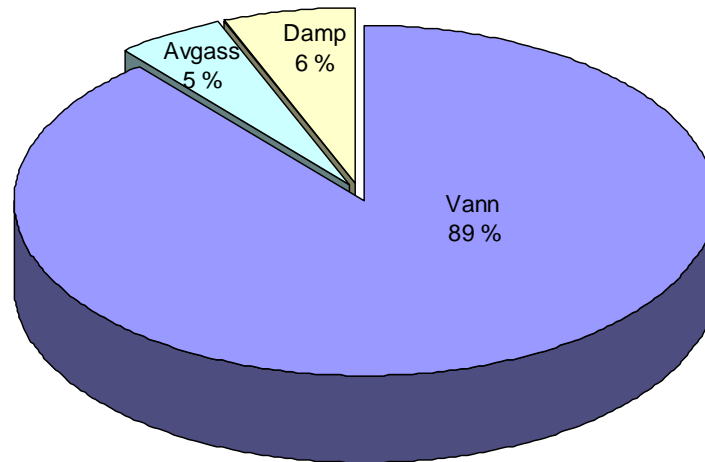
Størstedelen av spillvarmen kan utnyttes til å produsere i størrelsesorden 100 GWh/år kraft.

Fabrikkene kan i tillegg levere spillvarme til fjernvarmeformål.

#### 2.4 KJEMISK

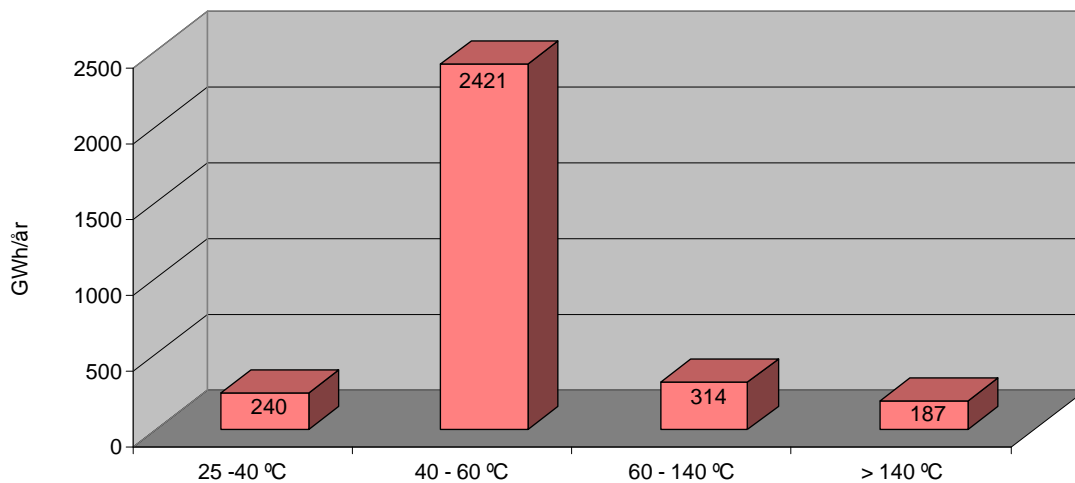
Det er kartlagt 18 større spillvarmekilder med temperatur over 25 °C fra 9 bedrifter. 13 bedrifter ble tilskrevet. Samlet energimengde i spillvarmen for bedrifter som har respondert er 3162 GWh/år. Noe av spillvarmen er beheftet med partikler/støv. Det foreligger planer om årlig å utnytte 14 GWh internt og 2 GWh eksternt. Figur 2.12 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.





Figur 2.12. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i kjemiske bedrifter

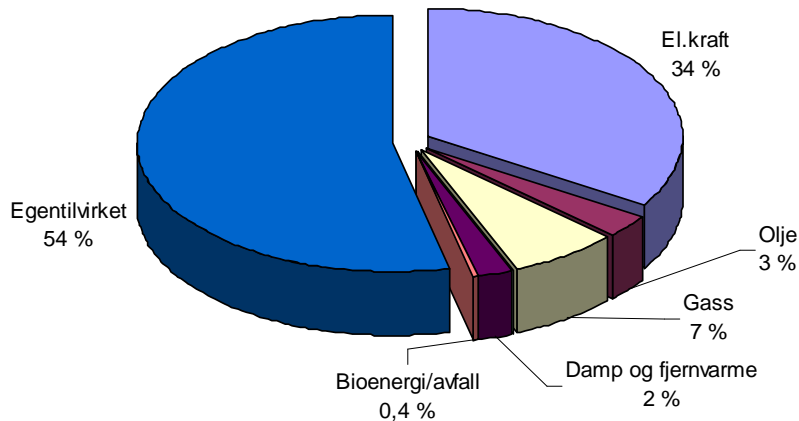
Figur 2.13 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser for kjemiske bedrifter.



Figur 2.13. Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser i kjemiske bedrifter

Spillvarmepotensialet er muligens noe større enn det som er rapportert. Bransjen kjemisk var ikke med i 2002-undersøkelsen (1).

Samlet energibruk for de 9 bedriftene utgjør 2,0 TWh/år hvorav 64 % er elektrisk fastkraft. Bedriftenes energibruk tilsvarer ca 9 % av bransjens samlede energibruk. Figur 2.14 viser energibruk fordelt på energibærere innenfor næringsgruppe 23-24 Petroleumsprodukter og kjemiske produkter.

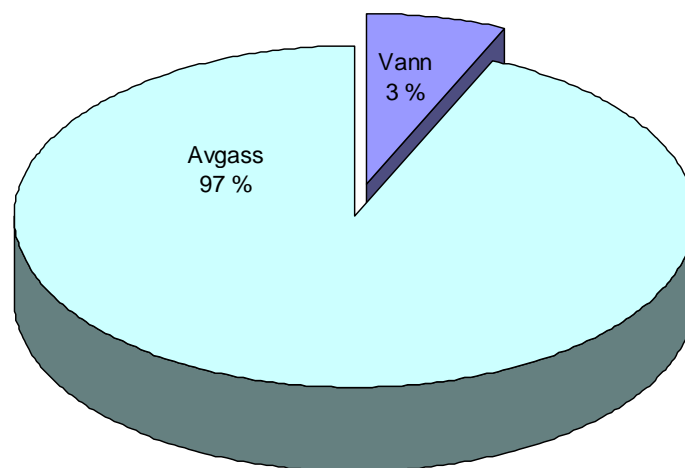


Figur 2.14. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 23-24 Petroleum produkter og kjemiske produkter (SSB – foreløpige tall 2007)

Bransjen har noe, men begrensede, muligheter for kraftproduksjon fra spillvarme. Dette gjelder primært en bedrift. Mange av fabrikkene kan levere spillvarme til fjernvarmeformål, men dette gjøres bare i beskjeden utstrekning i dag.

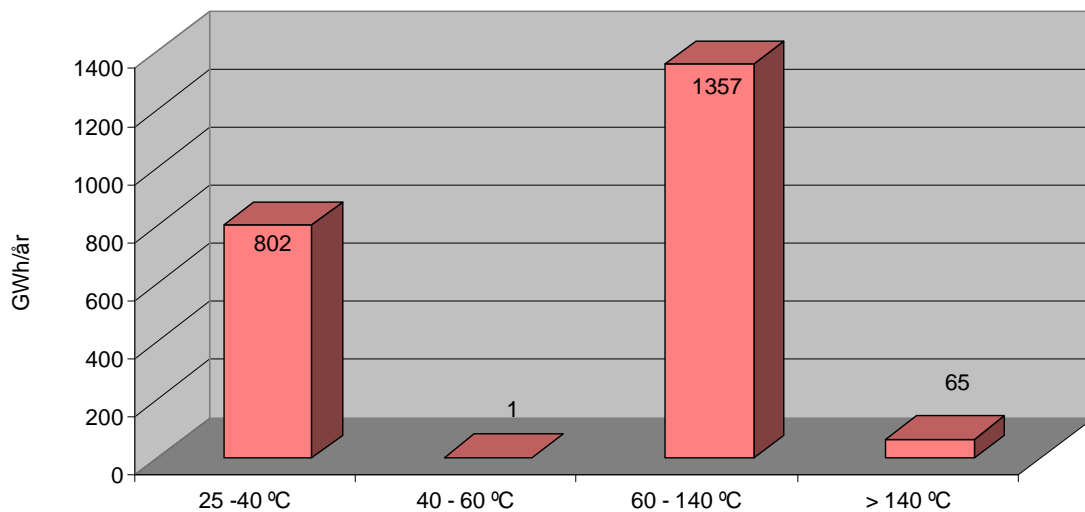
## 2.5 ALUMINIUM

Det er kartlagt 15 større spillvarmekilder med temperatur over 25 °C fra 7 verk, dvs fra alle som ble tilskrevet. Samlet energimengde i spillvarmen er 2225 GWh/år. Mye av spillvarmen er beheftet med partikler/støv. Det foreligger planer om årlig å utnytte 165 GWh internt og 35 GWh eksternt. Figur 2.15 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.



Figur 2.15. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i aluminiumsindustrien

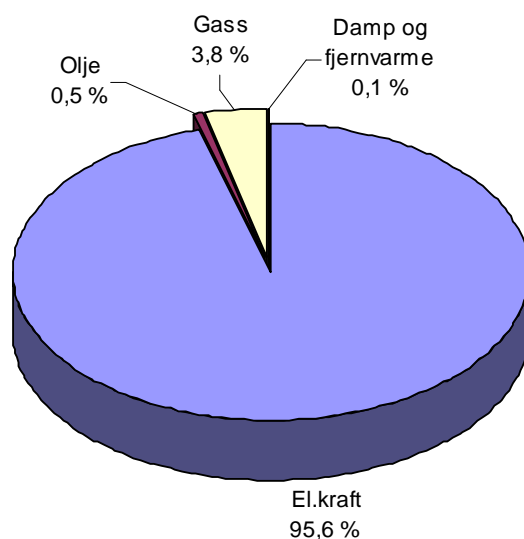
Figur 2.16 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser i aluminiumsindustrien.



Figur 2.16. Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser i aluminiumsindustrien

Rapportert spillvarmemengde er litt lavere enn i 2002-undersøkelsen (1). Det er til dels store variasjoner i rapporterte mengder nå og i 2002 fra de enkelte verk.

Samlet energibruk for de 7 bedriftene utgjør 18,5 TWh/år hvorav 99 % er elektrisk fastkraft. Dette Tilsvarer mer enn 99 % av samlet energibruk i aluminiumsbransjen. Figur 2.17 viser energibruk i henhold til SSB-statistikk fordelt på energibærere innenfor hele næringsgruppen 27.4 – Aluminium og andre ikke-jernholdige metaller.



Figur 2.17. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 27.4 – Aluminium og andre ikke-jernholdige metaller (SSB – foreløpige tall 2007)

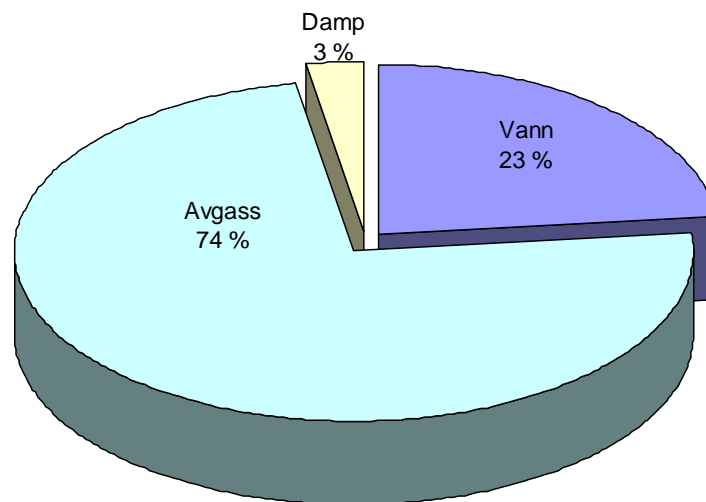
En del kapasitet basert på Søderberg-teknologi er nedlagt etter 2002, og det er i tillegg varslet nedstengning på Hydro Karmøy. To verk har økt produksjonen betydelig siden 2002.

Med dagens kommersielle teknologi har bransjen begrensede muligheter for kraftproduksjon fra spillvarmen. Det har imidlertid tidligere vært arbeidet med et prosjekt for kraftproduksjon basert på gjenvunnet varme fra elektrolysecellene, og dette arbeidet er nå tatt opp igjen.

De fleste fabrikkene kan levere spillvarme til fjernvarmeformål. Tre bedrifter utnytter varme ovngasser til slikt formål i dag, se eksempel i figur 4.10.

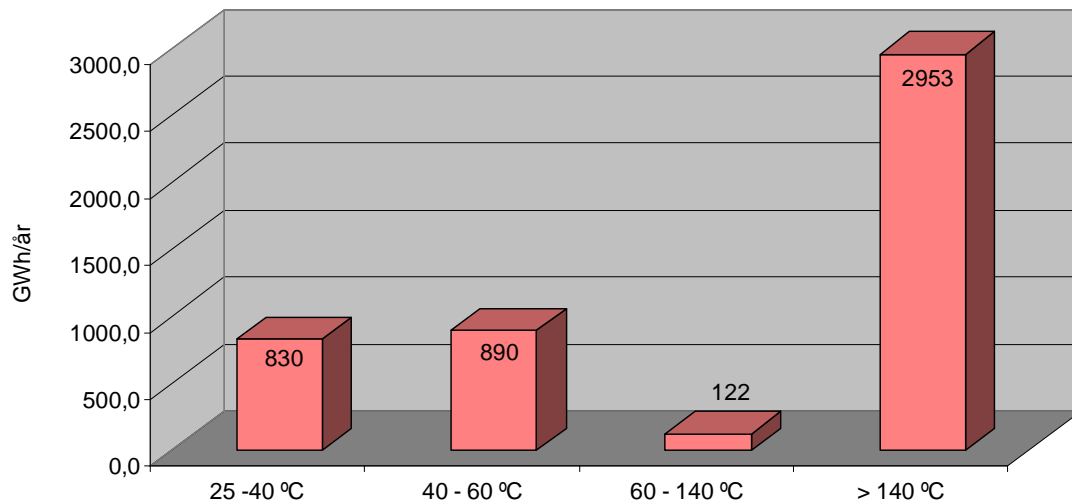
## 2.6 FERROLEGERING

Det er kartlagt 23 større spillvarmekilder over 25 °C fra 12 smelteverk, dvs alle som ble tilskrevet. Samlet energimengde i spillvarmen er 4795 GWh/år. Tall for Tinfos Titan & Iron inngår ikke, bedriften er klassifisert under "Øvrig industri". Mye av spillvarmen er beheftet med partikler/støv. Det foreligger planer om årlig å utnytte 401 GWh internt og 512 GWh eksternt. Figur 2.18 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.



Figur 2.18. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i ferrolegeringsindustrien

Figur 2.19 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser innenfor ferrolegeringsindustrien.



Figur 2.19 Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser for ferrolegeringsindustrien.

Rapportert spillvarmemengde er noe mindre enn i 2002-undersøkelsen (1). Årsaken er at tre verk er nedlagt siden 2002, og at Tinfos Titan & Iron var inkludert i 2002.

Samlet energibruk for de 12 bedriftene utgjør 8,3 TWh/år hvorav 90 % er elektrisk fastkraft. Energi i innsatsmaterialene kull, koks og flis er da ikke medregnet.

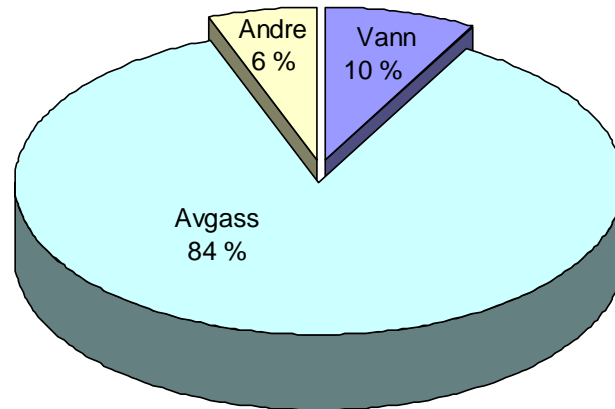
FeSi-produksjonen ved Elkem Bjølvefossen planlegges stoppet i 2009.

Tre verk produserer el.kraft i varmegjenvinningsanlegg med damp turbin, se eksempel i figur 3.1. Det ene verket planlegger å øke produksjonen. Fra de fleste av de øvrige verkene kan det til sammen produseres ca 700 GWh/år.

Verkene kan i tillegg eller alternativt levere spillvarme til fjernvarmeformål, se eksempel i figur 4.11. I alt 6 verk leverer varmtvann til fjernvarme, fiskeoppdrett og roseproduksjon. To verk selger brenngass til nærliggende bedrifter.

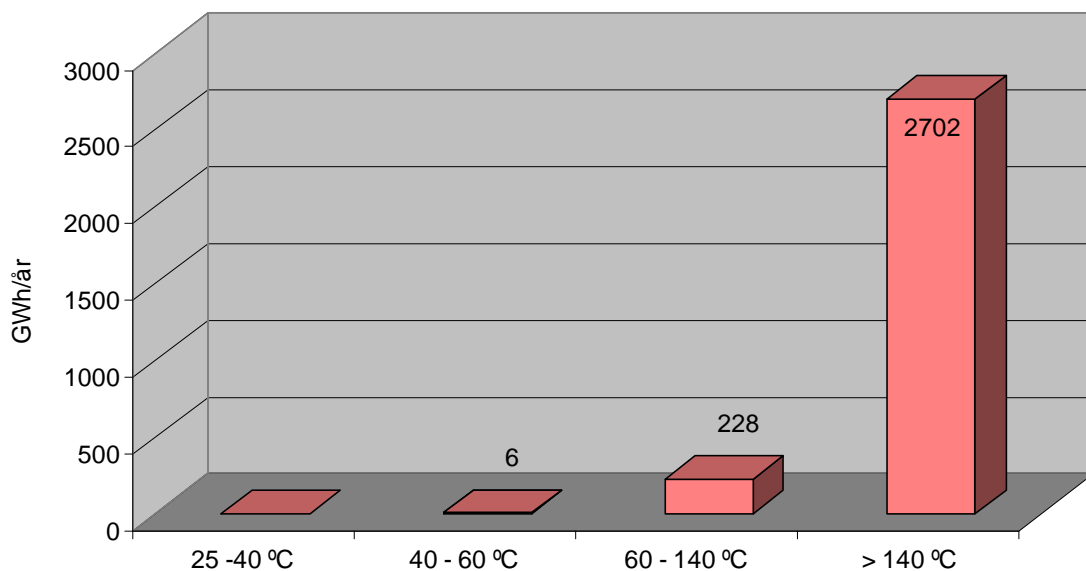
## 2.7 ØVRIG INDUSTRI

Det er kartlagt 10 større spillvarmekilder over 25 °C fra fem industribedrifter og en gassterminal. 13 bedrifter/terminaler ble forespurt og 7 svarte. Samlet energimengde i spillvarmen for bedrifter som har respondert er 2937 GWh/år. Mye av spillvarmen er beheftet med partikler/støv. Det foreligger planer om årlig å utnytte 120 GWh internt og 186 GWh eksternt. Figur 2.20 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.



Figur 2.20. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere for øvrige bedrifter

Figur 2.21 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser for øvrige bedrifter.



Figur 2.21. Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser for øvrige bedrifter

Spillvarmepotensialet er sannsynligvis større enn det som er rapportert. Bedriftene var ikke med i 2002-undersøkelsen (1).

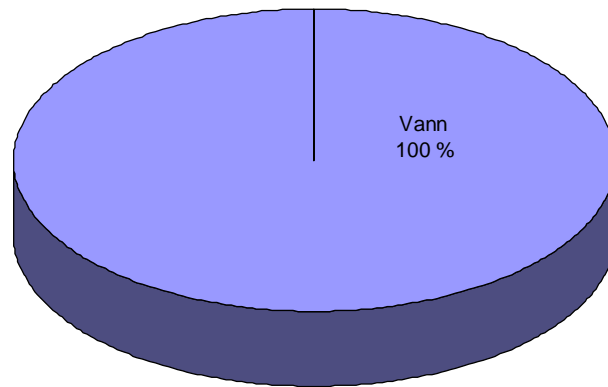
Samlet energibruk for de 7 bedriftene utgjør 10,2 TWh/år hvorav 27 % er elektrisk fastkraft.

Rapporterte data indikerer at to bedrifter har et større potensial for kraftproduksjon fra spillvarme.

Noen av fabrikkene kan levere spillvarme til fjernvarmeformål.

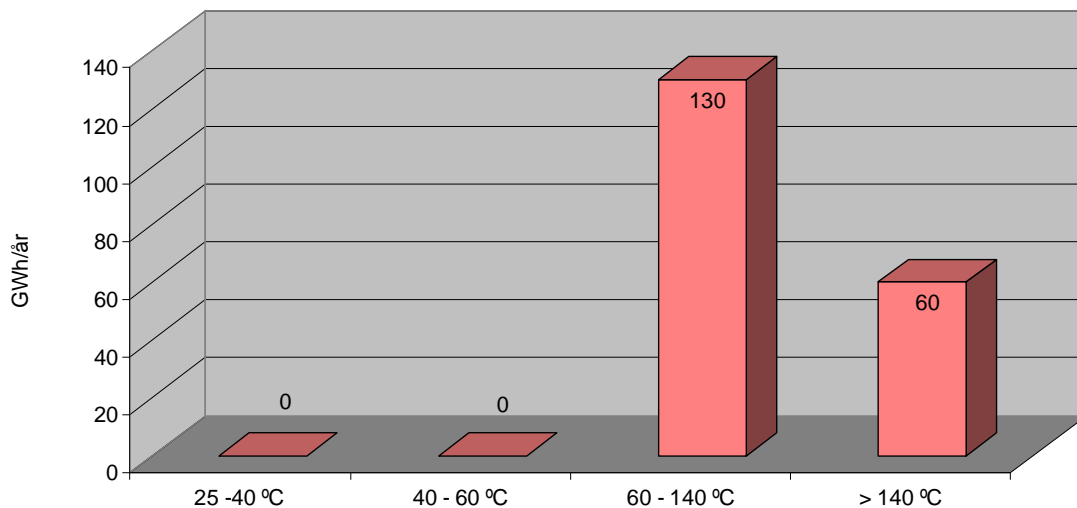
## 2.8 AVFALLSFORBRENNING

Det er kartlagt to større spillvarmekilder fra fire avfallsforbrenningsanlegg. To av disse oppgir at de ikke har større mengder spillvarme, for de to øvrige utgjør samlet energimengde 190 GWh/år. Spillvarmen produseres stort sett om sommeren slik at brukstiden blir lav. Bedriftene tilstreber å utnytte all energi fra forbrenning av avfall til fjernvarme eller el.produksjon. Det planlegges bla økt lagring av avfall fra sommer til vinter for økt energiutnyttelse. Figur 2.22 viser hvordan spillvarmekildene fordeler seg på de ulike energibærere.



Figur 2.22. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere for avfallsforbrenningsanlegg

Figur 2.23 viser fordeling av kartlagt spillvarme på temperaturklasser for avfallsforbrenningsanlegg.



Figur 2.23. Kartlagt spillvarme fordelt på temperaturklasser for avfallsforbrenningsanlegg

Avfallsforbrenningsanlegg var ikke med i 2002-undersøkelsen (1).

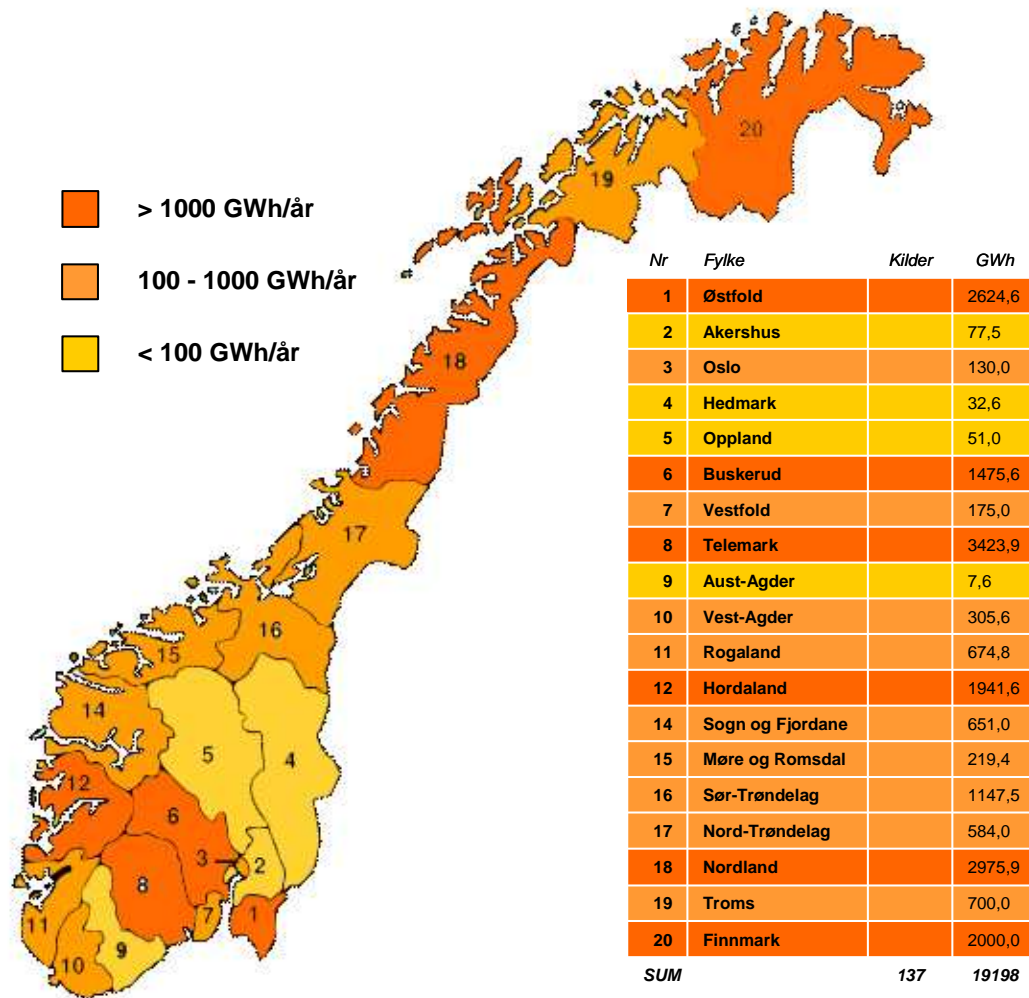
Samlet energimengde i inngående avfall for de to bedriftene utgjør 1,1 TWh/år. Samlet energimengde til alle avfallsforbrenningsanlegg med energigjenvinning i Norge utgjør i størrelsesorden 3,5 TWh/år.

Fire anlegg er tilknyttet dampturbin i dag, og ett har dampmotor. Bransjen har noen muligheter for å øke kraftproduksjonen.

Alle anleggene leverer til fjernvarme eller prosessformål i dag.

## 2.9 GEOGRAFISK FORDELING

Kartleggingen har også sett nærmere på hvordan spillvarmen er fordelt geografisk. Figur 2.24 viser fylkesvis fordeling av kartlagte spillvarmeressurser. De største spillvarmeressursene finner vi i Telemark, Østfold, Hordaland, Buskerud og Nordland.

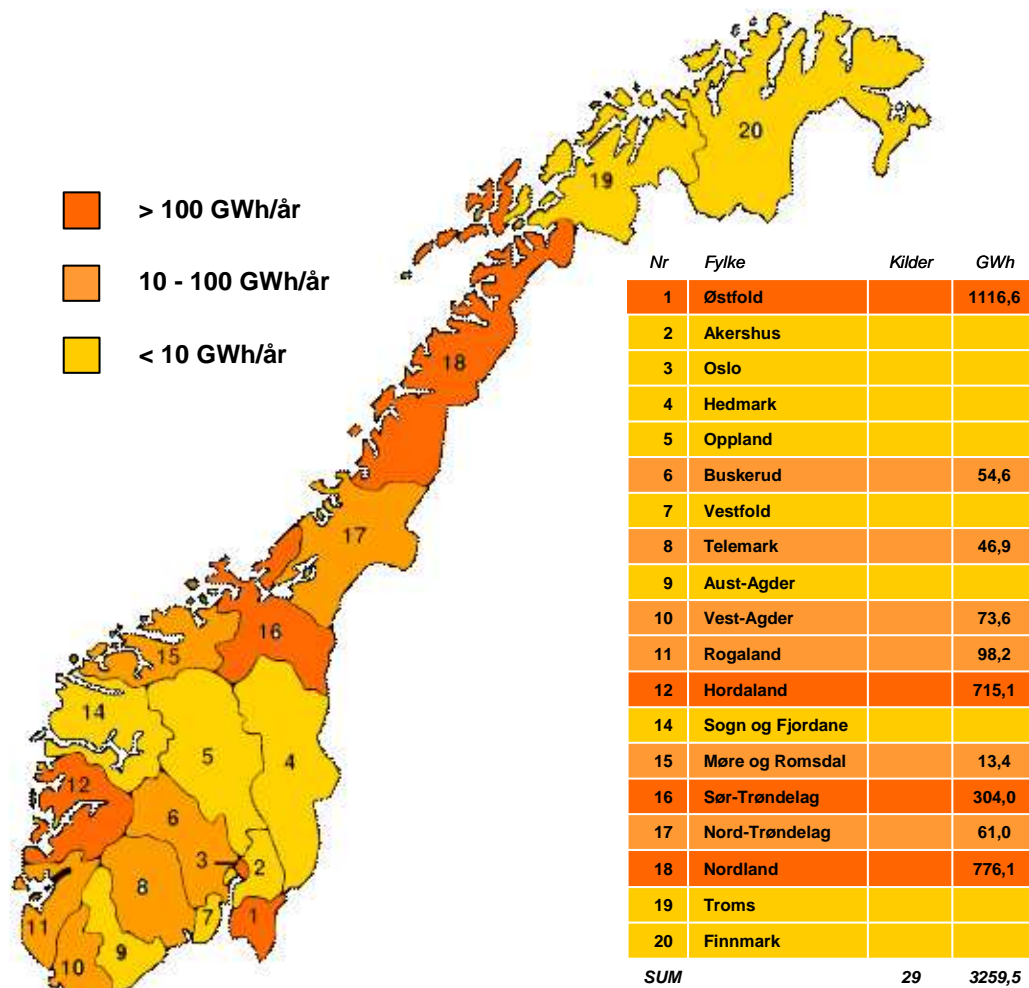


Figur 2.24. Fylkesvis fordeling av kartlagte spillvarmeressurser



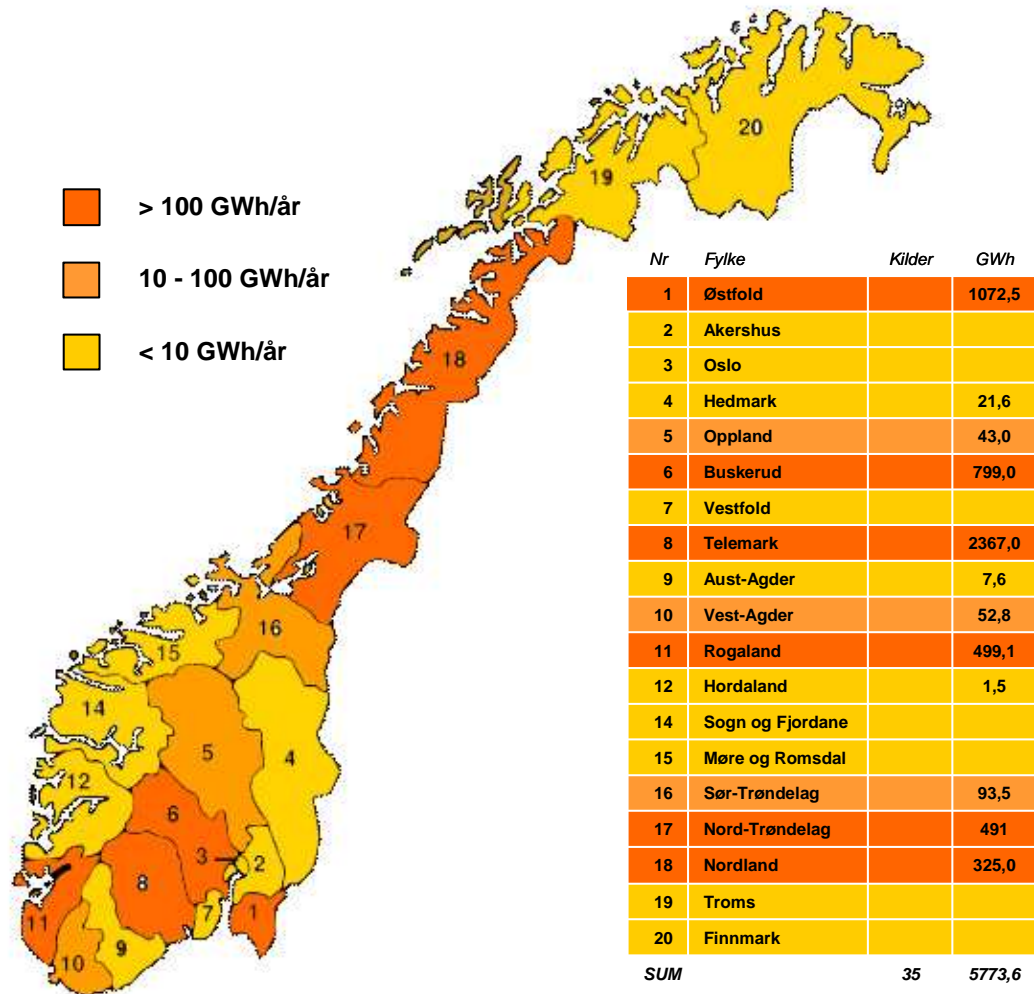
En nærmere analyse av spillvarmegrunnlaget fordelt på de ulike temperaturklasser er også foretatt. Figur 2.25 viser fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $25\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{ut}} < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det er kartlagt disponible 29 spillvarmekilder innenfor denne temperaturklassen. Av hensyn til konfidensialitet er antall spillvarmekilder innenfor hvert fylke ikke oppgitt.

Det finnes nok flere bedrifter, enn de som denne studien omfatter, med spillvarmekilder innenfor denne temperaturklassen. Kartet er derfor ikke nødvendigvis representativt for all disponibel spillvarme innenfor denne temperaturklassen.



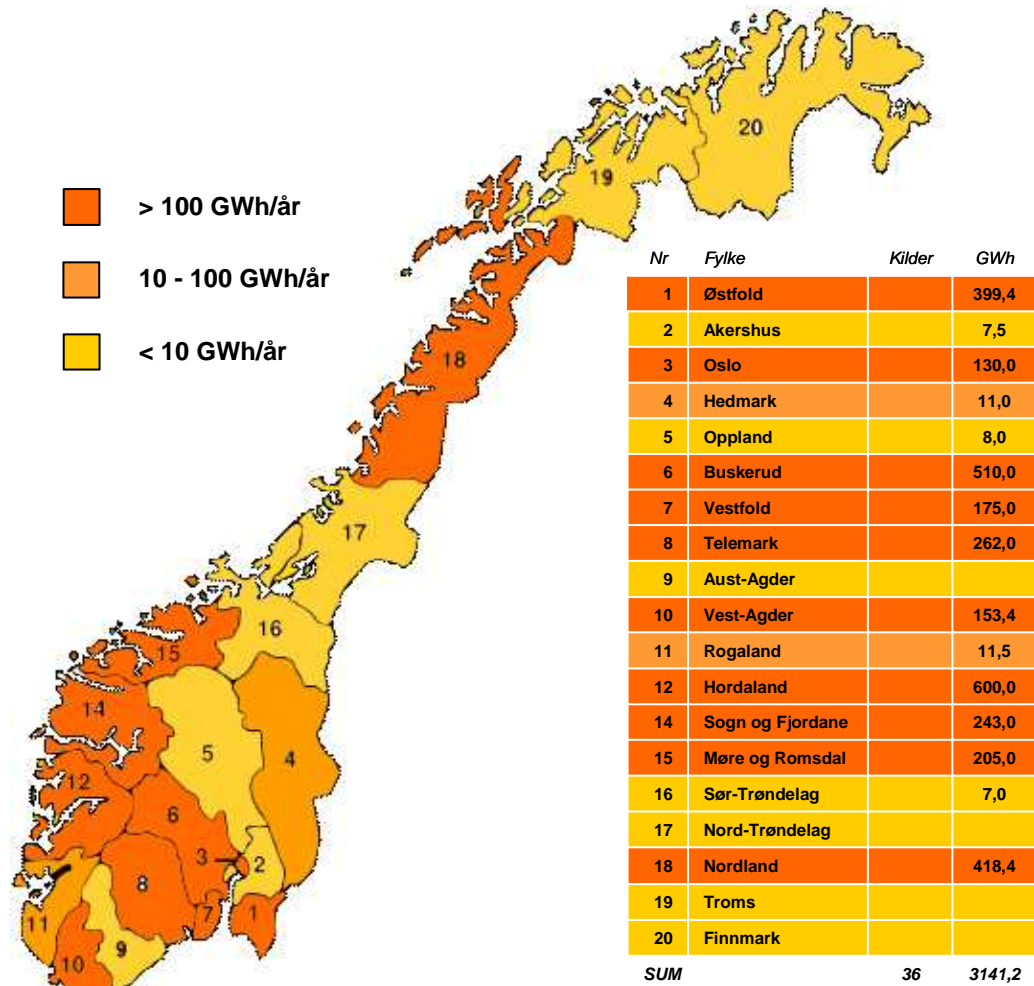
Figur 2.25. Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $25\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{ut}} < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Figur 2.26 viser fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{ut}} < 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det er kartlagt disponible 35 spillvarmekilder innenfor denne temperaturklassen. Av hensyn til konfidensialitet er antall spillvarmekilder innenfor hvert fylke ikke oppgitt.



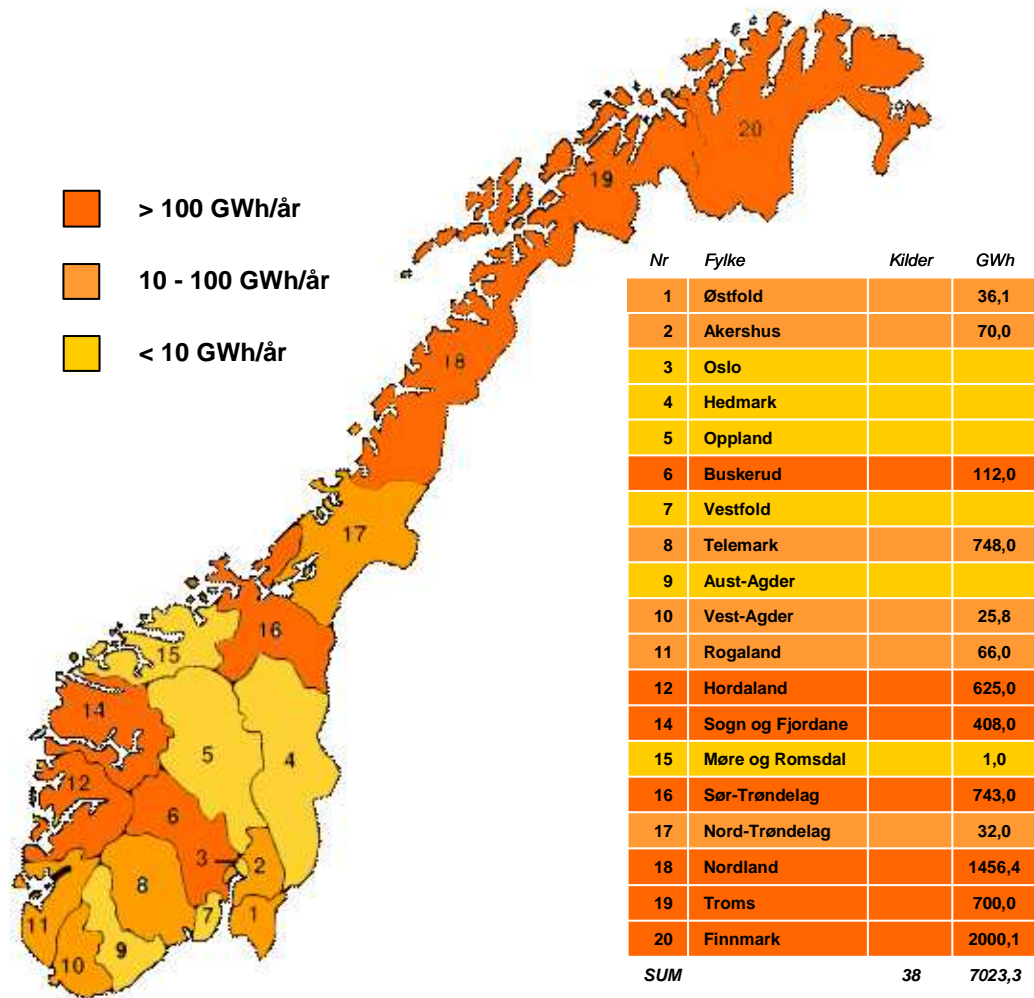
Figur 2.26 Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $40^{\circ}\text{C} < T_{\text{ut}} < 60^{\circ}\text{C}$

Figur 2.27 viser fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $60^{\circ}\text{C} < T_{\text{ut}} < 140^{\circ}\text{C}$ . Det er kartlagt 36 disponible spillvarmekilder innenfor denne temperaturklassen. Av hensyn til konfidensialitet er antall spillvarmekilder innenfor hvert fylke ikke oppgitt.



Figur 2.27. Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $60^{\circ}\text{C} < T_{\text{ut}} < 140^{\circ}\text{C}$

Figur 2.28 viser fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $T_{\text{ut}} > 140^{\circ}\text{C}$ . Det er kartlagt 38 disponible spillvarmekilder innenfor denne temperaturklassen. Av hensyn til konfidensialitet er antall spillvarmekilder innenfor hvert fylke ikke oppgitt.



Figur 2.28. Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen;  $T_{ut} > 140\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 2.10 MULIG KRAFTPRODUKSJON

### *Brenngass eller spillvarme med temperatur > 350 °C*

Teknisk/økonomisk mulig kraftproduksjon er beregnet til 900 GWh/år. Ca 77 % av dette kommer fra ferrolegeringsverk.

For noen ferrolegeringsverk er det brukt tall fra studier som Norsk Energi har utført den senere tid. For en del andre verk er det tatt utgangspunkt i rapportert kraftforbruk og konverteringsfaktorer som er beregnet i rapporten "Energigjenvinning fra ferrolegeringsindustrien" (6). For resterende bedrifter med slik spillvarme er mulig kraftproduksjon beregnet ut fra erfaringstall.

### *Spillvarmekilder med temperatur 60 - 350 °C*

Ved hjelp av Veilederen i kap. 4 er mulig kraftproduksjon beregnet til 250 GWh. Ca 40 % av dette kan bare realiseres ved å installere Stirling-motor eller ORC-system. Realisering av dette

potensialet forutsetter at Stirling-motor og ORC blir fullt ut kommersielle og økonomiske teknikker for industriell kraftproduksjon.

Den forenklete beregningen i Veilederen gir ofte for gunstige verdier. Samlet potensial er derfor i praksis mindre.

### 3 TEKNOLOGI

#### 3.1 OMVANDLING FRA VARME TIL KRAFT

##### 3.1.1 Dampturbin

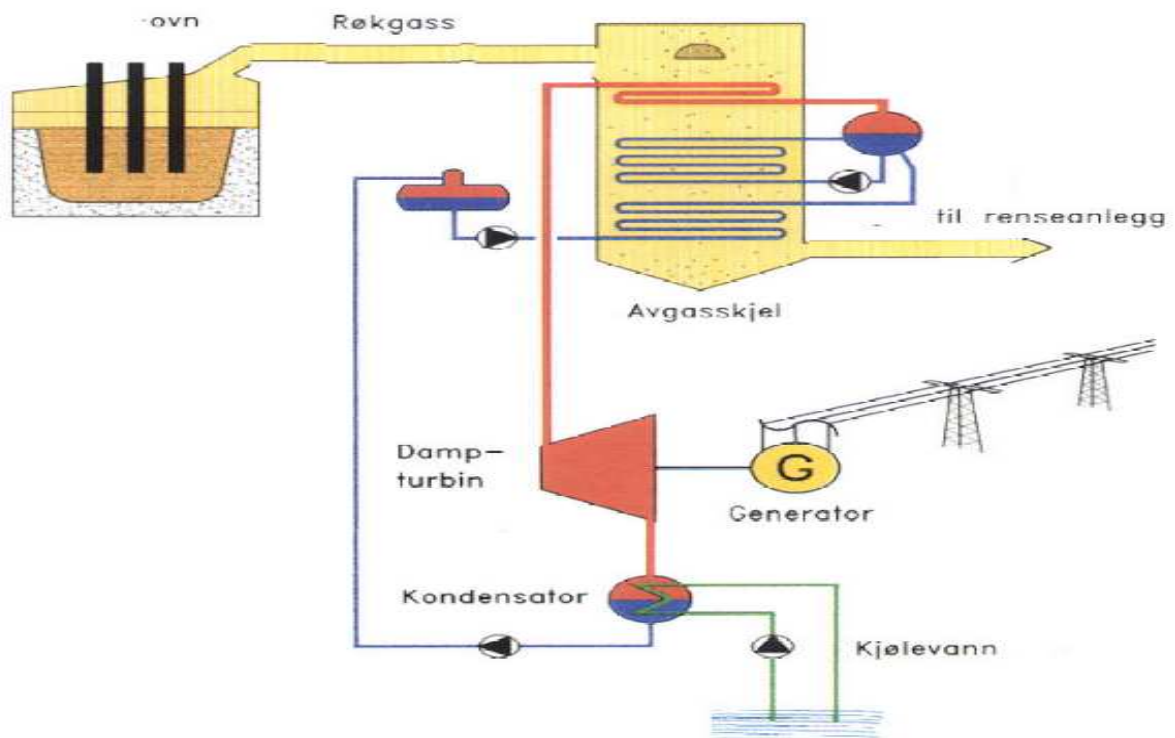
###### *Generelt*

Dampturbinen omsetter termisk energi til mekanisk energi ved at dampen ekspanderer fra høyt trykk gjennom turbinen. Turbinens to hovedkomponenter er rotor og turbinhus, begge utstyrt med skovlrader.

Industriturbiner med ytelse lavere enn 20 - 30 MW, må normalt ha gir for å komme ned i generatorens turtall på 1.500 eller 3.000  $^{\circ}$ /min.

I generatoren omsettes den mekaniske energien til elektrisk kraft.

Figur 3.1 viser i prinsipp et dampturbinanlegg for spillvarme fra et smelteverk.



Figur 3.1 Varmekraftverk i smelteverk

###### *Prosess*

Dampturbiner for trykk lavere enn ca 20 bara kan anvende mettet damp. For høyere trykk kreves

overhettete damp for å unngå for stor andel vann i dampen på utløpssiden.

I kondensasjonsturbiner ekspanderer dampen normalt til 0,04 - 0,15 bara, og går så videre til en kondensator som i de fleste tilfeller er en vannkjølt rørvarmeveksler. Der det ikke er tilgang på kjølevann, anvendes luftkjøler. Trykket i kondensatoren blir da høyere og ytelsen reduseres til 80-90 % av det som kan oppnås med en vannkjølt kondensator.

Ved lavere last enn design, synker virkningsgraden noe. Det samme er tilfelle hvis damptilstand til eller fra turbin endres fra design.

Dampturbiner vil over tid være utsatt for erosjon/korrosjon og beleggdannelse som medfører redusert virkningsgrad. Før rengjøring/overhaling kan virkningsgraden være opptil 4 - 5 % (poeng) lavere enn for en ny turbin.

#### *Turbintyper*

Industrielle kondensasjonsturbiner har en virkningsgrad på ca 30 % eller lavere, se kap. 4. Størstedelen av tilført energi kjøles bort i kondensator.

I industri- og fjernvarmeanlegg anvendes ofte mottrykksturbiner. Dampen fra turbinen brukes da til prosessformål eller for fjernvarme. Fordi utgående damp fra en mottrykksturbin nyttiggjøres i sin helhet, blir virkningsgraden i energiomsetningen i turbinen opp i mot 100 %. Bare de mekaniske tapene i lagrene m.m. blir reelle tap fra turbinen.

Turbiner kan bygges med avtapning av damp med trykk mellom inn- og utløpstrykk.

Turbiner kan også utstyres for innmating av damp med lavere trykk, denne strømmen ekspanderer da gjennom siste del av turbinen.

#### *Leveranse*

Turbinaggregater med ytelse opp til noen MW leveres med hjelpeutstyr ferdig montert på skid, forberedt for tilkøpling av strøm, varmtvann, kjølevann og eventuelt fjernovervåking. Større aggregater settes sammen av moduler og utstyret monteres på plass.

Det finnes mange leverandører av dampturbiner. Noen har norske datterselskaper eller agenter.

#### *Utvikling*

Dampturbiner er gjennomprøvd utstyr. Det forventes ikke større endringer/forbedringer i grunndesign. Utviklingen skjer spesielt innen styring/automatisering, til dels også innenfor feltene materialkvalitet og produksjonsteknikk.

#### *Tannhjulsturbin*

Det svenske firmaet Opcon Powerbox kan bruke sin skrueturbin for å produsere el. kraft fra damp med ingen eller bare svak overheting. Max trykk er 40 bara og max temperatur er 250 °C. Den største enheten som leveres i dag gir max effekt 800 kW. Med eksempelvis 10 bara mettet damp er kapasiteten ca 1,5 kg/s og kraftproduksjonen 400-700 kW. Det er foreløpig ikke levert noen slik turbin for produksjon av el. kraft direkte fra damp.

<b>Eksempel: Dampturbin i smelteverk</b>	
Røykgassen fra de to Si-metall ovnene på Elkem Thamshavn har temperatur 700-800 °C. Avgassen utnyttes til å produsere damp i en gjenvinningskjel, dampen brukes så til å produsere elektrisk kraft i et dampturbinaggregat.	
Sum effekt Si-metall ovner	70 MW
Røykgassmengde	60 Nm <sup>3</sup> /s
Produsert dampmengde	17 kg/s
Damp til turbinen	50 bara/450 °C
Kondensasjonstrykk	0,07 bara
Midlere effekt	14 MW
El. produksjon	115 GWh/år
Det planlegges å installere nye kjeler og øke kraftproduksjonen.	

### 3.1.2 Dampmotor

Dampmotorer (dampmaskin) er robust utstyr som stiller mindre krav til vann/dampkvalitet enn damppturbiner. De har normalt innløpstrykk fra 7 bara og oppover og et mottrykk som ligger litt over atmosfæretrykk (100 °C). Typisk virkningsgrad med 10 bara damp er 6-8 %.

Spesifikk investering for en dampmotor er som regel høyere enn for en damppturbin.

Fordi dampmotoren ikke arbeider mot vakuum, er den lite aktuell for utnyttelse av spillvarme. Forholdet med dårlig vannkvalitet er normalt ikke et problem i Norge, og moderne vannrenseutstyr er relativt rimelig.

I spesielle tilfeller, når en har relativt små spilldampmengder, kan imidlertid installasjon av en dampmotor være verdt å vurdere.

En 2-sylindret dampmotor med ytelse 320 kW<sub>el</sub> er i drift i Norge.

### 3.1.3 Stirling-motor

#### *Generelt*

Stirling-motoren er basert på en lukket prosess med avgass som arbeidsmedium. Avgassen sirkulerer mellom to sylindervolumer, via to varmevekslere for oppvarming resp avkjøling. Den vanligste utformingen er 4-sylindrede, dobbeltvirkende krysshodemotorer, og i oppbygging ligner motorene på moderne dampmotorer, men uten ventiler. Arbeidsmediet er normalt helium, og det benyttes ca 10-30 kg per MW installert effekt.

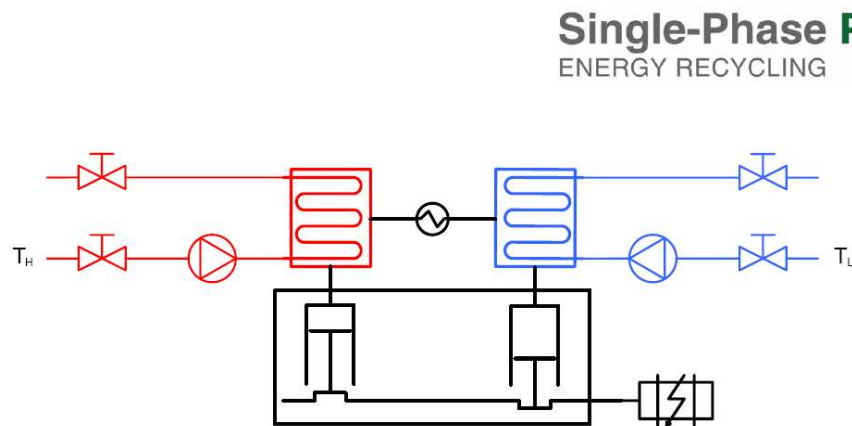
Stirling-motoren kan utnytte alle typer varmekilder, også spillvarme, fordi avgassen varmes eksternt i varmeveksler. Normalt vil teknikken ikke kunne konkurrere når det kan installeres et damppturbinanlegg. I industriell sammenheng vil derfor bruksområdet primært være for å utnytte



spillvarme med moderat temperatur. Stirling-motor fra det norske firmaet SPP kan utnytte spillvarme med temperatur ned mot 70 °C. I enkelte tilfeller kan motoren imidlertid også være aktuell for kraftproduksjon fra mettet damp med høyt trykk/temperatur.

Stirling-motorer for utnyttelse av industriell spillvarme er saktegående maskiner med turtall 500-760 o/min, direkte koblet til generator, som leverer effekt til bedriftens interne nett.

Figur 3.2 viser prosessen skjematisk.



Figur 3.2. Stirling-motor, prinsipp

#### Prosess

Tilført varme kan være damp, væske eller avgass som spillvarme, eller forbrenningsgass. Avgassen i motoren varmes direkte i motorens varmevekslere eller indirekte via en hetvannskrets.

Ferskvann eller sjøvann anvendes for kjøling. Luftkjøler kan anvendes indirekte via en vannkrets, den gir derfor dårligere virkningsgrad. Dersom varmekilden holder høy temperatur, vil restvarmen kunne benyttes til oppvarmingsformål eller fjernvarmenett.

Temperaturdifferensen over systemet bestemmer kraftutbyttet. Kjølevannstemperaturen har derfor stor betydning for virkningsgraden. I teknisk/økonomisk optimalt anlegg for utnyttelse av spillvarme kan virkningsgraden være i størrelsesorden 50 % av Carnot-virkningsgrad.

Med eksempelvis temperaturer 70 resp. 20 °C blir virkningsgraden ca 7 %.

Med temperaturer 150 resp. 20 °C blir virkningsgraden ca 15 %.

Med en varmekilde som har høy temperatur, for eksempel forbrenningsgass, kan det oppnås relativt høy virkningsgrad.

*Leveranse*

For industriell bruk kan det fra SSP leveres moduler med ytelse opp til 100-150 kW. Enhetene er ferdig montert med hjelpeutstyr, forberedt for tilkoping av strøm, varmekilde, kjølevann og eventuelt fjernovervåking. For større ytelser installeres flere moduler.

Det finnes noen få leverandører av Stirling-motorer, herav SSP i Norge. De fleste leverer enheter med under 50 kW ytelse.

*Utvikling*

Stirling-motorer kan for visse formål/størrelser regnes som kommersiell teknologi, blant annet serieproduseres det stirlingmotorer for U-båter, termiske solkraftverk, forsvarsformål og kjøleanlegg. Et betydelig antall små motorer er levert på verdensbasis, i Norge er det levert ett pilot-anlegg for spillvarmegjenvinning. Fortsatt er det imidlertid et stort potensial for praktisk utvikling. Det er nødvendig å få installert kommersielle anlegg for å få praktisk erfaring.

**Eksempel: Prosjekt for Stirling-motorer i avfallsforbrenningsanlegg**

Overskuddsdamp om sommeren skal utnyttes for kraftproduksjon. Dampen går direkte til Stirling-motorens varmeveksler. HT-kondensat returneres til drum.

Dampmengde	4,3 kg/s
Damptrykk	24 bara
Damptemperatur	222 °C (mettet damp)
Kjølevannstemperatur (sjøvann)	15 °C
Midlere effekt	1,6 MW
El. produksjon	6,2 GWh/år
Investering (ekskl. tilkoping)	18,5 mill NOK

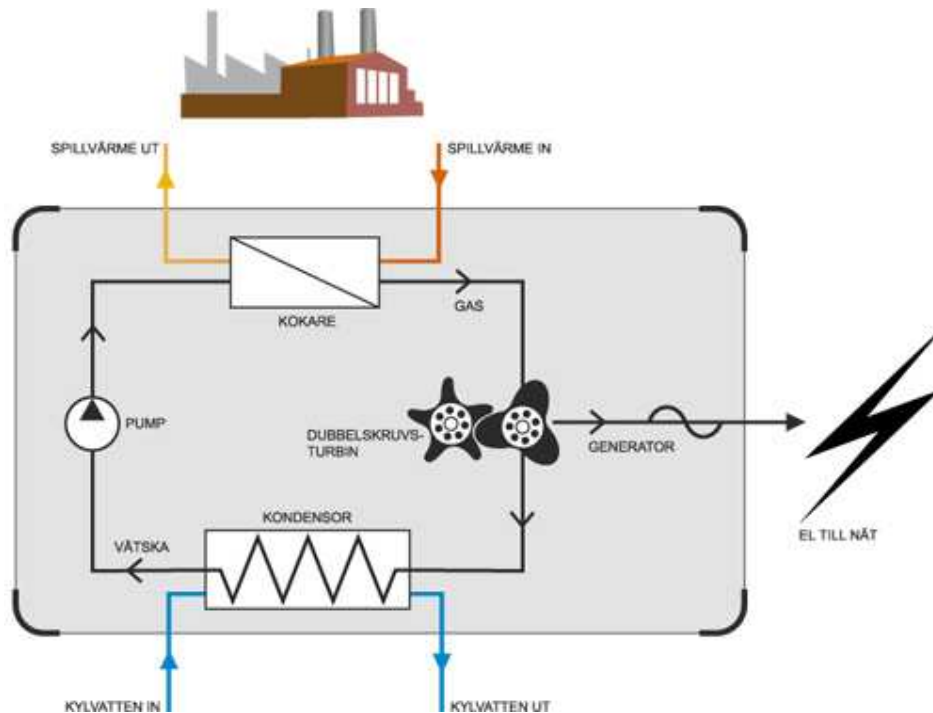
Stirling-motor er konkurransedyktig mot dampturbin i dette tilfellet fordi dampen har relativt høyt trykk men er ikke overhettet, og installasjonen får relativt lav brukstid.

**3.1.4 ORC***Generelt*

Organic Rankine Cycle (ORC) anvendes primært for utnyttelse av lavtemperatur spillvarme. Normalt vil teknikken ikke kunne konkurrere når det kan installeres et dampturbinanlegg.

ORC baseres på bruk av en organisk væske med lavt kokepunkt, for eksempel 30-40 °C ved aktuelt trykk. Væsken fordampes og ekspanderer så gjennom ekspansjonsmaskin (turbin, dobbelskrue eller annet) koblet til generator. Dampen kondenseres og går gjennom syklusen på nytt. Prosessen er prinsipielt den samme som for et dampturbinanlegg, men anvender organisk væske i stedet for vann/damp.

Figur 3.3 viser prosessen skjematisk.



Figur 3.3. ORC prosess

#### Prosess

Tilført varme kan ha temperatur ned mot 60 °C. Varm væske tilføres direkte til fordampner, eventuelt via varmeveksler. Varm avgass tilføres en varmeveksler eller kjel for omvandling til varmt vann.

Løsninger med to forskjellige organiske væsker eller 2 trykk sykluser kan benyttes. Da oppnås fordelen med forskjellig kokepunkt i de to syklusene/væskene.

Ferskvann eller sjøvann anvendes for kjøling i kondensator. Temperaturdifferensen over systemet bestemmer kraftutbyttet, kjølevannstemperaturen har derfor stor betydning for virkningsgraden. Luftkjøler kan anvendes, men gir dårligere virkningsgrad.

#### Leveranse

For industriell bruk kan det svenske firmaet Opcon levere moduler opp til 800 kW. Enhetene kan leveres ferdig montert med hjelpeutstyr i container, forberedt for tilkopling av strøm, varmtvann, kjølevann og eventuelt fjernovervåking.

For større ytelser installeres flere moduler eller spesielt designet anlegg.

Det finnes noen få leverandører av ORC-anlegg, men ingen i Norge.

#### Utvikling

ORC må regnes som kommersiell teknologi, men fortsatt er det sannsynligvis et stort potensial for praktisk utvikling. Et betydelig antall enheter er levert på verdensbasis, men kommersielle ORC-

anlegg finnes ikke i Norge. Det er derfor ønskelig å få installert noen anlegg for å få praktisk erfaring.

<b>Eksempel: Prosjekt med ORC i bedrift med kraftvarme produksjon</b>	
Varmtvann med temperatur 80 °C skal utnyttes for kraftproduksjon. Som varmemedium i ORC-prosessen anvendes ammoniakk	
Varmtvannsmengde	378 m <sup>3</sup> /h
Vanntemperatur inn	80
Vanntemperatur ut	63
Kjølevannstemperatur	6
Midlere effekt	0,5 MW
El. produksjon (8500 h/år)	4,25 GWh/år
Investering (ekskl. tilkøpling)	7,8 mill NOK
Installert aggregat har en nominell effekt på 0,8 MW.	

### 3.1.5 Kalina Cycle

Kalina Cycle ble utviklet primært for å øke virkningsgraden for avgassturbinanlegg. Systemet kan imidlertid anvendes for å utnytte all spillvarme med temperatur høyere enn ca 90 - 100 °C. Mediet i en Kalina Cycle er 70/30 % blanding av ammoniakk og vann..

Væsken i en Kalina Cycle fordampes ved lav og varierende temperatur, i motsetning til vann som har konstant fordampningstemperatur ved gitt trykk. Dampen ekspanderer gjennom en turbin koblet til generator. Dampen kondenseres så og går gjennom syklusen på nytt, slik som for et konvensjonelt dampsystem (Rankine Cycle). Konvensjonell avgasskjel og dampturbin kan benyttes.

Vi kjenner ikke firmaer som tilbyr ferdige utstyrsmoduler for denne type teknikk.

### 3.1.6 Oppsummering teknologidata

Typiske teknologidata er vist i tabell 3.1.

Tabell 3.1. Teknologidata

	Damp turbin	ORC	Stirling	Anm.
<b>Varmekilde</b>	Damp <sup>1)</sup>	Vann <sup>1)</sup>	Valgfritt	
<b>Virkningsgrad</b>	0,1-0,3	0,05-0,15	0,07-0,2	For utnyttbar spillvarme
<b>Max modul (kW)</b>	Ubegrenset	850	100-150	
<b>Plassbehov 2 MW</b>	2*6*8	10*18*3,5	10*10*3,5	B*L*H (m)
<b>Investering (kr/kW<sub>el</sub>)</b>	6-12 000	10-15 000	12-20 000	Ekskl. evt. kjel/reboiler
<b>D&amp;V (øre/kWh)</b>	2,5-12	3-5 <sup>2)</sup>	3-8 <sup>2)</sup>	
<b>Levetid (år)</b>	> 20	> 20	> 20	
<b>Max driftstid (h/år)</b>	> 8000	> 8000	> 8000	
<b>Utslipp</b>	0	0	0	Fra spillvarme
<b>Teknologimodenhet</b>	Gjennomprøvd. Mange installert i Norge	Delvis kommersiell. Ingen industrielle i Norge	Delvis kommersiell. Ingen industrielle i Norge	

<sup>1)</sup> Damp eller vann kan produseres av væske eller avgass i varmeveksler kjel etc.

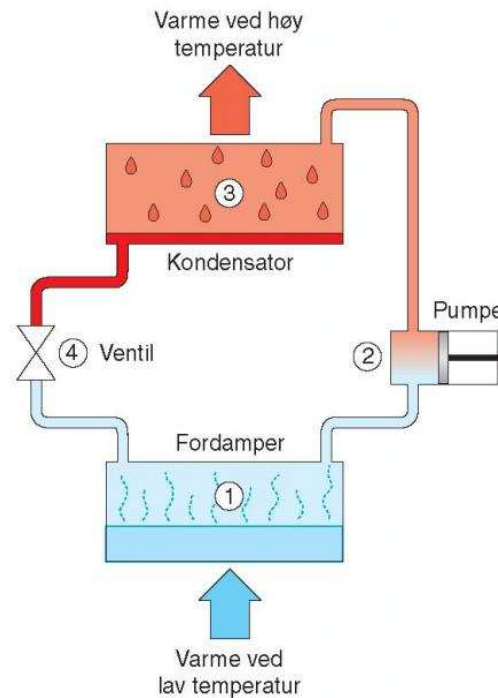
<sup>2)</sup> Oppgitt av leverandør.

## 3.2 VARMEPUMPE

### 3.2.1 Generelt

Varmepumpe gjør det mulig å flytte termisk energi fra en kilde med lav temperatur til en mottaker med høy temperatur. Det må tilføres høy kvalitets energi (for eksempel elektrisitet) i prosessen. Mengden tilført elektrisk energi er mye mindre enn den mengden termiske energi som flyttes.

Figur 3.4 viser prinsippet for en varmpumpe.



Figur 3.4. Prinsippkjema varmepumpe

1. I fordamperen overføres varme fra varmekilden (spillvarmekilde, sjøvann, kloakk, osv) til kuldemediet. Kuldemediet er her i en tilstand som gjør at det koker ved lav temperatur.
2. I kompressoren økes trykket på kuldemediet og dermed også temperaturen. Det er driften av kompressoren som krever strøm.
3. Etter at dampen (gassen) er komprimert føres den varme dampen inn i en kondensator hvor varme avgis til det mediet som skal varmes opp. Varmen avgis ved at det skjer en kondensering.
4. Den varme væsken strømmer gjennom en strupeventil hvor både trykk og temperatur reduseres. I denne prosessen kommer kuldemediet i en blandingsfase mellom væske og damp og strømmer ned i fordamperen for en ny runde.

Det finnes varmepumper som overfører varme fra luft til luft, vann til vann, luft til vann osv. Her er det kun sett på varmepumper som overfører varme fra vann til vann.

### 3.2.2 Prosess

Varmepumpens varmfaktor COP beregnes slik

$COP = \frac{\text{Varmeytelse}}{\text{tilført høyverdig energi (kompressorarbeid)}}$

Varmepumper får en bedre varmfaktor ved lavere temperaturløft. Lavere turtemperatur på fjernvarmen gir dermed en bedre varmfaktor. De fleste varmepumper til fjernvarmenett designes derfor ofte for å kunne levere ut i temperaturområdet 50 - 60 °C.

For større varmepumper > 3 MW er det mulig å levere opp til 80 °C. For varmepumpeinstallasjoner over 9 MW er det mulig å levere fjernvarme ved 90 °C.

Effektfaktoren for varmepumper i fjernvarmesystem ligger typisk på 2,6-3,0.

<b>Eksempel: Varmepumpe med kloakk som varmekilde</b>	
Kloakkvann med temperatur på ca 10 °C utnyttes til fjernvarmeproduksjon i Hafslund Fjernvarmes varmepumpeentral på Skøyen.	
Varmtvannsmengde	378 m <sup>3</sup> /h
Temperatur kloakk	80
Fjernvarmetur temperatur	85-90 °C
COP	2,8-3
Installert effekt	9 MW+ 18 MW
Varmeproduksjon	Ca 90 GWh/år

### 3.2.3 Typer

#### *Mekanisk*

Den konvensjonelle mekaniske varmepumpeprosessen er den med en lukket kompresjon som vist i figur 3.4.

#### *Absorpsjon*

Dersom man i tillegg til en lavtemperatur varmekilde har tilgang til en varmekilde med høy temperatur, kan det være aktuelt å benytte seg av en absorpsjonsvarmepumpe. Der absorberes arbeidsmediet i en væske før det komprimeres. Den trenger vesentlig mindre elektrisk energi til kompresjon av arbeidsmediet enn i en mekanisk varmepumpe. Varmekilden ved høy temperatur behøves for å skille arbeidsmediet fra væsken igjen. Absorpsjonsvarmepumper kan levere temperaturer opp mot 100 °C.

Absorpsjonsvarmepumper brukes i dag i liten utstrekning på grunn av høye investeringskostnader, men i tilfeller der man har tilgang på billig/gratis høytemperatur varme kan en slik varmepumpe være lønnsom.

#### *Hybridvarmepumpe*

En hybrid varmepumpe er en kombinasjon av en kompressorvarmepumpe og en absorpsjonsvarmepumpe. Den benytter et arbeidsmedium som består av naturlige stoffer som ammoniakk og vann, og den egner seg spesielt godt til utnyttelse av spillvarme fra industrielle prosesser. Arbeidsområdet for denne varmepumpen er 20–60 °C (kald side) og 75–100 °C (varm side). Teknologien kommer fra IFE-miljøet på Kjeller.

<b>Eksempel: Hybrid varmepumpe i næringsmiddelindustri</b>	
Spillvarme fra oljekjøling av skruekompressor og varme fra lavtemperatur varmepumpe brukes til å ettervarme tappe/vaskevann hos Nortura Tønsberg.	
Effekt hybrid varmepumpe:	470 kW
Mengde varmtvann produsert daglig:	240 m <sup>3</sup>
Temperatur varmtvann:	83 °C
Gjennomsnittlig energifaktor VP:	4,5
Årlig besparelse:	2,5 GWh
Naturlig arbeidsmedium:	50% vann og 50% ammoniakk
Maksimalt designtrykk:	25 baro

### 3.2.4 Leveranse

Varmepumper har vært i salg i mange år og regnes som en moden teknologi. Mange av de arbeidsmediene som ble benyttet tidligere har vist seg å bryte ned ozonlaget i atmosfæren eller å være sterke drivhusgasser. Det har i årenes løp vært gjennomført omfattende undersøkelser for å identifisere alternative arbeidsmedier. Vanlige arbeidsmedier i dag blant annet R-134a, ammoniakk og enkelte hydrokarboner.

### 3.2.5 Utvikling

#### *Transkritisk varmepumpe*

I en transkritisk varmepumpe kondenserer ikke gassen ved varmeavgivelsen, men varme avgis ved avkjøling av en høytrykksgass. Det kjente arbeidsmediet i slike varmepumper er CO<sub>2</sub>. Mens effektfaktoren for konvensjonelle varmepumper øker ved avtagende turtemperatur i varmedistribusjonsnettet, er det viktig for CO<sub>2</sub>-varmepumpen at varme avgis over et relativt stort område.

Teknologien er i dag kommersialisert for mindre anlegg i hovedsak for oppvarming av tappevann i boliger. Større enheter er enda under utvikling

Teknologien er utviklet ved Sintef Energiforskning og NTNU i Trondheim.

## 3.3 BEHOV FOR TEKNOLOGIUTVIKLING

Undersøkelsen peker på behov for teknologiutvikling innenfor følgende områder:

- Full-kommersialisere utstyr for kraftproduksjon fra spillvarmekilder med temperatur ned mot 60-70 °C.  
Målet er å få etablert leverandører med rasjonell produksjon og mange leverte anlegg, slik at utstyr/system kan tilbys til lavest mulig pris.
  - Det er behov for å få installert noen prototypaanlegg i Norge så en får erfaringer fra fullskala industrianlegg basert på Stirling-motor og ORC-prosess.  
Enova kan bidra for eksempel ved å velge ut noen aktuelle prosjekter og tilby max. støtte til planlegging og bygging. Leverandørene kan muligens assistere med å finne prosjekter.



- Det er ønskelig å få etablert flere leverandører av Stirling-motorer og ORC-moduler til industriell bruk.
  
- Utprøve LT-dampturbiner i Norge.  
Turbiner for mettet damp med moderat trykk kan regnes som kommersiell teknologi, men slike turbiner finnes foreløpig ikke i Norge.
  - Det er behov for å få installert et par prototypenlegg i Norge så en får publisitet omkring, og erfaringer med, slike turbiner.  
Enova kan bidra for eksempel ved å velge ut et par aktuelle prosjekter og tilby max støtte til planlegging og bygging.
  - Hvis det etableres produksjon av ferdigmonterte moduler med avgasskjel og dampturbin, kan muligheten for å utnytte varm avgass fra avgassturbiner til kraftproduksjon øke.
  
- Videreutvikle varmpumper for høy temperatur.  
Det er ønskelig å få etablert flere leverandører av mellomstore varmpumper for 70-90 °C til fjernvarmesystemer, leverandører med rasjonell produksjon og mange leverte anlegg, slik at utstyr/system kan tilbys til lavest mulig pris.
  
- Utvikle teknologi som muliggjør kraftproduksjon fra varmekilder med temperatur lavere enn 60-70 °C.  
Her kreves i første omgang mer grunnleggende F&U. Sintef Energiforskning arbeider med slik teknologi.

## 4 VEILEDER

### 4.1 GENERELT

Det er utarbeidet en forenklet "Veileder" som kan brukes for en første vurdering av om utnyttelse av spillvarme kan være teknisk/praktisk mulig og lønnsomt.

Veilederen består av:

Trinn 1. Et blokkdiagram som viser hvilken teknikk og hvilke produkter som er aktuelle ut fra spillvarens temperatur.

Trinn 2. Et Excel program som angir mulig teknologi, beregner mulig kraftproduksjon og lønnsomhet, samt angir mulig energidekning i et fjernvarmesystem.

Trinn 3. Orienteringsstoff og eksempler for videre vurdering av muligheter for å utnytte spillvarme i fjernvarmesystemer.

Veilederen har "snille" kriterier slik at den ikke skal stoppe praktisk mulige prosjekter. De fleste prosjekter vil dermed fremstå som gunstigere enn de viser seg å være ved en grundigere vurdering. Et positivt svar fra veilederen må følges opp med en grundigere vurdering av kvalifisert person for det aktuelle tilfellet.

Bruk av spillvarme i prosesser er ikke tatt med fordi slik bruk vil være bransje- og bedriftsspesifikk. Dette gjelder både bruk i egen bedrift og bruk i nærliggende bedrifter. Slik prosessmessig utnyttelse kan for eksempel være forvarming av forbrenningsluft eller tørkeluft, oppvarming av varmtvann for prosessformål eller forvarming av råstoff.

Veilederen er satt opp for vann, ikke for væsker generelt. Dette er gjort for å forenkle. I praksis forekommer spillvarmestrøm med annen væske sjelden, kartleggingen har bare avdekket en slik spillvarmekilde.

Veilederen bruker forenklet spesifikk varmekapasitet 1,0 for avgasser. Den er da anvendelig for luft og de fleste forbrenningsgasser.

Veilederen kan ikke uten videre brukes for fuktige avgasser som kjøles til under duggpunktet, slik at kondensasjonsvarme frigjøres. Dette gjelder eksempelvis varmegjenvinning fra papirmaskiners råddamp. Brenngass kan ikke brukes direkte som energikilde i Veilederen.

I kartleggingen er alle spillvarmemengder rapportert med 0 °C som referanse. I praksis er imidlertid bare øvre del av temperaturområdet utnyttbart, nedre grense avhenger av teknologi og hva spillvarmen skal brukes til.

- For damp til kraftproduksjon i dampturbin anvendes dampens entalpi ref. 0 °C direkte i beregningene. Formelsystemet tar hensyn til at energien ikke kan utnyttes ned til 0 °C.
- For damp, vann eller avgass til varmeformål regnes det med utnyttelse ned til 5 °C over aktuell brukertemperatur.

De investeringsbeløp som ligger til grunn for beregning av payback ved kraftproduksjon skal inkludere alle kostnader for prosjektet, unntatt finansielle kostnader.

Når spillvarmen foreligger som damp er dette kraftaggregatet ferdig montert og tilkopleet med tilhørende kostnader til bygningsmessige arbeider, SRO og ingeniørarbeider.

Når basis er vann eller avgass som produserer damp til en dampturbin, inkluderer investeringsbeløpet også system med reboiler eller røkrørskjel(er) for dampproduksjon. Grunnet relativt lav virkningsgrad for dampturbinen, utgjør dette tillegget en stor del av investeringen.

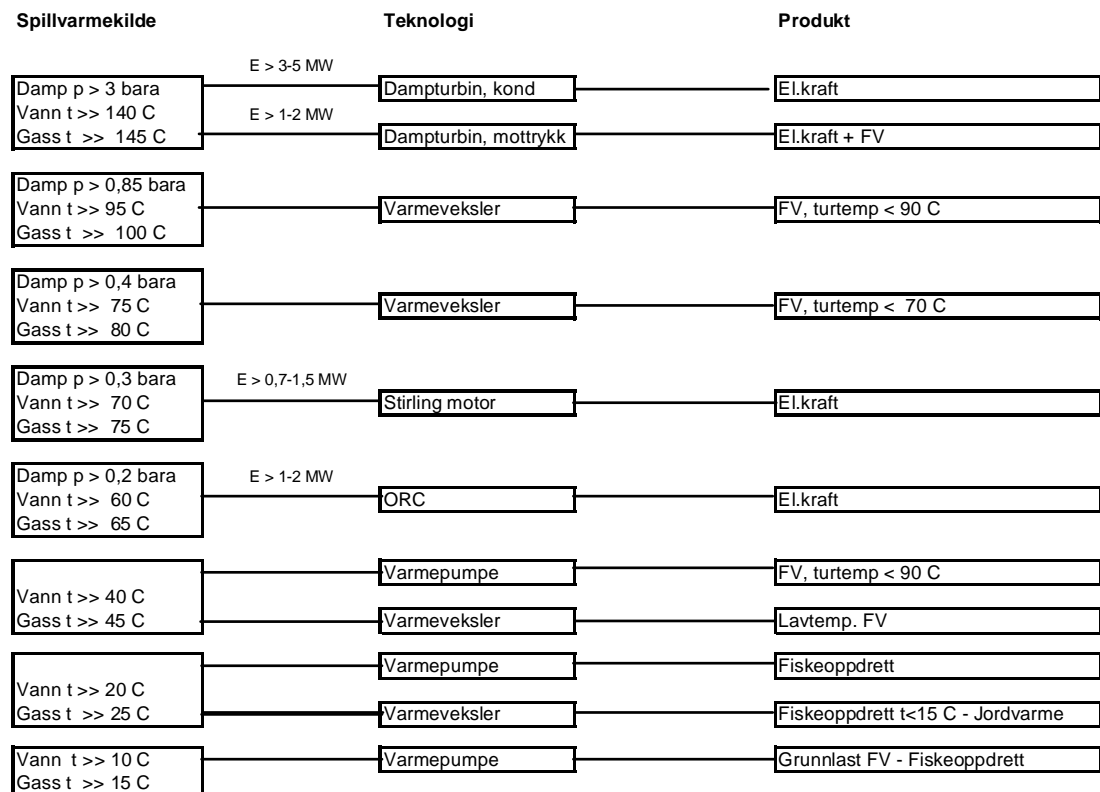
Postene i kalkylen for det enkelte prosjekt kan variere betydelig ut fra stedlige forhold. I mange tilfeller vil derfor virkelig investeringsbeløp bli høyere enn brukte normtall.

Eventuell investeringsstøtte er imidlertid ikke medtatt, slik støtte kan forbedre lønnsomhetskalkylen.

## 4.2 TRINN 1

### 4.2.1 Teknikk, produkt

Figur 4.1 viser hvilken teknikk/produkt som er aktuell ut fra spillvarmens temperatur.



>> betyr at temperaturfallet for væsken/gassen for å avgi varme, kommer i tillegg.

Figur 4.1. Veileder Trinn 1

Spillvarmen kan alltid utnyttes "lavere i hierarkiet", det vil si til formål som krever lavere temperatur på varmekilden enn det som er tilgjengelig. Disse mulighetene er stort sett ikke vist i figuren. For eksempel kan damp med trykk  $> 0,4$  bara også utnyttes til kraftproduksjon i Stirling-motor eller ORC, med varmeveksler til lavtemperatur fjernvarme/fiskeoppdrett/ jordvarme, eller med varmepumpe til fjernvarme.

Dersom vann eller avgass ikke resirkuleres, kan mer energi utnyttes i videre trinn til produkter som krever lavere temperatur.

Fjernvarmesystemer har forskjellige design-temperaturer og temperatur-forløp over året. Når det anføres at spillvarme med en bestemt temperatur kan anvendes i et system, betyr det derfor ikke nødvendigvis at hele energibehovet kan dekkes.

Nye systemer kan til en viss grad designes med lav temperatur og for eksempel brukes til oppvarming av egne bygg, nærliggende bygg eller veksthus.

#### 4.2.2 Effekt

Figur 4.1 viser også hvilken minste utnyttbar spillvarme-effekt som i praksis anses nødvendig for å kunne produsere kraft. Utgangspunkt er 500 kW som minste praktiske størrelse på dampturbin og ca 100 kW for Stirling-motor eller ORC for kraftproduksjon i industriell sammenheng. Grensene er satt ut fra en praktisk vurdering, de er ikke beregnet eller knyttet til konkrete fakta.

Minste utnyttbar spillvarme-effekt for fjernvarme vil bestemmes av flere forhold, blant annet geografisk avstand mellom kilde og bruker.

### 4.3 TRINN 2

#### 4.3.1 Kraftproduksjon

Programmet angir mulig teknologi for å produsere kraft og indikerer mulig kraftproduksjon og lønnsomhet.

Hvis spillvarmekilden er damp med trykk  $> 3$ bar, velger Veilederen automatisk dampturbin. Hvis spillvarmekilden er vann eller avgass med temperatur  $< 250$  °C, velger Veilederen ORC/Stirling. I temperaturområdet 250-350 °C velges dampturbin.

Programmet anvender forenklete beregninger og har forutsetninger som ikke nødvendigvis stemmer helt i det aktuelle tilfellet. Spesielt gjelder dette Stirling-motor og ORC hvor erfaringsmaterialet er for lite. Hvis en beregning indikerer at prosjektet kan være lønnsomt, må det derfor gjøres en grundigere vurdering av kompetent person.

Hvis spillvarmekilden er forurenset, må teknisk gjennomførbarhet, mulig kraftproduksjon og lønnsomhet vurderes i hvert enkelt tilfelle.

#### *Dampturbin.*

Laveste damptrykk er satt til 3 bara fordi vi kjenner ikke leverandører som har standard modeller for lavere trykk.

For spillvarme i form av vann eller avgass, beregner programmet kraftproduksjon i turbin med damptrykk 3 bara. Ved temperaturer høyere enn 350 °C blir dette for lite nøyaktig, i slike tilfeller må det i hvert enkelt tilfelle gjøres en optimalisering hvor også kjelkonsept tas i betraktning. Hvis spillvarmen foreligger som damp, anvendes aktuelt damptrykk. Eventuell overheting er tatt med i beregningene.

Basis for beregning av kraftproduksjon er:

Kondensasjonstrykk:	0,05-0,1 bara (vannkjølt kondensator)
Indre virkningsgrad:	0,6-0,84
Mekaniske virkn.grader:	0,9-0,94

Anvendt verdi avhenger av aggregatstørrelse. Dårligste verdi gjelder 0,5 MW turbin, gunstigste verdi gjelder for 15 MW turbin.

Hvis det anvendes luftkjølt kondensator, blir mulig kraftproduksjon anslagsvis 5-10 % lavere.

Basis for beregning av payback er:

Investering turbinanlegg:	8000-15 000 kr/kW <sub>el</sub>
Investering turbinanlegg m/reboiler:	14 250-25 000 kr/ kW <sub>el</sub>
Investering turbinanlegg m/avgasskjel:	18 000-31 000 kr/ kW <sub>el</sub>
Drifts- og vedlikeholdskostnader:	2,5-12 øre/kW <sub>el</sub>

Anvendt verdi avhenger av aggregatstørrelse.

Figur 4.2 viser eksempel for kondensasjonsturbin.

## VEILEDER FOR UTNYTTELSE AV SPILLVARME

SPILLVARMEKILDE						
Kilde	Trykk	Temperatur	Mengde	Kjølevann	Fullast tid	Kraftpris
-	<i>bara</i>	<i>°C</i>	<i>kg/s</i>	<i>°C</i>	<i>h/år</i>	<i>øre/kWh</i>
Damp						
Vann	-					
Avgass	-	300	128,5	10	8500	40

Sett inn verdier for en spillvarmekilde om gangen. Fyll ut alle de gule feltene på linjen.

ELEKTRISK KRAFT FRA SPILLVARME						
Kilde	Teknologi	Utnyttbar effekt	Turbin effekt	Elkraft produksjon	Turbin + Kjel	Payback
		<i>MW</i>	<i>MW</i>	<i>GWh/år</i>	<i>1000 kr</i>	<i>år</i>
Avgass	Damp turbin	20,94	2,57	21,9	460 168	8,2
Avgass						
Avgass						

## ELLER

FJERNVARME FRA SPILLVARME				
Kilde	Kundens system	Utnyttbar effekt	Energi dekning	Energi dekning
		<i>MW</i>	<i>%</i>	<i>GWh/år</i>
Avgass	80 - 60	33,1	100 %	281,7
Avgass	60 - 40	34,5	100 %	292,9

Veilederen gir en grov vurdering ut fra gunstige standardverdier. Kvalifisert person må deretter gjøre en spesifikk vurdering for det aktuelle tiltaket.

Veilederen gjelder for damp, vann og avgass med temperatur < 350 °C.

Vedlagte ark gir bakgrunnsinfo for veilederen.

Utarbeidet av Tor Olav Eikrem ved Norsk Energi

Figur 4.2. Veileder – Eksempel med kondensasjonsturbin

*Stirling-motor.*

Leverandør oppgir at laveste praktiske spillvarmetemperatur er ca 70 °C.

Kraftproduksjon er forenklet satt til 45 % av Carnot-virkningsgrad beregnet ut fra temperatur på spillvarmen og kjølevannet.

Basis for beregning av payback er:

Spesifikk investering:	12.000 kr/kW <sub>el</sub>
Drifts- og vedlikeholdskostnader:	4 øre/kW <sub>el</sub>

Figur 4.3 viser eksempel for Stirling-motor.

VEILEDER FOR UTNYTTELSE AV SPILLVARME						
SPILLVARMEKILDE						
Kilde	Trykk	Temperatur	Mengde	Kjølevann	Fullast tid	Kraftpris
-	bara	°C	kg / s	°C	h / år	øre / kWh
Damp						
Vann	-	90	27	10	8000	40
Avgass	-					

*Sett inn verdier for en spillvarmekilde om gangen. Fyll ut alle de gule feltene på linjen.*

ELEKTRISK KRAFT FRA SPILLVARME						
Kilde	Teknologi	Utnyttbar effekt	Elektrisk effekt	Elkraft produksjon	Investering	Payback
		MW	MW	GWh / år	1000 kr	år
Vann						
Vann	Stirling	2,27	0,22	1,8	33 993	5,2
Vann	ORC	3,40	0,22	1,8	40 761	4,2

**ELLER**

FJERNVARME FRA SPILLVARME				
Kilde	Kundens system	Utnyttbar effekt	Energi dekning	Energi dekning
		MW	%	GWh / år
Vann	80 - 60	4,2	98 %	34,0
Vann	60 - 40	5,4	100 %	43,0

Veilederen gir en grov vurdering ut fra gunstige standardverdier. Kvalifisert person må deretter gjøre en spesifikk vurdering for det aktuelle tiltaket.

Veilederen gjelder for damp, vann og avgass med temperatur < 350 °C.

Vedlagte ark gir bakgrunnsinfo for veilederen.

Utarbeidet av Tor Olav Eikrem ved Norsk Energi

Figur 4.3. Veileder – Eksempel med Stirling-motor

ORC.

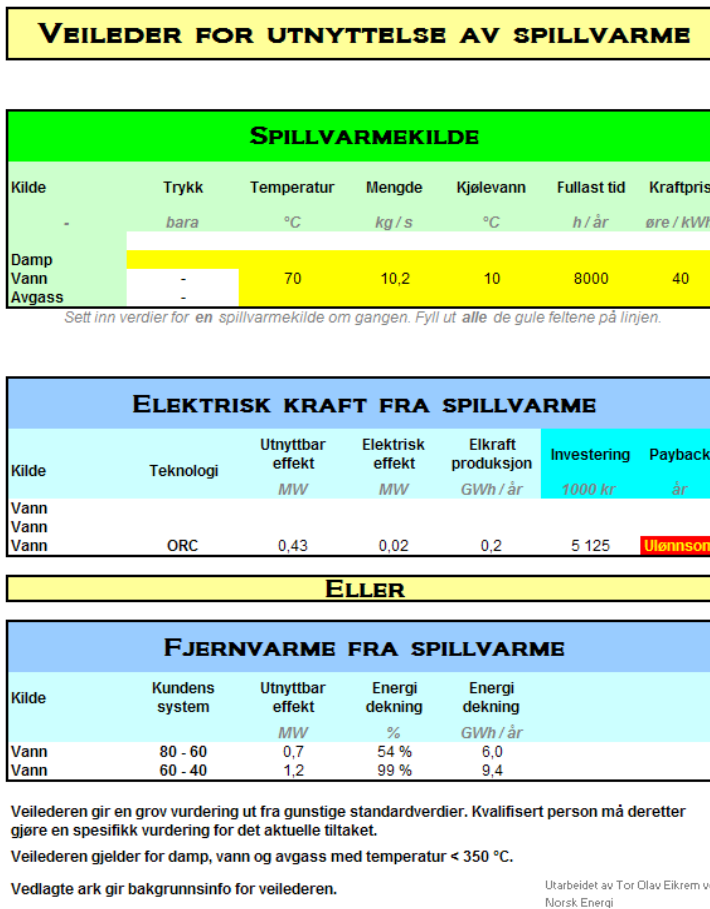
Leverandør oppgir at laveste praktiske spillvarmetemperatur er ca 60 °C.

Kraftproduksjonen er forenklet satt til 30 % av Carnot-virkningsgrad beregnet ut fra temperatur på spillvarmen og kjølevannet.

Basis for beregning av payback er:

Spesifikk investering: 15.000 kr/kW<sub>el</sub>  
 Drifts- og vedlikeholdskostnader: 4 øre/kW<sub>el</sub>

Figur 4.4 viser eksempel for ORC.

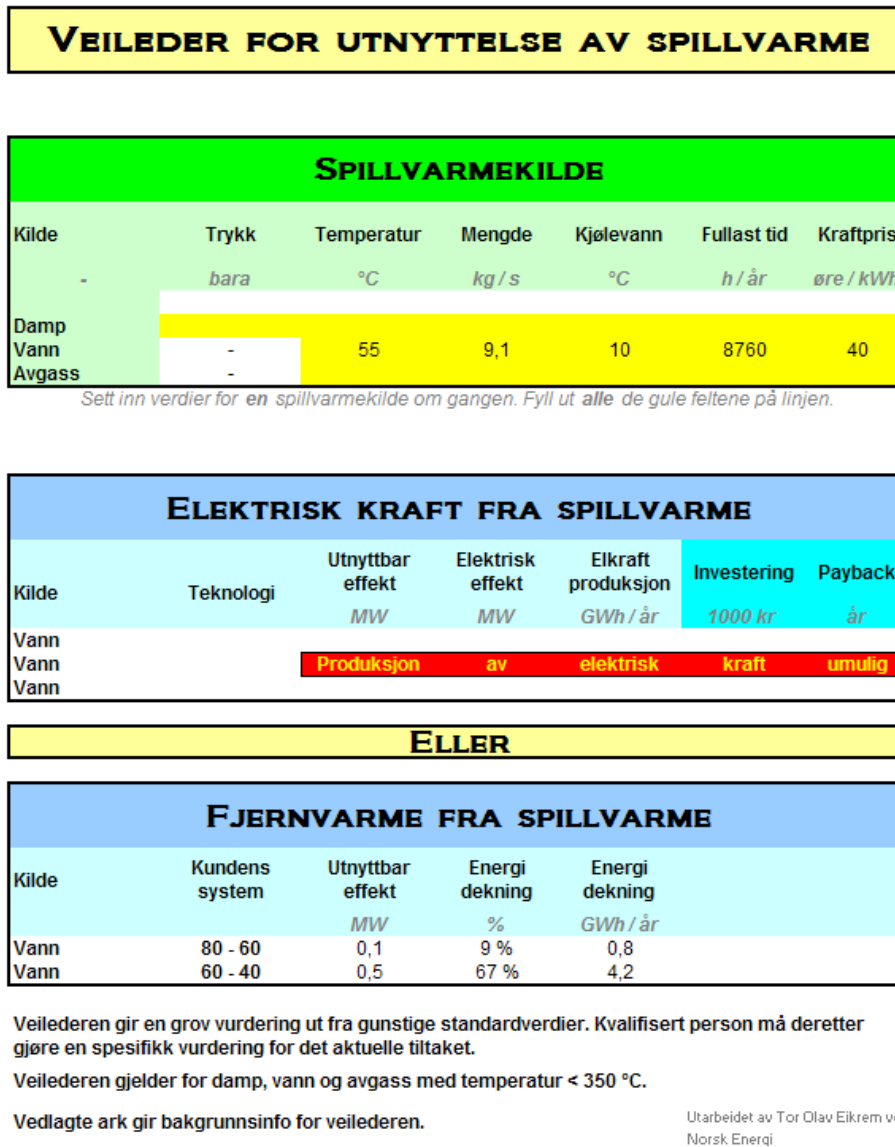


Figur 4.4. Veileder – Eksempel med ORC

### 4.3.2 Fjernvarme.

Programmet angir også mulig energidekning i et fjernvarmesystem. Figur 4.5 viser eksempel.





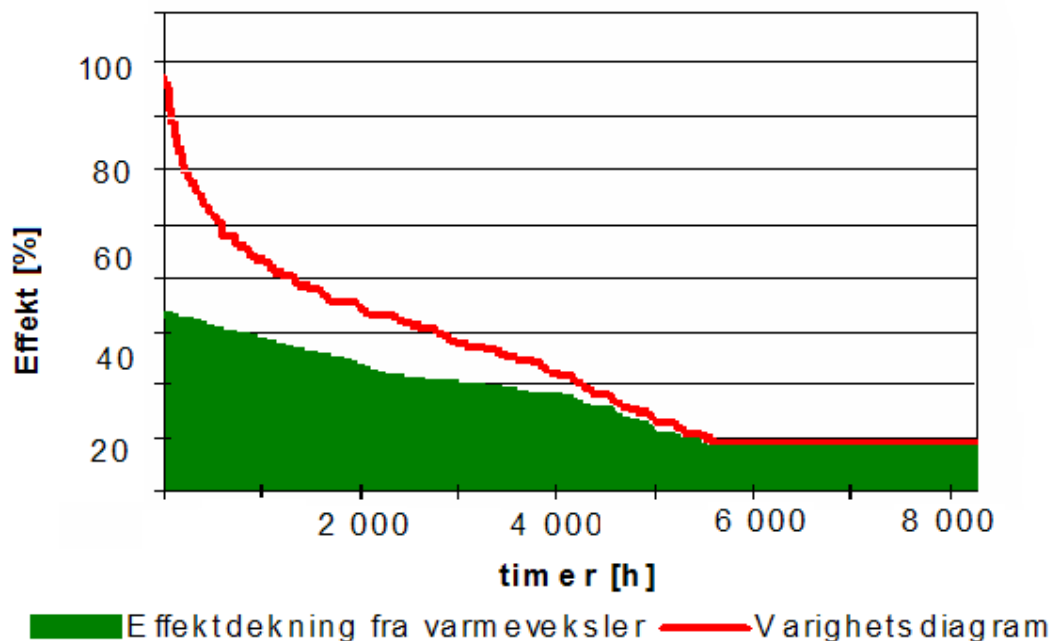
Figur 4.5. Veileder – Eksempel med fjernvarme

Veilederen anvender en forenklet varighetskurve for å beregne mulig energidekningen fra spillvarmekilder ved ulike temperaturer. Varighetskurven som er benyttet gjelder for østlandsklima, med gjennomsnittlig brukstid for fjernvarmenettet på ca 2200 timer. Annet bruksmønster og klima kan gi avvik fra programmet.

Energidekningen av spillvarme til fjernvarmeformål beregnes for to ulike tilfeller:

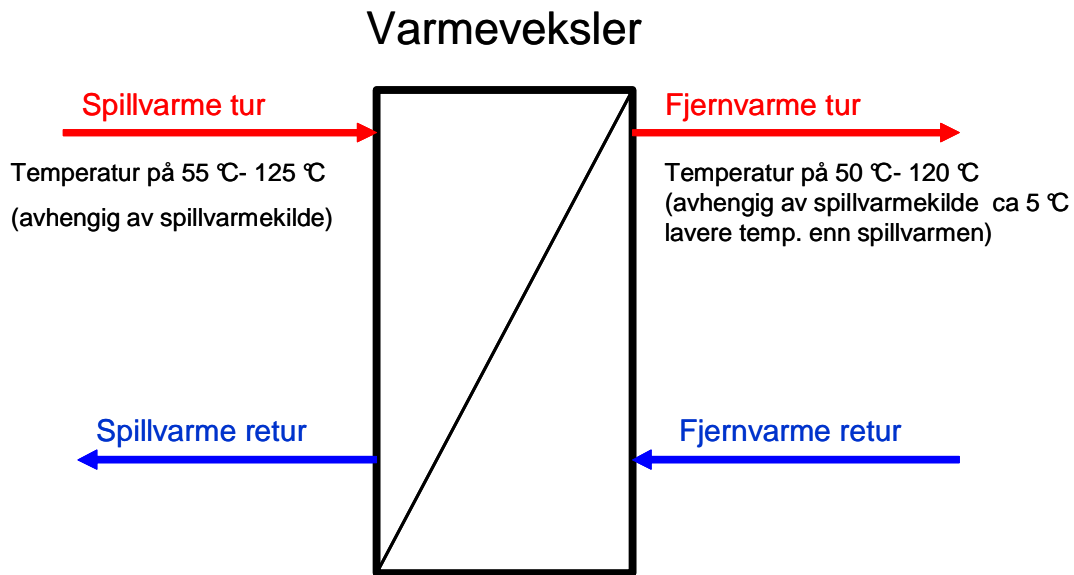
1. Eksisterende fjernvarmenett  
Kundene har behov for 80 °C vinterstid, det gir en retur på 60 °C. Dette krever en turtemperatur på 90 °C på fjernvarme og 95 °C på spillvarmen på kaldeste dag for å kunne dekke hele varmebehovet. Ved lavere spillvarmetemperatur vil deler av behovet kunne dekkes.
2. Lavtemperatur fjernvarmenett  
Forutsetter at kunden har behov for 60 °C vinterstid noe som gir en returtemperatur fra kunden på 40 °C. Dette krever en spillvarmekilde på 75 °C på kaldeste dag for å kunne dekke hele behovet.

Eksempel: Kunden har behov for 80 °C vinterstid. Det gir et behov for spillvarme med 95 °C på kaldeste dag. En spillvarmekilde med temperatur 70 °C vil eksempelvis kunne dekke 54 % av energibehovet. Dette er vist i figur 4.6.



Figur 4.6. Varighetskurve med energidekning fra varmeveksler med lavere temperatur enn temperaturkravet på kaldeste dager

Veilederen angir hvor stor del av spillvarmemengden som kan benyttes til fjernvarme sett i forhold til mengden spillvarme og temperaturen på spillvarmen. Den tar ikke hensyn til faktisk effektbehov i fjernvarmenettet, som er avhengig av effektbehovet hos kundene. Det er kun sett på direkte bruk av spillvarmen til fjernvarmeformål, dvs at spillvarmen overføres til fjernvarmenettet via en varmeveksler. Prinsippet er vist i figur 4.7:



Figur 4.7. Prinsippskisse varmeveksler mellom spillvarmekilde og fjernvarmenett

Et annet alternativ er å benytte spillvarmen som input til en varmepumpe som hever temperaturen til nødvendig nivå. Dette er ikke tatt med i veilederen, men er beskrevet i kapittel 4.4.

Programmet beregner ikke payback for fjernvarmebruk da investeringskostnadene og inntektene vil variere mye i de ulike tilfellene. Dette er beskrevet i kapittel 4.4.

#### 4.4 TRINN 3 – FJERNVARME

Spillvarmen benyttes enten i et eksisterende fjernvarmenett dersom dette eksisterer, ellers så må det bygges ut et fjernvarmenett til aktuelle kunder. Kapitlet gir en kort presentasjon av kostnader knyttet til utbygging og drift av et fjernvarmenett.

Det er gitt en kort beskrivelse av prosessen for dimensjonering av en varmesentral for et fjernvarmenett og typiske investerings- og driftskostnader for et fjernvarmeanlegg. Dersom det finnes et fjernvarmenett det er mulig å benytte spillvarmen til, vil det kun være investeringskostnader knyttet til overføringsledning og varmeveksler som er aktuelt.

Tallgrunnlaget som er benyttet er erfaringstall. Investeringskostnadene avhenger av mange ytre faktorer som vil variere i de ulike tilfellene. Investeringskostnadene som er vist kan derfor kun benyttes til grove overslagsberegninger.

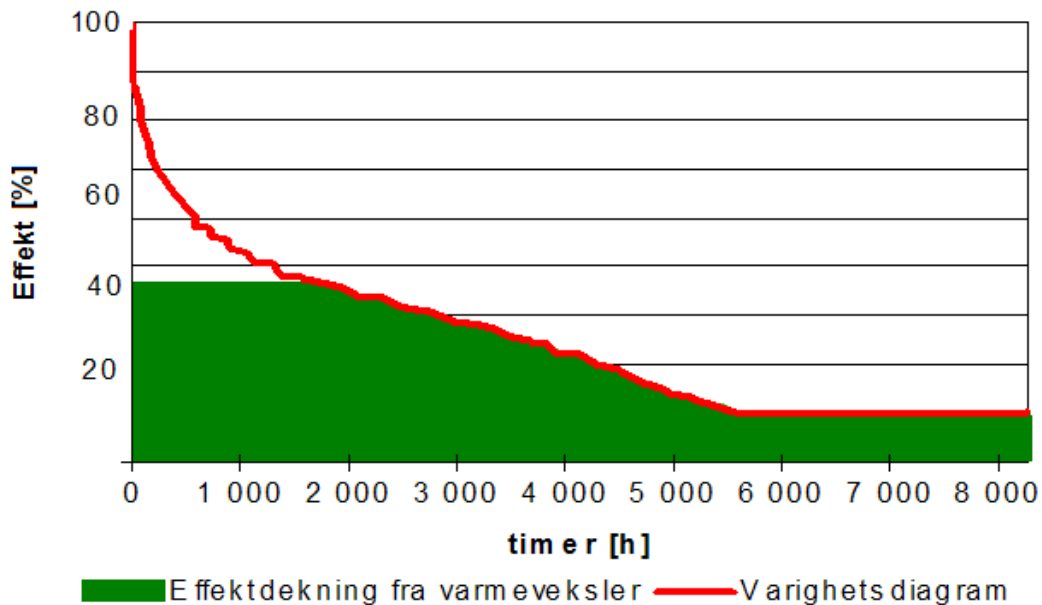
#### 4.4.1 Fjernvarmegrunnlag

Potensialet for bruk av fjernvarme er avhengig av at det finnes kunder som kan benytte varmen, enten i industrielle prosesser eller til oppvarming, eventuelt til fiskeoppdrett etc. For å kunne benytte fjernvarme til oppvarming må bygget ha et vannbårent varmesystem. Å kartlegge energi- og effektbehovet hos kundene er viktig for å få dimensjonert anlegget riktig.

Maksimalt effektbehov i et fjernvarmenett er mindre enn summen av maksimalt effektbehovet til kundene. Erfaringstall viser at fjernvarmenett gjerne har en samlagring på 0,8. Det vil si at maksimalt effektbehov i fjernvarmenettet er  $0,8 \times$  maksimal installert effekt.

#### 4.4.2 Dimensjonering - energi og effektbehov

Ved dimensjonering av et fjernvarmeanlegg tar en utgangspunkt i et effektvarighetsdiagram. Det viser hvordan energiforbruket fordeler seg per time av året, sortert etter den timen med høyest energiforbruk først. Figur 4.8 viser en slik typisk varighetskurve.



Figur 4.8. Typisk varighetskurve for et fjernvarmenett

Arealet under grafen viser energibehovet over året, og kan benyttes til å beregne hvor stor andel av årlig energibehov som kan dekkes ved hjelp av en grunnlastkilde med en gitt effekt. Figuren viser at en varmeveksler som dekker 40 % av det maksimale effektbehovet kan dekke opp mot 90 % av energibehovet over året.

Dersom det kan være aktuelt å investere i en varmepumpe for å heve temperaturen på spillvarmen slik at den kan benyttes til fjernvarme, vil det i de fleste tilfeller være gunstig å benytte et varighetsdiagram for å beregne behovet for installert effekt for varmepumpen. Som et første estimat kan 40 % av effektbehovet (korrigert for samlagring på 0,8) være et godt utgangspunkt.

#### 4.4.3 Investeringskostnader varmeproduksjon

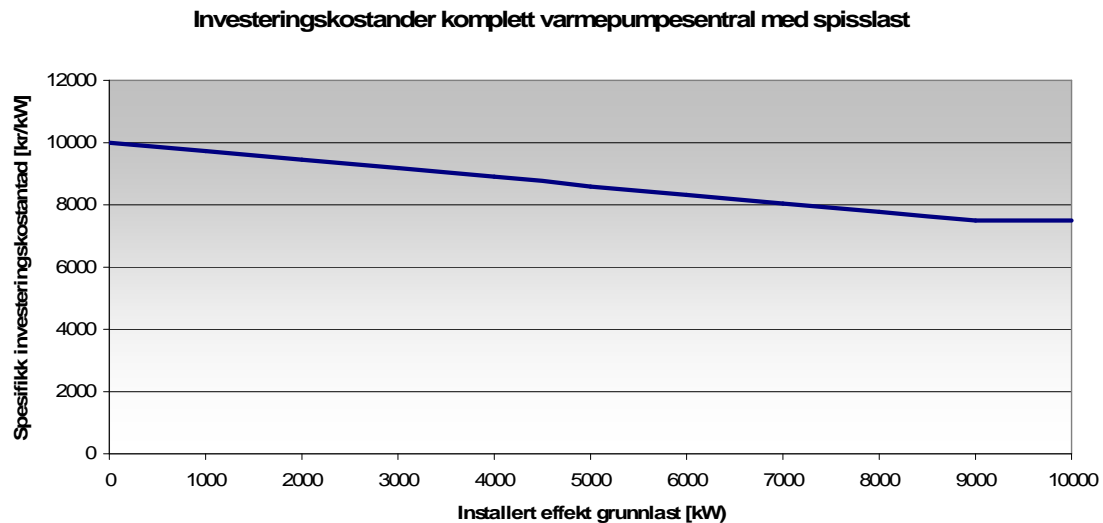
##### Varmeveksler

Dersom spillvarmen skal benyttes direkte til fjernvarme, er det kun behov for en varmeveksler med pumper, styring og regulering.

- Totale investeringskostnader for varmeveksler fra avgass til vann ligger i størrelsesorden 1500-5000 kr/kW
- Totale investeringskostnader for varmeveksler fra vann til vann ligger i størrelsesorden 1000-2000 kr/kW

##### Varmepumpesentral med spisslast

Figur 4.9 viser investeringskostnader for en varmpumpesentral med spisslast. Kostnadene forutsetter at varmpumpen (grunnlasten) utgjør ca 35 % av totalt installert effekt. Kostnadene er for en komplett varmesentral inklusive grunnarbeider, bygg samt fremføring av vann og elektrisitet.



Figur 4.9. Spesifikk investeringskostnad for komplett varmpumpesentral

Eksempel: Dersom det er ønskelig å bygge en varmesentral til å forsyne et fjernvarmenett der grunnlasten er beregnet til 2 MW, blir totale investeringer  $2000 \text{ kW} \cdot 9000 \text{ kr/kW} = 18 \text{ MNOK}$  inkludert spisslastdekning på 3-4 MW.

Figur 4.9 gjelder for varmpumper som skal kunne levere temperaturer opp mot 85-90 °C. Dersom man har et fjernvarmenett som kun har behov for 60-65 °C, kan investeringskostnadene til selve varmpumpeenheten bli noe lavere.

#### 4.4.4 Investeringskostnader infrastruktur

##### Overføringsledning

De fleste spillvarmekilder ligger et stykke fra eventuelle fjernvarmekunder. Det vil derfor i de fleste tilfeller være behov for en overføringsledning. Tabell 4.1 viser kostnadene for overføringsledning

per meter grøft. Det er lagt til grunn en temperaturredifferanse på 30 °C på fjernvarmens tur- og returtemperatur. En høyere temperaturredifferanse kan gi noe lavere investeringskostnader, da det gir mulighet for å gå ned en dimensjon på rørene.

Tabell 4.1 Kostnad for fjernvarme overføringsledning

Overføringskapasitet	Kostnad per grøftemeter
< 5 MW	3000-4000 NOK/m
5-10 MW	5000-7000 NOK/m
10-15 MW	7000-8000 NOK/m

#### Distribusjonsnett og kundesentraler

Kostnadene inkluderer distribusjonsnettet i utbyggingsområde samt kundesentraler hos hver kunde. Investeringskostnaden vil avhenge av hvor høy varmetetthet det er i utbyggingsområdet. Tabell 4.2 oppsummerer spesifikke kostnader for utbygging.

Tabell 4.2 Kostnad for distribusjonsnett

Utbyggingsområde	Kostnad per kWh/år
Område med god varmetetthet	1,5 kr/kWh
Område med normal varmetetthet	2 kr/kWh
Område med mer spredt varmetetthet	2,5 kr/kWh

#### 4.4.5 Driftskostnader

Driftskostnader for et komplett fjernvarmeanlegg med varmesentral, nett og kundesentraler ligger på minimum 10 øre/kWh inklusive administrasjon etc.

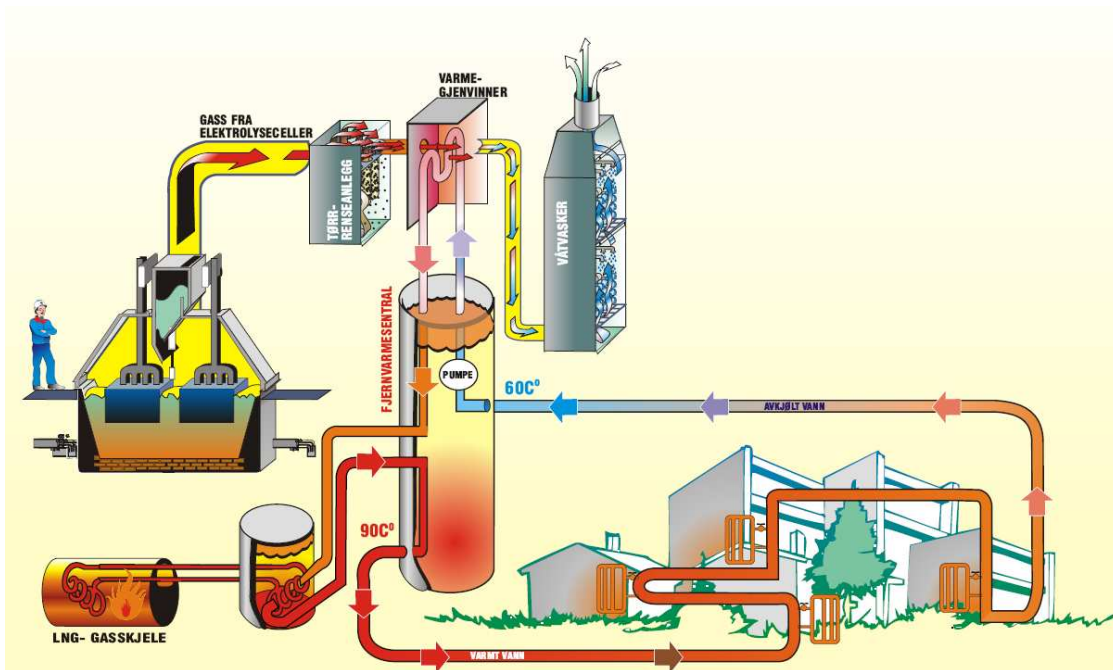
Hvis spillvarmen benyttes i et eksisterende fjernvarmenett, fører det ikke til noen økte driftskostnader.

#### 4.4.6 Eksempler

##### Bruk av avgass til fjernvarme

Fjernvarmenettet på Sundalsøra eies og driftes av Sunndal Energi KF. Varmen som brukes kommer fra rensenanlegget på det nye verket til Hydro Aluminium Sunndal.

Figur 4.10 viser systemløsningen for fjernvarmesystemet på Sundalsøra.



Kilde: Sunndal Energi KF

Figur 4.10 Prinsippet for fjernvarmesystemet på Sunndalsøra

Avgassen fra rensanlegget blir varmegjenvunnet i en varmeveksler (5-6 MW) og overført til fjernvarmenettet. I tillegg er det installert en avgasskjel på 8 MW som ettervarmer vannet ved behov og som også fungerer som reservelast.

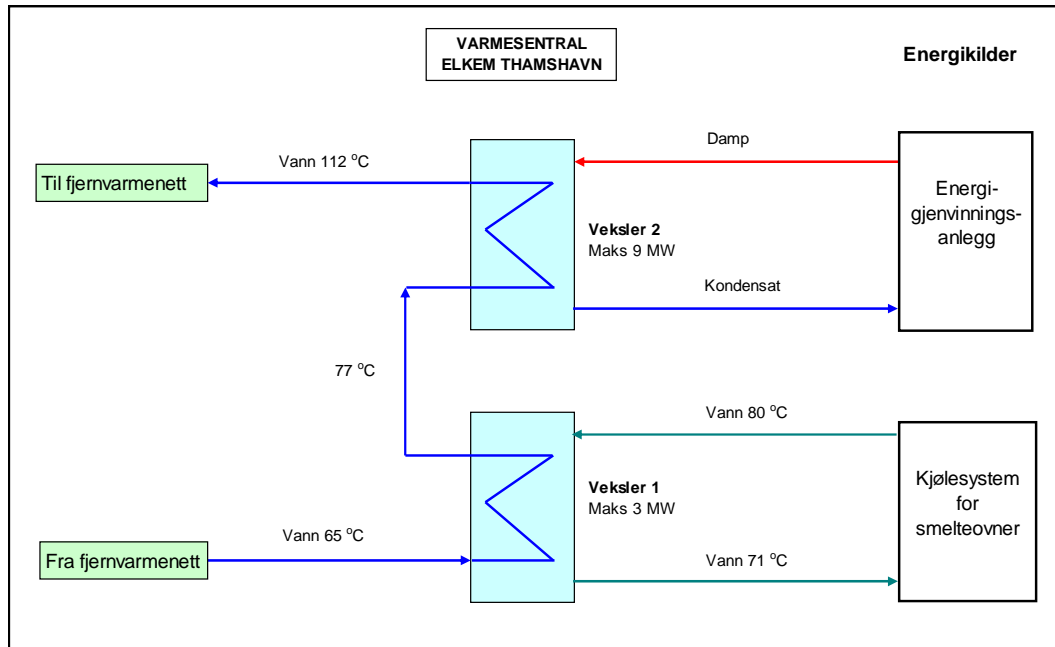
Til sammen ble det i byggetrinn 1 bygd 12 500 meter med fjernvarmegrøft og 56 bygg er tilknyttet fjernvarmeanlegget. Anlegget sto ferdig i 2004 med totale investeringskostnader på 47 MNOK. Sunndal Energi utvider stadig fjernvarmenettet og nye kunder blir knyttet til. Det ble solgt 17,6 GWh fjernvarme i 2008, mot 17,7 GWh i 2007 og 13,9 GWh i 2006.

#### Bruk av kjølevann og damp til fjernvarme

En del av overskuddsvarmen til Elkem Thamshavn brukes til produksjon av fjernvarme i Orkanger. Bedriften skal levere 3 MW basisvarme ved 80 °C fra kjølevannsystemet for den ene smelteovnen. Ved behov suppleres med inntil 9 MW avtappingsdamp fra dampturbinen som er en del av bedriftens energigjenvinningsanlegg.

Fjernvarmenettet i dag leverer ca 12 GWh. Det er planer om å utvide fjernvarmenettet og øke varmeleveransen til 30 GWh.

Figur 4.11 viser prinsippet for varmesentralen ved Elkem Thamshavn.



Figur 4.11. Prinsipp varmeløp fra Elkem Thamshavn

#### Bruk av sjøvann og varmepumpe til fjernvarme

I dag er det få kjente anlegg som henter varme fra spillvarme og benytter den i et varmepumpesystem. Det finnes derimot flere anlegg som benytter sjøvann eller kloakk, et slikt prosjekt er derfor beskrevet nedenfor.

Hammerdalen Fjernvarme har i 2008 begynt utbyggingen av en varmepumpesentral som skal forsyne 11 nybygg i Hammerdalen i Larvik med varme og kjøling. Det er planlagt utbygd totalt ca 50 000 m<sup>2</sup> fordelt på 11 bygg i løpet av de neste årene. Energibehovet er beregnet til i overkant av 6 GWh, mens effektbehovet er beregnet til totalt 4 MW. I tillegg er det et kjølebehov på 1 GWh og 1,2 MW.

Varmesentralen bygges ut i to trinn. I hvert trinn skal det bygges ut 1 MW varmepumpe og 2 MW olje som back-up og spisslast.

Dette er et nytt utbyggingsfelt og byggene designes for å trenge maksimalt 60 °C. Varmepumpene skal kunne dekke ca 50 % av energibehovet og må derfor klare minst 50 % av temperaturløftet mellom retur og turtemperaturen i fjernvarmenettet. Varmepumpene må da minimum kunne levere ut 54 °C.

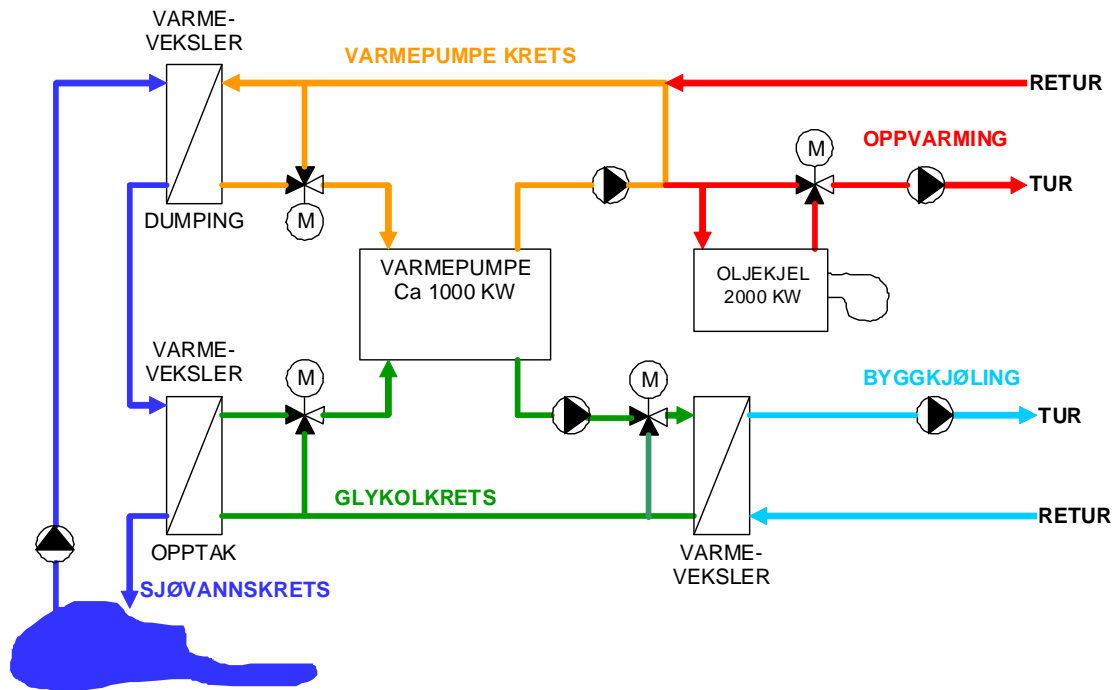
I vintersesongen vil sentralen hente varme fra sjøvannet og kjøle det ned med omtrent 3 °C. Om sommeren er det lite behov for varme, men et større behov for kjølig, da vil varmepumpen brukes som en kjølemaskin og dumpe varme i sjøen. Sjøvannet vil da få en temperaturøkning på opp mot 5-6 °C.



Utbyggingen vil gi et område med svært god varmetetthet. Kostnadene for distribusjonsnett og kundesentraler er estimert til 4 MNOK. Investeringer i varmesentral trinn 1 og 2 er beregnet til 18 MNOK.

Effektfaktoren for varmepumper i fjernvarmesystem ligger typisk på 2,6-3,0.

Figur 4.12 viser prinsipp for fjernvarme- og kjølesystem for Hammerdalen fjernvarme.



Figur 4.12. Prinsipp Fjernvarme- og kjølesystem med varmepumpe

## 5 BARRIERER OG INCITAMENTER

Ikke utnyttet spillvarmeenergi fra norsk industri er betydelig, men bare en mindre del av det teknisk/praktiske nyttbare potensialet er realisert. Dette fordi det er mange ulike barrierer/begrensninger.

### 5.1 GRUNNLEGGENDE FORHOLD

To grunnleggende forhold er avgjørende for den som vurderer å investere i anlegg for å utnytte spillvarme fra en industribedrift:

- Industribedriftens fremtid.  
Vil bedriften opprettholde virksomheten og spillvarmeleveransen så lenge at investeringen gir ønsket avkastning? Hvordan ser markeds- og konkurranseforholdene ut for bedriften?
- Pris for spillvarmen.  
Ved leveranse til varmeformål må total spillvarmepris være lavere enn alternativ energipris. Denne kan være pris på biobrensel, olje, avgass eller energi fra varmpumpe. Eventuelle miljøfordeler med bruk av spillvarme kan påvirke denne vurderingen. Alternativ pris kan være forskjellig for et eksisterende anlegg og for et nytt.

Dårlig forsyningssikkerhet på spillvarmen kan også være en barriere, selv om fjernvarmeselskapet har tilstrekkelig back-up, fordi selskapet heller vil satse på grunnlastkapasitet med bedre regularitet og driftstid.

### 5.2 TEKNISKE FORHOLD

Tekniske barrierer/begrensninger for ulike anvendelsesformål er gitt i kap 4.1 og 4.2. De viktigste er summert opp nedenfor.

#### 5.2.1 Temperatur.

Temperatur på spillvarmen gir en tilnærmet absolutt teknisk/økonomisk nedre begrensning for ulike anvendelser. Veileder Trinn 1 viser nedre grenser.

Det er nødvendig med et temperaturfall for å få avgitt energi fra væske eller avgass. I praksis må derfor temperaturen være høyere enn angitt nedre grense. Det er temperaturområdet ned til nedre grense som kan utnyttes.

- For kraftproduksjon i dampturbin regnes en nedre grense på 3 bara damptrykk, eller 140-145 °C når dampen produseres fra væske eller avgass.
- For kraftproduksjon i Stirling motor regnes en nedre grense på ca 70 °C.
- For kraftproduksjon i ORC (Organic Rankine Cycle system) regnes en nedre grense på ca 60 °C.

Fjernvarmesystemer har forskjellige design-temperaturer og temperatur-forløp over året.

- For utnyttelse med varmeveksler til fjernvarme må spillvarmen ha høyere temperatur enn 40-45 °C. Temperaturen må være minst 95 °C for å dekke det vesentlige av energibehovet i et konvensjonelt fjernvarmesystem.
- For utnyttelse med varmeveksler til fiskeoppdrett og jordvarme regnes en nedre grense på 20-25 °C.
- Med varmepumpe kan spillvarme med temperaturer ned til 10-15 °C utnyttes for grunnlast i et fjernvarmesystem eller til fiskeoppdrett..

### 5.2.2 Effekt, energi og varighet.

Det vil være en nedre grense for hvilken effekt og energi som kan utnyttes økonomisk. Varighet på spillvarmeleveransen og varierende effekt kan likeledes begrense mulighetene for økonomisk utnyttelse.

- For kraftproduksjon i damp turbin vil grensen ligge ved ca 500 kW<sub>el</sub>.
- For kraftproduksjon i ORC eller Stirling motor anslås praktisk nedre grense i industrisammenheng å ligge ved ca 100 kW<sub>el</sub>.
- For utnyttelse til fjernvarme avhenger nedre grense i stor grad av:
  - temperaturer i FV-systemet
  - om spillvarmen skal brukes i et eksisterende eller nytt system
  - geografisk avstand mellom bedrift og FV-system

### 5.2.3 Geografisk avstand.

Avstand mellom spillvarmekilde og bruker begrenser mulighetene for økonomisk utnyttelse. Mulig avstand øker med energimengde og varighet (brukstid).

Ved el. produksjon fra spillvarme vil en som regel kunne mate kraften inn på eksisterende nett, uten at dette må forsterkes. Geografisk avstand blir da liten og er sjelden utslagsgivende.

### 5.2.4 Forurensing av spillvarmen

Hvis spillvarmen er forurenset med partikler e. a., kan mulig bruksområde bli redusert fordi utstyret blir dyrere pga forurensningene. I noen tilfeller må det også legges inn ekstra varmevekslere som krever ekstra temperaturfall.

I enkelte tilfeller, for eksempel med svært korrosive vesker, vil det ikke være teknisk/økonomisk mulig å utnytte spillvarmen. Bruk av forurenset spillvarme må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

## 5.3 INFRASTRUKTUR

En viktig begrensning for å kunne utnytte spillvarme fra industrien til oppvarmingsformål, er mangel på fjern- og nærvarmesystemer. I Danmark, Finland og Sverige finnes er det utbygde fjernvarmesystemer i de fleste byer og større tettsteder, slik er det ikke i Norge.

Selv om økte energipriser har medført at det nå bygges eller planlegges mange fjernvarmeanlegg, har de fleste industristeder fortsatt ikke rammebetingelser som tillater utbygging. Stikkord her er:

- Spredd bosetting
- Spredd industristruktur

De fleste bygninger har ikke vannbårne systemer  
Mange småhus  
Vanskelig/kostbar topografi for å legge rør

I Norge er sentralvarmesystemene i eksisterende bygninger som oftest lagt ut for 80/60 °C. Dette betinger en turtemperatur på minst 85-90 °C for fjernvarmesystemet, noe som ofte vanskeliggjør utnyttelse av spillvarme.

#### **5.4 BARRIERER I BESLUTNINGSPROSESSER/SAKSBEHANDLING I BEDRIFTENE**

Ulike interne barrierer finnes i bedriftene. Tilsvarende barrierer, men ikke nødvendigvis kvantitativt de samme, har også energiverk, kommuner eller andre som kan stå for realisering av tiltaket.

##### **5.4.1 Lønnsomhet**

Tilstrekkelig lønnsomhet er normalt et ufravikelig krav til denne type prosjekter.

Krav til lønnsomhet varierer imidlertid mye mellom bedrifter og bransjer, og de vil ofte endre seg med bedriftens økonomiske situasjon. I knappe tider kan for eksempel bearbejdede prosjekter med tilbakebetalingstid på et år ikke bli realisert, mens i andre bransjer og i gode tider kan kravet til internrente bare ligge noe over lånerente.

Miljø- og klimahensyn, PR eller andre prosjektplaner kan gjøre at bedriftene fraviker kravet.

Hvis spillvarmeprosjektet realiseres av andre enn bedriften selv, er bedriftens egne lønnsomhetskrav mindre relevante. I mange tilfeller er det imidlertid ofte bedriften selv som vil stå for og bekoste interne installasjoner for å hente ut spillvarmen, i slike tilfeller er bedriftens krav aktuelle.

##### **5.4.2 Kapitaltilgang**

Muligheten for å skaffe kapital kan hindre realisering av bedriftslønnsomme spillvarmeprosjekter. Krav fra banken eller bedriftens egne krav til opplåning kan begrense.

Bedriftene må derfor prioritere alle prosjektforslag. Nedenfor er vist et typisk eksempel fra tyngre prosessindustri på hvordan prosjekter prioriteres:

1. Strategiske prosjekter som er viktige for bedriftens overlevelsessevne.
2. Andre nødvendige prosjekter.
  - Lovbestemte.
  - Prosjekter for å oppnå bedre helse, miljø og sikkerhet.
  - Kvalitetsfremmende prosjekter for å tilfredsstille et stadig mer krevende marked.
  - Vedlikeholdsprosjekter som opprettholder driftsmaskineriets standard.
3. Resultatforbedrende tiltak som tar sikte på kostnadskutt eller marginale produksjonsøkninger.  
Herunder "frivillige" tiltak for å utnytte spillvarmeressurser.

Hvis spillvarmeprosjektet realiseres fullt ut av andre enn bedriften selv, er bedriftens kapitalsituasjon mindre relevant.

### 5.4.3 Interne ressurser

Bedriftene har begrensede personell-ressurser. Muligheten for å frigjøre personell kan derfor hindre realisering av bedriftslønnsomme spillvarmeprosjekter. Personell som kan disponeres for prosjekter blir i prinsipp prioritert på samme måte som kapital.

Deler av arbeidet med prosjekter kan utføres av konsulenter. Prosjekter blir imidlertid sjelden vellykkede med mindre også eget personell engasjerer seg.

Også om spillvarmeprosjektet realiseres av andre enn bedriften selv, må eget personell engasjerer seg i det som skal foregå på bedriftens område.

Et aspekt her er at mange bedrifter ikke ønsker ekstra forpliktelser utenfor sitt kjerneområde. Salg av spillvarme til fjernvarme kan gi bedriften mange nye ”kunder”/forpliktelser fordi den enkelte varmekjøper ofte i praksis også regner bedriften som leverandør, selv om de formelt bare har et forhold til fjernvarmeselskapet.

### 5.4.4 Interesse/engasjement

I praksis påvirkes/prioriteres arbeidet med prosjekter noen ganger av interesse/engasjement hos nøkkelpersoner. Dette gjelder både generelt med hensyn til å tenke energibruk og konkret med hensyn til å utrede/gjennomføre tiltak.

Dette momentet kan være både en barriere og et incitament.

### 5.4.5 Kompetanse

For mindre og mellomstore bedrifter kan manglende kompetanse kan være en barriere for å tenke energibruk og å utrede/gjennomføre tiltak.

Større industribedrifter er normalt flinke til å skaffe seg eller innhente den ekspertise som er nødvendig for å få gjennomført oppgaver.

### 5.4.6 Risiko

Risiko/usikkerhet kan stoppe prosjekter:

- Fare for tap i produksjonen.  
Industribedrifter bør ha en betydelig gevinst av å selge spillvarme, hvis det er reell fare for produksjonsforstyrrelser på grunn av installasjonen.
- Anlegget fungerer ikke.
- Det kan senere komme endringer i prosessen/bedriften som influerer på lønnsomheten.
- Høyere investeringer, lavere besparelser eller senere realisering enn planlagt.

En del lovende prosjekter blir ikke prioritert/realisert fordi det allerede planlegges endringer i bedriften som vil endre forutsetningene for prosjektet med å utnytte spillvarme.

## 5.5 INCITAMENTER

De viktigste årsakene til at en bedrift ønsker å realisere spillvarme-prosjekter er:

- Lønnsomhet
- Miljø og klima  
”BAT-krav” kan her være viktige.
- Hensyn til lokalsamfunnet  
Miljøargumentet er da ofte viktige
- Energi er økonomisk viktig for bedriften så tiltak for å redusere energibruk er derfor strategisk riktig

I de fleste tilfeller er lønnsomhet og/eller miljø dominerende argumenter.

Eksterne tiltak som kan hjelpe frem prosjekter med å utnytte spillvarme fra industrien:

- Investerings- og/eller driftsstøtte  
Støtteordninger må ha lang horisont og må ikke endres ofte.
- Outsourcing/leasing/3 part-finansiering
- Låneordninger som ikke ”belaster” bedriftens kredittmulighet
- Generell ”markedsføring” av forbedret energibruk, mot bedrifter og konsulenter
- Det legges til rette for trekantsamarbeide bedrift/E-verk/kommune  
Praktiske problemer i dette samarbeidet kan bevirke at bedriften mister interessen.  
En mulig hjelp er at det sentralt settes opp eksempler på modeller som samarbeidet kan baseres på.
- Initiativ fra konsulenter
- Energispørsmål fokuseres i media.
- Effektiv energiledelse med eller uten sertifisering.

Størstedelen av forbedringene i energibruk i norsk industri har kommet som et resultat av større ombygginger/nybygg, tiltak som primært er begrunnet i andre forhold enn å spare energi. Energiledelse kan sikre at energiaspektet med utnyttelse av spillvarme blir ivaretatt i slike prosjekter.

## 6 REFERANSER

- (1) ”Potensialet for mer miljøeffektiv energibruk og produksjon i norsk prosessindustri”, Kjelforeningen – Norsk Energi og Institutt for energiteknikk oktober 2002,
- (2) ”Strukturering av spillvarmepotensial – Vurdering av prosjekter for spillvarmeutnyttelse i fire energitunge bransjer”, Kjelforeningen – Norsk Energi 09.12.2002
- (3) ”Store energipotensialer i næringsmiddelindustrien – Energieffektivisering i næringsmiddelindustrien – en potensialstudie”, Enova rapport 2007:6 utført av NEPAS november 2007.
- (4) SSB: Energibruk for bedrifter i industri og bergverk, etter næring og energigiver. Foreløpige tall 2007.
- (5) ”El-gjenvinning i energiintensiv industri”, Norsk energi 2004.
- (6) ”Energigjenvinning i ferrolegeringsindustrien”, Kjelforeningen – Norsk Energi 1996.

**FIGURLISTE:**

<i>Figur 2.1. Bransjevis fordeling av kartlagte spillvarmeressurser.....</i>	7
<i>Figur 2.2. Kartlagt spillvarme fordelt på ulike temperaturklasser .....</i>	7
<i>Figur 2.3. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i næringsmiddelindustrien .....</i>	7
<i>Figur 2.5 Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 15-16 Nærings- og nytelsesmidler (SSB – foreløpige tall 2007).....</i>	7
<i>Figur 2.6: Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i treforedlingsindustrien.....</i>	7
<i>Figur 2.8. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 21.1 – Papirmasse, papir og papp samt 20.2-5 – Øvrige trevarer (SSB – foreløpige tall 2007).....</i>	7
<i>Figur 2.9. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere for sement og Lecabedrifter .....</i>	7
<i>Figur 2.11. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 26 - Andre ikke metallholdige mineralprodukter (SSB – foreløpige tall 2007).....</i>	7
<i>Figur 2.12. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i kjemiske bedrifter .....</i>	7
<i>Figur 2.14. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 23-24 Petroleumsprodukter og kjemiske produkter (SSB – foreløpige tall 2007) .....</i>	7
<i>Figur 2.15. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i aluminiumsindustrien .....</i>	7
<i>Figur 2.17. Energibruk eksklusiv transport fordelt på energibærere for næringsgruppe 27.4 – Aluminium og andre ikke-jernholdige metaller (SSB – foreløpige tall 2007).....</i>	7
<i>Figur 2.18. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere i ferrolegeringsindustrien .....</i>	7
<i>Figur 2.20. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere for øvrige bedrifter .....</i>	7
<i>Figur 2.22. Kartlagt spillvarme fordelt på energibærere for avfallsforbrenningsanlegg.....</i>	7
<i>Figur 2.24. Fylkesvis fordeling av kartlagte spillvarmeressurser.....</i>	7
<i>Figur 2.25. Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen; <math>25^{\circ}\text{C} &lt; T_{\text{ut}} &lt; 40^{\circ}\text{C}</math> .....</i>	7
<i>Figur 2.26 Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen; <math>40^{\circ}\text{C} &lt; T_{\text{ut}} &lt; 60^{\circ}\text{C}</math> .....</i>	7
<i>Figur 2.27. Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen; <math>60^{\circ}\text{C} &lt; T_{\text{ut}} &lt; 140^{\circ}\text{C}</math> .....</i>	7
<i>Figur 2.28. Fylkesvis fordeling av kartlagt spillvarme for temperaturklassen; <math>T_{\text{ut}} &gt; 140^{\circ}\text{C}</math> .....</i>	7
<i>Figur 3.1 Varmekraftverk i smelteverk .....</i>	7
<i>Figur 3.2. Stirling-motor, prinsipp .....</i>	7
<i>Figur 3.3. ORC prosess.....</i>	7
<i>Tabell 3.1. Teknologidata.....</i>	7
<i>Figur 3.4. Prinsippskjema varmepumpe .....</i>	7
<i>Figur 4.1. Veileder Trinn 1 .....</i>	7
<i>Figur 4.2. Veileder – Eksempel med kondensasjonsturbin .....</i>	7
<i>Figur 4.3. Veileder – Eksempel med Stirling-motor .....</i>	7
<i>Figur 4.4. Veileder – Eksempel med ORC .....</i>	7
<i>Figur 4.5. Veileder – Eksempel med fjernvarme .....</i>	7
<i>Figur 4.6. Varighetskurve med energidekning fra varmeveksler med lavere temperatur enn temperaturkravet på kaldeste dager .....</i>	7
<i>Figur 4.7. Prinsippskisse varmeveksler mellom spillvarmekilde og fjernvarmenett .....</i>	7
<i>Figur 4.8. Typisk varighetskurve for et fjernvarmenett .....</i>	7
<i>Figur 4.9. Spesifikk investeringskostnad for komplett varmepumpesentral .....</i>	7
<i>Tabell 4.1 Kostnad for fjernvarme overføringsledning .....</i>	7
<i>Tabell 4.2 Kostnad for distribusjonsnett.....</i>	7
<i>Figur 4.10 Prinsippet for fjernvarmesystemet på Sunndalsøra .....</i>	7
<i>Figur 4.11. Prinsipp varmeleveranse fra Elkem Thamshavn.....</i>	7
<i>Figur 4.12. Prinsipp Fjernvarme- og kjølesystem med varmepumpe.....</i>	7





Enova eies av Olje- og energidepartementet og er etablert for å ta initiativ til å fremme en miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon i Norge. Vi har som mål at det skal bli lettere for både husholdninger, næringsliv og offentlige virksomheter å velge enkle, energieffektive og miljøriktige løsninger.

Alle Enovas håndbøker finnes på [www.enova.no](http://www.enova.no) under publikasjoner.

Ønsker du mer informasjon om håndbøkene, kontakt Svartjenesten tlf. 08049 | [svartjenesten@enova.no](mailto:svartjenesten@enova.no)

Enova  
Abels gate 5  
NO-7030 Trondheim

© 2009 Enova AS. All rights reserved.

