

# Analyse av varmegjenvinning og varmeutnyttelse i aluminiumsverk

Utnyttelse av spillvarme til forvarming av omsmeltemetall

**Øyvind Solberg**

Master i energi og miljø  
Oppgaven levert: Juni 2007  
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT  
Biveileder(e): Haakon Skistad, SINTEF



## Oppgavetekst

### Bakgrunn:

Sør-Norge Aluminium AS (Søral) produserer rå-aluminium i prebake elektrolyseceller, og videreforedler aluminiumen ved legering, utstøping og varmebehandling av aluminiumsbolter. Bedriften bruker totalt en energimengde på ca 2,5 TWh pr. år. Den alt overveiende delen av denne energien tilføres som elektrisk strøm. 94% av dette brukes til elektrolyseprosessen. De resterende 6% brukes til hjelpesystemer.

Mesteparten av den tilførte energien forlater bedriften som oppvarming av luft og vann til lav temperatur. Enkelte av spillvarmestrømmene har høyere temperatur. Den betydeligste spillvarmestrømmen er i form av 1,8 mill. Nm<sup>3</sup>/h avtrekksgass fra elektrolysecellene som har en temperatur på ca 100 gr.C.

Bedriften ønsker å utvikle et system hvor spillvarme fra bedriften utnyttes lokalt i bedriften eller via et fjernvarmenett til for eksempel; Fjernvarme til det nærliggende tettstedet Husnes, fjernvarme til idustribedrifter i nærheten og/eller tørking av trevirke til en ny pelletsfabrikk.

### Mål:

Hovedmålet med denne oppgaven er å utvikle systemet for utnyttelse av spillvarmen innenfor egen bedrift  
(oppgavetekst justert 070305, Rolf Ulseth)

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Utarbeid en detaljert oversikt over mulige avtakere av varme, samt effekt og energibehov internt i bedriften til de aktuelle formål
2. Analyser mulighetene for en trinnvis utbygging av varmegjenvinningen fra prosessene i bedriften og utarbeid et konkret prinsippforslag til system som i første omgang vil dekke behovet for varme til forvarming av omsmeltemetall i bedriften.
3. Skisser en komplett løsning for utbygging av systemet for forvarming av omsmeltemetall som en del av et fremtidig større system. De valgte løsninger begrunnes.
4. Ut fra den valgte dimensjonerende temperatur, dimensjoner alle hovedelementer i systemet for forvarming av omsmeltemetall.
5. Beregn redusert primærenergiforbruk og reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp ved den interne utbyggingen og tenk full utbygging forutsatt at marginal elforsyning inn til Norge er kullkraft.



## ***Forord***

Hensikten med denne rapporten er å sette søkelys på varmegjenvinning og utnyttelse av denne ved Sør-Norge Aluminium AS (Søral) basert på de faktiske forhold og muligheter. Oppgaven ble satt i stand som et initiativ fra Håkon Skistad ved Sintef Energiforskning og Kari-Britt Hansen fra Søral som begge har kartlagt liknende muligheter tidligere.

Søkelyset i rapporten er utnyttelse av spillvarme i avgassen fra støperiet og muligheter for utnyttelse av denne til forvarming av omsmeltemetall. Parallelt med dette har bedriften sett på å bruke gassbrennere til det samme formålet. Dette gjorde det naturlig å sammenlikne disse alternativene.

Arbeidet har vært meget lærerikt og engasjerende. Mye av dette skyldes menneskene jeg har samarbeidet med og som har hjulpet meg i prosessen og disse fortjener en stor takk. Spesielt vil jeg takke min medveileder Håkon Skistad som har engasjert seg i læringsprosessen min mer enn man kan forvente, og som også har tilført en solid faglig kompetanse. Jeg vil også takke min veileder Rolf Ulseth som har vært tilgjengelig og gitt gode svar når det har vært nødvendig.

Ved Søral vil jeg gjerne spesielt takke Kari-britt Hansen og Are Ulseth som har vært mine kontaktpersoner og som har gitt meg de svarene jeg har ønsket, og Kurt Sigve Steinsland som gjorde manns jobb med å systematisere dataene fra rågassen i høst. Ellers vil jeg takke alle medarbeiderne som tok godt imot meg og villig svarte på spørsmålene mine.

Tusen takk også til Solveig Haugen som har hjulpet meg med korrekturlesning.

Til slutt vil jeg takke de jeg sitter på kontor med og som har bidratt til at dette året har vært et år jeg kommer til å huske som et spesielt år. Disse er Stine Tofte Skagestad, Cicilie Weie, Asle Solbakken, Henrik Taasen, og Sindre Dahle.

, Trondheim, 14/6-2007

---

Øyvind Solberg

## *Sammendrag*

Hensikten med oppgaven var å redegjøre for mulighetene til å benytte seg av spillvarme fra holdeovnene i støperiet til forvarming av omsmeltemetall som ett ledd i å ta bruk spillvarmen ved bedriften. I den sammenheng ble det også gjennomgått hvilke andre kunder som kan tenkes å benytte seg av varme fra prosessene ved bedriften. Arbeidet med oppgaven har bestått av innhenting av data om oppvarmings- og effektbehov hos eventuelle avtakere og tilgjengelig effekt og energimengde fra nevnte varmekilde. Det har også blitt innhentet informasjon om liknende prosjekter andre steder.

Spillvarmen fra prosessene er så stor at ethvert varmebehov i nærmiljøet som det kan lønne seg å dekke, vil det være mulig å dekke. Dette behovet internt er det som i dag blir dekket av elektrisk fyrte kjeler og blir distribuert med ett vannbårent varmenett. I 2005 forløp denne posten seg på 2529 MWh med en maksimal avgitt effekt på 2,2 MW. Primærenergiforbruket dette tilsvarer er 10 000 MWh og et CO<sub>2</sub>-utslipp på 3400 tonn årlig. Innsparingspotensial i den sammenheng er 1 000 000 kroner årlig når det kun tas hensyn til innkjøp av elektrisitet.

Hydro Høyanger Metallverk har ett forvarmekammer som varmes opp på samme måte som det som er tiltenkt her. Erfaringen derfra gav grunnlag for å foreslå en bevegelig syklus for metallet ved opphold i forvarmekammeret, hvor det beveger seg mot innblåsningen av varmluft. Dette vil være gunstig med tanke på oppvarmingstid til ønskede 250 °C og jevne forhold for innsatt aluminium.

Forvarmekammeret vurderes også varmet opp med gassbrennere. Spillvarmeutnyttelse kan i så måte anses som et enøk-tiltak som årlig medfører redusert primærenergiforbruk på 2300 MWh og reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp på 465 tonn. Større investeringskostnad tjenes inn på ca 2,5 år ut fra en årlig besparelse på 400 000 NOK.

## *Summary*

The purpose of this assignment was to examine the possibilities of using waste heat from the melting furnaces in the casting plant to pre-heat metal that is re-melted at Søral. This is thought to be a part of the waste heat utilization at the plant. In that context were other customers likely to make use of the waste heat from the processes, also examined. This assignment has consisted of collecting data considering heating and power required for potential buyers, and available power and amounts of energy from the mentioned source. Data from similar projects other places has also been gathered.

The waste heat from the processes at Søral can cover any profitable heat requirement in the local environment. The internal need that is covered by electrical boilers today and distributed by a sentral heating system, measures 2529 MWh with maximum power required, 2,2 MW. This represents a probable step in utilizing recovered heat that will reduce primary energy consumption with 10.000 MWh and CO<sub>2</sub>-emissions with 3400 tons annual. Electrical energy saved corresponds to a potential of 1.000.000 NOK (Norwegian currency) saved each year.

Hydro Høyanger Metalplant has one pre-heating chamber that is heated in the same way as intended here. Their experiences give grounds for a suggestion of a movable cycle for the metal while being in the pre-heating chamber. The metal will here be moving towards the current of hot air. This will be smart considering the time used to heat the metal to the wanted 250 °C and equal conditions for the aluminium placed in the chamber.

The pre-heating chamber is also considered heated with gas ports. Waste heat utilization can in that respect be regarded as an energy-economizing-initiative that yearly reduces primary energy use with 2300MWg and CO<sub>2</sub>-emissions with 465 tons. The amortization of a bigger investment cost will be gained in 2,5 years with an annual saving of 400 000 NOK.

1 Innledning.....	1
2 Presentasjon av Sørøal .....	2
2.1 Beliggenhet.....	2
2.2 Prosesser.....	2
2.2.1 Elektrolysen.....	2
2.2.2 Støperiet og holdeovnene .....	3
3 Avtakere av gjenvunnet varme.....	5
3.1 Varmebehov i omgivelser .....	5
3.1.1 Offentlige bygg og næringsvirksomhet Husnes .....	5
3.1.2 Husstander i Husnes .....	7
3.1.3 Pelletsanlegg.....	7
3.1.4 Salgbare energimengder .....	7
3.2 Effekt- og energibehov internt for Sørøal .....	8
3.2.1 Internt fjernvarmenett.....	8
3.2.2 Avtakere internt i bedriften .....	10
4 Effektmengde i avgassen fra støperiet .....	11
4.1 Energibalanse for støperiet.....	11
4.2 Målinger i avgassen fra støperiet .....	13
4.2.1 Målepunkt og utstyr .....	14
4.2.2 Feilkilder .....	17
4.2.3 Kontroll av måleresultater .....	18
4.2.4 Resultater.....	19
5 Forvarmekammer ved Høyanger Metallverk .....	21
6 Utforming av systemet .....	24
6.1 Ombygging av avtrekkssystem .....	24
6.1.1 Eksisterende avtrekkssystem .....	24
6.1.2 Foreslått avtrekkssystem .....	25
6.2 Oppholdstid i forvarmekammeret .....	27
6.2.1 Forutsetninger og rammebetingelser .....	27
6.2.2 Kapasitet for forvarmekammer .....	28
6.2.3 Teoretisk ideell oppvarmingstid.....	28
6.2.4 Beregnet oppvarmingstid og temperaturforløp i forvarmekammeret .....	29
6.4 Planløsning for forvarmekammer ved Sørøal .....	32
6.3 Spillvarme fra forvarmekammer .....	34
7 Økonomiske styrker og svakheter ved utbyggingen .....	36
7.1 Investeringskostnader.....	36
7.2 Årlige besparelser.....	36
7.2.1 Forvarmekammer .....	36
7.2.2 Intern varmeutnyttelse .....	37
8 Redusert Primærenergiforbruk og CO <sub>2</sub> -utslipp som følge av utbyggingen .....	39
8.1 Redusert primærenergiforbruk .....	39
8.2 CO <sub>2</sub> -regnskap for utbyggingen av forvarmekammer .....	40
8.2.1 Direkte utslipp.....	40
8.2.2 Indirekte utslipp/totale utslipp.....	41
8.3 Reduserte utslipp ved intern varmeutnyttelse .....	42
9 Diskusjon.....	43
10 Konklusjon .....	44
11 Anbefaling.....	45
Refferanseliste.....	46



Vedlegg A: Bestemmelse av hastighet ved pitotrørsmåling .....	i
Vedlegg B: Beregninger .....	iii
Vedlegg C: Lønnsomhetsanalyse av omlegging til vannbåren oppvarming.....	viii
Vedlegg D: Elektrisitetsforbruk for Sør-Norge Aluminium AS .....	x
Vedlegg E: CO <sub>2</sub> -Utslipp ved Naturgassforbrenning .....	xi
Vedlegg F: EU-standard for primærenergiforbruk og CO <sub>2</sub> -utslipp .....	xiii
<i>Figur 1: Oversikt over prosessene på Søral[2] .....</i>	<i>2</i>
<i>Figur 2: Effektvarighetskurve for Husnes butikksenter (estimert med HeatQuick).....</i>	<i>6</i>
<i>Figur 4: Internt fjernvarmenett .....</i>	<i>9</i>
<i>Figur 5: Oversikt over støperiet .....</i>	<i>11</i>
<i>Figur 6: Energiflyt i støperiet .....</i>	<i>12</i>
<i>Figur 7: Valg av målepunkt .....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 8: Oppsett av måleutstyr .....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 9: Strømningsprofil i røret .....</i>	<i>16</i>
<i>Figur 10: Måleresultat 1 .....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 11: Måleresultat 2 .....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 12: Måleresultat 3 .....</i>	<i>20</i>
<i>Figur 13: Forvarmekammer på Hydro-Høyanger .....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 14: Luker åpnes for av- og pålossing.....</i>	<i>22</i>
<i>Figur 15: Avgasskanaler til og fra forvarmekammeret .....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 16: Avtrekk fra holdeovn.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 17: Nytt avtrekksystem .....</i>	<i>25</i>
<i>Figur 18: Tverrsnitt av forvarmekammer .....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 19: Tverrsnitt av forvarmekammer i lengderetning .....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 20: Temperaturforløp i forvarmekammer .....</i>	<i>31</i>
<i>Figur 21: Grunnflate forvarmekammer .....</i>	<i>33</i>
<i>Figur 22: System for utnyttelse av spillvarme i støperiet.....</i>	<i>35</i>
Tabell 1: Energiforbruk, offentlige bygg og næringsvirksomhet Husnes, 2005 [1] .....	5
Tabell 2: Eksiterende vannbåren distribusjon [1] .....	5
Tabell 3: Salgbare energimengder.....	8
Tabell 4: Energibruk Internt Varmenett.....	9
Tabell 5: Måleverdier fra traversering på A-senteret .....	16
Tabell 6: Kontroll av måleresultater.....	18
Tabell 7: Gjennomsnittsverdier av måleresultatene .....	20
Tabell 8: Investeringskostnader for løsningene knyttet til forvarmekammer .....	36
Tabell 9: Besparelse ved å erstatte el-kjeler med spillvarme .....	38
Tabell 10: Blandingsforhold naturgass [13].....	40
Tabell 11: Redusert Primærenergiforbruk og CO <sub>2</sub> -utslipp .....	42

## 1 Innledning

Problemet som behandles i denne rapporten tar utgangspunkt i Sør Norge Aluminium AS (Søral). Søral produserer Råaluminium i elektrolyseceller og foredler dette ved legering, utstøping og varmebehandling av aluminiumsbolter. Prosessen er svært energikrevende og bedriften står for ca 2 % av forbruket av elektrisitet i hele Norge. Mesteparten av energien blir omformet i elektrolysen der en stor del blir bundet kjemisk til metallet mens resten blir omgjort til varme som forlater bedriften gjennom vegger og tak, luftutskiftning og gassreanseanleggene.

Etter ønske fra bedriften vil det bli sett på muligheter for å levere gjenvunnet varme til et allerede pågående prosjekt. Dette prosjektet omhandler forvarming, med intensjoner om mer effektiv og fullstendig tørking av omsmeltemetall før det tilsettes og smeltes i holdeovnene. Det vil bli fremlagt et forslag til en trinnvis utbygging av varmegjenvinning fra prosessene og denne vil i første omgang dekke nevnte behov. I den forbindelse vil også andre mulige avtakere av varme gjennomgås i detalj. Detaljene for det interne behovet er energi- og effektbehov.

For utformingen av forvarmekammeret vil det bli fremlagt en skisse over komplett løsning for det planlagte rommet og systemet som frakter varmen dit. Alle hovedelementer i systemet vil bli dimensjonert ut fra valgte dimensjonerende temperaturer.

For utbyggingen av forvarmekammer vil de økonomiske styrkene og svakhetene gjennomgås. Dette innefatter lønnsomhet for systemet på grunnlag av et grovt overslag over kostnadene til anlegg og drift i forhold til alternativ forvarming.

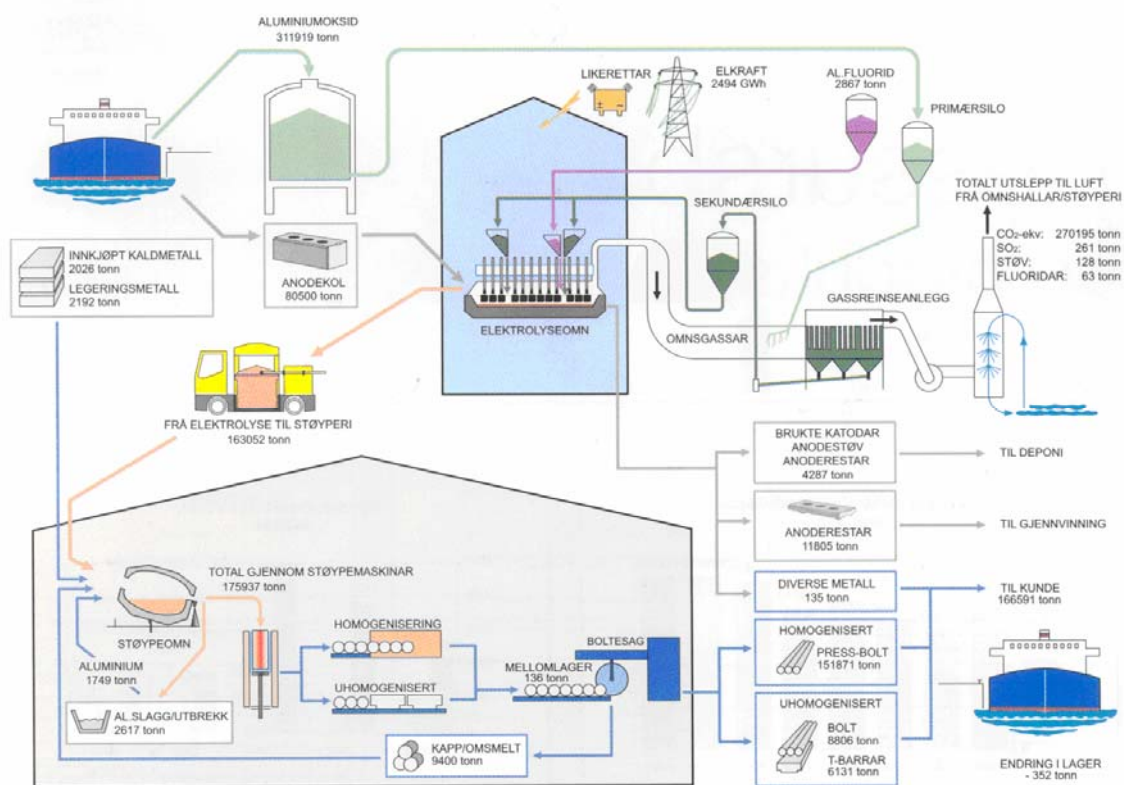
For den interne utbyggingen som foreslås, beregnes redusert primærenergiforbruk og reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp som en følge av dette.

## 2 Presentasjon av Søral

### 2.1 Beliggenhet

Søral ligger like ved tettstedet Husnes i Kvinherad kommune i Sunnhordaland omtrent midt mellom Bergen og Haugesund. Med havet som nærmeste nabo er det meste av varetransport til og fra Søral skipsbasert. Fra Opsangervatnet som ligger i sørenden av bedriften, og fra et reservoar et stykke opp i fjellsida dekkes industrivannbehovet som brukes til kjøling i prosessene.

### 2.2 Prosesser



Figur 1: Oversikt over prosessene på Søral[2]

#### 2.2.1 Elektrolysen

Elektrolyseavdelingen består av to parallelle haller med lengde 1 km. I hver hall er det 200 ovnceller. Elektrolytisk spalting av aluminiumsoksid med kjemisk betegnelse  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , skjer ved hjelp av en spenning på omtrent 4,5 Volt pr. celle. Cellene er seriekoblet og strømmen gjennom disse er på ca 150 kA, dvs. en last på gjennomsnittlig 675 kW pr. ovncelle. Anoden består av petrolkoks og bek som er en svært karbonrik masse. Etter at karbonet oksideres og danner  $\text{CO}_2$  er det rent råaluminium tilbake.

Råaluminiumet suges opp av ovnene hvor temperaturen på metallet er 980 °C, og inn i en digel som rommer omtrent 5 tonn ved hjelp av trykkluft. Deretter fraktes metallet til støperiet.

Drifrutinene på ovnene består i hovedsak av oppfølging av ovner som avviker fra det som ansees som normal drift. Ujevn strømfordeling på ovnen, forkalking og avleiringer på undersiden av anodene, og tæring på bunn og sider utgjør potensielle problemer for driften, og forsøkes oppdaget så tidlig som mulig ved hjelp av analyser. Derfra gjøres de nødvendige målinger og inngrep for å lokalisere problemer og utføre tiltak.

De faste rutinene består av metallprøver og utskifting av anoder. Metallprøvene danner sammen med spenningsnivå, motstand og aluminiumsoksidmating, grunnlaget for analysen av ovnsdriften.

Ovnene er i utgangspunktet lukket. Falskluft fra lekkasjer i dekslene suges allikevel inn i alle ovnene. Denne falskluffen utgjør mesteparten av gassen som går til renseanleggene. Gassen fra ovnene blir ført inn i et rørsystem og samlet i fire forskjellige renseanlegg som ligger fordelt mellom hallene. Rågassen holder en temperatur på rundt 100 °C når den forlater ovnen og synker omtrent 20 °C på transportetappen til renseanlegget. Her blir det tilsatt ren aluminiumsoksid som binder fluor i gassen. Blandingen går så inn i et posefiltersystem hvor det fluorholdige oksidet legger seg på posene. Posene rystes av en trykkluftpuls og oksidet drysser ned. Deretter går gassen igjennom avtrekksviftene som driver systemet, og føres videre til vasketårnet. Her blir gassen spylt med sjøvann som binder til seg og skiller ut svovelbindinger fra gassen før den slippes ut.

### **2.2.2 Støperiet og holdeovnene**

Når metallet ankommer støperiet blir det tømt inn på ett av tre anlegg. Hvert anlegg rommer ca 50 tonn flytende metall. Her blir det tilsatt kaldt metall som er importert fra Russland eller resirkulerte rester fra egen produksjon. Det tilsettes også legeringsmetaller for å oppnå kundespesifiserte krav og egenskaper til aluminiumet. I ovnen fyres det med gass for å oppnå ønsket støpetemperatur som er 720 °C. Avtrekket fra holdeovnen går kontinuerlig (se kap. 6.1.2).

Fra ovnen helles metallet via renner til støpebordet hvor metallet har en temperatur på 690 °C når det blir støpt til bolter. Metallet blir avkjølt til tilnærmet omgivelsestemperatur av industrivann som siden renner ut i sjøen.

Etter at metallet er ferdig støpt ut blir en del av det på nytt varmet opp til ca. 600 °C og raskt nedkjølt. Dette kalles homogenisering og gjøres for å få en ønsket struktur i metallet som gjør det lettere å forme siden. I denne prosessen blir boltene avkjølt av gjennomstrømmende luft. Det er to kontinuerlige homogeniseringsanlegg og et anlegg for prosesser som krever ekstra lang holdetid hvor syklusen gjennomføres for en last av gangen.

Til slutt blir boltene saget opp, pakket og merket i et av to saganlegg. Underveis i prosessen i støperiet, blir metallet testet og analysert i laboratoriet for å kvalitetskontrollere produktet.

### 3 Avtakere av gjenvunnet varme

#### 3.1 Varmebehov i omgivelser

Avtakere til et eventuelt fjernvarmenett i omgivelsene begrenser seg til potensielle avtakere tilknyttet tettstedet Husnes. Bygg som allerede har installert vannbårent varmesystem, heretter kalt vv-system, regnes som relativt sikre avtakere siden fjernvarmedistributøren tilbyr energi som innen kort tid vil amortisere investeringen av en abonnentsentral.

##### 3.1.1 Offentlige bygg og næringsvirksomhet Husnes

Tabell 1: Energiforbruk, offentlige bygg og næringsvirksomhet Husnes, 2005 [1]

	kWh tot.	kWh varme	Andel oppvarming	kW varme	gnr.bnr	areal
Husnes Butikksenter	2 167 806	758732	0,35	786	144 057	8000
Statoil	231 000	46200	0,20	34	143 128	
Torghuset	1 970 803	689781	0,35	806	144 101	8000
Husnes Bibliotek	142 000	71 000	0,5	53	144 139	
Kvadraten	727 879	254758	0,35	434	144 193	4000
Aksen	268 056	93820	0,35	529		5000
Rimi	547 000	54700	0,1	41	143 128	
Hybelhuset	470 172	235 086	0,5	174		
Husnes Samfunnshus	440 000	220 000	0,5	163	144 058	
Bygger'n Teigen	426 402	213 201	0,5	418	144 205	3830
Husnes Hotell	419 847	272900	0,65	202	144 062	
Husneshallen	280 000	98000	0,35	73		
Husnes Ungdomsskule	660 302	330 151	0,5	245		
Husnestunet – Helse.	1 991 349	796540	0,4	590		
Undarheim skule	1 106 817	553 409	0,5	410		
Kvh.Vgs	321 942	160 971	0,5	119		
Undarheim barnehage	136 184	68 092	0,5	50		
Myrane barnehage	122 518	61 259	0,5	45		
	<b>12 430 077</b>	<b>4 978 600</b>	<b>~0,4</b>	<b>5 172</b>		

- Estimert med HeatQuick

Tabell 2: Eksisterende vannbåren distribusjon [1]

Levering av kjelkraft på Husnes i 2005: [kWh]	
Husnes ungdomsskule	119000
Husnestunet	319000
KWh. vidareg. skule	149400
Undarheim skule	387000
Olje til sammen(350 l)	3700
	978100

Kundegrunnlaget for offentlige bygg og næringsvirksomhet er vist i *Tabell 1*, og tar utgangspunkt i strømforbruk i 2005. Beregningsgrunnlaget for oppvarming tar utgangspunkt i byggets alder og andeler til oppvarming for forskjellige bygg som er hentet fra NVE [1]. Det meste av byggeprosessen ble gjort på 60- og 70-tallet.

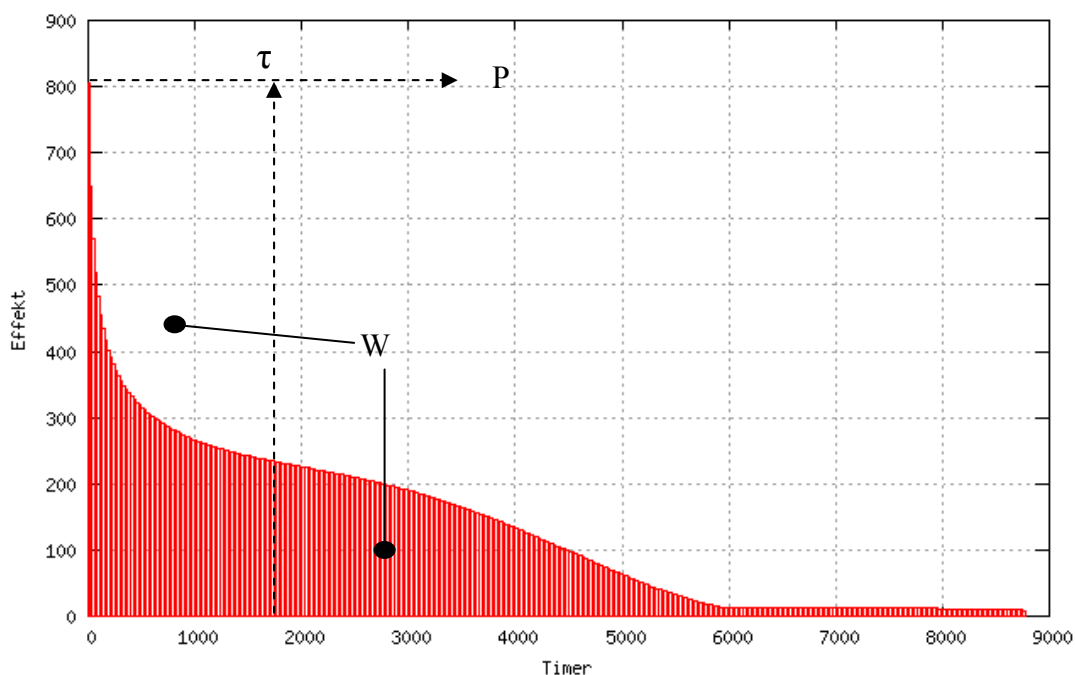
Effektuttak i tabellen som ikke er estimert med HeatQuick, er beregnet ut fra antakelse om at brukstiden for disse er omtrent det samme som for de estimerte. Ut fra formelen for brukstid kan da maksimalt effektbehov beregnes ved hjelp av årlig energibehov for bygget.

$$\tau = W/P$$

$\tau$  – Brukstid

W – Årlig Energibehov

P – Maksimalt effektuttak



Figur 2: Effektvarighetskurve for Husnes butikksenter (estimert med HeatQuick)

På Husnestunet fyres det hovedsakelig med elektrisitet, men det er et vv-system som distribuerer varme til blant annet golvvarme i kantina og varmebassenget, som også kan varmes med oljefyring. Undarheim Skule, nærmere bestemt svømmebassenget og noen ventilasjonsaggregat, har delvis vannbåren oppvarming med elektrisk og oljefyrt kjel. Husnes Ungdomskole har el-kjel og oljekjel for oppvarming av ventilasjonsluft. Oljeforbruket for disse er beregnet ut fra nivåmålinger i tankene. For alle byggene vil en

dimensjonering på tur- returtemperatur på 70/40, være gjennomførbart. Opplysningene er utarbeidet av teknisk etat, Kvinnherad Kommune [17].

Dette gir et sikkert leveringspotensial i underkant av 1 GWh til eksisterende vannbårne systemer. I tillegg er det et oppvarmingsbehov i underkant av 5 GWh nært tilknyttet Husnes sentrum.

### **3.1.2 Husstander i Husnes**

I 2004 var, i følge statistisk Sentralbyrå [3], det stasjonære forbruket for husholdninger 45.105 GWh. I hele landet er det 2,3 personer pr. husstand. Med et folketall på 4 640 000 i hele landet gir dette et forbruk per husholdning på 22,4 MWh. I Hordaland er det 2,5 personer pr husstand. Med 2500 innbyggere i Husnes gir dette ca. 1000 husholdninger. I følge NVE [1], er 75 % av energibruken i Norske husholdninger, elektrisk forbruk. De resterende 25 % er først og fremst ved, olje, parafin og fjernvarme, og disse brukes til oppvarming av rom eller tappevann. Andelen av elektrisitet som blir brukt til dette er 65 %. Til sammen gir dette at 75 % av energibruken i norske boliger blir brukt til oppvarming. Dette forholdet vil variere noe med klimatiske forutsetninger, men i lys av befolkningstettheten i forskjellige klimatiske soner, er det grunn til å tro at dette tallet er representativt for oppvarmingen av rom og tappevann i Husnes. Det latente behovet til husstander i Husnes som kan dekkes av fjernvarme vil følgelig bli 16,8 GWh.

### **3.1.3 Pelletsanlegg**

Dersom planene om bygging av et pelletsanlegg blir gjennomført er anslaget som har blitt gjort av Søre Kvinnherad Skogeiarlag, 5 GWh som vil bli brukt i tørkeprosessen [4].

### **3.1.4 Salgbare energimengder**

Tallene for offentlige bygg og private husstander er tatt ut fra et ”best case”- scenario og tilsier at alle byggene tilknyttet Husnes legger om til vannbåren intern distribusjon.



For private husstander vil sannsynligvis viljen til å legge om til vannbåren distribusjon være svært liten. Tradisjonelt blant fjernvarmedistributører satses det også i liten grad på levering til husstander, nettopp på grunn av liten vilje til ombygging og geografisk spredt behov. Det siste punktet vil være med på å øke kostnadene for legging av rør og varmetapet i nettet.

Det vil i første omgang være tilregnelig å se på hvor mange husstander som har eksisterende vv-system. I Husnes er den som har best oversikt over dette Husnes Røyrleggjarforretning AS [18]. De anslår 10-20 husstander spredt ut over byggefeltet som har en diameter på omtrent 2 km. Behovet som kan dekkes av fjernvarme her vil da være 336 MWh. Bygninger som i andre omgang er aktuelle, er gamle komplekser som står ovenfor omfattende renovasjon. Denne typen bygg er det lite av i Husnes som stort sett består av eneboliger og rekkehus.

Omlegging av energisystemet i offentlige bygg og næringsvirksomhet er det større tradisjon for. I Sunndalsøra, hvor det er et fjernvarmenett som utnytter spillvarme fra aluminiumsverket der, har kommunen bygget om de fleste kommunale bygg til å kunne ta imot fjernvarme.

Tabell 3: Salgbare energimengder

	Latent oppv. Behov[GWh]	Sikre leveringsmengder [GWh]	Sannsynlige leveringsmengder [GWh]	Sannsynlig effektuttak [kW]
Off. bygg og næringsv.	6	1	6	5172
Pelletsanlegg	5		5	1141
Husstander	16,8			
<b>Sum</b>	<b>27,8</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>6313</b>

For beregningen av effektuttaket for pelletsproduksjonen antas drift halve døgnet

## 3.2 Effekt- og energibehov internt for Sørøra

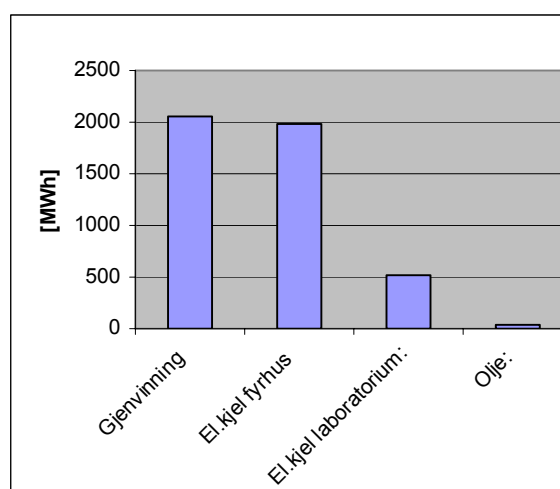
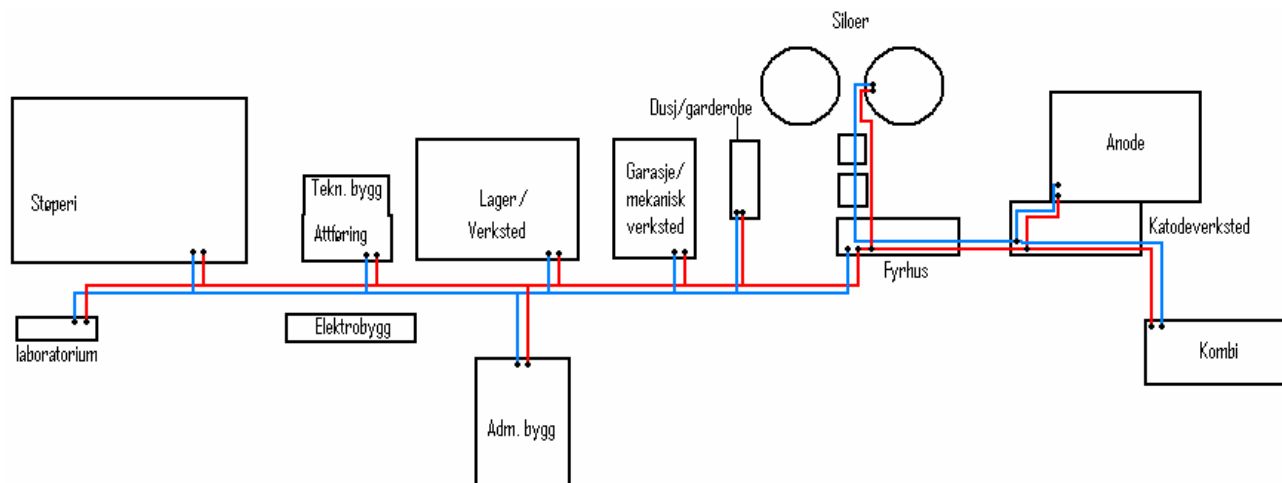
### 3.2.1 Internt fjernvarmenett

Det interne varmenettet på Sørøra er vist i *Figur 4*. Varmenettet benytter spillvarme fra kompressorstasjonen og dette gir en jevn effekt inn i nettet. På grunn av tre måneder

uten oppvarmingsbehov er gjenvinningstallet 75 % av kjøleenergien. Det resterende effektbehovet blir i hovedsak dekket av en el-kjel i fyrhuset og en el-kjel i laboratoriet, men det fyres sporadisk også med olje i fyrhuset. Turtemperaturen for nettet ligger normalt mellom 55-60 °C, men kan komme helt opp i 75°C på kalde dager. De aktuelle tallene for effekt- og energibehov i nettet er vist i *Tabell 4*. Tallet for maksimalt effektbehov er anslått av teknisk ansvarlig for varmenettet på Sørål. Denne personen er den som er best egnet til å gjøre en slik antagelse og det reelle tallet ligger sannsynligvis ikke så langt unna. Ideelt skulle derimot dette tallet vært avlest fra de forskjellige effektkildene på årets kaldeste dag.

**Tabell 4: Energibruk Internt Varmenett**

Energikilder	E,a [MWh]
Gjenvinning	2056
El.kjel fyrhus	1984
El.kjel laboratorium:	512
Olje:	33
(Olje 2004):	0
<b>Sum energibehov:</b>	<b>4859</b>
<b>Sum fyringskjeler:</b>	<b>2529</b>
	<b>Effekt [kW]</b>
Maks. behov:	2500
Fra gjenvinning:	313
<b>Turtemperatur</b>	<b>[°C]</b>
Normalt	55-60
Maks	75


**Figur 3: Kilder internt fjernvarmenett**

**Figur 4: Internt fjernvarmenett**

### 3.2.2 Avtakere internt i bedriften

Varmenettet dekker det aller meste av oppvarmingsbehov i oppholdsrom på området. Det vil si verksteder og haller. Det som ikke dekkes er oppvarmingen av de fleste kontorene i bygningene som er tilknyttet varmenettet, samt hele elektrobygget. Dessuten blir støperihallen varmet opp av kjølelufta fra homogeniseringsanlegget. Kontorene i støperibygingen er tilknyttet varmenettet.

Energibruken i elektrobygget danner grunnlaget for nåverdiberegningen av omlegging til vv-system i alle kontorene (Se Vedlegg C for lønnsomhetsanalysen). Denne konkluderer med at omlegging til vannbåren varmedistribusjon ikke vil være lønnsomt.

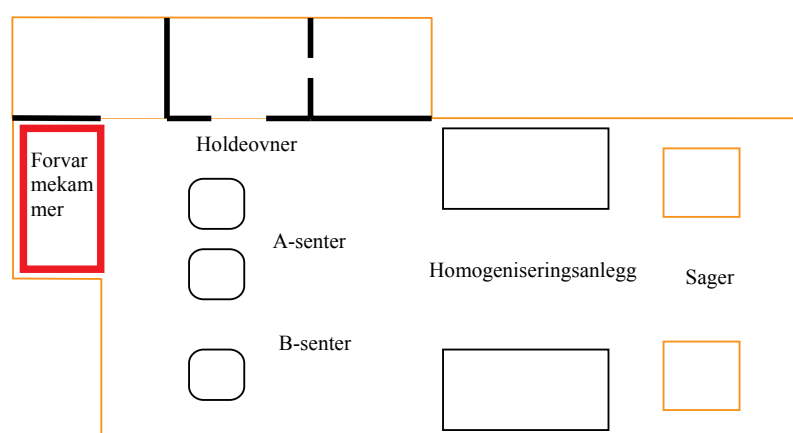
Et behov som en utvidet gjenvunnet varmeandel vil kunne dekke, er det som blir dekket av elektrisitet- og oljefyring i det eksisterende nettet i dag. Det vil si 2529 MWh med et maksimalt effektbehov på ca 2,2 MW. Hovedkulverten går innom de fleste bi-byggene ved bedriften som vist i *figur 4*.

Andelen oljefyrt kjelvirksomhet er for øvrig forsøkt minimert med god uttelling. Dette vises i *tabell 4*.

## 4 Effektmengde i avgassen fra støperiet

### 4.1 Energibalanse for støperiet

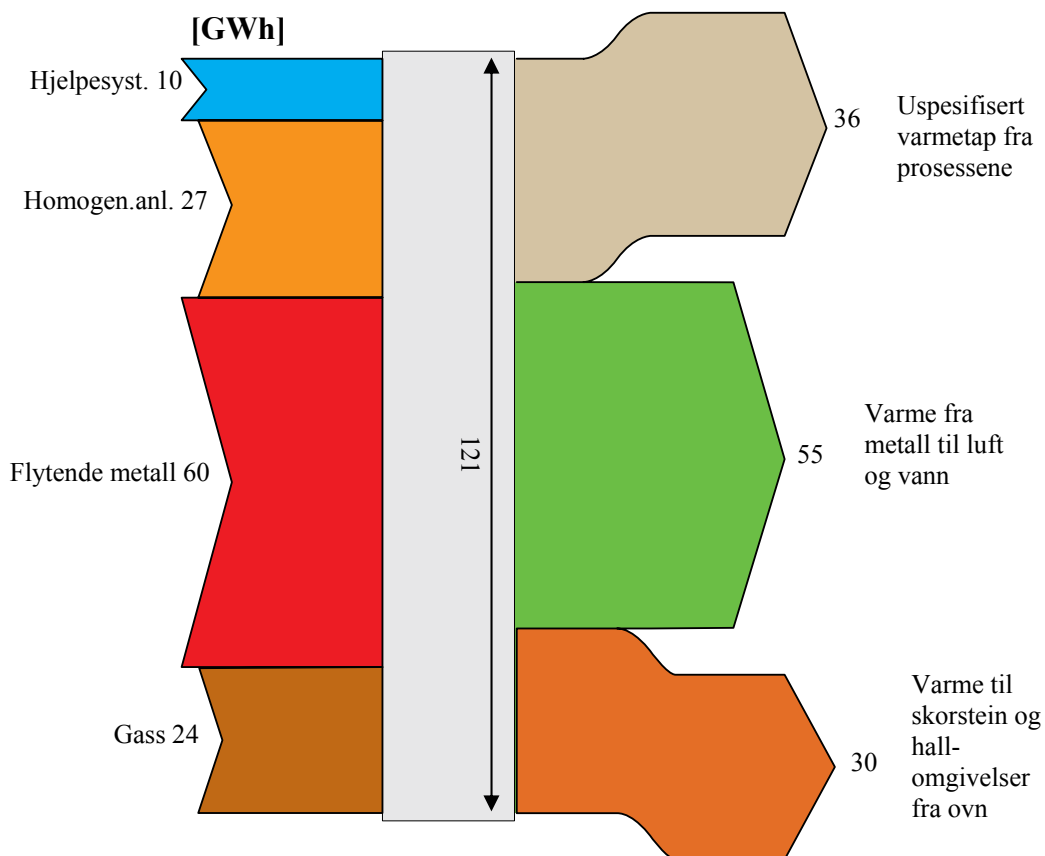
Lokaliseringen til det planlagte forvarmekammeret blir støperiet og har av bedriften fått tildelt en plass i nærheten av holdeovnene (*figur 5*). Spillvarmen som ønskes brukt som varmekilde i forvarmekammeret er avgassen fra holdeovnene tilknyttet A-senteret. Når spillvarmen skal vurderes som varmekilde vil det være naturlig å begynne med å gjennomgå energibalansen for støperiet som holdeovnene er en del av.



Figur 5: Oversikt over støperiet

Energimengdene som går inn til støperiet utgjør til sammen 121 GWh. Det er ca 3 % av den samlede energimengden inn til Sørål. Av dette er 27 GWh elektrisitet til oppvarmingen av metallet i homogeniseringsprosessen, 10 GWh er elektrisitet til hjelpesystemer og allment forbruk, 60,4 GWh kommer inn i form av varme i metallet som kommer fra elektrolysen og 24 GWh i form av gass til brennerne i holdeovnene. Energien som går gjennom støperiet er visualisert i sankey-diagrammet i *figur 6*.

Tallene bygger på elektrisitetsforbruket i bedriften, gjengitt i Vedlegg D, samt gassforbruket og mengde flytende metall fra elektrolysen i 2005. Metallet holder 900 °C og tilfører energi i form av varme. Utrekningene for varmeenergien i metallet som går gjennom støperiet er gjengitt i Vedlegg B.



Figur 6: Energiflyt i støperiet

Størrelsen som er interessant med tanke på gjenbruk i forvarmekammeret er varmen som går til skorsteinen i sankey-diagrammet. Denne størrelsen ble målt som en funksjon av temperatur og massestrøm i avgassen og dette er gjennomgått i Kapittel 5. Den teoretiske energimengden i avgassen kan anslås ut fra følgende energibalanse: Holdeovnene blir tilført energi i form av varmt aluminium fra elektrolysen og naturgass til brennerne på til sammen 84 GWh. Metallet som kommer ut gir fra seg 54,7 GWh til luft og vann. I følge rapporten om inn klima og utslipp til luft for aluminiumstøperier [9], vil luften som forsvinner når luken på ovnen er åpen holde ca 150 °C og massestrømmen gjennomsnittlig 15 kg/s. Dette gir et varmetap på omtrent 2 MW. Dersom en antar at luken står oppe ¼ av driftstida, som for enkelthets skyld settes til et helt år, blir energimengden som forsvinner som en følge av at luken står åpen, ca 4,5 GWh. Den resterende energimengden ut av systemet ligger latent i avtrekket fra ovnen.

Det vil si at omtrent 25 GWh forsvinner til omgivelser via skorstein.

Den kjemiske energien i metallet er like stor inn som ut, derfor tas dette ikke med i figuren.

## 4.2 Målinger i avgassen fra støperiet

Avgassen fra holdeprosessen hvor Aluminium fra elektrolysen og kaldmetall blandes og bringes til ønsket støpetemperatur, blir ansett for å være den mest aktuelle spillvarmekilden til å bli benyttet til forvarming av omsmeltemetall. Dette begrunnes ut fra rådende temperaturer og driftsforhold samt beliggenhet i forhold til det planlagte forvarmekammeret. Det ble derfor utført målinger i avgassen for å få et mer nøyaktig bilde på hvor stor effekt og hvilken temperatur det er i avgassen. Disse er sterkt avhengig av den vekslende driften av anleggene, og av denne grunn ble målingene logget over omtrent et døgn.

Parametrene som ble logget var temperatur i avgassen, samt statisk- og dynamisk trykk. Det dynamiske trykket ble avlest som differansen mellom totaltrykk og statisk trykk. Av disse størrelsene kan hastighet, tetthet, massestrøm og effekt beregnes ut fra ligningene under.

Dynamisk- og statisk trykk ble målt med pitotrør. Se Vedlegg A for mer detaljert forklaring av pitotrørsmåling. For metoden gjelder følgende:

$$u = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}}$$

Hvor:

$u$  = hastighet [m/s]

$\rho$  = Tetthet [ $\text{kg/m}^3$ ]

$P_d$  = Dynamisk trykk[Pa]

Tettheten uttrykkes ved den ideelle gasslov som:

$$\rho = \rho_0 \frac{P_s}{P_{0s}} \cdot \frac{T_0}{T}$$

Hvor:

$T_0$  – tilstanden er 20 °C ved atmosfærisk trykk

$P_s$  = statisk trykk [Pa]

Uttrykket for massestrøm blir:

$$\dot{m} = Au\rho = \frac{\pi D^2}{4} u\rho$$

Hvor:

$$\dot{m} = \text{Massestrøm [kg/s]}$$

$$D = \text{indre diameter} = 0,860 \text{ [m]}$$

$$A = \text{Areal av tverrsnitt [m}^2\text{]}$$

Varmeeffekten i avgass-strømmen blir da:

$$P = \dot{m} c_{p,l} (T - T_{\text{omg}})$$

Hvor:

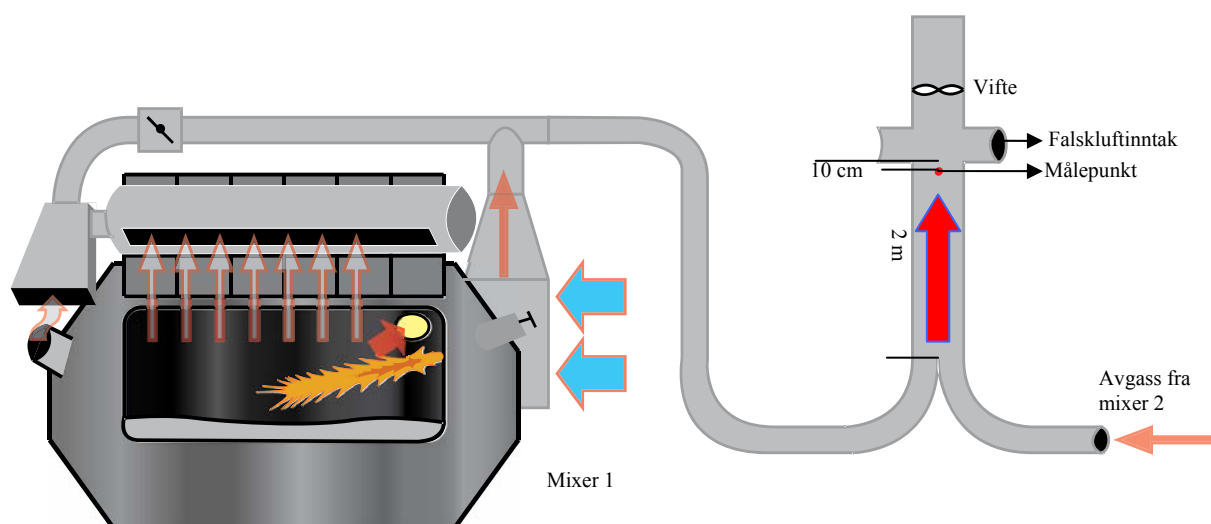
$$P = \text{Effekt [kW]}$$

$$T_{\text{omg}} = \text{Omgivelsestemperatur} = 9,1 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$C_{p,l} = \text{spesifikk varmekapasitet luft} = 1,04 \text{ [kJ/kg K]}$$

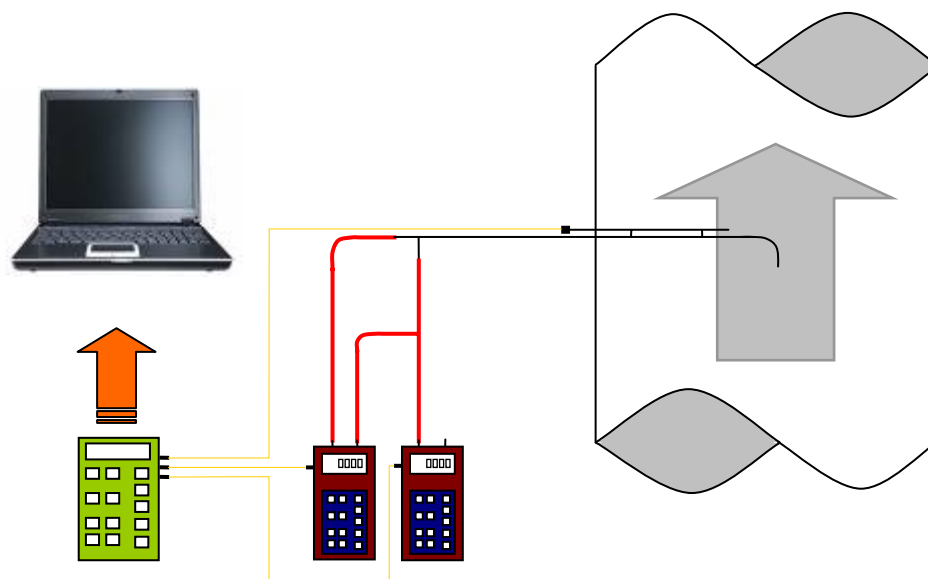
#### 4.2.1 Målepunkt og utstyr

Målingene ble gjort i det punktet som, etter samråd med veileder, ble ansett som best. Valget ble tatt med vektlegging på å ha en lengst mulig rett strekning for luftstrømmen, og følgelig ett strømningsmønster minst mulig påvirket av bend og ekspansjoner i rørene. Ideelt skulle målepunktet vært tilsvarende 5 diametre oppstrøms og 2 nedstrøms fra bend, ekspansjoner og vifter [11]. Det ble også satt kriterium om at målepunktet måtte befinne seg før falskluftinntaket for å få ett reelt inntrykk av temperaturforløpet i rørene. Som vist i *figur 7* ble målepunktet satt til rett før falskluftinntaket og etter at avgassen fra ovn 2 og 3 blir samlet. Dette befant seg 3 diametre etter ekspansjon og bend hvor avgassen samles og 3 diametre før vifta. Falskluftinntaket som ligger like etter målepunktet vil også være ett forstyrrende element for strømningsprofilen når det tas inn falskluft i røret. Dette er derimot kun tilfelle ved temperaturer i røret over 280 °C.



Figur 7: Valg av målepunkt

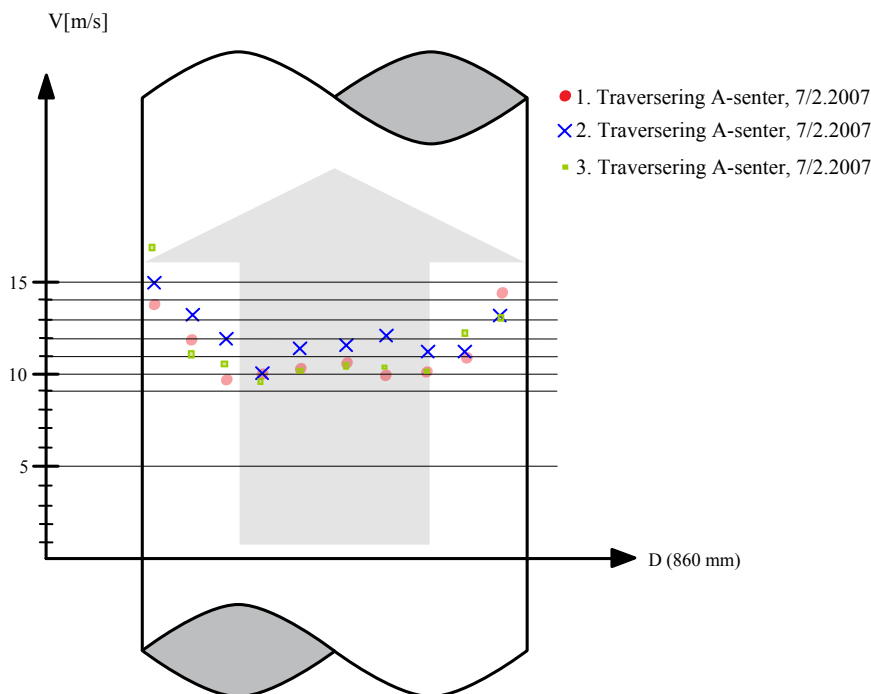
Utstyret som ble brukt til å utføre målingene var to mikromanometre med spenningsutgang. Disse ble brukt til å lese av differansetrykket mellom totaltrykk og statisk trykk, d.v.s. dynamisk trykk, og en separat avlesning av statisk trykk i kanalen. Omgivelsestrykket som fungerte som referansetrykk for avlesning av statisk trykk ble innhentet fra meteorologiske institutts nærmeste værstasjon, Stord lufthavn. Temperaturen ble målt ved hjelp av type-K termoelement som avleses direkte på dataloggeren, type Mitec AT40. Denne ble brukt til å logge de nevnte parametrene. Oppsettet for utstyret er vist i *Figur 8*.



Figur 8: Oppsett av måleutstyr



I det valgte målepunktet ble det utført 3 målinger av lufthastigheten i røret ved å traversere pitotrøret over hele diameteren med omtrent 8 cm mellom hvert målepunkt. Resultatet fra traverseringen på A-senteret er vist i *figur 9*.



Figur 9: Strømningsprofil i røret

Tabell 5: Måleverdier fra traversering på A-senteret

Valgt målepunkt

Travers.nr.	Valgt målepunkt										Gj.snitt
<b>1</b>	13,8	12,0	9,5	10,0	10,4	10,9	10,0	10,2	11,1	14,3	<b>11,2</b>
<b>2</b>	15,0	13,3	12,0	10,0	11,5	11,8	12,1	11,1	11,1	13,1	<b>12,1</b>
<b>3</b>	17,1	11,1	10,8	9,8	10,1	11,5	11,5	10,3	12,4	13,1	<b>11,8</b>

Ut ifra disse målingene ble det best egnede målepunktet på tvers av røret valgt. I denne prosessen ble det lagt vekt på stabilitet og at verdien lå så nært som mulig gjennomsnittet over rørets tverrsnitt. Punktet som ble valgt lå 45 cm inn i røret. Dette gjaldt både for A- og B-senteret hvor hastighetsmønsteret hadde lignende profil (Se vedlegg A for verdiene fra B-senteret). Hastigheten ble målt i form av dynamisk trykk og ble avlest direkte som en funksjon på manometeret som ble benyttet. Det er derfor nødvendig å bemerke at det ikke er nøyaktige hastigheter som ble målt, men hensikten med traverseringen var å finne det best egnede målepunktet. Siden verdiene for de

forskjellige punktene har samme feil, danner disse målingene en bra ramme for sammenligning.

#### 4.2.2 Feilkilder

Strømningsprofilen over tverrsnittet av røret ble undersøkt i en retning med noe uventet resultat. Den uventede profilen med størst hastighet i ytterkantene av røret skyldes sannsynligvis bendet som ligger ca 3 diametre foran målepunktet uten at dette blir utdypet her. Fordi målingene viste samme resultat for begge avgasskanalene, og for flere traverseringer, ble det fastslått at strømningsprofilen er utformet som i *figur 9*. Verdien for målepunktet vil derimot avvike fra gjennomsnittsverdien i røret. Det at valg av målepunkt kun tar hensyn til strømningsprofilen i en retning over tverrsnittet av røret er også en mulig feilkilde.

Ved lave temperaturer, dvs. 90-100 °C, ble det gjort kontrollmålinger av temperaturen med et termoelement type-T. Dette viste jevnt 3 K høyere temperatur. Ved kontroll i romtemperatur registrerte termoelementene minimalt avvikende verdier. Grunnen til at ikke hele måleserier ble gjennomført med to termoelementer var mangel på utstyr. Type-T termoelement er beregnet for temperaturer under 120 °C.

For målingen av det statiske trykket foreligger det en usikkerhetsfaktor ved de innhentede værdi-dataene fra Stord Lufthavn, grunnet at det ikke er nøyaktig samme beliggenhet. Denne feilen har derimot neglisjerbar ringvirkning på effektberegningene.

Alt utstyr som ble brukt er godkjent og kalibrert ved NTNU.

### 4.2.3 Kontroll av måleresultater

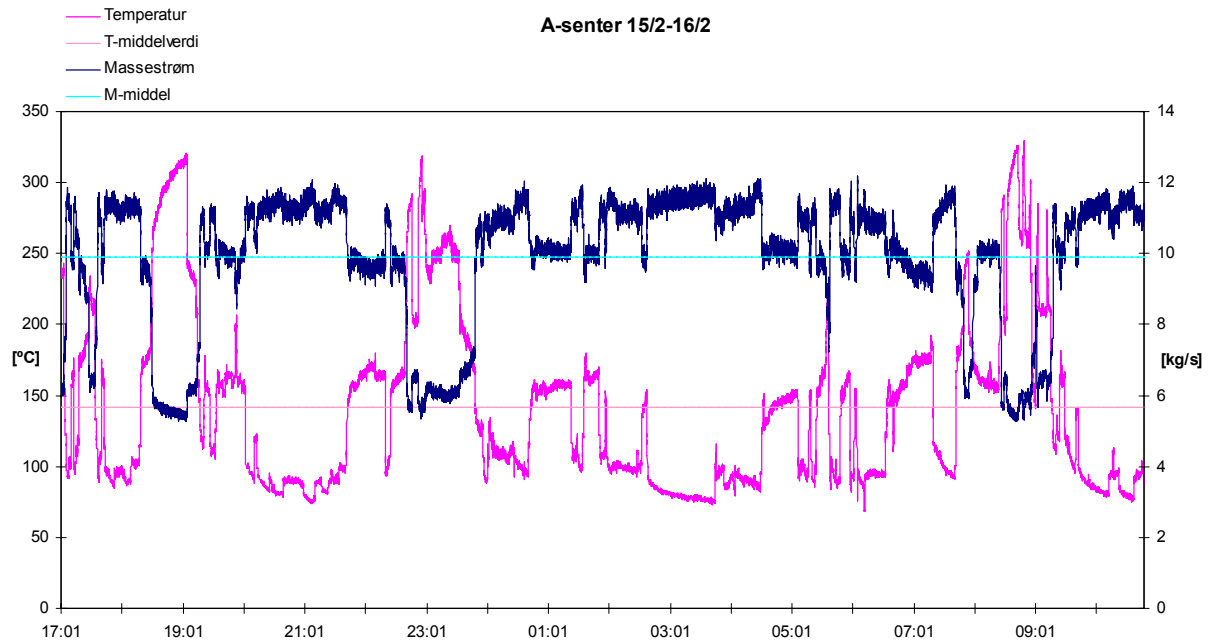
Resultatene fra målingene ble kontrollert ved å sammenligne gjennomsnittseffekt i luftstrømmen med gjennomsnittseffekt av tilført varme i systemet i form av mengde gass og mengde flytende metall. Dette forholdet var ca.  $2/5$  ved A-senteret og  $1/4$  ved B-senteret ved de målingene som ble utført. Disse beregningene er vist i vedlegg B og tallverdiene i *tabell 6*. Konklusjonen av dette er at måleseriene virker sannsynlige.

**Tabell 6: Kontroll av måleresultater**

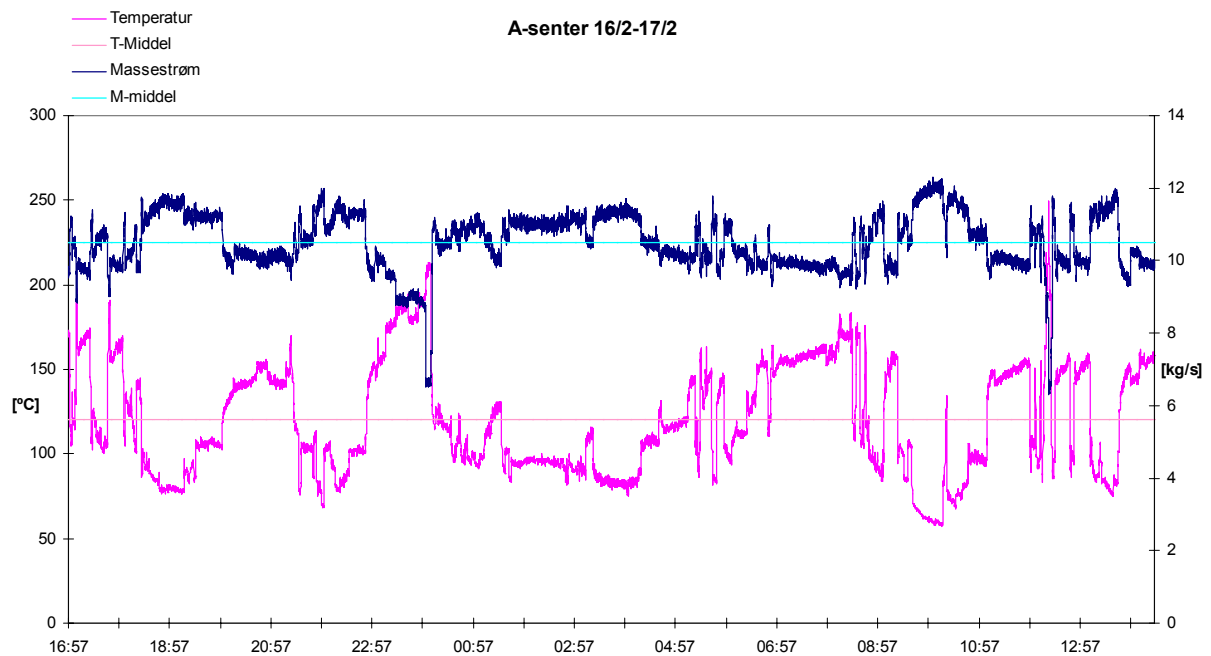
Serie	Senter	Gj.snitt tilf. effekt [kW]	Gj.snitt målt effekt [kW]
1	A	3002	1266
2	A	3002	1189
3	B	1972	487

### 4.2.4 Resultater

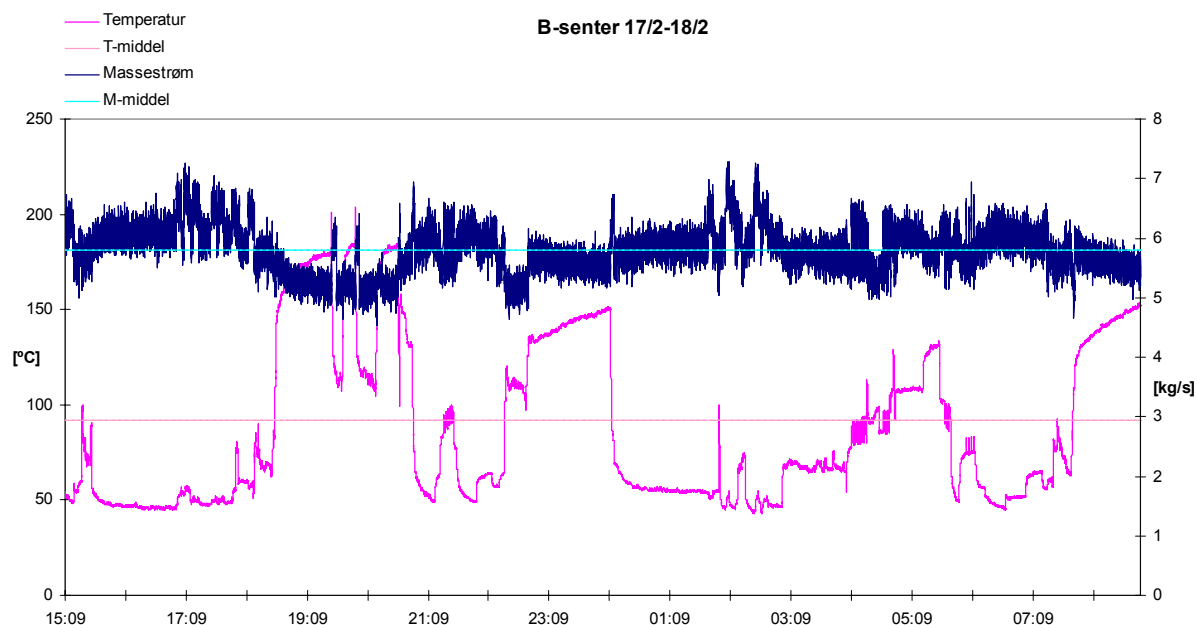
Resultatene fra målingene er vist i figur 10-12



Figur 10: Måleresultat 1



Figur 11: Måleresultat 2



Figur 12: Måleresultat 3

Tabell 7: Gjennomsnittsverdier av måleresultatene

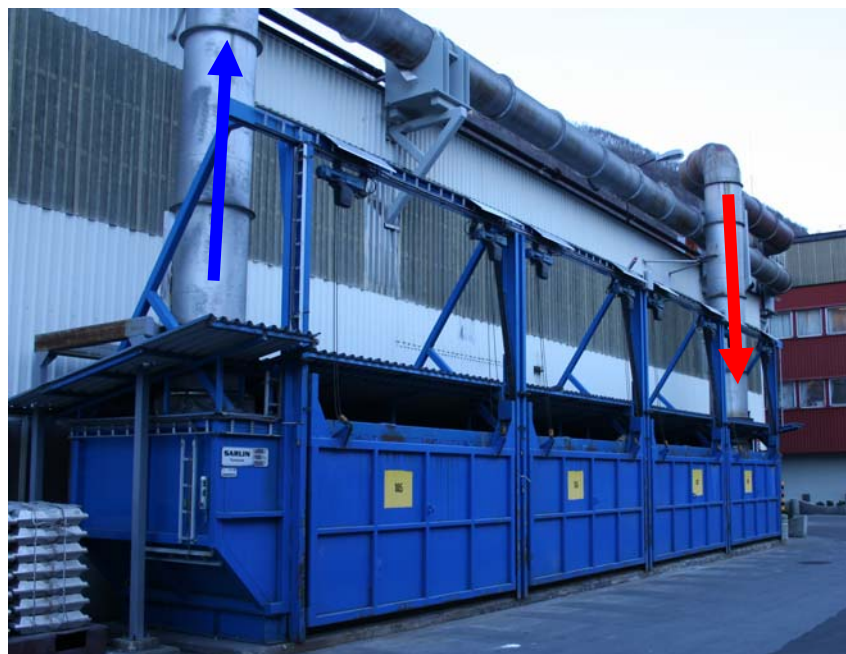
Måling	Tid	Center	P [kW]	Intervall	T [°C]	Pa-Ps [Pa]	Ps [Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	$\dot{m}$ [kg/s]
1	23h	A	1266	2s	141,5	569,6	170,2	0,860	19,67	9,9
2	21,5h	A	1189	5s	120,2	637,1	182,3	0,898	20,16	10,5
3	23,5h	B	487	2s	92,0	138,2	51,0	0,978	10,26	5,8

De to måleseriene som ble gjort på A-senteret påviser at temperaturen varierer noe. Ved å sammenligne kurvene for temperatur i *figur 10* og *figur 11* ser en at de nedre verdiene er omtrent like i størrelsesorden. Massestrømmen er dessuten jevnt over noe større i måleserie 2, så varmeeffekten er noenlunde den samme for seriene. Ved å sammenligne kurvene fra A-senteret med den fra B-senteret ser en at temperatur og massestrøm er atskillig lavere ved B-senteret. Dette kommer nødvendigvis ikke som noen overraskelse siden det kun er én holdeovn tilknyttet avtrekket, men ved å sammenligne effekt ut og inn på anleggene ser en at forholdstallet er ca 2/5 for A-senteret og 1/4 for B-senteret som nevnt i kap. 4.2.3. Det er m.a.o. et større tap fra B-senteret. Beregningene for dette er gjennomgått i Vedlegg B.

## 5 Forvarmekammer ved Høyanger Metallverk

Hydro Aluminium i Høyanger påbegynte bygging av et tørkekammer for kaldmetall tilknyttet støperiet i 2000. Dette har vært i drift siden januar 2001. Anlegget ble prosjektert i forbindelse med utbygging av et renseanlegg tilknyttet avgassen fra støperiet. Investeringskostnadene for kammeret med tilhørende rørsystem var ca 5 mill NOK.

Kammeret er bygd opp av fire seksjoner som står etter hverandre i strømningsretningen. Oppvarmingssyklusen er kortest og mest effektiv i den første seksjonen siden temperaturen på varmluftstrømmen er høyest her. Innover i kammeret synker temperaturen pga kjøleeffekten fra metallet og diverse lekkasjer i skroget.. Den største utgiftsposten har vært vedlikehold av vinsjene som åpner luken til seksjonen (*figur 14*), og spjeldene som styrer varmluftstrømmen i by-pass til renseanlegget når en eller flere av lukene i kammeret er åpne. Luken åpnes når kaldmetall settes inn til forvarming og når det tas ut for å tilsettes i holdeovnen. Det gjøres sporadiske temperaturavlesinger av metallet før det tilsettes og denne ligger normalt på ca 190 °C. Lastekapasiteten er på totalt 48 tonn i form av T-barrer. Det vil si at det kan lastes 12 tonn i hver seksjon. Kammeret er bygget for å kunne tåle gasstemperaturer opp mot 800 °C og momentanverdier på 900 °C.



Figur 13: Forvarmekammer på Hydro-Høyanger

Utover målinger gjort av Techno Consult [5] etter ett halvt års drift har det vært lite oppfølging av de rådende forhold i kammeret under variert drift. Grunnen til det er at kammeret fungerer tilfredsstillende med tanke på oppholdstid og temperaturen på metallet som hentes ut.

Techno Consult konkluderer, ut fra målingene som ble gjort, med at avgasstemperaturen ligger normalt mellom 250 - 350 °C og maksimalt på 450 °C inn i den første seksjonen i forvarmekammeret. Temperaturfallet fra innløp til utløp i kammeret ligger på ca. 150 K. Det ble også konkludert med at metallet i den kaldeste seksjonen nådde 100 °C etter ca. en time ved brennerdrift. Avgassmengden ligger i snitt på 70 000 m<sup>3</sup>/h fra hver av de to holdeovnene som fyres av brennere med en effekt på 4,5 MW. Når brennerne ikke er i drift synker temperaturen i avgassen til omtrent 170 °C ved innløpet til forvarmekammeret. Kaldt metall vil allikevel stige i temperatur med en rate på 35 K/h.



*Figur 14: Luker åpnes for av- og pålossing*

Erfaringene bedriften har hatt med utbyggingen har vært gode. Tørkekammeret har ført til økt sikkerhet med tanke på tilførsel av fuktig metall i holdeovnene og økt produksjon som en følge av større omsmeltekapasitet. I ettertid har rammen rundt lukene blitt forsterket fordi støt under av og pålossing har ført til skader som medfører lekkasjer og lavere temperatur i kammeret. Fra Sørål ble det stilt spørsmål om akkumulerte mengder støv og slagg i ovnen som en følge av at det tilsatte metallet har vært utsatt for avgassene. Dette har de ikke hatt problemer med i Høyanger.

Avgasstemperaturen fra holdeovnene kan til tider komme opp i 900 °C. Hovedgrunnen til at denne temperaturen er så høy i forhold til avgasstemperaturen på Sørøst er store mengder falskluft som tilføres prosessen på Sørøst.



*Figur 15: Avgasskanaler til og fra forvarmekammeret*

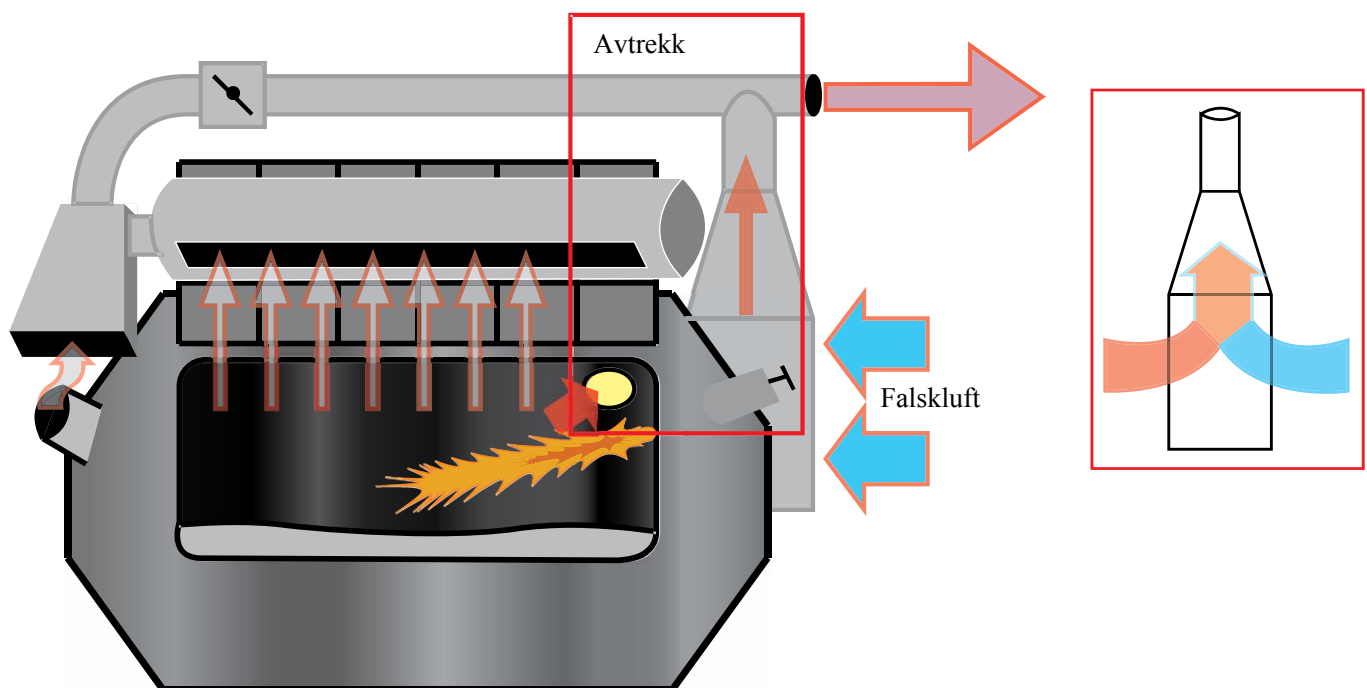


## 6 Utforming av systemet

### 6.1 Ombygging av avtrekkssystem

#### 6.1.1 Eksisterende avtrekkssystem

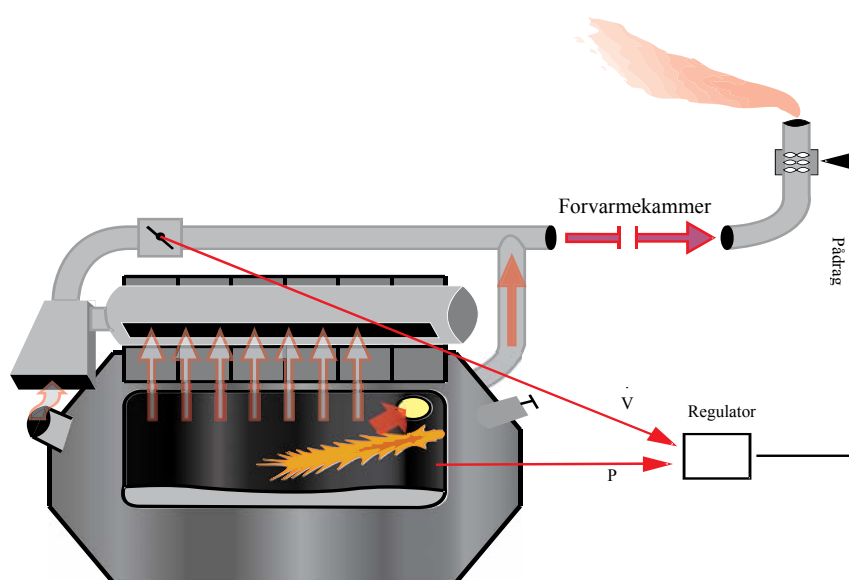
Dagens system har to funksjoner. Hovedfunksjonen er å trekke avgasser direkte fra ovnen. I tillegg skal systemet trekke lekkasjer fra åpen dør og tappeluker, ut av hallen. Dette er løst med hetter over de aktuelle lukene. Avsuget er stengt med spjeld når lukene til ovnen er lukket. Avgassystemet er basert på store mengder falskluft for å holde lav temperatur gjennom viftene og skåne disse for stor termisk belastning. Luftinntaket til ovn og avgass er vist i *figur 16*. Her er det også visualisert at avtrekket er åpent til ovn og til omgivelsesluft. På det viset fungerer avtrekket også som en hette som fanger opp den avgassen som fordrives fra ovnen. Dette avsuget går kontinuerlig og er hovedkilden til falsklufta i avgassen. I tillegg er det et falskluftinntak før vifta som bestemmes av automatiske temperaturregulerte spjeld. Disse er lukket mesteparten av tida.



Figur 16: Avtrekk fra holdeovn

### 6.1.2 Foreslått avtrekkssystem

Med utgangspunkt i målingene som ble gjort kan en konkludere med at dersom forvarmekammeret skal varmes opp v.h.a. spillvarme fra holdeovnene, må det gjøres tiltak for å heve temperaturen. Med kunnskapen om eksisterende system er det nærliggende å tenke seg et system hvor avgassystemet gjøres tettere. Dette fastsetter to forutsetninger for det nye systemet. Den første er at systemet må ha ei vifte som styrer avtrekket og oppsamlingen av lekkasjer. Den andre er at trykket i ovnen bør være tilnærmet lik atmosfæretrykket for å minske lekkasjer inn og ut av ovnen. Av denne grunn er det også utelukket å ha et fordrivelsessystem hvor avtrekket blir drevet av trykkøkningen i ovnen under forbrenning. Ovnen er ikke tett, og lekkasjene til hallen ville blitt store, noe som er uheldig både med tanke på varmen som går tapt og utslippet til hallen hvor mennesker skal oppholde seg. Avtrekket bør følgelig kunne styres ut fra forholdene i ovnen. Dette kan styres ved regulering av omdreining på vifta eller inntak av falskluft. Aller helst bør det være en kombinasjon av disse siden falskluftinntaket også vil fungere som kjøling for å minske den termiske belastningen på vifta. Systemet vil i liten grad påvirke avgassmengden som forsvinner fra ovnen



Figur 17: Nytt avtrekkssystem

Ved å utforme det nye avtrekkssystemet til å kun suge opp den tilførte avgassmengden fra forbrenningen vil temperaturen på avgassen som forlater ovnen med høy sannsynlighet være minst 700 °C, men mengden gass vil variere med brennerpådraget for begge ovnene. Trykket i ovnen vil da være omtrent lik atmosfæretrykket, men dette

avhenger av reguleringen av avtrekksmengden. Støpetemperaturen på metallet er som tidligere nevnt 720 °C. Med utgangspunkt i en lufthastighet i rørene på 10 m/s kan dimensjonen på rørene fastsettes ut fra avgassmengde som produseres ved fullt brennerpådrag i begge ovnene tilknyttet A-senteret.

$$\dot{V}_{Gass\ max} = 300\ m^3 / h$$

$$\frac{\dot{V}_{Gass\ max}}{\dot{V}_{total}} = 1/10$$

$$\dot{V}_{total} = 3000\ m^3 / h$$

Hvor:

$$\dot{V}_{Gass\ max} = \text{Gassmengde ved fullt brennerpådrag}$$

$$\dot{V}_{total} = \text{Luftmengde og gassmengde i forbrenningsprosessen}$$

Beregningen gjelder for en brenner. For begge brennerne tilknyttet A-senteret blir total maksimal avgassmengde 6000  $m^3 / h$ . Rørdimensjonen blir da 500 mm i diameter satt inn i ligningen under.

$$\dot{V} = A \cdot v$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

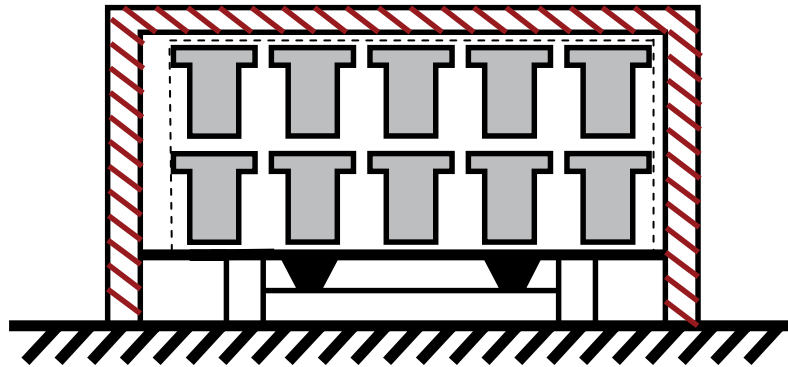
$$D = \sqrt{\frac{4\dot{V}}{v\pi}}$$

Hvor:

$$v = \text{hastighet i røret [m/s]}$$

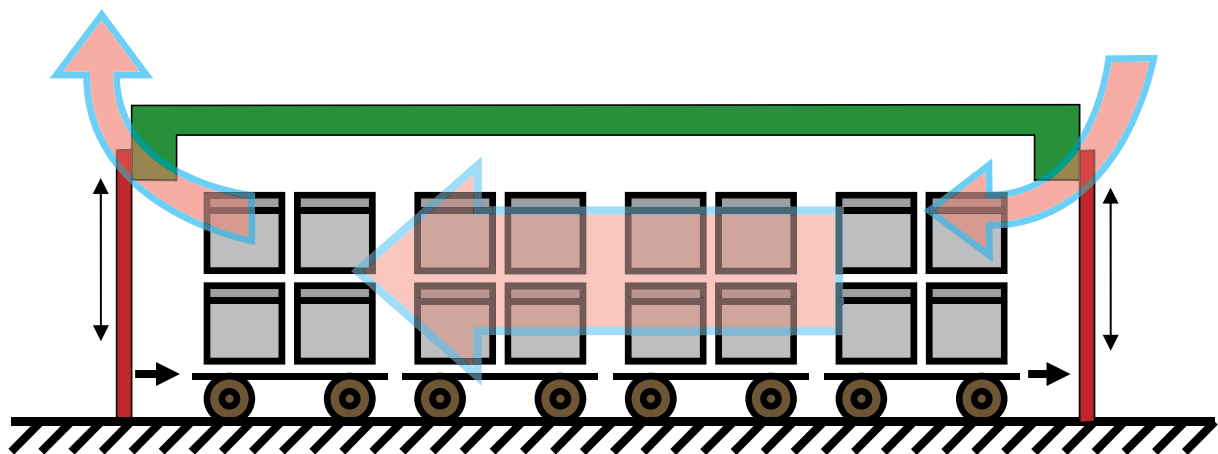
Med anslagsvis 700 °C inne i røret og 20 °C i hallen er det nødvendig å isolere røret både pga. varmetapet og pga. ubehaget en slik strålingskilde medfører i et arbeidsmiljø. Et grovt overslag av varmetapet fra rør isolert med 5 cm mineralull gir 35 kW ved fullt brennerpådrag. Det vil si et varmetap på ca 3 % av varmeeffekten som ble målt i avgasskanalen. Med de forutsetninger som har blitt satt blir temperaturen inn i forvarmekammeret 640 °C. Beregningene for dette er gjennomgått i vedlegg B.

## 6.2 Oppholdstid i forvarmekammeret



Figur 18: Tverrsnitt av forvarmekammer

Figur 18 viser tverrsnittet av det planlagte forvarmekammeret hvor luftstrømmen vil gå normalt på planet i figuren. Av figuren fremgår det at T-barrene er stablet med mellomrom for å få størst mulig overflate i kontakt med luftstrømmen. Arealet som er stiplet rundt stabelen representerer arealet som blir brukt i beregningen av varmeeffekt overført ved stråling fra veggene i kammeret. I figur 19 vises tverrsnittet av forvarmekammeret i lengderetningen. Aluminiumet går mot høyre i figuren og luftstrømmen går mot venstre.



Figur 19: Tverrsnitt av forvarmekammer i lengderetning

### 6.2.1 Forutsetninger og rammebetingelser

For å gjennomføre beregningene for tiden det vil ta for innsatt aluminium å nå ønsket temperatur, er det nødvendig å sette en del forutsetninger og rammebetingelser.

For innsatt aluminium gjelder:

Kald temperatur: 15 °C

Ønsket temperatur: 250 °C

Mengde kaldmetall pr. charge: 15 tonn.

(20 T-barrer a. 750 kg)

Oppvarmingskapasitet: 11 charger pr. døgn =>165 tonn pr. døgn

Varmeoverførende flate mellom luft og metall: 50 m<sup>2</sup>

Areal for stråling mellom kammervegg og metall: 9 m<sup>2</sup>

For tilgjengelig varme gjelder:

Volumstrøm avgass: 8 m<sup>3</sup>/s

Avgasstemperatur: 640 °C

Tetthet avgass: 0,4 kg/m<sup>3</sup>

Mengdestrøm: 3,2 kg/s

Varmeeffekt i avgass ut fra målinger: 1200 kW (T<sub>ref</sub>=9,1 °C)

## 6.2.2 Kapasitet for forvarmekammer

Lastekapasiteten i kammeret er satt til 60 tonn ut fra en rate på 11 charger hvert døgn og ca 15 tonn omsmeltemetall pr. charge. Det er dessuten ønskelig å ha nok metall tilgjengelig til å kunne planlegge chargene uavhengig av forløpet i forvarmekammeret.

## 6.2.3 Teoretisk ideell oppvarmingstid

Tiden det ville tatt å varme opp 60 tonn aluminium til 250 °C dersom all varmeeffekten i avgassen overføres til aluminiumet er beregnet under.

$$Q = m \cdot c_{p,Al} \cdot \Delta T_{Al} \quad (6.1)$$

Q = Energi [kJ]

m = masse = 60.000 kg

$c_{p,Al} = 0,9$  [kJ/kg K]

$\Delta T_{Al}$  = temperaturdifferanse Aluminium = (250-15) K

$$\frac{Q}{t} = P = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{t}$$

$$t = \frac{m \cdot c_{p,Al} \cdot \Delta T_{Al}}{P}$$

$$t = \frac{60000 \text{ kg} \cdot 0,9 \text{ kJ} / \text{ kg} \cdot \text{ K} \cdot (250 - 15) \text{ K}}{1200 \text{ kJ} / \text{ s}}$$

$$t = 10575 \text{ s} \approx 3 \text{ h}$$

For 165 tonn som er tonnasjen pr. dag, blir den teoretiske oppvarmingstida 8 timer og ett kvarter. Siden tiden som er tilgjengelig for dette formålet er 24 timer, tilsier regnestykket at fra ett teoretisk ståsted kan det være mulig å oppnå den oppvarmingsytelsen man ønsker ved kun å benytte seg av spillvarmen fra A-senteret. Konklusjonen vil da være at videre undersøkelser av avgassen som varmekilde er interessante.

#### 6.2.4 Beregnet oppvarmingstid og temperaturforløp i forvarmekammeret

Varmeoverføringen fra avgassen til metallet skjer både ved konveksjon mellom lufta og metallet, og stråling fra veggene i kammeret til metallet. Disse blir her gjennomgått hver for seg. Aluminium har veldig gode varmeledningsegenskaper og temperaturen antas lik i hele strukturen.

Varmeoverføring ved konveksjon:

$$\dot{Q}_k = A \cdot \alpha \cdot \Delta T = A \cdot \alpha \cdot (T_{gass} - T_{Al}) \quad (6.2)$$

$$\dot{Q}_k = \text{varmeeffekt ved konveksjon [kW]}$$

$$A = \text{Areal aluminium} = 50 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\alpha = \text{varmeoverføringskoeffisient mellom luft og alu. [kW/ m}^2\text{K]}$$

$$T_{gass} = \text{avgasstemperatur} = 640 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{Al} = \text{Metalltemperatur [}^\circ\text{C]}$$

For tvungen konveksjon langs en rett vegg gjelder i følge Dubbels Taschenbuch [10] følgende for overflatestrukturen på

Aluminiumet:

$$\alpha = (5,0 + 3,4v) \cdot [kcal / m^2 K \cdot h], v < 5 \text{ m/s}$$

$v$  – Hastighet i forvarmekammer = 1 m/s (se vedlegg B)

1kcal = 4184 Joule

$$\alpha = (5,0 + 3,4v) \cdot kcal / m^2 K \cdot h \cdot 4184 \text{ j/kcal} / 3600 \text{ s/h}$$

$$\alpha = (5,8 + 4,0v) \cdot W / m^2 K$$

innsatt får vi følgende varmeovergangskoeffisient:

$$\alpha_{al-l} = (5,8 + 4,0 \cdot 1) \cdot W / m^2 K = 9,8 \cdot W / m^2 K$$

Rundes av til 10 W/m<sup>2</sup>K

Denne størrelsen kan påvirkes ved å sette lufta i bevegelse med vifter i kammeret. I samråd med veileder ble denne størrelsen satt til 20 W/m<sup>2</sup> K

Varmeoverføring ved stråling:

$$\dot{Q}_s = A \varepsilon \sigma (T_{kam}^4 - T_{Al}^4) \quad (6.3)$$

$$\dot{Q}_s = \text{Varmeeffekt ved stråling [kW]}$$

$$A = \text{Strålingsareal} = 9 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\varepsilon = \text{Emissionsfaktor aluminium} = 0,4 \text{ [7]}$$

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmann konstant} = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ [W/ m}^2\text{K}^4\text{]}$$

$$T_{kam} = \text{Temperatur kammervegger} = 640 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ (lik gasstemp.)}$$

$$T_{Al} = \text{Metalltemperatur [}^\circ\text{C]}$$

Energiinnhold i overført varme til Aluminium:

$$Q_{Al} = m \cdot c_{p,Al} \cdot (T_{Al} - T_{0,Al}) = \int P \cdot dt = \int (\dot{Q}_k + \dot{Q}_s) \cdot dt \quad (6.4)$$

$$Q_{Al} = \text{Energi [kJ]}$$

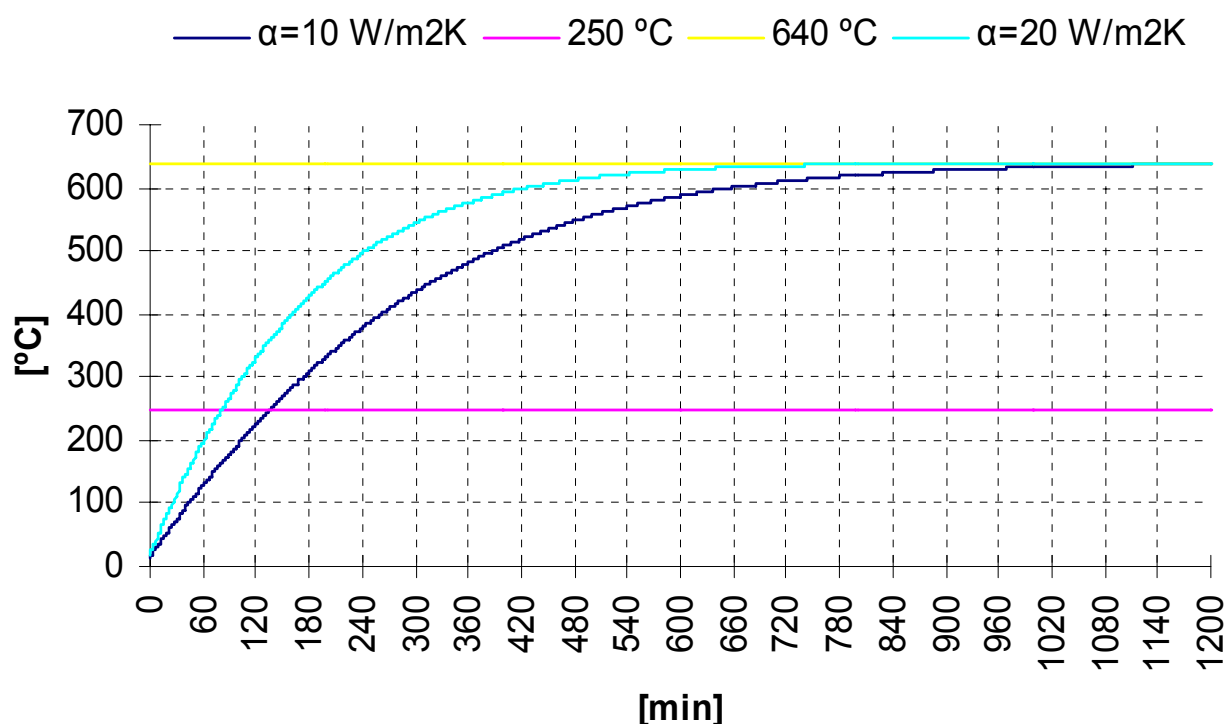
$$m = \text{masse} = 15.000 \text{ [kg]}$$

$c_{p,Al}$  = spesifikk varmekapasitet Aluminium = 0,9 [kJ/kg K]

$T_{Al}$  = nåverdi temperatur [°C]

$T_{0,Al}$  = startverdi temperatur [°C]

Med utgangspunkt i ligning (6.2), (6.3) og (6.4) beregnes oppvarmingstid og temperaturforløp numerisk. Det er verdt å merke seg at beregningene gjelder for en charge med kaldmetall. Det vil si 15 tonn (Datafil vedlagt på CD).



Figur 20: Temperaturforløp i forvarmekammer

Figur 20 viser temperaturforløpet for kaldmetall som blir benyttet i en charge ved opphold i forvarmekammeret. Forløpet er skissert for to forskjellige varmeoverføringskoeffisienter for konveksjon mellom luft og aluminium. Den lave verdien representerer uberørt luftstrøm i kammeret. Den høye verdien representerer mekanisk påvirket luftstrøm ved bruk av vifter i forvarmekammeret.

Konklusjonen av beregningene er at 15 tonn med omsmeltemetall som settes inn i det planlagte forvarmekammeret når den kravsatte temperaturen på 250 °C etter 137 minutter uten påvirkning av vifter inne i kammeret. Ved viftedrift nås denne temperaturen etter 83 min.



## 6.4 Planløsning for forvarmekammer ved Sørå

Utformingen av forvarmekammeret tar utgangspunkt i det pågående prosjektet på Sørå hvor et areal på 5 ganger 12 m er tilgjengelig i en avstand på ca 15 m fra avgasskanalen. Høyden opp til mønet over ovnen er 17 m. Opp til kranbanen hvor det sannsynligvis vil være fordelaktig å legge kanalen er det 10 m. Systemet i Høyanger har høyere temperatur på avgassen, men avstanden som avgassen skal fraktes til forvarmekammeret er betraktelig kortere på Sørå. Avgasskanalen er dessuten ikke isolert i Høyanger, noe som med fordel kan gjøres på Sørå. Ut fra opplysningene om beliggenhet for det planlagte kammeret kan en anslå lengden på avgasskanalen mellom holdeovnen og kammeret til maksimalt 40 meter.

Det viktigste praktiske problemet en må ta hensyn til under utformingen av forvarmekammeret er at raten på ferdig oppvarmet aluminium må være stor nok til at det er tilgjengelig metall når det er behov for det. En bør også ta høyde for noe produksjonsøkning, eventuelt økt andel kaldmetall i hver støp. Driften i dag tilsier omtrent 14 tonn kaldmetall pr. charge/støp og 11 charger i døgnet.

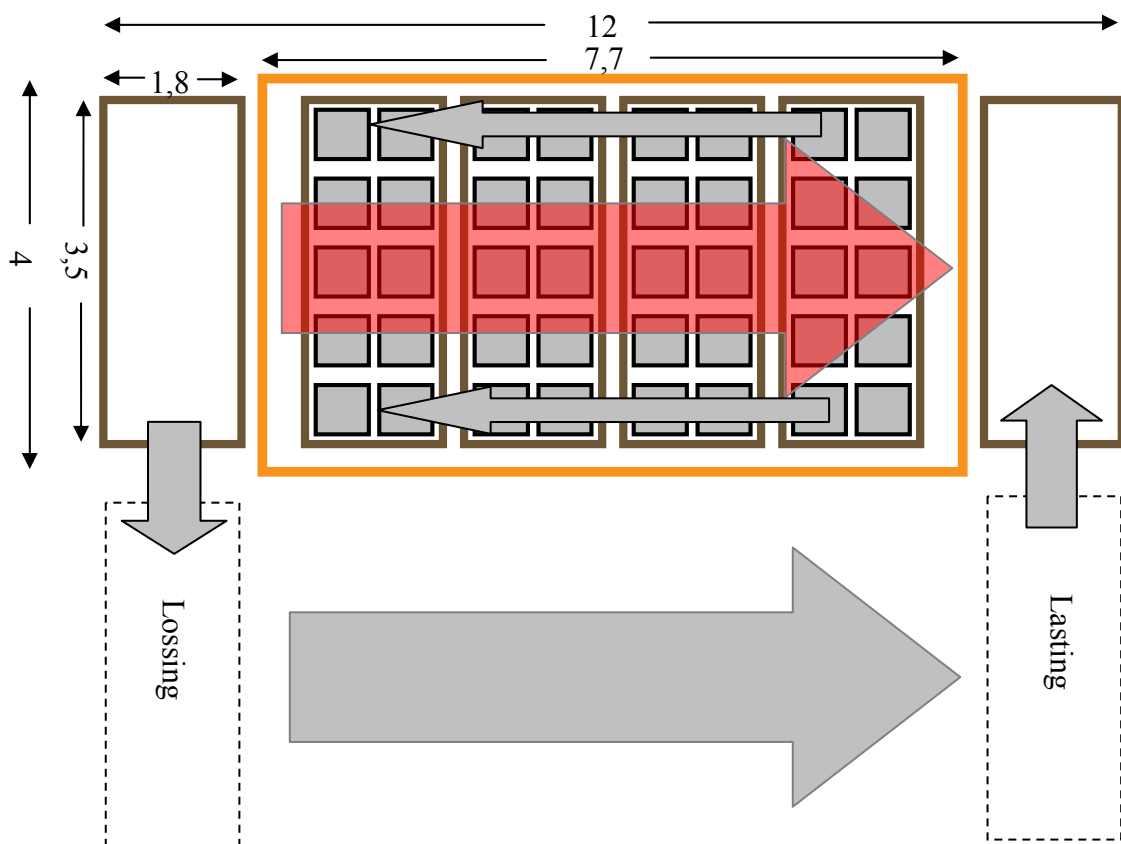
I lys av oppvarmingstiden for en charge med omsmeltemetall bør det være 4 slike i kammeret for å være sikker på at ferdig oppvarmet metall er tilgjengelig. Det bør også være litt ekstra plass til metallet siden noe av dette består av ingotsbunter som riktignok veier rundt 900 kg, men disse er for ustabile til å kunne stables. Den samlede overflaten til ingotsbunter er derimot mye større enn for T-barrer og oppvarmingstida vil være mye mindre.

Ut fra erfaringene gjort ved Høyanger Metallverk, vil det beste alternativet være et samlebandsystem hvor metallet i løpet av syklusen i forvarmekammeret fraktes til den enden av kammeret hvor avgassen kommer inn. Dette er vist i *figur 18* (Kap. 6.2). Lenger inn i kammeret vil avgassen være kaldere etter å ha blitt avkjølt i kontakt med metallet. Metallet som befinner seg lengre inn i kammeret vil følgelig også være kaldere, og oppvarmingstida for dette metallet ved et stasjonært system vil være lengre.

Lasting og lossing vil for dette alternativet kunne foregå som antydnet i *figur 21*. Den store fordelene i den sammenheng er at kammeret er lukket under lasting og lossing av metall.

Trallen som skal settes inn klargjøres før lukene åpnes og føres inn i samme vending som ferdig oppvarmet metall tas ut.

Med utgangspunkt i T-barrene skal det være plass til 20 barrer pr tralle. Dersom det stables to T-barrer i høyden blir fordelingen 2x5 på grunnflata av hver tralle. Da er det plass til 15 tonn aluminium på hver tralle. Planløsningen for forvarmekammeret er vist i *figur 21*. Med denne løsningen får forvarmekammeret plass på de tildelte 12x5 m<sup>2</sup>, men selve lossingen gjøres på forsiden av kammeret som vist i samme figur. De grå pilene viser hvordan trallene sirkulerer og den røde pila angir retningen på varmluftstrømmen.



Figur 21: Grunnflate forvarmekammer

### **6.3 Spillvarme fra forvarmekammer**

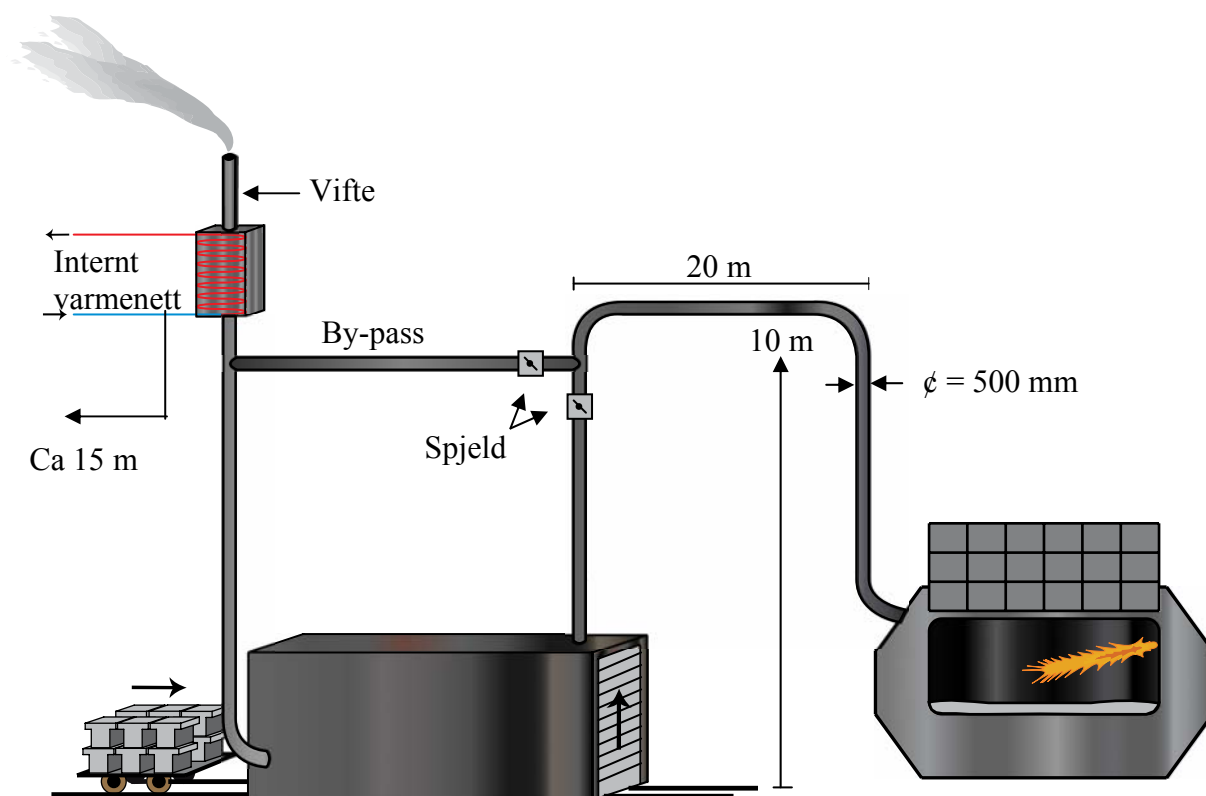
På grunn av de rådende temperaturene i kammeret vil det være nærliggende å anta at lufta som forlater kammeret, tidvis vil holde en temperatur som tilsier at anvendelse av varmen kan være hensiktsmessig. Ett svært interessant bruksområde i så måte er å tilføre varme til det interne fjernvarmenettet som fordeler varme til diverse oppholdsrom på bedriften. I dag fyres det blant annet med elektriske kjeler. Det interne fjernvarmenettet og hovedtall for energibruken er gjennomgått i Kap 3.2.2.

Gjenvunnet energimengde fra avgassen etter forvarmekammeret vil delvis kunne erstatte varmen som dekkes av elektrisk fyrte kjeler i dag. Siden temperaturnivå og gassmengde styres av brennerdriften i ovnene, vil effektmengden herfra være varierende og det vil med høy sannsynlighet være nødvendig å beholde de elektriske kjelene til å dekke topplasten og en stor del av lasten når brennerne ikke er i drift.

Grunnen til at dette er interessant er at gevinsten fra spart elektrisk energi kan godskrives direkte fra investeringen. Dessuten er beliggenheten til forvarmekammeret gunstig med tanke på avstand til hovedkulverten som frakter varmen til de forskjellige byggene. Dette medfører minimerte kostnader for rør og graving.

Prosjektet må komme i kjølvannet av utbyggingen av forvarmekammeret slik at effekt og temperatur i avgassen kan kartlegges ved målinger når driften av anlegget er i gang. Dette er nødvendig for å få et sannferdig overslag over økonomien i et slikt prosjekt.

Et utkast på hvordan hele systemet vil se ut er vist i *figur 21*.



Figur 22: System for utnyttelse av spillvarme i støperiet

## 7 Økonomiske styrker og svakheter ved utbyggingen

### 7.1 Investeringskostnader

Løsningen hvor spillvarme blir benyttet som varmekilde i forvarmekammer, konkurrerer med løsningen som innebærer et gassfyrt anlegg. Det vil da være naturlig å se på kostnadene av disse separat.

**Tabell 8: Investeringskostnader for løsningene knyttet til forvarmekammer**

	<b>Investeringskostnad</b>	<b>Basert på</b>
<b><u>Gassfyrt forvarmekammer</u></b>	<b>6-8 mill NOK</b>	- Prisestimat fra involverte aktører*
<b><u>Forvarmekammer m/spillvarmeutnyttelse</u></b> Skrog, rør, spjeld	5,5 mill NOK	- Investeringskostnad ved Høyanger Metallverk omregnet til dagens verdi ut fra KPI
Isolasjon for rør	10-20.000 NOK	- Pris fra A/S Rockwool
Traller og Hydraulisk frakt	~1,5 mill NOK	- Prisestimat fra Sørøst
Automatisk styring av sug	~1 mill NOK	- Prisestimat fra Sørøst
<b>Sum:</b>	<b>8-10 Mill NOK</b>	

\*Kristen Davidsen, Hydro Production Partner VMP/Karmøy og Sarlin Furnaces

Alternativet med spillvarmutnyttelse blir sannsynligvis noe dyrere enn alternativet med gass.

### 7.2 Årlige besparelser

#### 7.2.1 Forvarmekammer

Med årlige besparelser i denne sammenhengen menes forskjell i driftskostnader for de to alternativene. Vedlikeholdskostnadene antas like for begge anleggene og det vil si at driftskostnadene for spillvarmealternativet settes lik null ettersom varmen er gratis. De årlige besparelsene som en følge av utbygging av et spillvarmeutnyttende

forvarmekammer består da av driftskostnadene i form av brennstoff i det gassfyrte anlegget.

Driftskostnader ved gassfyring:

$$E_{oppv} = m \cdot c_{p,al} \cdot (T_2 - T_1) / 3600s / h \quad [\text{kWh}]$$

$$E_{oppv} = \frac{20.000.000 \text{kg} \cdot 0,9 \text{kJ} / \text{kgK} \cdot 235 \text{K}}{3600 \text{s} / \text{h}} = 1.175.000 \text{kWh}$$

$$E_{\eta} = E_{oppv} / \eta = 1.175.000 \text{kWh} / 0,7 = 1.679.000 \text{kWh}$$

Hvor:

$E_{oppv}$  – nødvendig energimengde for oppvarming av Al. pr år

$E_{\eta}$  – Faktisk energimengde for oppvarming av Al. pr. år

$\eta$  – virkningsgrad ovn = 0,7

$m$  – samlet masse kaldmetall pr. år = 20.000 [tonn]

$c_{p,al}$  – Spesifikk varmekapasitet aluminium = 0,9 [kJ/kgK]

$T_2$  – oppvarmingstemperatur = 250 [°C]

$T_1$  – Starttemperatur = 15 [°C]

$$K_{drift} = Br \cdot E_{\eta} = 0,23 \text{NOK} / \text{kWh} \cdot 1.679.000 \text{kWh} = \underline{\underline{386.000 \text{NOK}}}$$

Hvor:

$K_{drift}$  – Årlige driftskostnader

$Br$  – innkjøpspris naturgass = 0,23 [NOK/kWh] (*Søral*)

Ved å sammenligne investeringskostnader og driftskostnader viser det seg at utnyttelse av spillvarme kontra gass til forvarmekammeret, vil lønne seg på rundt 2,5 år. Utover det vil besparelsene være ca 400 000 NOK pr. år.

## 7.2.2 Intern varmeutnyttelse

Gjenvinning av varmen fra avgassen som ikke blir overført til metallet vil være et ledd i prosessen med å erstatte varmen fra el-kjeler i det interne oppvarmingssystemet. Ved bedriften er det nok spillvarme til at denne prosessen kan bli fullstendig gjennomført.

Kilder som kan være aktuelle i så måte er ren- eller rågassen fra elektrolysen,

kjølevannet fra likeretterne eller avgassen fra B-senteret som ikke er nødvendig til forvarmingen av omsmeltemetall.

Utnyttelse av varmen fra likeretterne forutsetter heving av temperaturen med varmpumpe som er gjennomgått i Skistads rapport fra 2005 [12], og Solbergs rapport fra 2006 [8]. I det tilfellet kan ikke hele energimengden som erstattes godskrives som besparelser siden prosessen bruker strøm tilsvarende omtrent  $\frac{1}{4}$  av tilført varme. De potensielle innsparingene uavhengig av økte drift og vedlikeholdskostnader ved å erstatte el-kjelene er vist i *tabell 9*. Innkjøpsprisen for elektrisitet ved Sørøst er 40,6 øre/kWh.

**Tabell 9: Besparelse ved å erstatte el-kjeler med spillvarme**

	Årlige [GWh] Energimengder	Årlig [NOK] besparelse
Tilleggskjeler	<b>2529</b>	<b>1 026 774</b>

## **8 Redusert Primærenergiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp som følge av utbyggingen**

### **8.1 Redusert primærenergiforbruk**

Olje- og energidepartementet definerer primærenergi som følgende: ”De energiråstoffene som vi utvinner direkte fra naturen kalles primærenergi. Primærenergi er ofte ikke på en form som en sluttbruker kan nyttiggjøre seg av direkte.” ”Når energien har fått en slik form at den egner seg godt til distribusjon og bruk kaller vi den en energibærer.”[14]

Elektrisitetsproduksjonen i Norge består hovedsakelig utelukkende av vannkraft (99 %). Men forbruket er større enn produksjonen og Norge importerer elektrisitet fra kontinentet. Rolf Ulseth uttalte følgende: ”I praksis er marginal el-forsyning inn til Norge over tid, kullkraft. Det vil si at hver kWh spart elektrisitet i Norge tilsvarer omregnet mengde kull som er nødvendig til elektrisitetsproduksjonen.”[16]

I følge EUs CEN-standard, prEN 15603, for kalkulering av Primærenergiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp (Vedlegg E) er primærenergifaktoren for kullkraft 4,05 og 1,36 for gass.

Dersom forvarmekammeret baseres på utnyttelse av spillvarme vil dette indirekte medføre et redusert gassforbruk på 1 679 MWh pr. år (se kapittel 7.2). Omregnet til primærenergiforbruk tilsvarer dette 2283 MWh., og da er transport og produksjon medregnet.

Ved å erstatte el-kjelene med gjenvunnet varme vil redusert elektrisk forbruk, som vist i kap. 3.2.2, forløpe seg til 2529 MWh pr år (basert på 2005). På grunnlag av Ulseths utsagn over, medfører dette en reduksjon i primærenergiforbruk på 10 242 MWh.



## 8.2 CO<sub>2</sub>-regnskap for utbyggingen av forvarmekammer

Å se på forbruket av CO<sub>2</sub> før utbyggingen av forvarmekammeret, kontra etter, gir lite mening siden forvarmekammeret i seg selv ikke fører med seg noen reduksjon. Dersom spillvarme benyttes påvirker ikke dette utslippet verken i positiv eller negativ retning. Det som er interessant å se på i den sammenheng er hvor mye CO<sub>2</sub>-utslipp et gassfyrt anlegg medfører, og som en derved unngår ved å benytte seg av spillvarme.

### 8.2.1 Direkte utslipp

Med direkte utslipp menes hvor store mengder CO<sub>2</sub> som fysisk slippes ut fra pipa ved Søral.

Det er for beregningene tatt utgangspunkt i data for naturgass fra snøhvit-feltet som er vist i *tabell 10*.

**Tabell 10: Blandingsforhold naturgass [13]**

Bestanddel	Vol. %
Nitrogen N <sub>2</sub>	1,1
Karbondioksid CO <sub>2</sub>	0,005
Metan CH <sub>4</sub>	91,92
Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5,59
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,11
Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,23
Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,04
Høyere Hydrokarboner	-

Av tabellen kan en se at mesteparten av naturgassen består av metan. Bestanddelene som bidrar til CO<sub>2</sub>-utslipp ved forbrenning er CO<sub>2</sub> i gassen og hydrokarbonene. CO<sub>2</sub>-utslippet fra forbrenningen av naturgass finnes av følgende formel:

$$\frac{m_{CO_2}}{m_{NG}} = \frac{n_{CO_2}}{n_{NG}} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{NG}}$$

Hvor:

$$m_{CO_2} = \text{CO}_2\text{-utslipp [tonn pr. år]}$$

$$m_{NG} = \text{Gassforbruk [tonn pr. år]}$$

$$\frac{n_{CO_2}}{n_{NG}} = \text{Forholdstall mellom antall mol } CO_2 \text{ og Gass}$$

$$M_{CO_2} = \text{molarmasse for } CO_2 \text{ [kg/kmol]}$$

$$M_{NG} = \text{molarmasse for naturgass [kg/kmol]}$$

Utleddningen av moloarmassen for gassen og forholdstallet mellom antall mol  $CO_2$  dannet og antall mol naturgass forbrukt, er vist i vedlegg E sammen med beregningene for gassforbruk pr. år. Dette gav følgende resultat:

$$\frac{n_{CO_2}}{n_{NG}} = 1,0451$$

$$M_{NG} = 16,63 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{NG} = 126 \text{ tonn/år}$$

$$m_{CO_2} = m_{NG} \cdot \frac{n_{CO_2}}{n_{NG}} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{NG}} = 126 \text{ tonn / år} \cdot 1,0451 \cdot \frac{44 \text{ kg / kmol}}{16,63 \text{ kg / kmol}}$$

$$m_{CO_2} = 348 \text{ tonn / år} \cong \underline{\underline{350 \text{ tonn / år}}}$$

Ved å benytte spillvarme som varmekilde i forvarmekammeret skånes miljøet for 350 tonn  $CO_2$  årlig. Satt i perspektiv tilsvarer dette mengden en privatperson er ansvarlig for ved å ta fly ca 2300 ganger.

### 8.2.2 Indirekte utslipp/totale utslipp

Med indirekte utslipp menes utslippene som skyldes utvinning av primærenergi, omdannelse til energibærer og frakt til sluttbruker. Det totale utslippet som sluttbrukeren forvolder, beregnes ut fra EUs CEN-standard, prEN 15603, gjengitt i vedlegg F.

Den totale  $CO_2$ -produksjonen fra gassforbruk tilsvarer 277 kg/MWh. Med et gassforbruk på 1679 MWh, blir det totale utslippet 465 tonn pr. år.

### 8.3 Reduserte utslipp ved intern varmeutnyttelse

Forutsatt at marginal el-forsyning inn til Norge er kullkraft vil, i følge Rolf Ulseth [16], reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp som følge av redusert elektrisitetsforbruk kunne beregnes ut fra tall fra kullkraft. Dette gjøres ut fra EUs CEN-standard, prEN 15603, gjengitt i vedlegg F.

I følge standarden er CO<sub>2</sub>-produksjonen for kullkraft 1340 kg pr. anvendt MWh. Ved å erstatte el-kjelene med spillvarme reduseres elektrisitetsforbruket med 2529 MWh pr. år (se kapittel 3.2.2). Dette medfører en CO<sub>2</sub>-reduksjon på 3400 tonn pr. år.

**Tabell 11: Redusert Primærenergiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp**

	Forvarmekammer		Intern varmeutnyttelse
	Direkte	Totalt	
Primærenergi [MWh]	---	2283	10 242
CO <sub>2</sub> -utslipp[tonn/år]	350	465	3400

I *tabell 11* er det vist primærenergi- og CO<sub>2</sub>-gevinst ved gjennomføring av tiltakene.

## 9 Diskusjon

Kjernen i problemet som er berørt i denne oppgaven er om utnyttelse av spillvarmen kan konkurrere med gass som oppvarmingskilde i forvarming av omsmeltemetall. Den største fordelene ved å benytte seg av gass, er at dette er sikker teknologi. Det har blitt gjort mye lignende før, siden forvarmekammeret i praksis er en ovn. Usikkerheten ved å benytte seg av spillvarmen fra holdeovnen er at dette har blitt gjort lite av før. Selv om målingene og teorien, samt erfaringene gjort ved Høyanger viste at dette lar seg gjøre, oppstår det ofte praktiske problemer i utføringen av planene.

Fordelene med spillvarme er først og fremst mindre driftskostnader og mindre belastning på globalt og lokalt miljø. Utformingen som er antydnet i denne oppgaven har fordeler med tanke på fristilling av driften i holdeovnene, men dette kan også bli gjort ved gassfyring dersom kammeret utformes på en annen måte enn det som har blitt foreslått.

Målingene som ble gjort i avgassen fra A- og B-senteret har usikkerhetsmomenter ved seg i form av at hastigheten kun ble målt i ett punkt som ble valgt ut fra skjønn. Kontroll av temperaturen viste en usikkerhet på  $\pm 3\text{K}$  og strømningsprofilen var utformet på en måte som sår tvil ved resultatene av måleseriene. Det er undertegnede mening at måleseriene allikevel danner et bra bilde på tilgjengelig effekt fra avgassen. Dette begrunnes ut fra kontrollen av måleresultatene hvor gjennomsnittlig målt effekt ble sammenlignet med gjennomsnittlig tilført effekt i holdeovnen. Også sammenligning med den teoretiske energimengden i avgassen gir indikasjoner på at måleseriene kan stemme.

Med tanke på tidsrommet som ble benyttet for hver måleserie er det ut fra antall driftsykluser inkludert i seriene, grunnlag for å si at dette er tilstrekkelig.

Tallene for sannsynlige salgbare energimengder i bedriftens nærmiljø i tabell 3, er meget spekulative. Det forutsettes full ombygging til vannbåren varmedistribusjon for kommunale bygg og næringsvirksomhet. Det er naturligvis et mulig utfall men høyst lite sannsynlig. I så fall må det skapes et lokalt engasjement rundt fjernvarme.

## 10 Konklusjon

På grunnlag av målingene ble det konkludert med at temperaturen i avgassen ikke er tilstrekkelig høy til å kunne benyttes til forvarming av metall ved dagens drift. Hvis dette skal gjennomføres, må det settes inn tiltak for å heve temperaturen. Måten dette vil kunne bli gjort på er ved å fjerne mesteparten av falsklufta inn i avgassen og innføre regulert avtrekk ut fra forholdene i ovnen. Dette systemet vil kunne drives mer effektivt og vil forbedre reguleringen av trykket i ovnen. Forventet temperatur på avgassen vil i så fall være 700 °C. Beregnet oppholdstid i forvarmekammeret for Aluminium tilsvarende en utstøping blir da maksimalt 2 timer. Konklusjonen er at det er teoretisk mulig å benytte spillvarme til formålet, noe som bør følges opp videre.

Økonomisk er alternativet med spillvarme som varmekilde klart bedre siden større investeringskostnad tjenes inn på rundt 2,5 år. Utvidet levetid over dette medfører en årlig innsparing på 400 000 kroner. Ved gassfyring vil de økte CO<sub>2</sub>-utslippene årlig komme på 465 tonn. Dette er betydelige mengder som også taler for å benytte seg av spillvarme fremfor gass.

Redusert årlig primærenergiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp ved å erstatte el-kjelene med spillvarme kommer på henholdsvis 10 GWh og 3400 tonn. Årlige besparelser i den forbindelse vil utgjøre 1 million kroner.

## 11 Anbefaling

I lys av arbeidet med oppgaven anbefales bedriften i første omgang å sørge for at det lar seg gjøre å benytte seg av spillvarme til forvarming av omsmeltemetall. Fordelene med dette er store og overveiende både fra et økonomisk og miljømessig ståsted.

På litt lengre sikt vil det være lurt å se på lønnsomheten av å erstatte el-kjelene med spillvarme. På grunn av det store innsparingspotensialet er det rimelig å anta at dette vil kunne lønne seg. Enova er en statlig institusjon som støtter prosjekter med resulterende mindre primærenergiforbruk. Et kriterium for å få støtte er at prosjektet ikke skal være lønnsomt i seg selv. Med denne konklusjonen på analysen kan det med andre ord allikevel vise seg å være lønnsomt.

I denne oppgaven er det sagt lite om den største spillvarmekilden ved Sørål. Dette er cellene i elektrolysen som avgir varme til rågassen og hallufta. Varmen som går tapt her er enorm. For tiden pågår det mye interessant forskning på utnyttelse av varmen. Det kan være lurt av Sørål å inntre en mer aktiv rolle i den sammenheng. I første omgang sees det en del på hvordan varmen fra kjølinga av kassene kan samles og på mer effektiv og uproblematisk varmeveksling i rågassen. På grunn av at de fleste aluminiumsverkene i Norge har perifer beliggenhet med lite nærliggende bebyggelse, er det for tiden stort fokus på å få omsatt varmen i elektrisitet

Den røde tråden i disse anbefalingene er en større grad av miljøprofil fra bedriftens side som i seg selv også kan være lurt. Avhengig av oppmerksomheten rundt kan dette medføre økt respekt og anerkjennelse i lokalsamfunnet, fra kunder og fra eiere. De økonomiske ringvirkningene av dette vil kunne fremtre i form av å sikre fremtidig drift ved verket og bedre handelsvilkår. Dessuten vil det medføre økt stolthet over arbeidsplassen blant de ansatte, noe som øker produktiviteten og effektiviteten.

## Refferanseliste

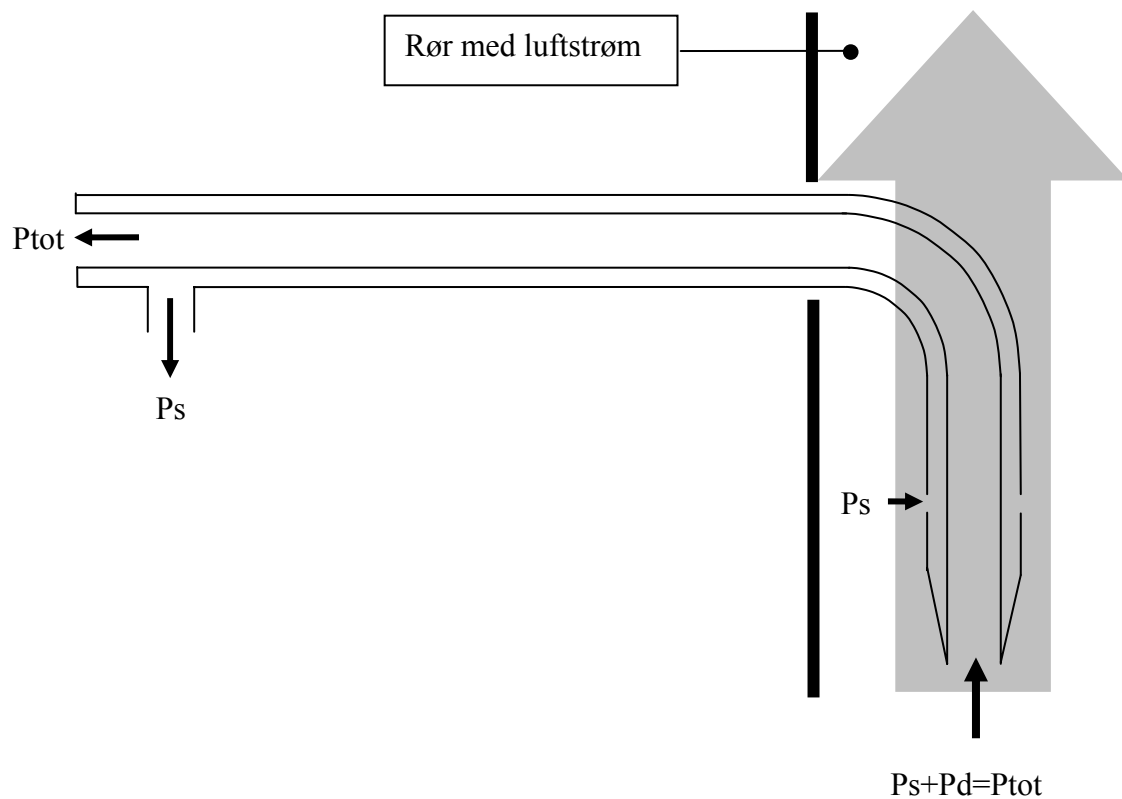
1. NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat [online]  
Lokalisering:  
[http://www.bygningsenergidirektivet.no/modules/module\\_109/publisher\\_view\\_product.asp?iEntityId=8560&noscript=&mid=a1372a1375a](http://www.bygningsenergidirektivet.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?iEntityId=8560&noscript=&mid=a1372a1375a)  
lest: 20-10-2006
2. Miljørapport for Sør-Norge Aluminium AS, 2005
3. Statistisk Sentralbyrå [online]  
Lokalisering: [www.ssb.no](http://www.ssb.no)
4. Håkon Skistad, Ziad Nahra  
*Varmeveksling i rågass ved Sør-Norge Aluminium AS, Forstudium*  
SINTEF Energiforskning AS, 2006
5. Techno Consult v/ Jan Trygve Olsen  
Notat: *Tørkekammer – Oppsummering malinger 10.-11- september*  
Hydro Høyanger Metallverk, 2001
6. Morten Storsveen, Oppland fylkeskommune  
*Erfaringer med konvertering fra el til vannbåren varme m.m.*  
Fjernvarmedagene 2006  
Norsk Fjernvarme [online]  
Lokalisering: [www.fjernvarme.no](http://www.fjernvarme.no)  
Lest 26-10-2006
7. Schmidt, E., *Einführung in die Technische Thermodynamik*  
Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag, 1963
8. Solberg, Ø  
*Utnyttelse av spillvarme fra aluminiumsproduksjon*, (Forprosjekt, Norges Tekniske og naturvitenskapelige Universitet, 2006)

9. Håkon Skistad, Frode Frydenlund,  
*Inneklima og utslipp til luft for aluminiumstøperier - Delrapport 2 – Røykhetter og avtrekkssystem*  
SINTEF Energiforskning AS, 2000
10. Sass, F., Bouche, Ch., Leitner, A., *Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau*  
Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag, 1963
11. Stampe, O. B., Ludvigsen, F. H, *Ventilation Ståbi 2. Udgave*  
København: Nyt Teknisk Forlag, 2004
12. Håkon Skistad  
*Kjøling av likeretterrom ved Sør-Norge Aluminium AS*  
SINTEF Energiforskning AS, 2005
13. Jostein Pettersen  
*LNG overview*  
Forelesning i ”industriell prosess- og energiteknikk”  
NTNU, 2005
14. Olje- og Energidepartementet [online]  
Lokalisering:  
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11/3.html?id=141311>  
lest: 11-06-2007
15. Universitetet i Oslo [Online]  
Lokalisering: <http://www.fys.uio.no/studier/kurs/fys240/ebok/ch4/ch4/node3.html>  
Lest: 11-06-2007
16. Samtale med førsteamanuensis, Rolf Ulseth, 12-06-2007
17. Teknisk Etat, Kvinnherad Kommune  
Korrespondanse, okt. 2006



18. Husnes Røyleggjarforretning AS

Korrespondanse, okt, 2006

**Vedlegg A: Bestemmelse av hastighet ved pitotrørsmåling**


Ved bruk av pitotrør til å bestemme hastigheten i en luftstrøm måles differansetrykket mellom totaltrykket og stagnasjonstrykket. Denne differansen kan også benevnes dynamisk trykk. Pitotrøret har en ytre og en indre kanal hvor innløpet til den ytre vil bli stående  $90^\circ$  på strømningsretningen ved korrekt posisjonering og innløpet til den indre kanalen vil bli stående parallelt med strømningsretningen. Ved å forbinde de to utgangene med et micromanometer vil en kunne lese av differansen mellom størrelsene. Dette differansetrykket brukes til å beregne hastigheten i rørstrømningen ut fra følgende formel:

$$P_{tot} = 1/2 \rho u^2 + P_s$$

$$u^2 = 2(P_{tot} - P_s) / \rho$$

$$u = \sqrt{\frac{2Pd}{\rho}}$$

$\rho = \text{tetthet}$   
 $u = \text{hastighet}$

Tettheten på lufta beregnes ut fra stagnasjonstrykket som må leses av separat. Dette beregnes ut fra følgende formel utledet fra den idelle gasslov:

$$PV = nRT$$

$$P = \rho RT$$

$$R = \frac{P}{\rho T}$$

For to tilstander gjelder da:

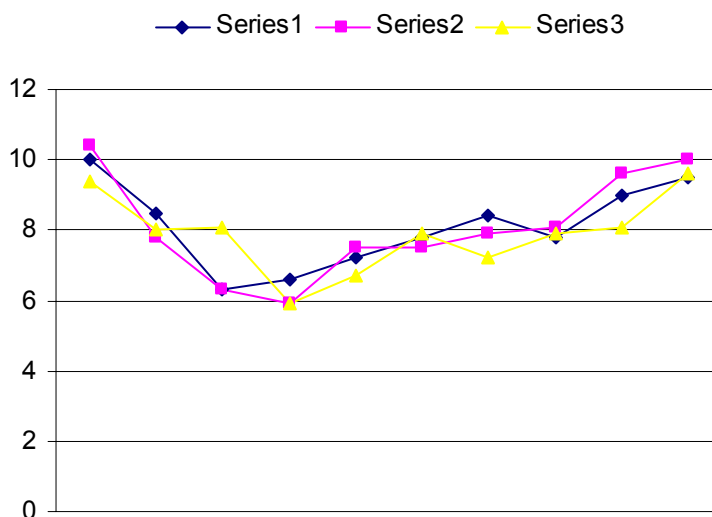
$$\frac{P_{0s}}{\rho_0 T_0} = \frac{P_s}{\rho T}$$

$$\rho = \rho_0 \frac{P_s}{P_{0s}} \cdot \frac{T_0}{T}$$

0-tilstanden er her atmosfæretrykk og 20 °C.

### Traversering over tverrsnittet i målepkt. B-senter:

Travers.nr.												Gj.snitt
1	10,0	8,5	6,3	6,6	7,2	7,8	8,4	7,8	9,0	9,5		8,1
2	10,4	7,8	6,3	5,9	7,5	7,5	7,9	8,1	9,6	10,0		8,1
3	9,4	8,0	8,1	5,9	6,7	7,9	7,2	7,9	8,1	9,6		7,8



## Vedlegg B: Beregninger

### Kontroll av måleresultater:

Kontrolleringen av måleresultatene ble gjort med utgangspunkt i at gassforbruk, mengde kaldmetall som tilsettes og andel kaldmetall av totalmengde logges og kan leses av for hvert senter.

Tidsrommet som ble brukt for avlesing av disse verdiene var hele måleperioden 15. feb. kl 16:00 til 18. feb. kl. 16:00. Dette valget ble gjort for at eventuelle tidsforsinkelser og øyeblikksavvik skulle normaliseres. Verdien som det sammenlignes med er for øvrig også gjennomsnittsverdi av målingene.

Forbruk perioden 15/2 16:00 – 18/2 16:00			
A1	A2	B1	
6244	8016	9354	m <sup>3</sup> gass
95931	108622	121605	kg kaldmetall

Brennverdi gass: B = 10,5 kWh/ m<sup>3</sup>

### Gj. Snittlig effekt gass:

$$A: \frac{(6244 + 8016)m^3}{(24 \cdot 3)h} \cdot 10,5kWh/m^3 = \underline{\underline{2079kW}}$$

$$B: 9354m^3 \cdot 10,5kWh/m^3 / (24 \cdot 3)h = \underline{\underline{1364kW}}$$

### Gj. Snittlig effekt fra tilsatt metall:

$$H_{900^\circ C} = 36kJ/mol$$

$$H_{720^\circ C} = 29kJ/mol$$

$$M_{r,Al} = 27g/mol$$

Andel kaldmetall loggføres for hver enkel støp. Antatt at støpene er tilnærmet lik i størrelse er andelen kaldmetall for perioden 20 % av totalmengde.

Tilsatt metall:

$$A: (95931 + 108622)kg / 0,2 = \underline{\underline{1022765kg}}$$

$$B: 121605kg / 0,2 = \underline{\underline{608025kg}}$$

Effekt:

$$A: Q = \frac{1022765 \text{ kg}}{24 \cdot 3 \cdot 3600 \text{ s}} \cdot \frac{(36 - 29) \text{ kJ} / \text{mol}}{27 \text{ g} / \text{mol}} \cdot 1000 \text{ g} / \text{kg} = \underline{\underline{1023 \text{ kW}}}$$

$$B: Q = \frac{608025 \text{ kg}}{24 \cdot 3 \cdot 3600 \text{ s}} \cdot \frac{(36 - 29) \text{ kJ} / \text{mol}}{27 \text{ g} / \text{mol}} \cdot 1000 \text{ g} / \text{kg} = \underline{\underline{608 \text{ kW}}}$$

Til sammen gir dette:

$$A: P = \underline{\underline{3002 \text{ kW}}}$$

$$B: P = \underline{\underline{1972 \text{ kW}}}$$

Resultat målinger:

Måling	Tid	Center	P [kW]	Interval I	T [°C]	Pa-Ps [Pa]	Ps [Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v[m/s]	$\dot{m}$ [kg/s]
1	23h	A	1266	2s	141,5	569,6	170,2	0,860	19,67	9,9
2	21,5h	A	1189	5s	120,2	637,1	182,3	0,898	20,16	10,5
3	23,5h	B	487	2s	92,0	138,2	51,0	0,978	10,26	5,8

### Varmetap fra rør med 5 cm mineralull

$$k = 0,04 \text{ W} / \text{mK}$$

$$A = 0,5 \text{ m} \cdot \pi \cdot 40 \text{ m} = \underline{\underline{62,8 \text{ m}^2}}$$

$$U = k \cdot \Delta T / L = 0,04 \text{ W} / \text{mK} \cdot 700 \text{ K} / 0,05 \text{ m} = \underline{\underline{560 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}}}$$

$$\dot{Q} = UA = 560 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K} \cdot 62,8 \text{ m}^2 = \underline{\underline{35,2 \text{ kW}}}$$

Effekttapet som er beregnet vil være maksimalt tap siden det er sett bort fra varmemotstanden i stålrøret og synkende temperatur i lengderetningen av røret. Under de samme forutsetningene vil maksimalt temperaturfall over røret kunne beregnes som følgende:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_{p,luft} \cdot \Delta T$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P_s}{P_{0s}} \cdot \frac{T_0}{T} \approx \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} = 1,293 \text{ kg} / \text{Nm}^3 \cdot 293 \text{ K} / 993 \text{ K} = \underline{0,36 \text{ kg} / \text{Nm}^3}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 0,36 \text{ kg} / \text{Nm}^3 \cdot 1,667 \text{ Nm}^3 / \text{s} = \underline{0,6 \text{ kg} / \text{s}}$$

$$\Delta T = \dot{Q} / \dot{m} \cdot c_{p,luft} = 35 \text{ kW} / (1 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot 0,6 \text{ kg} / \text{s}) = \underline{60 \text{ K}}$$

$$T_{fvk} = 700^\circ\text{C} - 60 \text{ K} = \underline{640^\circ\text{C}}$$

$T_{fvk}$  -temperatur inn i forvarmekammer.

### **Overflate til stablet kaldmetall for en charge:**

$$m_{charge} = 15 \text{ tonn}$$

$$m_{T-barre} = 750 \text{ kg}$$

$$n_{charge} = 20$$

$$\rho_{Al} = 2700 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$V_{T-barre} = \frac{750 \text{ kg}}{2700 \text{ kg} / \text{m}^3} = 0,278 \text{ m}^3$$

$$x^3 = 0,278 \text{ m}^3$$

$$x = \sqrt[3]{0,278 \text{ m}^3} = 0,65 \text{ m}$$

$$A = (0,65 \text{ m})^2 \cdot 20 \cdot 6$$

$$A \approx 50 \text{ m}^2$$

### **Termisk energi i metallet:**

I elektrolysen holder Aluminiumet 980 °C og synker til 900 °C når det ankommer støperiet. I støperiovn holder det 720 °C og synker til 690 °C på støpebordet. I støpen blir det avkjølt til omtrent omgivelsestemperatur.

<b>Prosess</b>	<b>Mengde</b>			
Fra elektrolyse	163052	tonn/år	<b>T,omg=25 °C</b>	
Fra støpeovn	175937	tonn/år		
<b>Temperatur</b>	<b>Varmekapasitet</b>			
980 °C	38	kJ/mol		
900 °C	36	kJ/mol		
720 °C	29	kJ/mol	1,52 kJ/kg K	
<b>Mr,Al:</b>	27	g/mol		
<b>Formel for energiinnhold</b>				
E,a = m,år*cp/(Mr*s/h)			GWh/år	
<b>Fra elektrolyse:</b>	63,74460905	GWh/år		
<b>Til støperi:</b>	60,38962963	GWh/år		
<b>Tap:</b>	3,354979424	GWh/år		
<b>Varme fra metall til vann i støperiet:</b>			52,49149177	GWh/år
<b>Varme fra metall til luft i støperiet:</b>			2,228535333	GWh/år

**Hastighet i forvarmekammer:**

Hastigheten i røret:  $v_1 = 10 \text{ m/s}$

Areal i røret:  $A_1 = \pi D^2 / 4 = \pi 0,5^2 / 4 = 0,20 \text{ m}^2$

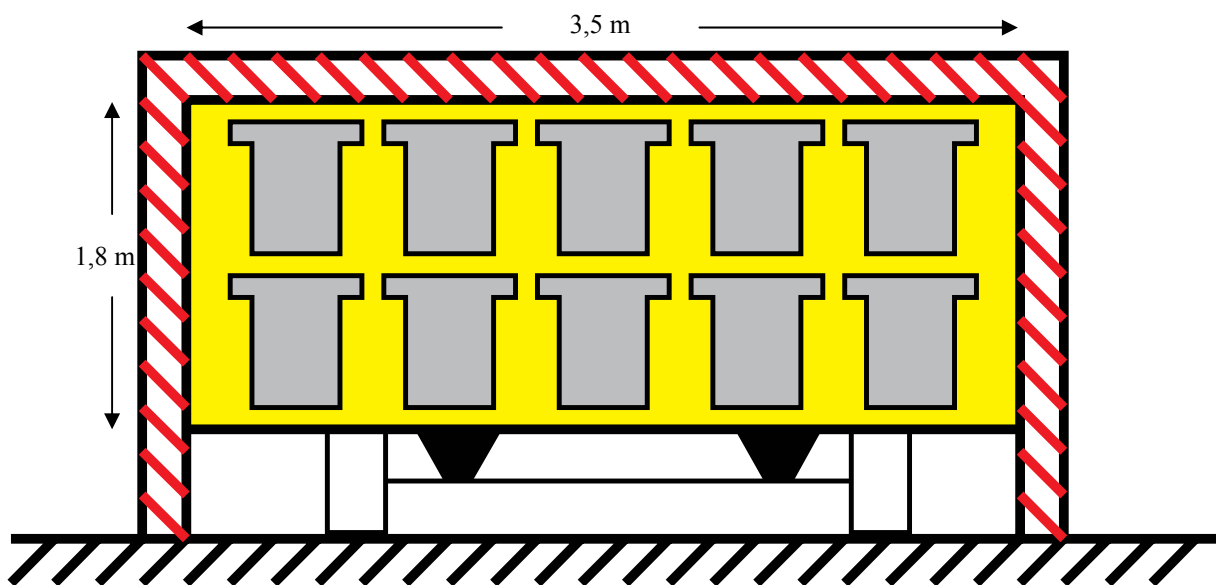
Strømningsareal i forvarmekammer:  $A_2 =$  gult areal i figuren under

Metallareal i strømningsretning:  $A_3 =$  Grått areal i figur

$$A_2 = (1,8\text{m} \times 3,5\text{m}) - A_3 = (1,8\text{m} \times 3,5\text{m}) - 10 \times 0,65^2 \text{ m}^2 = 2,075 \text{ m}^2$$

$$V = v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2$$

$$v_2 = v_1 \times A_1 / A_2 = 10 \text{ m/s} \times 0,20 \text{ m}^2 / 2,075 \text{ m}^2 = 0,96 \text{ m/s} \sim 1 \text{ m/s}$$





## Vedlegg C: Lønnsomhetsanalyse av omlegging til vannbåren oppvarming

Energibruken i elektrobygget danner grunnlaget for oppvarmingsbehov i kontorene på Sørøst. Det samlede elektrisitetsforbruket i elektrobygget var i 2005, 256 MWh. Med en antatt andel til oppvarming på 40 % blir dette behovet 102,4 MWh. Elektrobygget bruker utelukkende elektrisitet til oppvarming i form av varmekabler i gulv og varmebatterier i ventilasjonsanlegget. Bygget drives bevisst med tanke på å spare strøm. Det er nattsinking av temperaturen og balansert ventilasjon med varmegjenvinner.

$$E_{a,oppv.} = 102,4 \text{ MWh}$$

$$A = 1045 \text{ m}^2$$

Oppvarmingsbehov kontorer:

$$E_{a,oppv.} / A = 102,4 \cdot 10^3 \text{ kWh} / 1045 \text{ m}^2 \sim \mathbf{100 \text{ kWh} / \text{m}^2}$$

Oppland Fylkeskommune har lagt om fra elektriske panelovner til vannbårent oppvarmingssystem i to videregående skoler, Raufoss vgs. som stod ferdig i 2005, og Lena Vgs. som er planlagt ferdig i 2007. Kostnadsoversikten for de berørte elementene pr m<sup>2</sup> er vist i Tabellen under.

### Installeringskostnader vannbåren varme

Elementer:	Kr/m <sup>2</sup> ekskl. mva
Bygg	40 – 60
Rør	620 – 700
Elektronikk	60 – 80
Automatikk	25 – 50
<b>Sum</b>	<b>745 - 890</b>

Overslaget innefatter kun kostnadene som skyldes omlegginger innad i bygget. Noe av grunnen til at kostnadene er så høye er at det er vektlagt temperaturstyring for hvert enkelt rom. Opplysningene er hentet fra en presentasjon under fjernvarmedagene. [6]

**Lønnsomhetsanalyse:**

NV = Nåverdi

B = Årlig besparelse = 40,6 kr/ m<sup>2</sup>I = Investeringskostnad = 550 kr/ m<sup>2</sup>

r = kalkulasjonsrente = 11 % / 8 %

N = Antatt levetid = 30 år

Årlig besparelse beregnes ut fra oppvarmingsbehov for kontorer og en energipris på 40,6 øre/kWh med hensyn til at det kun brukes gjenvunnet varme som energikilde.

Lønnsomheten regnes ut for en høy og en middels høy kalkulasjonsrente. Det er sannsynlig at levetiden vil være minst 30 år. Det tas ikke hensyn til forandring i vedlikeholdskostnadene her. Investeringen er satt ut fra vurdering av kostnadsoversikten fra Oppland fylkeskommune [6]. Nåverdien er satt til tidspunktet for investeringen.

$$NV = B \cdot (1 - (1+r)^{-N}) / r - I$$

$$r = 0,11:$$

$$NV = 40,6 \text{ kr/ m}^2 (1 - (1+0,11)^{-30}) / 0,11 - 550 \text{ kr/ m}^2$$

$$NV = -197 \text{ kr/ m}^2$$

$$r = 0,08:$$

$$NV = 40,6 \text{ kr/ m}^2 (1 - (1+0,08)^{-30}) / 0,08 - 550 \text{ kr/ m}^2$$

$$NV = -93 \text{ kr/ m}^2$$

Investeringen vil ikke lønne seg direkte. Dersom tiltaket skal gjennomføres må dette gjøres med annen vektlegging enn økonomiske grunner.

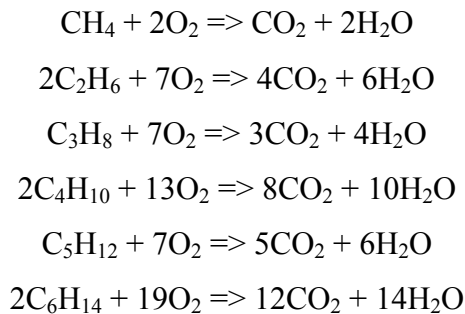
**Vedlegg D: Elektrisitetsforbruk for Sør-Norge Aluminium AS**

ELEKTRISK FORBRUK 12 MND. I ÅR 2005			UTREKI
FORBRUKSTADER	GWh	konto	LAST MW
1 TOTALFORBRUK 300kV	2493,75	/4110	284 674
2 LEV.KKV/SKL UREG.	57,15		6 524
3 LEV.KKV/SKL REG.	0,00		0
4	0,00		0
5 TOTALFORBR.FABRIKK	126,51		14 442
6 ELKTROLYSE TOTAL AC	2367,23		270 232
7 ELEKTROLYSE A DC	1163,01	210	132 764
8 ELEKTROLYSE B DC	1167,31	210	133 255
9 TAP LIKERETTAR	36,91	133	4 213
10 HALL A ALM. FORBR.	2,19	210	250
11 HALL A TAKVENT	0,00	221	0
12 HALL B ALM. FORBR.	2,45	210	280
13 HALL B TAKVENT.	0,00	221	0
14 RENSEANLEGG RA1-5 (380V)	0,65	222	74
15 RENSEANLEGG RA1-6 (660V)	40,78	222	4 655
16 DIGELRENSEMASKIN	0,22	215	25
17 ELEKTRISK VERKST.	0,26	912	29
18 DATA AVDELING	0,20	350	23
19 MEKANISK VERKST.	0,59	911	68
20 KØYRETY VERKST.	0,59	914	68
21 ARBEIDSTRENINGSVERKST.	0,34	915	38
22 R.R. ANL. DRIFT	0,36	212	41
23 R.R. ANL. LYS/VENT.	1,13	212	129
24 PORTVAKT, KONT., UNDERV.	0,29	010	33
25 TANKANLEGG	0,29	123	33
27 HAMNEKRANER	0,04	031	5
28 ALM. FORBRUK KAI OG KAIBAND	1,17	031	133
29 SUGELOSSANLEGG	0,92	032	105
30 PUMPESTASJON SJØ	6,00	223	685
31 KOMBI II	0,29	290	33
32 TRANSPORTBAND OG SILO	0,73	032	84
33 ELEKTRODEKJEL	1,98	123	226
26 FYRHUS INTERNFORS.	1,36	123	155
34 ANODEVERKSTAD	0,61	270	70
35 KATODEVERKSTAD	1,27	280	145
36 KOMPRESSOR 1,2,og8	3,37	123	384
37 KOMPRESSOR 4	1,44	123	165
38 KOMPRESSOR 5 OG 7	3,62	123	413
39 KOMPRESSOR 6	3,78	123	431
40 KOMPRESSOR 9	3,18	123	363
41 KOMPRESSOR 10	3,25	123	372
42 JUNKEROMN 1 OG 2	2,34	271	267
43 STUKSVEISEMASKIN	0,09	272	10
44 LABORATORIET	0,51	340	59
45 ALM. FORBRUK STØYPERI	3,44	420	392
47 BEARBEING STØYPERI	4,19	436	479
48 BOLTESAG 4	0,16	438	18
49 KONTIANLEGG 1	11,09	436	1 265
50 KONTIANLEGG 2	10,87	436	1 241
51 BATCHANLEGG	5,18	435	591
52 PUMESTASJ. FERSKV.	0,96	111	109
53 EIGE FORBR. 20kV-BYGG	2,44	133	278
54 TAP I BLOKKSTASJ.	1,92	133	219

## Vedlegg E: CO<sub>2</sub>-Utslipp ved Naturgassforbrenning

Beregningen av forholdstallet mellom CO<sub>2</sub>-Utslipp og forbrenning av naturgass og molmasse for naturgassen er vist i tabellen under.

Følgende støkiometriske ligninger gir grunnlaget for CO<sub>2</sub>-Utslipp ved fullstendig forbrenning:



CO<sub>2</sub>-utslipp ved naturgassforbrenning:

Stoff	molfraksjon	Antall		molmasse	fraksjonsmolmasse
		CO <sub>2</sub>	nCO <sub>2</sub> /nNG		
i	x <sub>i</sub>	nCO <sub>2</sub> /n <sub>i</sub>	nCO <sub>2</sub> /nNG	M <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> *x <sub>i</sub>
CO <sub>2</sub>	0,00005	1	0,00005	44	0,0022
CH <sub>4</sub>	0,9192	1	0,9192	16	14,7072
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0559	2	0,1118	30,1	1,68259
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0111	3	0,0333	44,1	0,48951
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0023	4	0,0092	58,1	0,13363
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0004	5	0,002	72,1	0,02884

Sum: 1,07555 17,04397

M<sub>ng</sub> 17,044 kg/kmol

44,0

M<sub>co2</sub> kg/kmol

M<sub>ng</sub> = molarvekt for naturgass

M<sub>co2</sub> = molarvekt for CO<sub>2</sub>

Gassforbruket som en følge av forvarming av omsmeltemetall er beregnet under ved hjelp av følgende størrelser:

$$E_{\eta} - \text{Årlig energimengde} = 1679000 \text{ kWh/år}$$

$$H_i - \text{Brennverdi Naturgass} \sim 10 \text{ kWh/m}^3$$

$V_n$  – molvolum for gass ved normaltilstand =  $22,4 \text{ dm}^3 / \text{mol}$

$$\rho_{NG} = \frac{M_{NG}}{V_n} = \frac{17,044 \text{ kg} / \text{kmol}}{22,4 \text{ m}^3 / \text{kmol}} = \underline{0,76 \text{ kg} / \text{m}^3}$$

Hvor:

$\rho_{NG}$  = Tetthet for naturgass,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ atm}$

$$V_{ga} = E_\eta / H_i = \frac{1679000 \text{ kWh} / \text{år}}{10 \text{ kWh} / \text{m}^3} \cong \underline{170000 \text{ m}^3 / \text{år}}$$

Hvor:

$V_{ga}$  = Årlig volumforbruk av gass

$$m_{NG} = V_{ga} \cdot \rho_{NG} = 170000 \text{ m}^3 / \text{år} \cdot 0,76 \text{ kg} / \text{m}^3 = \underline{\underline{129200 \text{ kg} / \text{år}}}$$

Hvor:

$m_{NG}$  = Årlig gassforbruk

**Vedlegg F: EU-standard for primærenergiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp**

Factors and coefficients for calculating "primary energy use" and CO<sub>2</sub>-emission on the energy certificate from the EUs harmonized CEN-standard:

(prEN 15603)

	Primary Energy factors		CO <sub>2</sub> production [kg/MWh]
	Ressource	Total	
Fuel oil	1,35	1,35	330
Gas	1,36	1,36	277
Anthracite	1,19	1,19	394
Lignite	1,40	1,40	433
Coke	1,53	1,53	467
Wood shavings	0,06	1,06	4
Log	0,09	1,09	14
Beech Log	0,07	1,07	13
Fire log	0,10	1,10	20
Electricity from hydraulic power plant	0,50	1,50	7
Electricity from nuclear power plant	2,80	2,80	16
Electricity from coal power plant	4,05	4,05	1340
Electricity mix UCPTE	3,14	3,31	617

Source: Oekoinventare für Energiesysteme – ETH Zürich (1996)

These factors include the energy to build the transformation and transportation systems for the transformation of the primary energy to delivered energy.