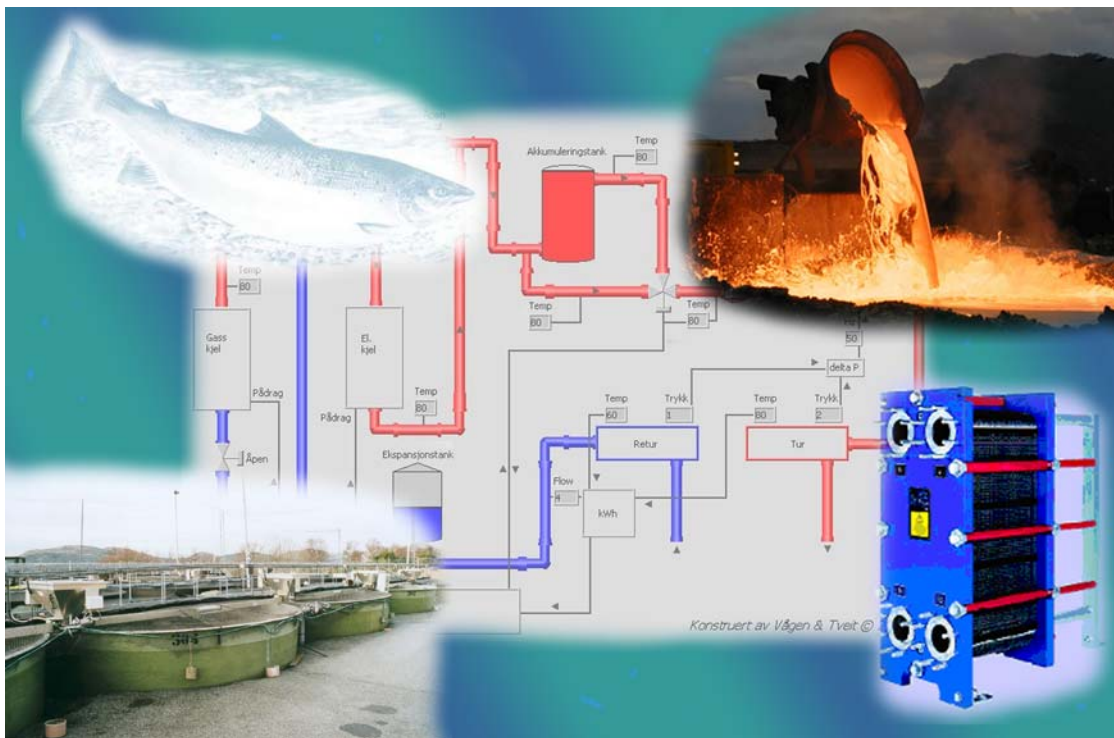


# Bruk av spillvarme og fjernvarme i smoltproduksjon



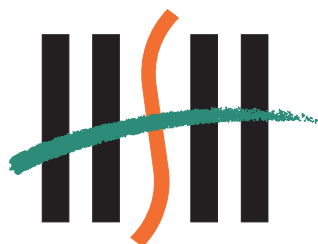
Hovedprosjekt utført ved Høgskolen Stord/Haugesund - Avd. for ingeniørfag

*Studieretning: Elektro*

Av: Arnold Vågen  
Jens Magnar Tveit

*Haugesund*

*2.5.2003*



Høgskolen Stord/Haugesund  
Avdeling for ingeniørfag  
Bjørnsonsgt. 45  
5528 HAUGESUND  
Tlf. nr. 52 70 26 00  
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel Bruk av spillvarme og fjernvarme i smoltproduksjon		Rapportnummer
Utført av Arnold Vågen & Jens Magnar Tveit		
Linje Elektro		Studieretning Automasjon
Gradering Åpen	Innlevert Dato 2.5.2003	Veileder ved HSH Eyvind Rossebø
Oppdragsgiver PDS - Klimakonsult		Kontaktperson hos oppdragsgiver Leonard Eriksson

#### Ekstrakt

I denne oppgaven skal det ses på bruk av spillvarme og fjernvarme i forbindelse med smoltproduksjon. Produksjonen skal forsøkes å optimaliseres ut fra gitte kriterier.

Det er blitt gjort beregninger og simuleringer for å finne effektbehov for å møte ønskede temperaturer i forbindelse med smoltproduksjonen.



## Forord

Denne rapporten er skrevet i forbindelse med hovedprosjektet som avslutter 3 årig ingeniørutdanning Elektro/Automasjon ved Høgskolen Stord/Haugesund.

Rapporten er utført som en del av en prosjektplan for PDS Klimakonsult AS, Haugesund.

Det er forsøkt å skrive rapporten på en slik måte at det ikke skal være nødvendig med faglig bakgrunn for å ha utbytte av den.

Vi vil nytte anledningen til å takke noen personer for bidrag til rapporten:

- Øyvind Haraldseid, Trovåg Laks AS for generell informasjon om smoltproduksjon og en flott omvisning på anlegget.
- Asle Fosen for gode tips i forbindelse med simulering i Matlab
- Leonard Eriksson og Eyvind Rossebø som henholdsvis ekstern og intern veileder

Haugesund, 2.5.2003

---

Arnold Vågen

---

Jens Magnar Tveit



## Sammendrag

Bakgrunnen for prosjektet er at det er besluttet å etablere et smoltproduksjonsanlegg i tilknytning til et industriområde der det er mulighet for utnyttelse av spillvarme. I område er det også planlagt et fjernvarmeanlegg der hovedbrenselet vil være naturgass. Naturgassen vil bli transportert til området i form av LNG (flytende naturgass) og lagret i tanker.

Oppgaven vil ha to hovedmål:

Det første hovedmålet vil bli å se på bruk av spillvarme og energi fra fjernvarmesystem i et smoltanlegg. Dette innebærer å beskrive og skissere fjernvarmeanlegget med varmesentral og distribusjonsnett. Smoltanleggets varmevekslerpark og dens reguleringsstruktur må også beskrives og skisseres.

Det andre hovedmålet i oppgaven vil bli å optimalisere smoltproduksjonen. Optimal produksjon er blant annet avhengig av tilgang på vann. Lover og forskrifter samt erfaringstall knyttet til vanntemperaturer inngår også.

Ut fra de oppgitte data for vanntilgang, temperaturer og normal vekst på smolt, ble det laget et program i Excel som foretar beregninger for å optimalisere produksjonsmengden i smoltanlegget.

Det ble videre utarbeidet et program i Matlab som kan simulere temperaturer og vannstrømninger gjennom varmevekslerparken i smoltanlegget. Gjennom denne simuleringen kan en finne ut hvilke effekter som trengs fra de ulike varmevekslerne, og om en har tilstrekkelig effekt for å oppnå den ønskede temperaturen i smoltanlegget. Simuleringen ble, sammen med Excel programmet, brukt til å lage en månedlig oversikt over effektbehov, vannbehov, tilgjengelig effekt og om ønsket temperatur og vannmengde ble oppnådd.

Vi fant ut at optimal mengde smolt vi kan produsere i anlegget er 1,3 millioner pr. år. Begrensningen skyldes tilgang på vann i september, men i tillegg så vi at det er vanskelig å oppnå ønsket temperatur i juli, august og september. Tilgang på mer vann vil derfor ikke hjelpe, så lenge vi ikke har tilgang på mer energi for å varme opp vannet. I september kreves det en effekt på 2 MW for å øke temperaturen 1 °C i smoltanlegget.

Ut fra resultatene ser vi at smoltanlegget har for lite tilgjengelig energi for å kunne oppnå en ønsket temperatur. Det bør derfor vurderes ulike tiltak.



## Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>1</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>2</b>
<b>INNHold</b> .....	<b>3</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>6</b>
1.1 BAKGRUNN .....	6
1.2 FORMÅL.....	7
1.3 UTFORDRINGER .....	7
1.4 AVGRENSNINGER.....	7
<b>2 FJERNVARME OG SPILLVARME</b> .....	<b>8</b>
2.1 HVA ER FJERNVARME?.....	8
2.2 SPILLVARME .....	10
<b>3 SMOLTANLEGG</b> .....	<b>11</b>
3.1 GENERELT OM SMOLTANLEGG OG SMOLTPRODUKSJON .....	11
3.2 VEKSTVILKÅR.....	13
3.3 VIKTIGE KRITERIER I FORBINDELSE MED SMOLTANLEGG .....	14
3.4 VARMEVEKSLER .....	15
3.4.1 <i>Matematisk modell</i> .....	16
3.4.2 <i>Varmevexslere brukt i prosjektet</i> .....	18
3.5 TOTALSIMULERING AV VARMEVEKSLERPARKEN I SMOLTANLEGGET .....	19
<b>4 VARMESENTRAL</b> .....	<b>20</b>
4.1 NATURGASS .....	20
4.2 GASSFORBRENNING .....	21
4.2.1 <i>Gasskjel</i> .....	22
4.2.2 <i>Gassturbin</i> .....	22
4.2.3 <i>Gassmotor</i> .....	23
4.2.4 <i>Motor vs. Turbin</i> .....	24
4.3 ELEKTROKJEL .....	25
4.4 SIRKULASJONSPUMPE .....	27
4.5 REGULERINGSVENTILER .....	28
4.6 ANDRE KOMPONENTER .....	29
4.7 KOMPLETT VARMESENTRAL .....	33
<b>5 OVERVÅKING, STYRING OG REGULERING</b> .....	<b>34</b>
5.1 GENERELT .....	34
5.2 FØLERNE UTE I PROSESSEN .....	35
5.3 KOMMUNIKASJON/FELTBUSSE .....	35
5.4 HOVEDSENTRAL / OVERVÅKINGSPROGRAMMET .....	36
<b>6 DISTRIBUSJONSNETT</b> .....	<b>38</b>
6.1 GENERELT OM FJERNVARMENETT .....	38
6.2 TEMPERATURNIVÅ.....	39
6.3 TRYKKNIVÅ .....	39
6.4 MATERIALVALG .....	40
6.5 LEGGEMETODER .....	40
6.6 TRYKK- OG ENERGITAP.....	41
6.7 INNVESTERINGER KNYTTET TIL FJERNVARMENETTET .....	42



<b>7</b>	<b>RESULTATER</b> .....	<b>43</b>
7.1	SMOLTANLEGGET .....	43
7.1.1	Skisse over anlegget.....	43
7.1.2	Beregning av produksjonsmengde.....	43
7.1.3	Simulering av varmevekslerparken i smoltanlegget.....	44
7.1.4	Resultat av simulering.....	46
7.2	VARMESENTRALEN.....	48
7.2.1	Prinsippskisse over varmesentralen.....	48
<b>8</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>49</b>
8.1	SMOLTANLEGGET .....	49
8.1.1	Skisse over smoltanlegget.....	49
8.1.2	Beregning av produksjonsmengde.....	49
8.1.3	Simulering av varmevekslerparken i smoltanlegget.....	49
8.1.4	Resultat av simulering.....	50
8.1.5	Usikkerhet i simulering.....	50
8.1.6	Mulige tiltak.....	51
8.1.7	Videre arbeid.....	51
8.2	VARMESENTRALEN.....	51
8.2.1	Skisse over varmesentralen.....	51
8.2.2	Mulige tiltak.....	51
8.2.3	Videre arbeid.....	51
<b>9</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>LITTERATUR</b> .....	<b>54</b>
<b>11</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>56</b>



## Figurliste

Figur 1.1 Prosjektskisse.....	6
Figur 2.1 Oppbygging av fjernvarmeanlegg /10/ .....	8
Figur 2.2 Bruk av fjernvarme i Norden regnet pr. innbygger /10/ .....	9
Figur 3.1 Yngelkar hos Trovåg Laks AS .....	11
Figur 3.2 Smoltkar hos Trovåg Laks AS.....	12
Figur 3.3 Prinsippskisse av varmeveksler /25/.....	15
Figur 3.4 Plateveksler fra Alfa Laval (til høyre: prinsippskisse) /26/ .....	16
Figur 3.5 Varmevekslerpark hos Trovåg Laks AS.....	16
Figur 3.6 Prinsippskisse av VVX.....	18
Figur 4.1 Gassbrukere i 2000 /30/.....	20
Figur 4.2 Prinsippskisses av virkemåte til en kjel /21/.....	21
Figur 4.3 Gasskjel fra kogenereringsanlegget på Bø .....	22
Figur 4.4 Prinsippskisse av gassturbin /21/.....	23
Figur 4.5 Prinsippskisse av gassmotor /21/.....	23
Figur 4.6 Gassmotor fra kogenereringsanlegget på Bø.....	24
Figur 4.7 Motor vs. Turbin /21/.....	24
Figur 4.8 Elektrokjel fra kogenereringsanlegget på Bø .....	25
Figur 4.9 Reguleringsventil.....	28
Figur 4.10 Akkumuleringstanker og sirkulasjonspumpe fra kogenereringsanlegget på Bø ....	30
Figur 4.11 Mikrobobleutskiller fra Spirovent® /19/.....	31
Figur 4.12 Energimåler /25/ .....	33
Figur 5.1 Eksempel på oppbygning av prosess- styring/overvåkning /27/ .....	37
Figur 6.1 Grøftesnitt for en fjernvarmeledning /25/.....	38
Figur 6.2 Fjernvarmegrøft.....	38
Figur 6.3 Eksempel på utetemperaturkorrigering .....	39
Figur 6.4 Snitt av fjernvarmeledning /25/ .....	40
Figur 6.5 Energitap i rørledning /10/.....	41
Figur 7.1 ”P & ID” over smoltanlegget.....	43
Figur 7.2 Oversikt over vannforbruk.....	44
Figur 7.3 Effekttilpasning .....	44
Figur 7.4 Temperaturforløp i VVX1 .....	45
Figur 7.5 Temperaturforløp i VVX2 .....	45
Figur 7.6 Temperaturforløp i VVX3 .....	45
Figur 7.7 Oversikt over effektfordeling i varmevekslerne.....	46
Figur 7.8 Effektførsløp gjennom året .....	46
Figur 7.9 Temperaturforløp gjennom året.....	47
Figur 7.10 Skisse over varmesentralen .....	48



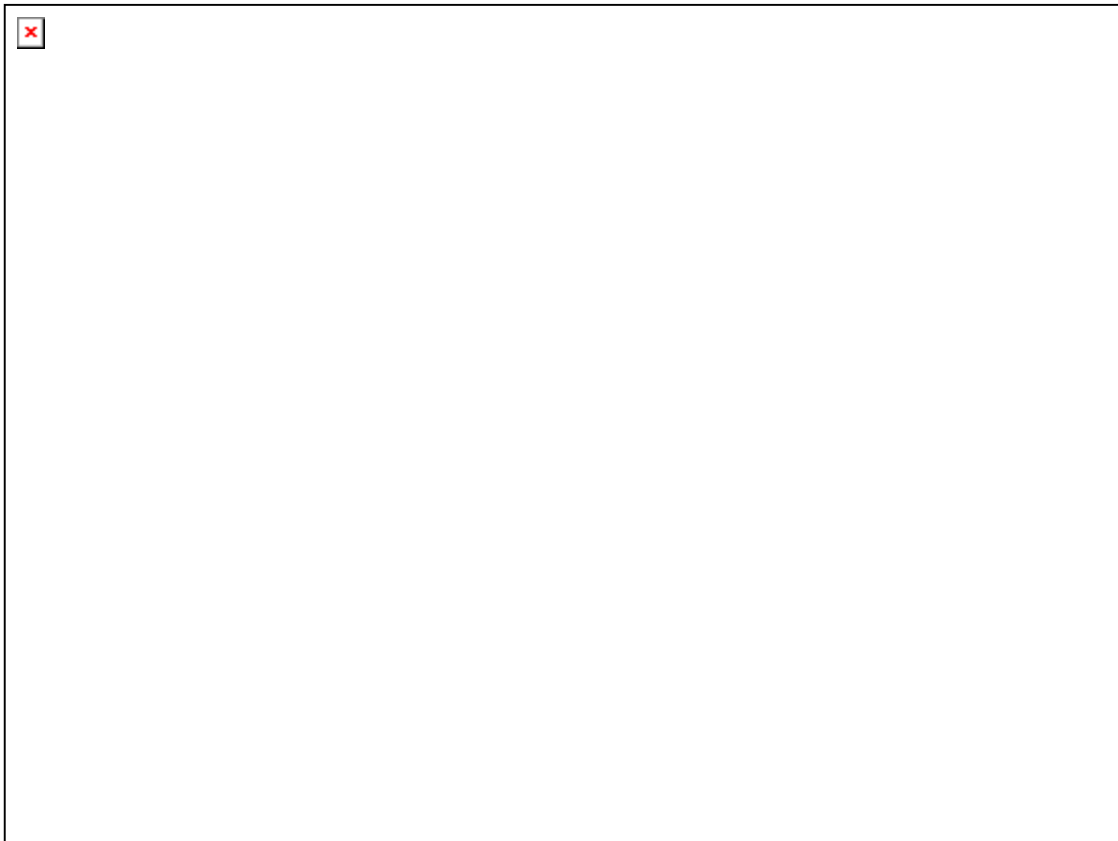
# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for prosjektet er at det er besluttet å etablere et smoltproduksjonsanlegg i tilknytning til et industriområde der det er mulighet for utnyttelse av spillvarme. I område er det også planlagt et fjernvarmeanlegg der hovedbrenselet vil være naturgass. Naturgassen vil bli transportert til området i form av LNG (flytende naturgass) og lagret i tanker.

Et smoltanlegg er et landbasert anlegg som tar imot fiskerogn og produserer sjødyktig fisk (smolt) på 90-100 gram. I smoltproduksjon er det nødvendig å øke temperaturen på vannet i smoltanlegget i deler av året, for å gi best mulig vekstvilkår. Til dette vil en bruke spillvarme fra industrien og energi fra fjernvarmeanlegget.

Figur 1.1 viser en prinsippskisse over prosjektet hvor en får naturgass inn i en varmesentral, som produserer varmt vann på ca 80 °C. Denne energien distribueres deretter ut til blant annet smoltanlegget. Smoltanlegget får spillvarme fra industri. Denne spillvarmen holder en temperatur på ca 25 °C. Andre kunder som tilknyttes varmesentralen er ikke inntegnet da disse ikke er en del av dette prosjektet.



Figur 1.1 Prosjektskisse





## **1.2 Formål**

Oppgaven vil ha to hovedmål:

Det første hovedmålet vil bli å se på bruk av spillvarme og energi fra fjernvarmesystem i et smoltanlegg. Dette innebærer å beskrive og skissere fjernvarmeanlegget med varmesentral og distribusjonsnett. Smoltanleggets varmevekslerpark og dens reguleringsstruktur må også beskrives og skisseres. Med varmevekslerpark menes arrangementet der smoltanlegget henter ut den tilførte energien i form av varmt vann.

Det andre hovedmålet i oppgaven vil bli å optimalisere smoltproduksjonen. Optimal produksjon er blant annet avhengig av tilgang på vann. Lover og forskrifter samt erfaringstall knyttet til vanntemperaturer inngår også.

## **1.3 utfordringer**

Utfordringene i oppgaven er å beregne optimal smoltmengde under gitte forutsetninger, samt simulere effektbehovet til anlegget. Det er derfor nødvendig å skaffe til veie informasjon om spillvarme og fjernvarme, og mulighetene for å utnytte dette i smoltproduksjon. Informasjon om selve smoltproduksjonen må også innhentes.

## **1.4 Avgrensninger**

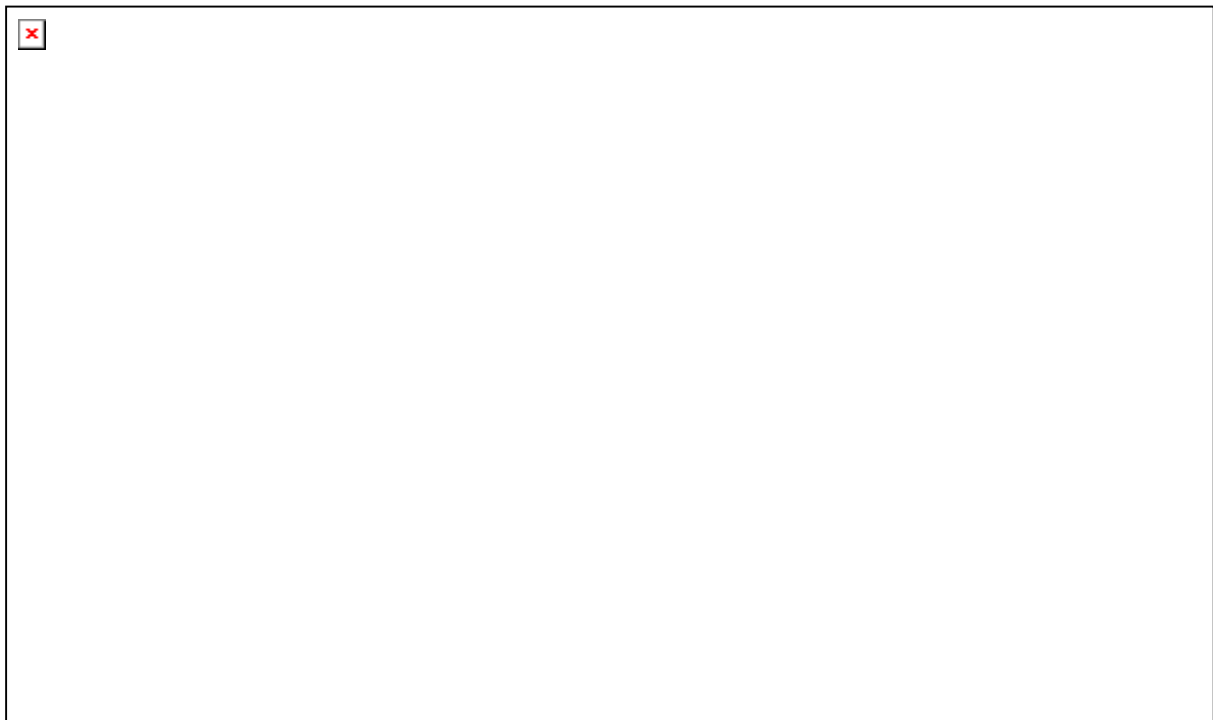
Optimal smoltproduksjon avhenger av flere faktorer som vannmengde, temperatur, føring, oksygentilskudd og lysmanipulering. I denne oppgaven har en kun valgt å se på betydningen av vannmengde og vanntemperatur for smoltproduksjon.

I beregninger og simuleringer brukes spesifikasjonene på varmevekslere en fikk oppgitt av oppdragsgiver. Den maksimale strømmingen gjennom disse, og dermed tilgjengelig effekt i varmevekslerne er dermed avgrenset til oppgitte data.

## 2 Fjernvarme og spillvarme

### 2.1 Hva er fjernvarme?

Tradisjonell fjernvarme er distribusjon av oppvarmet vann i rønett nedgravd i bakken fra en varmesentral og frem til kunden. Oppvarmingen av vannet skjer i varmesentralen og kan være basert på spillvarme, fyring med biobrensel, avfall eller gass som grunnbelastning og med olje, gass eller elektrisitet som dekning av toppbelastning. Også varmepumper langs kysten, og solvarme vil bli aktuelt innen fjernvarme ifølge Heide Juhler i Norsk Fjernvarmeforening. /12/ Figur 2.1 viser oppbygning av et fjernvarmeanlegg.

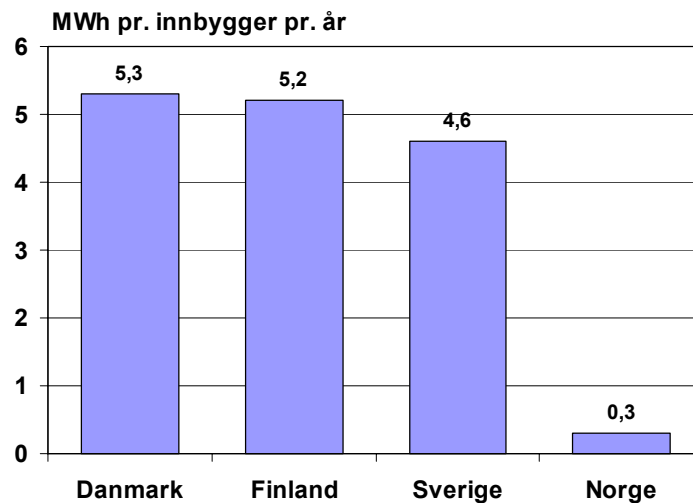


Figur 2.1 Oppbygging av fjernvarmeanlegg /10/

Det varme vannet transporteres til kunden i to parallelle rør. I det ene røret går det varmt vann ut til kunden, og i det andre røret returneres det avkjølte vannet, som er brukt til oppvarming hos kunden. Dette vannet går tilbake til varmesentralen for ny oppvarming. Systemet er derfor en lukket sirkulasjonskrets. Kundene forutsettes å ha vannbaserte oppvarmingsystemer.

#### Bruk av fjernvarme i Norge

Norge har i dag et fjernvarmenett på ca 400 kilometer som leverer nærmere 2 TWh (Tera Watt timer). 2 TWh = 2 milliard kWh og tilsvarer energiforbruk til ca 100 000 husstander. En utvidet bruk av fjernvarme som energidistribusjon er en forutsetning for å oppnå myndighetenes ønske om fleksibilitet innen energibruk og – forsyning. /12/ Bruk av fjernvarme i Norge sammenlignet resten av Norden er vist i Figur 2.2.



Figur 2.2 Bruk av fjernvarme i Norden regnet pr. innbygger /10/

Årets kraftkrise (2002/2003) med høye priser vil føre til at fjernvarmeprosjekter som tidligere ikke ble vurdert som lønnsomme nå vil bli vurdert på nytt.

### Potensial for fjernvarme i Norge

Fjernvarme kan erstatte deler av oljeforbruket (5 TWh) og el-forbruket til elektrokjeler (7 TWh). Fjernvarme kan i områder erstatte veksten i energiforbruket til oppvarming (1-2 TWh/år) dersom bygg utrustes med vannbårne systemer. Fastkraft til oppvarming (30 TWh) er basert på panelovner, og kan ikke erstattes av fjernvarme på kort sikt. Planlagte prosjekter vil gi 5,5 TWh innen 2010, mens potensialet er på hele 8,5 TWh i 2020. /13/

### Fordeler ved økt bruk av fjernvarme

- Frigjør elektrisitet til andre formål enn oppvarming
- Sparer effektutbygginger i kraftnettet
- Utnyttelse av fornybar energi
- Fleksibilitet med hensyn til valg av oppvarmingskilde
- Redusert CO<sub>2</sub> – utslipp

### Fjernvarmesystemet

Et fjernvarmesystem består vanligvis av 3 hoveddeler: en varmesentral, et distribusjonssystem (fjernvarmenett) og en kundesentral.

### Fjernvarmesystemet i dette prosjektet

I dette prosjektet inneholder varmesentralen en gasskjel basert på naturgass, samt en elektrokjel for eventuelle belastningstopper og ved sommerdrift. Kundesentralen er en varmevekslerpark i et smoltanlegg.



## 2.2 Spillvarme

### Utnyttelse av spillvarme

Industrien i Norge står for ca 50 % av all stasjonær energibruk i Norge. Det meste av denne energien blir benyttet i kraftintensiv industri og treforedling. Industrien benytter elektrisitet, olje og gass. I tillegg utnytter treforedling biobrensel.

En del av energien som inngår i de ulike prosessene bindes i produktene, mens det resterende slippes ut i form av oppvarmet vann (kjølevann), damp eller røykgass. Temperaturen på varmen varierer fra flere hundre grader til noen få grader over omgivelsestemperatur. Det er derfor store muligheter å utnytte spillvarmen. Spillvarme med lav temperatur kan blant annet utnyttes ved hjelp av varmepumpe.

Spillvarmen kan utnyttes direkte til intern oppvarming av bedriften eller ved distribusjon gjennom et fjernvarmeanlegg.

### Kostnad

Kostnadene med å benytte spillvarme knytter seg stort sett til distribusjonsnettet. Det vil si kostnader ved å opprette rørtrase.

### Markedsmuligheter

Det finnes relativt mye spillvarme i Norge, men det er vanskelig å utnytte den. Varme lar seg ikke transportere over lange avstander uten at det blir svært kostbart, og bør helst brukes innenfor en radius på 10 km fra spillvarmekilden. Som regel ligger industri med mye tilgjengelig spillvarme langt fra store tettbebygde strøk, og kun 8 % av spillvarmen fra industrien blir utnyttet i fjernvarmeanlegg (2000). I tillegg kom 45 % av all varmeproduksjon i norske fjernvarmeanlegg fra spillvarme fra avfallsforbrenning (2000). /9/

I dette prosjektet er det tenkt benyttet spillvarme (kjølevann) med en temperatur på ca 25 °C fra smelteovner. Siden temperaturen er såpass lav, passer den godt for oppvarming av vann i smoltanlegg. Oppvarmingen skjer ved bruk av varmeveksler. For å kunne utnytte denne spillvarmen i et fjernvarmeanlegg, må en bruke varmepumper for å øke temperaturen til et mer passende nivå.

### 3 Smoltanlegg

#### 3.1 Generelt om smoltanlegg og smoltproduksjon

Smoltanlegg er et anlegg for produksjon av smolt. Smolt er fisk som er klar for overgang til sjø. Rogn blir sett inn i anlegget, denne utvikler seg til yngel, settefisk og så til ferdig leveringsklar smolt. Alle smoltanlegg er nå landbaserte. For å få tillatelse til å drive med smoltproduksjon kreves en konsesjon. Det stilles ulike krav til produksjonen, både med hensyn til miljø, utslipp, fiskehelse og størrelse på anlegget. Det kan nevnes at settefisk forskriften fra 01.01.01 blant annet setter en grense på 2,5 millioner sjødyktig fisk per år. Minimum krav til gjennomstrømning er 0,3 liter vann pr. kg fisk pr. minutt.

Figur 3.1 viser kar som blir brukt i produksjonen fra fisken er på rognstadiet til den er klar for foring. Senere blir fisken satt over i større kar som vist på Figur 3.2.



**Figur 3.1** Yngelkar hos Trovåg Laks AS

I smoltoppdrett er det snakk om to typer smolt: ”1-åringene” og ”0-åringene”.

- ”1-åringene” har en produksjonstid på ca 18 måneder. De blir satt inn i anlegget som rogn i desember/januar, og er ferdig smolt på ca 90 gram i mai året etter
- ”0-åringene” har en produksjonstid på ca 10 måneder. De blir satt inn som rogn i desember/januar, og blir i august lysmanipulert 24 timer i døgnet. Dette gjør at fisken ”tror” det er mai igjen, og fortsetter å vokse. Dette gjør at de er leveringsklare i oktober samme år, og har da en vekt på ca 80-90 gram

Definisjon av andre viktige uttrykk i forbindelse med smoltproduksjon/oppdrett: /7/

**Yngel** er betegnelsen på fisk fra klekking fram til tidspunktet de begynner å ta opp næring (om lag 2-4 uker).

**Settefisk** er betegnelsen på fisk som har kommet over yngelstadiet og som blir føret i anlegget med tanke på senere utsetting i vassdrag eller for videre oppføring til matfisk. Settefisk av laks og ørret er definert som fisk som er føret over et kortere eller lengre tidsrom, og som kan være fra 2-4 cm og opp til 25 cm lang.

**Smolt** er betegnelsen på fisk som er klar for overgang til sjø. På dette tidspunktet skifter de farge og blir blanke.

**Stamfisk** er betegnelsen på fisk som blir brukt til produksjon av rogn og melke for kunstig befruktning.

**Matfisk** er betegnelsen på voksen fisk som går til konsum.



Figur 3.2 Smoltkar hos Trovåg Laks AS



### 3.2 Vekstvilkår

I oppdrettssammenhenger snakker en gjerne om antall døgngader for fisken. Hvor 1 døgn i vann med temperatur på 1 grad tilsvarer 1 døgngad, mens 1 døgn i vann med 5 grader tilsvarer 5 døgngader. Fiskens utvikling følger antall døgngader den har vært igjennom.

Fisk er vekselvarme dyr og kroppstemperaturen vil ligge nær vanntemperaturen. Siden de fleste livsfunksjoner er sterkt avhengig av kroppstemperaturen, vil vannets temperatur spille en sentral rolle for fiskens aktivitet og vekst. Alle fiskearter har sin optimale veksttemperatur hvor veksten skjer hurtigst. Ved høyere temperatur er det større fare for sykdomsangrep.

For oppdrett av laks og ørret vil det være aktuelt å øke temperaturen på vannet over det naturlige nivået i kortere eller lengre perioder. For å gjøre dette mulig er vi avhengig av en eller annen form for oppvarming.

Ved siden av temperaturen på vannet, er vannkvaliteten helt avgjørende for et godt produksjonsresultat. Det må være en sammenheng mellom vanngjennomstrømning i anlegget og antall kg fisk (biomasse). Hvis en går under denne grensen må det dokumenteres for en forsvarlig biologisk drift ved for eksempel tilførsel av oksygen eller andre tiltak som gjør vannkvaliteten god nok for fisken.

Dette gjør at settefiskprodusenten må planlegge årsproduksjonen av fisk i samsvar med tilgjengelig vannmengde hele året.

Fisk er mer følsom overfor ytre påvirkninger i et oppdrettsanlegg enn i naturen på grunn av stor tetthet. Det er derfor svært viktig for et godt produksjonsresultat at vannkvaliteten er god.  
/23/

En kombinasjon av god vannkvalitet og oppvarmet vann vil ha følgende fordeler: /4/

- Hurtig vekst og raskere produksjonsomløp
- Mindre arbeids- og forutgifter
- Lavere anleggskostnader



### 3.3 Viktige kriterier i forbindelse med smoltanlegg

Når en skal prosjektere et smoltanlegg er det derfor disse tre punktene som er spesielt viktige:

- Vanntemperatur i karene må tilpasses enhver periode av produksjonen i løpet av året
- Vannmengde som strømmer igjennom karene må være tilstrekkelig til enhver tid i løpet av året
- Forskriftene om settefiskanlegg må overholdes

Etablering av settefiskanlegg krever konsesjon og utslippstillatelse. Det øvre produksjonstaket er 2,5 mill sjødyktige settefisk i året. I tillegg kreves det en vanngjennomstrømning på 0,3 liter vann pr kg biomasse, og krav om maksimalt biomasse på 25 kg/m<sup>3</sup> vann. /14/

Det er i denne sammenheng viktig å finne ut av hvilke vannmengder smoltanlegget har tilgang på, og hvilken temperatur vannet holder gjennom hele året. Videre er det viktig å finne ut vannbehov og temperaturbehov på vannet gjennom hele året. Ut fra dette kan en finne effektbehov til oppvarming til enhver tid, og hvor stor produksjon en kan ha på anlegget.

I kapittel 7.1.2 blir disse kriteriene bruk til å dimensjonere smoltanlegget.

Smoltanlegget i prosjektet mottar vannforsyning fra en gammel kraftverkslinje. En fordel med dette er at store vannmengder er tilgjengelig. En annen fordel er at dette vannet egner seg særlig godt for settefisk. Vannet er ofte rent, og rent vann er en grunnleggende forutsetning for oppdrett. /4/

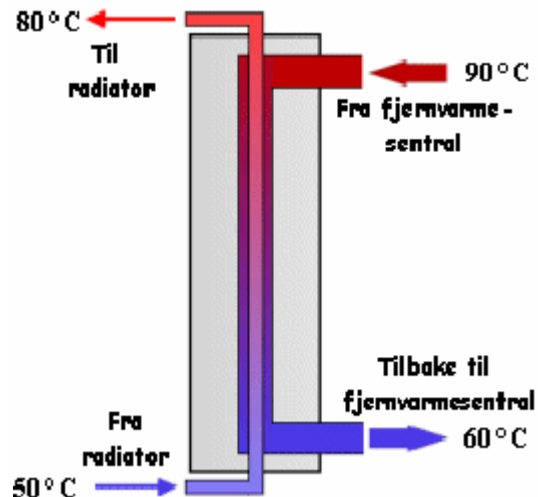
Ulempen med å bruke vann fra høytliggende magasiner, er at det vanligvis holder lav temperatur. Det kreves derfor en del oppvarming av vannet for å oppnå ønskede vekstvilkår.

Grunnen til at det er tenkt etablert et smoltanlegg i dette prosjektet, er at en har tilgang på spillvarme fra større industri. Dette utgjør en stor energimengde som kan utnyttes i smoltproduksjon. En effektiv metode for å utnytte denne energien er å bruke varmevekslere.



### 3.4 Varmeveksler

Som tidligere nevnt er smoltanlegget å regne som en kunde til varmesentralen. For å nyttiggjøre energien fra varmesentralen blir det brukt varmevekslere. En varmeveksler brukes enten til oppvarming eller til nedkjøling av et produkt, som kan være enten væske eller gass. Prinsippet for virkemåten til en varmeveksler vises i Figur 3.3.



Figur 3.3 Prinsippsskisse av varmeveksler /25/

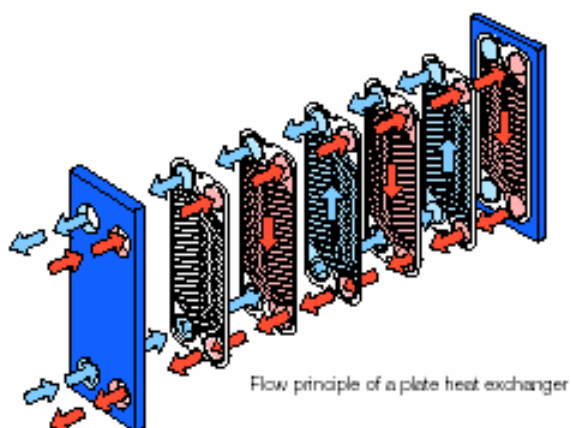
Det er to hovedtyper varmevekslere: platevarmeveksler og rørvarmeveksler.

**Rørvarmeveksler** kan være utformet som dobbeltrør-varmeveksler, et prinsipp som egner seg godt for mindre varmevekslere. En annen utforming er mangerørs-varmeveksler som egner seg godt når varmekoeffisienten for det ene mediet er vesentlig lavere enn for det andre. Med varmekoeffisient menes evnen til å utveksle termisk energi.

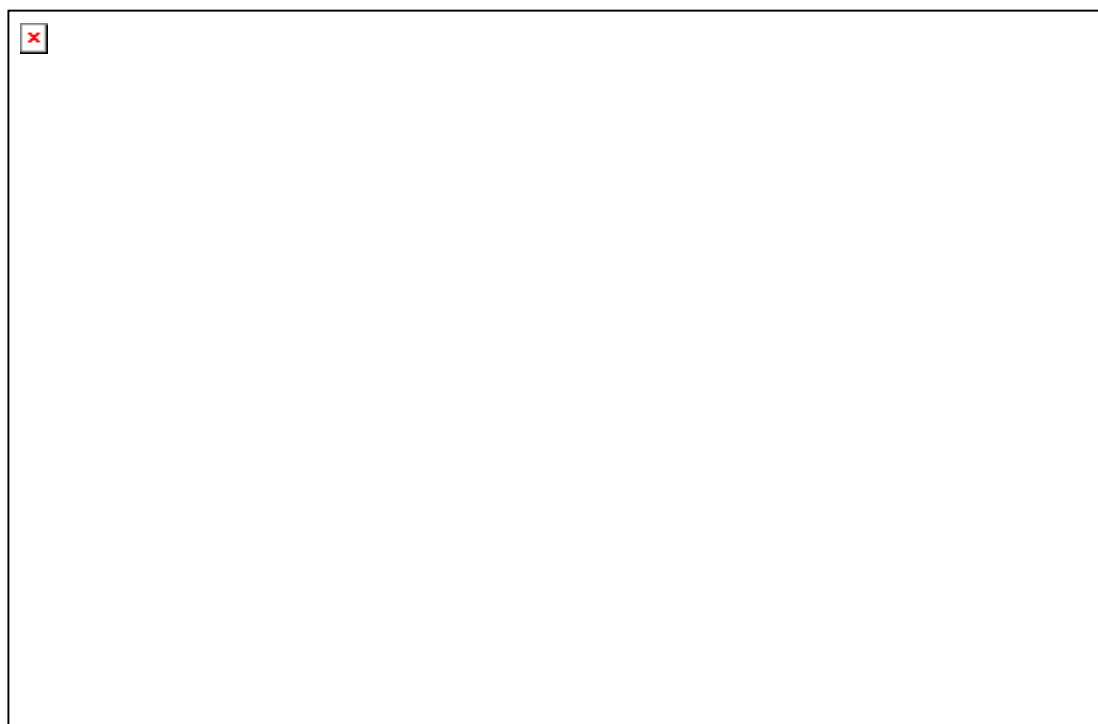
**Platevarmeveksleren** er den mest brukte type varmeveksler. En av fordelene ved platevarmeveksler er først og fremst at de er kompakte og billige. I platevarmeveksleren overføres varmen ved at det varme og kalde vannet strømmer på vekselvis annen hver side av platene. Utformingen av platene med fiskebeinsmønster gjør varmeovergangen svært god, mer enn 10 ganger bedre enn for rørvarmevekslere. Enkelte fjernvarmeverk har imidlertid opplevd at kombinasjon av høyt trykk og høy temperatur kan gi vesentlig kortere levetid enn rørvarmevekslere. /15/

Platevarmevekslere tar liten plass i forhold til ytelsen, og kapasiteten kan lett utvides. Det er enkelt å demontere platene for rensing. Ulempen med platevekslere er at platene lett blir tildekket med smuss slik at varmeoverføringen blir redusert, og at det kan være litt vanskelig å oppnå tetthet etter sammensetting av de rensede platene. /1/

Figur 3.4 viser prinsippsskisse av en varmeveksler, og på Figur 3.5 kan en se hvordan en varmevekslerpark kan være arrangert.



Figur 3.4 Plateveksler fra Alfa Laval (til høyre: prinsippskisse) /26/



Figur 3.5 Varmevekslerpark hos Trovåg Laks AS

### 3.4.1 Matematisk modell

Siden varmevekslere er en sentral del i dette prosjektet, og senere skal simuleres, har en valgt å beskrive disse matematisk.

Varmevekslere kan beskrives matematisk på flere måter. Metoden for logaritmisk middeltemperaturdifferanse vil være svært tungvint å bruke når strømning og temperaturer er ukjente, noe som er tilfelle i denne oppgaven. /28/



En annen metode, som bygger på prinsippet om en diskretisert modell, vil være enklere å bruke. Utledningen for denne metoden er hentet fra Finn Haugens bok Regulering av dynamiske systemer 1. /16/

I utledningen er det antatt at varmevekslingen foregår motstrøms, som også er den vanlige måten å arrangere en varmeveksler på. Motstrøms vil si at produktstrømmen og strømmen til hetemediet strømmer hver sin vei inne i varmeveksleren. Temperaturen i en varmeveksler avhenger ikke bare av tiden, men også av hvor i varmeveksleren vi betrakter den. Dette er å regne for et fordelt system, noe som kan beskrives av partielle differensiallikninger. Disse inneholder temperaturens deriverte med hensyn på tid og posisjon. En forenkling av modelleringen vil være å diskretisere den, det vil si dele den opp i et endelig antall elementer. En betrakter deretter hvert element som et homogent delsystem med interaksjon med naboelementene. Nedenfor er vist en liste over de variabler og konstanter som blir brukt for å beskrive systemet matematisk:

A	[m <sup>2</sup> /m]	er effektiv varmeovergangsareal pr. meter
h	[(W/K)/m <sup>2</sup> ]	er varmeovergangstallet pr. varmeovergangsareal-enhet
L	[m]	er varmevekslerens effektive lengde
N		er antall elementer vi deler varmeveksleren opp i
Δz	[m]	er elementlengden
c <sub>h</sub>	[J/(kgK)]	er hetemediets spesifikke varmekapasitet
c <sub>p</sub>	[J/(kgK)]	er produktets spesifikke varmekapasitet
ρ <sub>h</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	er hetemediets tetthet
ρ <sub>p</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	er produktets tetthet
S <sub>h</sub>	[m <sup>2</sup> ]	er tverrsnittsareal på hetemediumsiden
S <sub>p</sub>	[m <sup>2</sup> ]	er tverrsnittsareal på produktsiden
T <sub>hi</sub>	[°C]	er temperaturen i element nr. i på hetemediesiden
T <sub>pi</sub>	[°C]	er temperaturen i element nr. i på produktsiden
q <sub>h</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	er hetemediets volumstrøm
q <sub>p</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	er produktets volumstrøm

Vi antar at c<sub>p</sub>, ρ<sub>p</sub>, S<sub>p</sub> og Δz er konstante, og kan dermed sette opp energibalansen for element nr. i for produktet:

$$\dot{T}_{pi} = \frac{q_p}{\Delta z \cdot S_p} (T_{pi-1} - T_{pi}) + \frac{hA}{c_p \rho_p S_p} (T_{hi} - T_{pi})$$

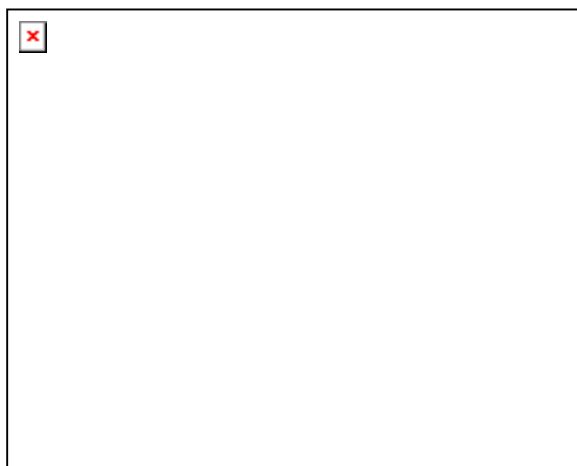
Tilsvarende finner vi ved å anta at c<sub>h</sub>, ρ<sub>h</sub>, S<sub>h</sub> og Δz er konstante energibalansen for element nr. i for hetemediet:

$$\dot{T}_{hi} = \frac{q_h}{\Delta z \cdot S_p} (T_{hi+1} - T_{hi}) + \frac{hA}{c_h \rho_h S_h} (T_{pi} - T_{hi})$$

Disse to differanselikningene inngår i Matlab program for simulering av varmeveksleren, hvor Eulers metode er brukt.

### 3.4.2 Varmevekslere brukt i prosjektet

I prosjektet er det tatt utgangspunkt i tre varmevekslere fra Alfa Laval (Vedlegg 1)-3)) som skal brukes i smoltanlegget. For å kunne simulere disse ved hjelp av modellen til Haugen, må en regne ut noen størrelser. Figur 3.6 viser en prinsippskisse av en varmeveksler:



Figur 3.6 Prinsippskisse av VVX

Verdier for VVX1:

Oppgitte verdier:  $A = 529,5 \text{ m}^2$   
 $V = 0,6407 \text{ m}^3$

Antatt verdi av bredde ut fra fysiske mål:  $b = 0,85 \text{ m}$

Dette gir:  $a = 1,21 \text{ mm}$   
 $L = 623 \text{ m}$   
 $S = 1,0285 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Verdier for VVX2:

Oppgitte verdier:  $A = 145,7 \text{ m}^2$   
 $V = 0,1829 \text{ m}^3$

Antatt verdi av bredde ut fra fysiske mål:  $b = 0,55 \text{ m}$

Dette gir:  $a = 1,255 \text{ mm}$   
 $L = 264,9 \text{ m}$   
 $S = 0,69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Verdier for VVX3:

Oppgitte verdier:  $A = 1,4 \text{ m}^2$   
 $V = 0,0021 \text{ m}^3$



Antatt verdi av bredde ut fra fysiske mål:  $b = 0,28 \text{ m}$

Dette gir:

$$a = 1,5 \text{ mm}$$
$$L = 5 \text{ m}$$
$$S = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Når en så har funnet disse størrelsene, brukes Matlab-programmet som Haugen /16/ har utviklet for å simulere de enkelte varmevekslerne. Programkoden er vist i Vedlegg 4) - 6). Resultatet av simuleringen er vist i kapittel 7.1.3.

### **3.5 Totalsimulering av varmevekslerparken i smoltanlegget**

For å kunne beskrive hvordan temperatur og strømningsforløpet blir gjennom varmevekslerparken, er det nødvendig med en totalsimulering. Ved en slik simulering er det ønskelig å få frem temperatur og strømning i prosessen. Disse dataene kan brukes til dimensjonering og valg av reguleringsstrategi.

På bakgrunn av dette ble det derfor laget et Matlab-program som kobler sammen de enkelte varmevekslerne til et totalsystem. Programkoden er vist i Vedlegg 7). Resultatet av simuleringen er presentert i kapittel 7.1.3.

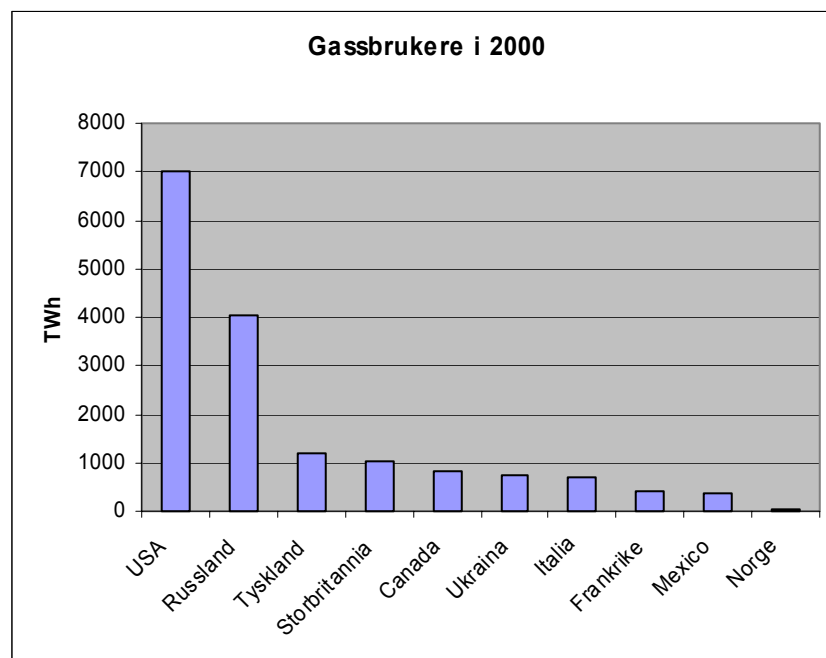
## 4 Varmesentral

I en varmesentral blir de primære energibærerne olje, gass og elektrisk kraft omdannet til en nyttbar energiform for fjernvarme, vanligvis varmt vann. Til dette benyttes henholdsvis olje- og gassfyrte kjeler samt elektrokjeler.

En varmesentral inneholder en del utstyr. I tillegg til varmeproduksjonsutstyret, som kjeler og lignende, inneholder en varmesentral utstyr som er nødvendig for å pumpe vannet rundt i systemet, sørge for å fjerne luft i systemet, holde trykket på riktig nivå m.m. Dette utstyret vil bli nærmere forklart i dette kapittelet.

### 4.1 Naturgass

Bruk av gass i Norge er svært lavt i forhold til andre land. Dette er vist i Figur 4.1. Det finns nesten ikke distribusjon av gass i Norge, bortsett fra de 40-50 km som distribusjonsselskapet Gasnor har bygget på Haugalandet. Det er imidlertid planer for transport av flytende naturgass (LNG,  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) til steder som har store behov for naturgass, enten som erstatning for dagens fyringsolje, eller til bruk i kombinerte elektrisitets- og varmeanlegg, såkalte kogenereringsanlegg. På Karmøy er det nå satt i drift et LNG anlegg som skal levere flytende naturgass til lagertanker. Slike lagertanker kan ha et volum på opptil  $120\text{ m}^3$ , noe som energimessig tilsvarer 800 000 kWh. Den flytende naturgassen varmes opp og går over i gassfase, før den distribueres til forbruker. /30/



Figur 4.1 Gassbrukere i 2000 /30/

### **Fordeler ved bruk av naturgass**

En gasskjel krever mindre vedlikehold enn en oljekjel fordi det er minimalt med sotpartikler i røykgassen. Det er også enklere å få til en god forbrenning når naturgass brennes, og energien i naturgass utnyttes bedre enn energien i olje. Det vil si at en gasskjel har en høy virkningsgrad sammenlignet med en oljekjel, noe som gjør at energikostnadene kan reduseres. Naturgass er et brensel som allerede er i gassform, i motsetning til fyringsolje som må forstøves før forbrenning. Dette gjør at forbrenningen blir enklere å kontrollere, noe som gir mer stabil drift og muligheter for bedre produktkvalitet. Det er ikke behov for en tradisjonell pipe for å benytte en gasskjel, en kan bruke et enklere alternativ som "horisontal pipe" hvor både lufttilførsel og utslipp av avgasser går via ventiler i veggen der kjelen er plassert. Gassfyrte kjeler leverer varme ved forholdsvis høye temperaturer, og kan derfor benyttes både i radiatorsystemer og i systemer med vannbåren gulvvarme, samt til produksjon av varmtvann. /6/ /9/

I dette prosjektet er det planlagt tilgang på flytende naturgass, LNG. Det er da naturlig å bruke en gasskjel i varmesentralen. I tillegg er det beskrevet andre løsninger som også er naturlig å vurdere.

## **4.2 Gassforbrenning**

### **Kjeler – generelt**

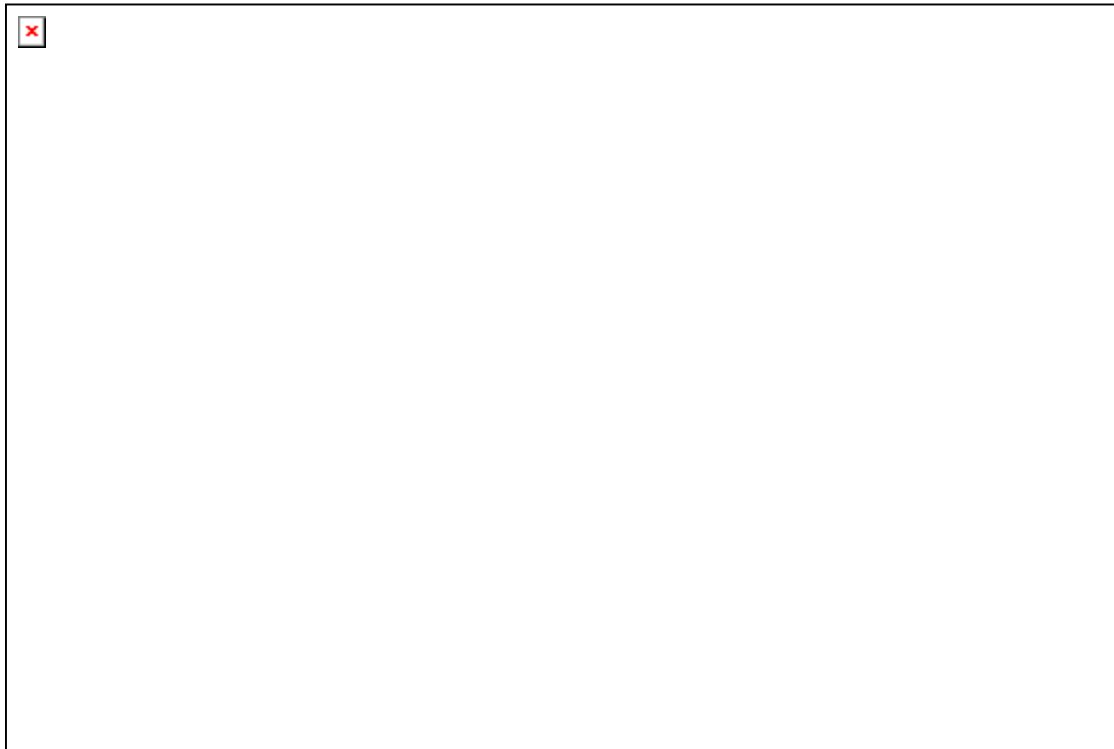
Kjelanlegg kan brukes til å produsere varme til industrielle formål eller til å sørge for varmtvann og romoppvarming i boliger og næringsbygg. Varmen produseres ved at forbrenning skjer inne i et brennkammer. Deretter avgir de varme røykgassene energi til et varmemedium, som vist på Figur 4.2.



**Figur 4.2** Prinsippskisses av virkemåte til en kjel /21/

### 4.2.1 Gasskjel

En gassfyrte kjel virker på samme måten som en vanlig oljefyrte kjel, men oljebrenneren er skiftet ut med en gassbrenner. Ulike typer gass kan benyttes. Figur 4.3 viser en installert gasskjel.



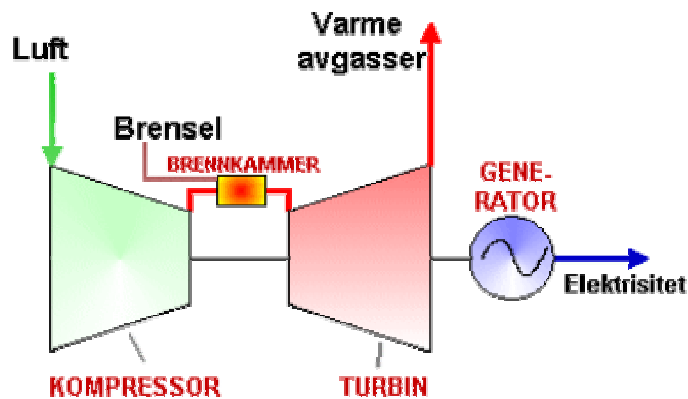
Figur 4.3 Gasskjel fra kogenereringsanlegget på Bø

### 4.2.2 Gassturbin

I en varmesentral med naturgass tilgjengelig kan det være naturlig å vurdere installasjon av en gassturbin til å produsere elektrisk kraft. Dette er gunstig fordi en kan benytte varmen fra gassturbinen til oppvarming av varmt vann som brukes i fjernvarmeanlegget. På denne måten blir virkningsgraden fra gassturbinen, som normalt ligger på ca 40 %, betraktelig forbedret energimessig. Et slikt anlegg, hvor det produseres både elektrisk kraft og varme, betegnes som et kogenereringsanlegg.

I en gassturbin genereres elektrisitet ved at varme forbrenningsgasser ekspanderer, og driver turbinen rundt. Turbinen er koblet til en generator som produserer elektrisitet. Figur 4.4 viser prinsippskisse av en gassturbin.





Figur 4.4 Prinsippskisse av gassturbin /21/

### 4.2.3 Gassmotor

Alternativet til gassturbin kan være gassmotor. Motoren fungerer som en helt vanlig forbrenningsmotor, med sylindere og stempler. Fra motoren får en mekanisk energi til å drive en generator. Motoren krever kjølevann. Dette kjølevannet er mulig å utnytte i et fjernvarmeanlegg. I tillegg er det mulig å hente varmeenergi fra eksosen på motoren. Figur 4.5 viser en prinsippskisse av en gassmotor.



Figur 4.5 Prinsippskisse av gassmotor /21/

Figur 4.6 viser en gassmotor fra anlegget på Bø.



Figur 4.6 Gassmotor fra kogenereringsanlegget på Bø

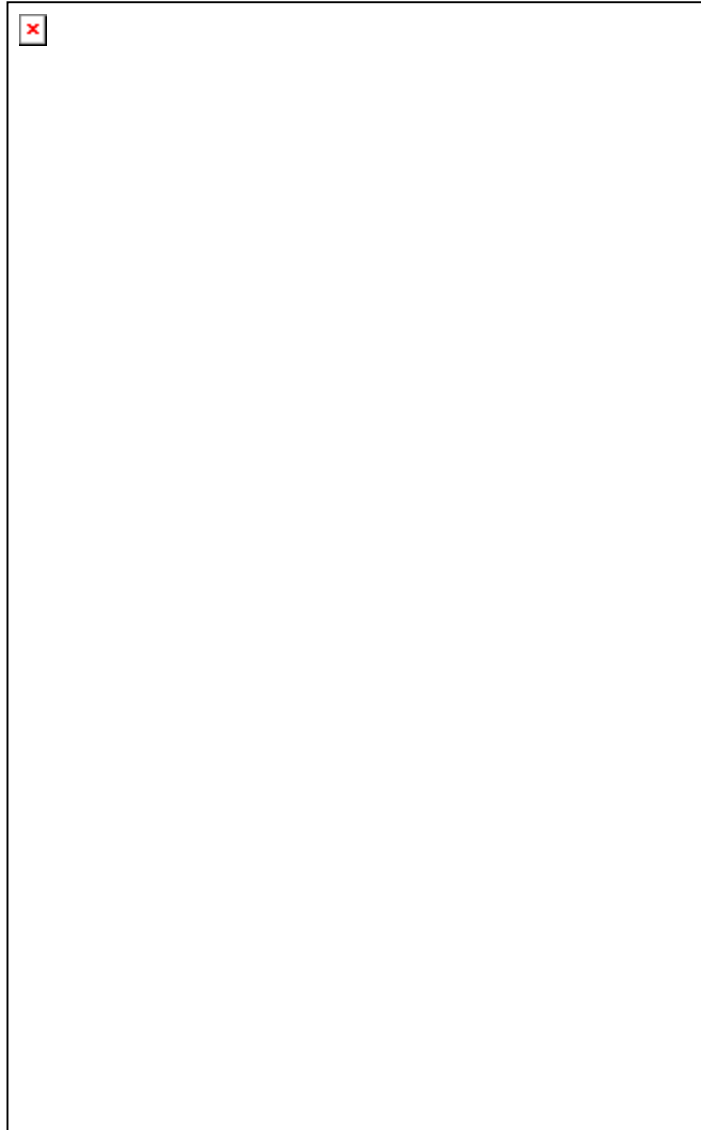
#### 4.2.4 Motor vs. Turbin

Når en skal velge mellom motor og turbin er det forskjellige hensyn å ta. Dette gjelder pris, dimensjon samt hvilken energiform som er ønskelig (elektrisk/termisk). Dette vises i Figur 4.7.



Figur 4.7 Motor vs. Turbin /21/

### 4.3 Elektrokjel



**Figur 4.8 Elektrokjel fra kogenereringsanlegget på Bø**

For å dekke opp under en toppbelastningsperiode eller for bruk under sommerperioder når kraftprisen er lavere enn prisen på naturgass er det koblet inn en elektrokjel i varmesentralen. Figur 4.8 viser en slik kjel. Betegnelsen elektrokjel er en fellesbetegnelse for kjeler som oppvarmes ved hjelp av elektrisk kraft. Det finns tre forskjellige typer elektrokjeler:

- Elementkjeler
- Elektrodekjeler
- Induksjonskjeler

#### **Elementkjeler**

Kjeler med motstandselementer kalles elementkjeler. I elementkjelene ledes elektrisk strøm gjennom motstandselementer som er neddykket i vann. Den elektriske motstand i elementene medfører at elementet blir oppvarmet og avgir varme til vannet.



Elementkjeler leveres for lavspenning (230 – 400 V) og med ytelser fra 6 kW og oppover. Effektreguleringen kan skje ved hjelp av flertrinns termostat eller trinnkobler.

Elementkjelene er mye brukt i varmeanlegg som supplement til olje- eller gassfyrte kjeler.  
/11/

### **Elektrodekjeler**

I elektrodekjelene brukes vannet som motstandsmedium mellom elektrodene. Elektrodekjelens ytelse er avhengig av temperatur og vannets ledningsevne. Vannets ledningsevne reguleres ved tilsetning av salter. Høy konsentrasjon gir høy effekt. Lavspente elektrodekjeler leveres med effekter opp til 1000 kW, mens høyspente kjeler leveres for ytelser fra og med 1000 kW.

Elektrodekjeler bygges etter to hovedprinsipper, nemlig ”helfylte” eller ”delvis fylte”. For dampanlegg brukes kun delvis fylte kjeler, mens på varmtvanns- og hetvannsanlegg brukes begge typene. Fordi vannets ledningsevne er et meget viktig parameter for drift av elektrodekjeler, anbefales det at elektrodekjelen legges opp med en egen sirkulasjonskrets som skiller fra fjernvarmekretsen ved hjelp av en varmeveksler. Dette for å ha minst mulig vannvolum som skal holdes på riktig ledningsevne.

### **Induksjonskjel**

En tredje type kjel er induksjonskjelene som bygges for spenningsområde mellom 5 til 24 kV. Fordi denne kjelen arbeider etter det samme prinsipp som en transformator, benevnes denne kjeltypen ofte for trafokjel.

### **Innkjøpspriser**

Nøkkeltall som omfatter kostnader ved innkjøp og installasjon av komplette kjeler. Prisene er eks. mva. men effektbryter er inkludert.

Elementkjeler (230 V, 100 – 1000 kW)      300 kr/kW

Elektrodekjeler (1 – 3 MW)                      400 kr/kW

/11/



#### 4.4 Sirkulasjonspumpe

For å sirkulere vannet fra varmesentralen til kundene og tilbake til varmesentralen igjen, må det installeres en eller flere sirkulasjonspumper. Sirkulasjonspumpene monteres i varmesentralen, og på anlegg hvor det er lange avstander (stort trykktap i røret), kan det bli nødvendig å installere en eller flere hjelpepumper (boosterpumper) underveis på ledningen. I Figur 4.10 kan en se en sirkulasjonspumpe til venstre i bildet.

Effektbehovet for den elektriske motoren på pumpene kan beregnes etter følgende formel:

$$P = \frac{k \cdot H \cdot Q}{\eta}$$

Hvor:

P = Motorens effektbehov [kW]

k = mediekonstant (vann = 1)

H = Løftehøyde [kPa]

Q = Vannmengde [m<sup>3</sup>/s]

η = virkningsgrad

/11/

#### Hastighetsregulering av sirkulasjonspumpen:

I fjernvarmeanlegg varieres volumstrømmen (sirkulasjonen) etter som kundenes energiforbruk varierer. Det er ikke nødvendig at pumpen går med hastighet som er større enn at den klarer å holde den ønskede volumstrømmen til en hver tid. Det er dermed energi å spare ved å regulere hastigheten på pumpemotoren i stede for å strupe vannmengden ved reguleringsventil.

Til å regulere hastigheten til pumpen er det vanlig å bruke frekvensomformer.

#### Frekvensomformerens virkemåte:

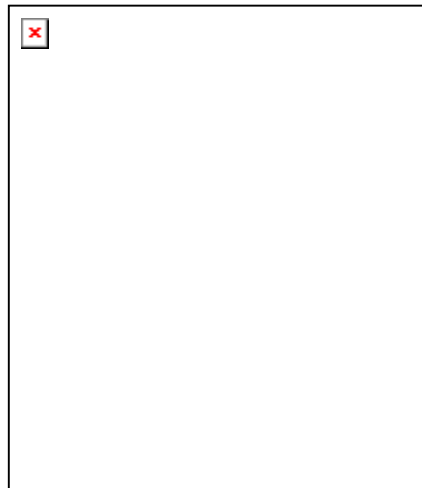
Spenningen til motoren blir tilkoblet en likeretter, og blir ”glattet ut” ved hjelp av et filter. Denne likespenningen blir deretter tilkoblet en vekselretter, som omgjør likespenningen til en vekselspenning med variabel frekvens. Reguleringsutstyr sørger for at forholdet mellom spenningen og den variable frekvensen er konstant slik at motoren gir et konstant dreiemoment uavhengig av turtallet. /17/

I varmesentralen vil trykkdifferansen i tur- og returrør variere når temperaturdifferansen varierer. Det er denne trykkdifferansen som danner grunnlaget for hastigheten til pumpemotoren. Når kunden bruker mer varme, vil temperaturen på retursiden synke, som igjen vil føre til en økning i trykkdifferansen. Frekvensomformerer sørger for at hastigheten på pumpen øker. Dette gjør at volumstrømmen og levert varme til kunden øker.

## 4.5 Reguleringsventiler

For å regulere vannstrømmen slik en ønsker gjennom varmesentralen brukes det reguleringsventiler. Det finnes ulike typer reguleringsventiler alt etter det bruk en har for regulering. Reguleringsventilen er en pådragsenhet og består vanligvis av tre komponenter:

1. Aktuatoren er ventilens ”drivverk” og kan være av typen:
  - Pneumatisk operert membran (enkel, relativt billig, lett å vedlikeholde)
  - Elektrisk motor (mer kompleks, dyr, vanskeligere å vedlikeholde)I reguleringssammenheng er pneumatisk drevet ventil mest brukt.
2. Posisjonerer er ventilens interne posisjonsregulator for å bedre linearitet og motvirke diskontinuerlig ventilbevegelse på grunn av tørrfriksjon rundt pakninger og lignende. Denne kan være tilleggsutstyr på noen ventiler.
3. Ventilen er selve pådragsorganet som åpner og stenger for væskestrømmen



Figur 4.9 Reguleringsventil

### Ventilers kapasitet

Det som karakteriserer en ventil er blant annet kapasiteten,  $K_v$  – verdien. Denne sier noe om vannmengden [ $m^3/h$ ] som strømmer gjennom en helt åpen ventil ved et trykkfall på 1 atm. /3/

### Ventilkarakteristikker, $f(z)$

Karakteristikken til en ventil vil si forholdet mellom strømmingen gjennom ventilen og ventilåpningen. Den blir bestemt av utformingen på selve ventilkjeglen.

Det er vanlig å dele opp i 3 typer karakteristikk:

- Rask åpnede ventil:  $f(z) = \sqrt{z}$ , brukes for rask ventilbevegelse, lite i bruk i reguleringssammenheng
- Lineær ventil:  $f(z) = z$ , brukes når trykkfallet over prosessen er lite i forhold til trykkfallet over ventilen
- Likeprosentlig ventil:  $f(z) = R^{z-1}$  hvor R er reguleringsområdet og angir forholdet mellom volumstrøm ved største og minste ventilåpning. R ligger i område [20,50]

$$\text{hvor: } z = \frac{Z}{Z_{maks}} = \frac{\text{faktisk ventilåpning}}{\text{maksimal ventilåpning}}, z \in [0,1]$$



Ventilkarakteristikken endrer seg når ventilen installeres i en prosess. Det må derfor brukes ”installert karakteristik”, som er sammenhengen mellom strømning  $q$  og ventilåpning  $z$  når ventilen er installert i den respektive prosessen. /20/

### **Kobling av reguleringsventiler**

I en varmesentral har en koblingsmessig to ulike prinsipper, nemlig mengderegulering og temperaturregulering av vannstrømmen. Ved mengderegulering vil temperaturen på vannet være konstant, mens mengden vann reguleres. Ved temperaturregulering, som normalt er å foretrekke, heves eller senkes temperaturen ved å blande inn mer eller mindre returvann fra systemet med turvann fra kjelen. /2/

I denne varmesentralen er temperaturregulering benyttet. Ved temperaturregulering er det behov for en ventil som blander returvannet med turvann fra kjelen til ønsket temperatur. Til dette formål benyttes en shuntventil.

### **Shuntventil (Blandeventil)**

En shuntventil (blandeventil), er en treveis ventil hvor et av løpene er felles og alltid helt åpent. De to andre løpene, henholdsvis regulerløpet (fra kjel) og shuntløpet (fra akkumuleringstank), er avhengige av hverandre på en slik måte at når regulerløpet går mot stengt stilling, går returløpet mot åpen stilling og omvendt.

## **4.6 Andre komponenter**

### **Ekspansjonstank**

Under drift av fjernvarmeanlegget vil vanntemperaturen variere. Ved avslått anlegg og nedkjølt rørsystem kan temperaturen være 5-10 grader, mens en ved full varmetilførsel vil ha temperaturer på 80 grader. Volumforandringene på grunn av disse temperaturendringene må få plass i anlegget. Det er derfor vanlig å installere en beholder, et såkalt ekspansjonskar, i varmesentralen.

I en vanlig type ekspansjonstank er det lagt inn en membran av kunstgummi. Den danner et skille mellom vannet og den komprimerte nitrogengassen. Nitrogen brukes for å hindre korrosjon i stålkaret. Gjennom en ladeventil blir gassen i karet komprimert til ønsket forkompresjonstrykk.

### Akkumulatortank

I mange tilfeller kan det være aktuelt å lagre varme. En har da en reservekapasitet av varmt vann til fjernvarmeanlegget. Størrelsen på akkumulatortanken avhenger av hvor mye varme en ønsker å ha som reservelager.

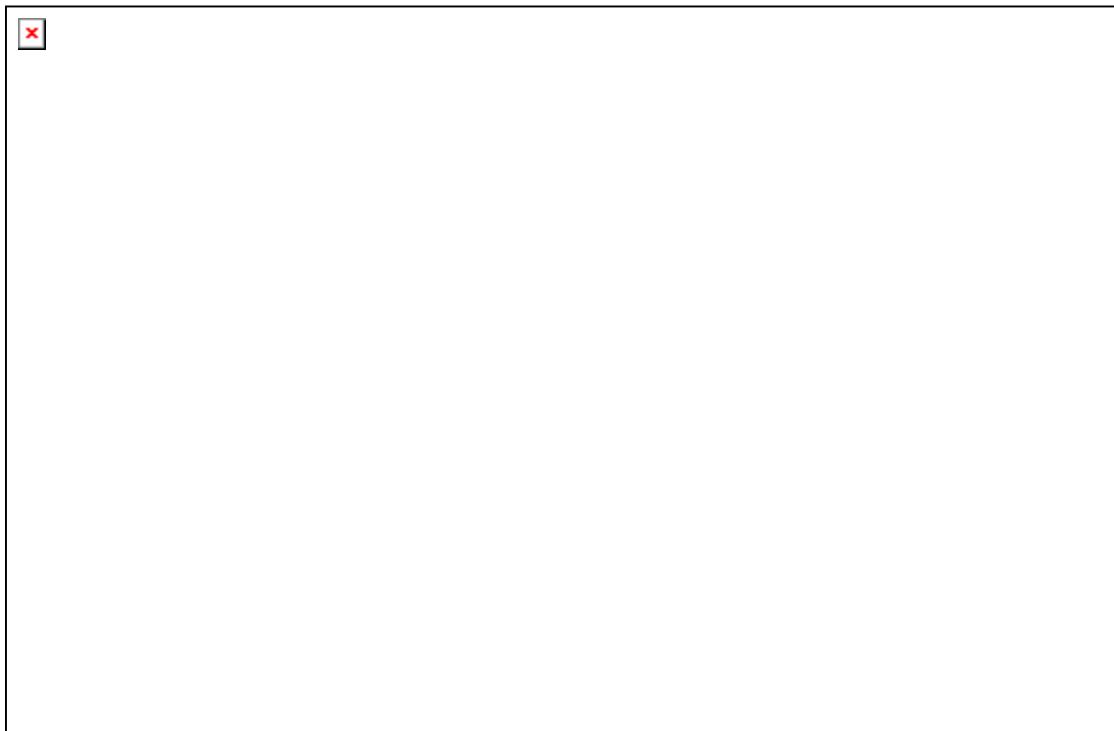
Volumet på tanken regnes ut fra formelen:

$$V = \frac{Q}{1,17 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T}$$

hvor:

V er volum i liter, Q er ønsket akkumulert varmemengde,  $\Delta T$  er utnyttbar temperaturdifferanse og  $1,17 \times 10^{-3}$  er faktor for å få spesifikk varmekapasitet  $c_p$  for vann fra 4,2 KJ/kgK til kWh/kgK.

Figur 4.10 viser eksempel på akkumuleringstanker.



Figur 4.10 Akkumuleringstanker og sirkulasjonspumpe fra kogenereringsanlegget på Bø

### Delstrømsfilter

Delstrømsfiltrering brukes i tilfeller der det er krav om kontinuerlig gjennomstrømning av væske, også under rensing / bytting av filteret. Effektiv fjerning av smuss og magnetiske partikler fra væsken forlenger levetiden vesentlig for måleutstyr, varmevekslere, pumper, ventiler og andre komponenter i systemet. Reduksjon av smuss i varmevekslere og rør holder varmeoverføringen på et høyt nivå, reduserer korrosjonsdannelse, og reduserer feilvisning i mekanisk måleutstyr, og en oppnår en mer pålitelig måling av energiforbruket.



Ved delstrøms filtrering ledes 5-15 % av den totale strømmingen ut av systemet, pumpes gjennom filteret og renses før det føres tilbake til systemet. I nye anlegg vil en filtrering på omkring 5-10 % av væskestrømmen være tilstrekkelig til å beskytte systemet, så sant delstrømsfilteret er installert fra oppstarten av systemet.

Siden delstrømsfilteret ikke er plassert i hovedkretsen, kan gjennomstrømmingen i filteret avbrytes, og filteret renses, uten at hovedstrømmen avbrytes. /18/

### Micro bobleutskiller

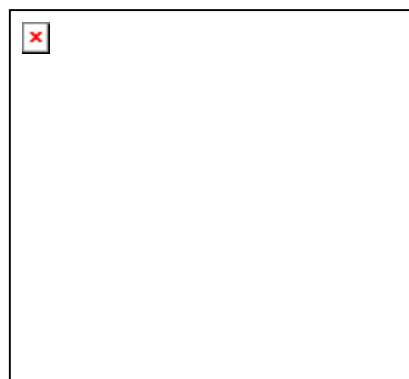
For å unngå luft i vannbårne energisystem blir det montert en såkalt mikro bobleutskiller. Luft i systemet kan forårsake korrosjon, redusert effekt, dårlig oppvarming og unødig slitasje på komponenter i systemet.

Ved bruk av en mikro bobleutskiller er det teoretisk mulig å holde et vannbårent energisystem fritt for luft, permanent. Mikro betyr at den også skiller ut de minste luftboblene i systemet. Gassers oppløslighet i væske minker med økende temperatur og/eller synkende trykk. Enkelt beskrevet frigjøres luft når temperaturen stiger eller trykket blir mindre.

Fordeler med innebygget mikro bobleutskiller:

- Sterk redusert innreguleringstid etter oppfylling
- Ingen etterlufting lenger nødvendig
- Alltid optimal energioverføring
- Øket levetid på komponenter
- Ingen oksygenbasert korrosjon eller pumpekavitasjon
- Ingen lydproblemer

Mikrobobleutskilleren bør plasseres på det varmeste punktet med så lavt trykk som mulig. Mikrobobler frigjøres på det varmeste punktet i en lukket vannkrets. I et varmesystem er dette ofte rett etter kjelen på sugesiden av pumpen på turledningen. /19/



Figur 4.11 Mikrobobleutskiller fra Spirovent® /19/



### Måleinstrumenter

For å overvåke det som skjer i varmesentralen, og være i stand til å regulere og styre strømning, temperatur, pådrag til kjeler og lignende må det installeres måleinstrumenter flere steder i varmesentralen. Noen av måleinstrumentene er kun montert for å overvåke faktisk tilstand, mens andre blir brukt direkte til å regulere varmeprosessen, ved for eksempel å øke pådrag til kjeler, endre blandingsforhold mellom vann fra kjel og akkumulator, endre pumpehastighet og lignende.

Måleinstrumenter som er brukt i denne varmesentralen er:

- Temperaturmåler
- Trykkmåler
- Strømningsmåler

### Varmemengde måler (Energimåler)

I tillegg til de måleinstrumentene som nevnt over, finnes det måleutstyr for å måle den varmemengden eller energien som blir brukt av kundene. I tillegg til å montere slikt måleutstyr ved hver kundesentral ute hos kunden, blir det også montert i varmesentralen som viser totalt forbruk av energi.

Varmemåleren i et fjernvarmenett tilsvarer strømmåleren i et elektrisitetsnett.

En varmemengde måler består av tre deler:

- **Vannmengde måler:** Måler mengden av fjernvarmevann som til enhver tid strømmer gjennom returledningen
- **Temperatur målere:** Måler temperaturen på vannet på både tur- og returledningene
- **Regneverket:** Beregner effektuttaket (Q) ut fra vannmengden (liter/s) og temperaturdifferanse i °C etter formelen:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_{tur} - t_{retur})$$

Hvor:

Q er beregnet momentan effekt (kJ/s)

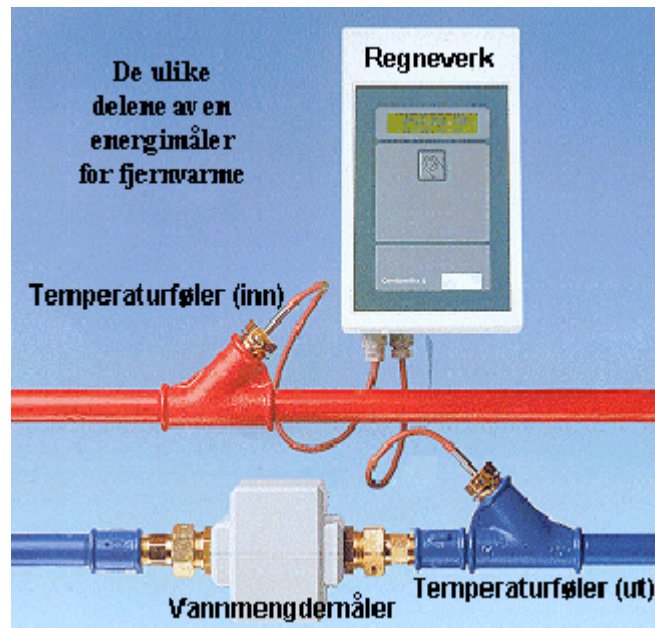
m er vannmengde (liter/s)

$c_p$  er spesifikk varmekapasitet for vann, ca. 4,17 kJ/kgK

$t_{tur}$  er temperatur på tursiden til fjernvarmevannet

$t_{retur}$  er temperatur på retursiden til fjernvarmevannet

Effektuttaket (Q) blir målt i kJ/s (kW). Dette effektuttaket blir summert over tid, og presenteres i måleren som en energimengde (kWh). Figur 4.12 viser en energimåler for fjernvarme med nødvendig utstyr.



Figur 4.12 Energimåler /25/

#### 4.7 Komplette varmesentral

Når varmesentralen skulle skisseres, måtte en del komponenter plasseres på spesifikke streder i anlegget ut fra opplysninger som er beskrevet tidligere i kapitlet. Noen ideer er også hentet fra Haugaland Kraft AS sitt anlegg på Bø. /24/

Tegning over mulig oppkobling av varmesentralen er vist i kapittel 7.2.1.



## 5 Overvåking, styring og regulering

### 5.1 Generelt

Både i varmesentralen og i smoltanlegget er det en rekke følere som måler tilstander som temperatur, trykk, væskestrømning og nivå. Utstyr som ventiler, pumper, vifter og lignende skal aktiveres til ulike tider og situasjoner. I tillegg trengs ulike typer regulatorer for å styre og regulere dette utstyret ut ifra de verdiene en ønsker at prosessen skal ha, og de verdiene en faktisk har målt med måleinstrumentene ute i prosessen.

Systemer som skal styre og overvåke en prosess på denne måten blir ofte kalt prosesstyringssystemer, eller bare styresystemer. Et slikt system har 3 hovedoppgaver:

- Regulere prosessene i prosessanlegget
- Presentere data om prosessanlegget
- Overvåke anlegget, det vil si gi alarmer ved visse hendelser

I dag blir som regel datamaskinsystemer brukt til dette formålet.

#### **Bruk av datamaskin:**

Fordelene med å bruke en datamaskin kan være:

- Objektivitet med hensyn til de innkommende data fra instrumentene
- Kontinuerlig registrering er mulig
- Dataprosessering (online korrigerende av responser, parameterestimering, tolking, tilbakekoblingsmuligheter/automasjon, alarmer)
- Pris (kostnader)

Ulempene kan være:

- Krever spesialkompetanse
- Misstolkninger, for eksempel ved falske alarmer
- Virusangrep

/22/

#### **Styresystemet:**

Et styresystem inkluderer følerne ute i prosessen, kommunikasjon/feltbusser, eventuelle undersentraler/PLS-er og hovedsentralen. Hovedsentralen består av en datamaskin med overvåkingsprogram og tilhørende utstyr.



## 5.2 Følerne ute i prosessen

Som nevnt er det plassert følere som måler tilstander i prosessen. Følerne kan være analoge eller digitale.

### Analoge følere:

Ute i prosessen har en plassert ulike sensorer for måling av temperatur, trykk, væskestrøm, hastighet og nivå. Verdiene fra disse sensorene blir omformet til strøm eller spennings signaler. I prosessindustrien er det mest vanlig med strømsignaler, og da i størrelsene 0-20 mA eller 4-20 mA. Grunnen til at det oftest forekommer 4-20 mA er:

- Dersom det blir brudd i signalkabelen, synker strømmen til null, og feil kan påvises.
- Det er problemfritt med tanke på spenningsfall.
- Strømsignal er mer robust overfor elektrisk støy.

Ønskes heller spenningsignal, som imidlertid har en standard på 1-5 Volt så fås dette ved å sende strømmen gjennom en 250  $\Omega$  motstand. Denne kan også gå igjennom en forsterker slik at en får spenning på 0-10 Volt hvis dette er ønskelig.

Når analoge signaler innsamles av en datamaskin må signalene først digitaliseres. Det vil si en må foreta et tilstrekkelig antall samplinger på det kontinuerlige analoge systemet, som gjøres ved å sende signalet gjennom en AD-omformer (Analog-Digital omformer) som omgjør de analoge signalene til digitale verdier som datamaskinen kan lagre og behandle. AD-omformeren er en egen elektronisk krets som utgjør en komponent i datamaskins grensesnittutstyr.

### Digitale følere:

Digitale følere kan være endebrytere, trykkbrytere eller av/på indikasjoner på utstyr som lamper, releer, motorer og lignende.

## 5.3 Kommunikasjon/feltbusser

De analoge og digitale signalene skal transporteres frem til innsamlingsenheten. Fra datamaskinen skal det gis signaler ut til prosessutstyret igjen. Dette kan for eksempel være et signal om å åpne en ventil til 50 % åpning, starte en pumpe, tenne en lampe eller lignende.

For å utføre denne signaltransporten trengs en kommunikasjonskanal eller en feltbuss og utstyr for å håndtere denne. Det finns mange ulike typer feltbusser på markedet, og de virker etter ulike metoder.

### Ulike kommunikasjonsmetoder:

For å få datamaskinen til å kommunisere med prosessen kan en bruke ulike metoder. Disse kan være:

1. Parallell kommunikasjon
2. Seriell kommunikasjon
3. Data acquisition (DAQ)



1. Ved parallell kommunikasjon overføres flere bit samtidig over hver sin leder. Ulempen er at det er satt begrensninger på avstanden mellom datamaskin og prosessutstyret på grunn av kapasitiv belastning. Det er heller ikke alle instrumenter som er utstyrt for kommunikasjon via denne kanalen. Ved parallell kommunikasjon øker overføringsmengden, men det kan oppstå problemer med krysskobling/overhøring mellom lederne. Parallell kommunikasjon blir derfor brukt der en ønsker høye overføringsmengder, og ikke har for lange avstander. Eksempel på parallell kommunikasjon kan være GPIB buss
2. Ved seriell kommunikasjon overføres dataene med en bit om gangen over to ledere. Overføringsmengden blir da lavere enn ved parallell, men en unngår krysskobling/overføring og kapasitiv belastning er begrenset. Seriell kommunikasjon kan dermed overføres over store avstander uten problem. Utfordringen ved seriell kommunikasjon er å vite start og stopp for datasending og synkroniseringen med de logiske enhetene i datastrømmen. Eksempler på seriell kommunikasjon er den vanlige RS232.
3. Ved data acquisition (DAQ) kommunikasjon, har en et kort i datamaskinen som leser en spenningsverdi på 0-10 volt fra utstyr i prosessen og omgjør disse til leselige digitale verdier ved hjelp av A/D omformer. DAQ- kortet kan også sende ut analoge signaler via en D/A konverter.

#### **5.4 Hovedsentral / Overvåkingsprogrammet**

Fordelen med databasert overvåkingsprogram er at det er enkelt og oversiktlig å presentere data grafisk i både analog og digital form på en dataskjerm. Ved hjelp av egne programmer kan brukeren selv bygge opp skjerm bilde av selve prosessen. Dette skjerm bilde kan bestå av prosessbilder med tanker, beholdere, ventiler og lignende. Det vil også vise instrumenter, alarmindikatorer og kan vise kurver med fortløpende informasjon fra prosessen som for eksempel nivået i en tank, temperatur i et fjernvarmerør eller lignende. Skjerm bilde kan være dynamisk slik at en kan se endringer i prosessen på skjermen. Eksempel på dette kan være at en ser hvordan nivået i en tank øker. Systemet kan være som ren overvåking, eller det kan velges å gi operatøren muligheter til å styre prosessen fra skjermen. Eksempel på et overvåkingsprogram kan være Lab View eller mer spesielle programmer som er utarbeidet, for eksempel HPC 1000 systemet fra EM systemer.

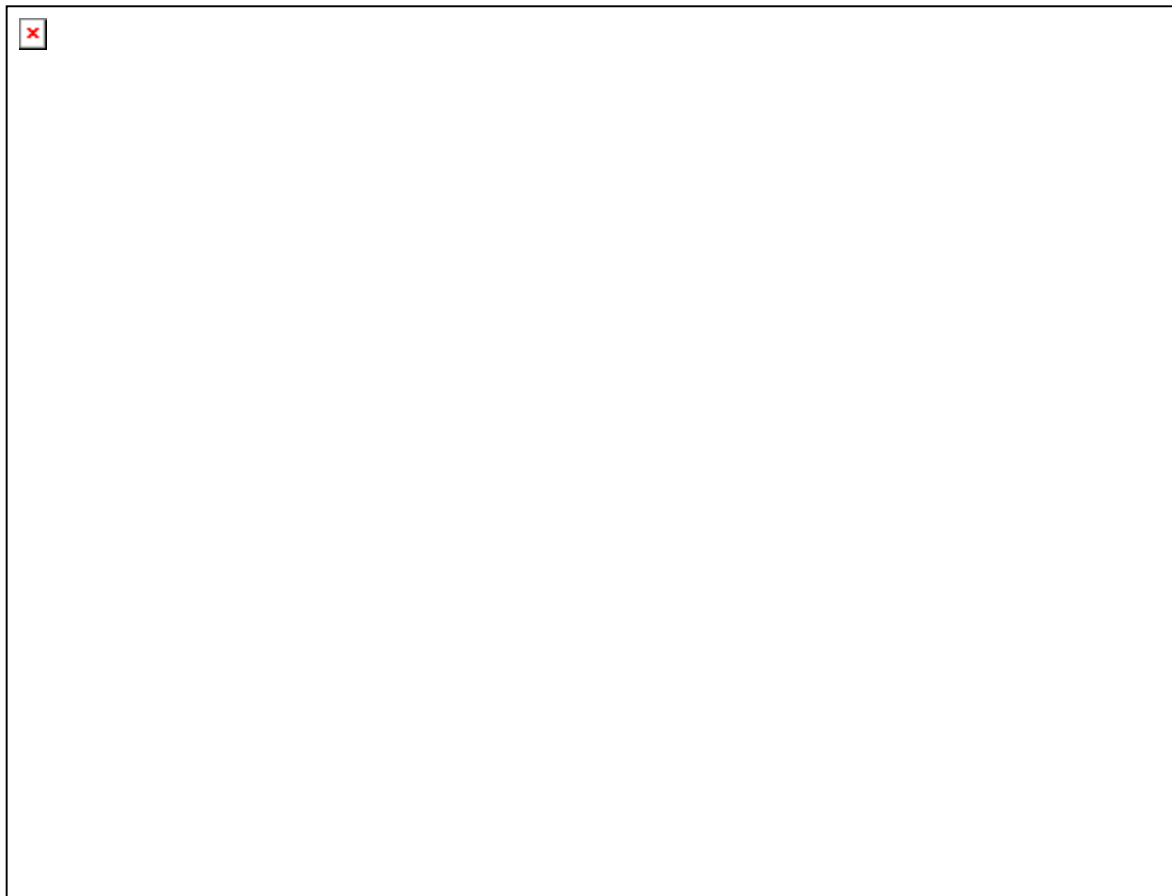
Lab View er et prosesskontrollprogram som gjør det mulig å kommunisere med ulike instrumenter og prosesselementer. En kan både styre prosesser og hente inn / sende data og kommandoer. Lab View blir programmert i G-språk. Det vil si at det benytter grafisk programmering. I tillegg til selve programmeringsdiagrammet, består det av et skjermdisplay / frontpanel som er grensesnittet opp mot operatøren av prosessen.



Et overvåkingsprogram kan deles inn i følgende deler:

- Brukergrensesnitt
- Inn/ut- enheter
- Historikk
- Aritmetisk enheter
- Alarmer
- Trend

Figur 5.1 viser eksempel på hvilke deler et styresystem kan være bygd opp av, og viser også eksempler på ulike typer feltbusser/kommunikasjon.



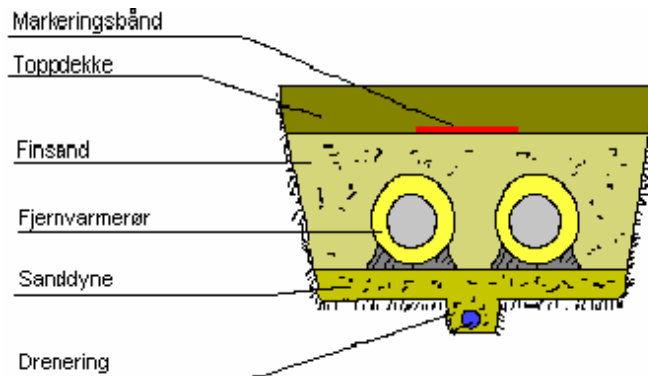
Figur 5.1 Eksempel på oppbygning av prosess- styring/overvåkning /27/

## 6 Distribusjonsnett

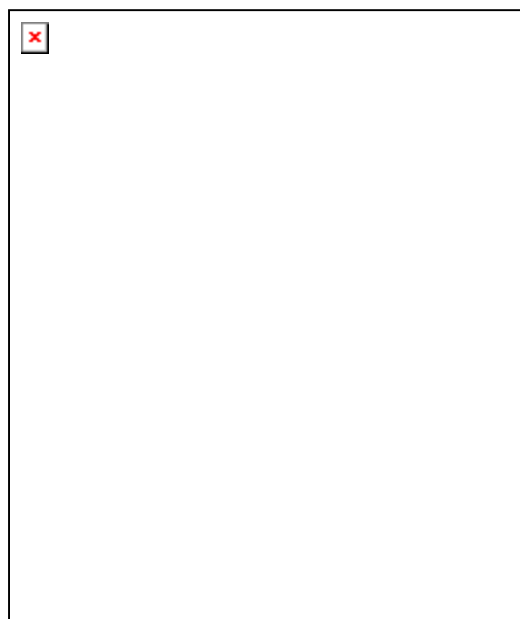
### 6.1 Generelt om fjernvarmenett

Distribusjonssystemet (fjernvarmenettet) sørger som nevnt for å transportere oppvarmet vann fra varmesentralen og frem til kundesentralen og tilbake igjen. Til dette formål benyttes preisolerte rør i bakken mellom varmesentralen og kundesentralen. Preisolerte ledninger er rør som er ferdig isolert fra produsent. De har en tett kappe utenpå isolasjonen slik at denne forblir tørr etter at rørene er lagt i bakken. Selve vannrøret kan være av stål, kopper eller diffusjonstett PEX (Forsterket PE ledning). Ledninger legges der hvor det er enklest og billigst å komme fram til kundesentralen.

Et typisk grøft for en fjernvarmeledning er vist i Figur 6.1 og Figur 6.2. Ledningene legges med et toppdekke på 40 – 60 cm avhengig av hvilke trafikkbelastning ledningene vil bli utsatt for.



Figur 6.1 Grøftesnitt for en fjernvarmeledning /25/

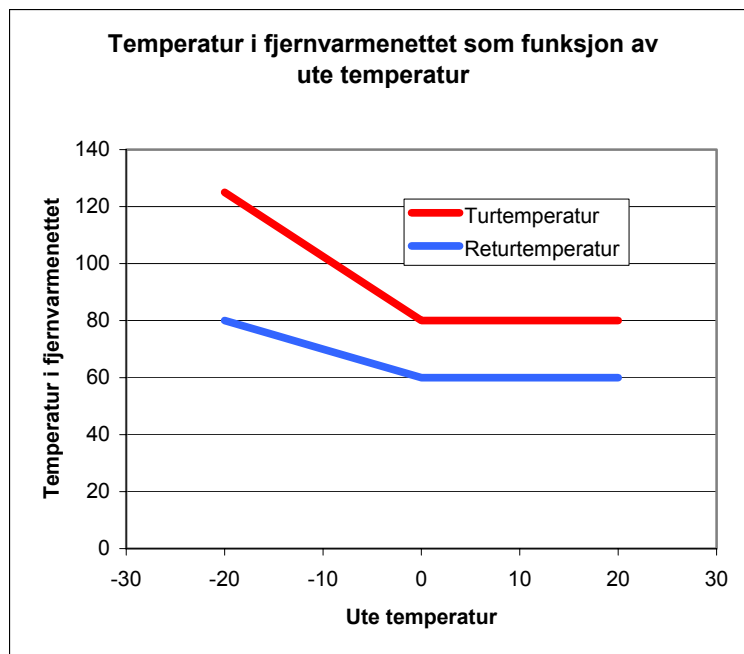


Figur 6.2 Fjernvarmegrøft



## 6.2 Temperaturnivå

Temperaturnivået i fjernvarmenettet er avhengig av varmekilden og hvilke temperatur det er hensiktsmessig å levere. Det er vanlig at temperaturen kompenseres i henhold til utetemperaturen. Figur 6.3 viser et eksempel på en fyringskurve fra et anlegg med turtemperatur på 120 °C. En del mindre anlegg drives med en turtemperatur under 100 °C da forskriftene krever mindre tilsyn for anlegg med driftstemperatur under denne temperaturen. For fjernvarmeanlegg som skal forsyne bygg med eksisterende varmeanlegg kan dimensjonerende turtemperatur vanligvis ikke være høyere enn 80 °C. Dette fordi eksisterende varmeanlegg vanligvis er dimensjonert for 80 – 60 °C. Hvis temperaturen skal settes høyere, bør det foretas grundige undersøkelser på forhånd. Returtemperaturen i fjernvarmeanlegget ønskes så lav som mulig. Her vil imidlertid tilknytning til eksisterende varmeanlegg være med å styre denne. I denne varmesentralen er turtemperaturen beregnet til 80 °C. /5/



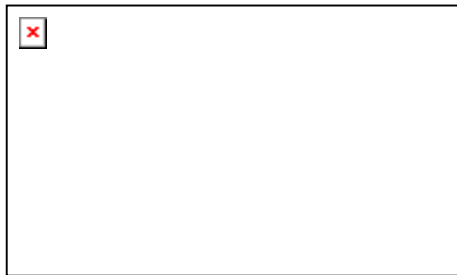
Figur 6.3 Eksempel på utetemperaturkorrigering

## 6.3 Trykknivå

Trykknivået som velges i fjernvarmenettet er som oftest avhengig av lengden på nettet frem til kundesentralen og eventuelle høydevariasjoner langs traseen. Vanligvis bygges fjernvarmenett for et maksimalt trykk på 16 bar. Høyt trykknivå krever større effekter på sirkulasjonspumper, dermed dyrere pumper og økte driftskostnader. /5/

## 6.4 Materialvalg

I fjernvarmeledninger utendørs, er preisolerte stålledninger ofte brukt. Innvendig benyttes vanligvis stålør som etterisoleres. Stålrørnett er samtidig mest fleksibel med hensyn til trykk og temperatur. Det vil si bedre mekaniske egenskaper. /5/



Figur 6.4 Snitt av fjernvarmeledning /25/

## 6.5 Leggemetoder

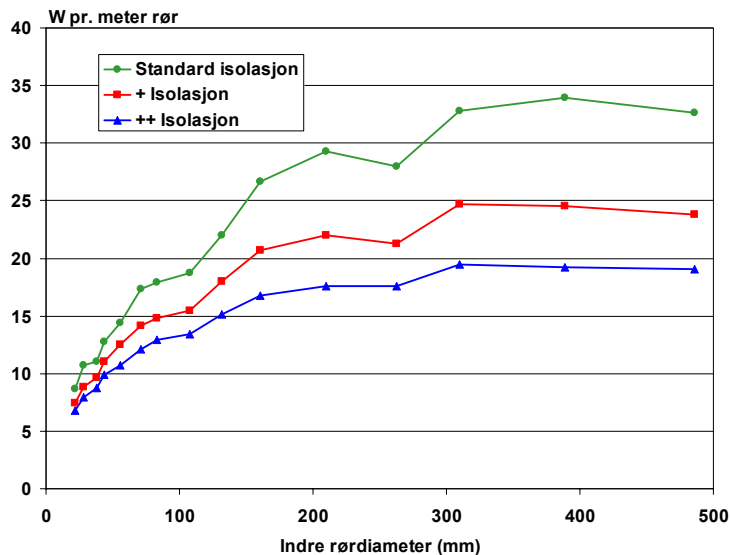
Ved legging av fjernvarmerør må det tas hensyn til at alle materialer utvider seg ved oppvarming. Hvis det legges rør ved en utetemperatur på 0 °C og anlegget skal ha en turtemperatur på 100 °C, vil et stålrørstrekk på 100 m forlenges ca 11 cm. (Forutsetter at rørene ligger fritt opplagret.)

Ved legging av stålrør er den mest brukte metoden ”kaldforlegning”. Det vil si at man legger rørene, fyller igjen grøften og tillater at stålet når flytespenning ved 1.oppvarming. Ved legging etter denne metoden er det viktig at rørene legges på en slik måte at kraften ikke blir uforholdsmessig høy lokalt. Dette er spesielt kritisk ved bend og avgreninger. PEX-rør kan legges rett i bakken uten hensyn til utvidelse. Men man må imidlertid være oppmerksom på at hvis rørene ligger fritt i luft, har de en utvidelseskoeffisient som er større enn både stål og kobber. Dette må man ta hensyn til spesielt ved avslutninger, overgang til annet materiale og ved innføringer til bygninger. /5/

## 6.6 Trykk- og energitap

Ved dimensjonering av rørnett er det vanlig å regne med et trykktap på 100-200 Pa pr. meter fjernvarmerør. /1/

Når en beregner effekt- og energibehov i fjernvarmenett, må en ta hensyn til varmetapet i fjernvarmenettet. Dette er proporsjonalt med differansen mellom temperatur i rørnett og utetemperaturen. I Figur 6.5 er det vist varmetap for fjernvarmerør fra en av leverandørene på det norske markedet. Det er her forutsatt en midlere temperatur i fjernvarmenettet på 80 °C og en omgivelsestemperatur på 3 °C, altså en temperaturdifferanse på 77 °C. For andre temperaturdifferanser kan en enkelt korrigere varmetapene. Som en ser av figuren, opereres det med tre ulike typer isolasjon. I Norge har en stort sett kun benyttet standard isolasjon. Det kan være aktuelt å benytte +isolasjon på turledninger og standard isolasjon på returledninger. Dette er imidlertid et økonomisk spørsmål. /10/



Figur 6.5 Energitap i rørledning /10/



## 6.7 Investeringer knyttet til fjernvarmenettet

Typiske investeringer i fjernvarmenett finnes i Tabell 6.1. Dette er pris pr. meter rørtrasé, altså for tur- og returledning samt gravearbeider, masser, asfaltering mv. Prisen på rør/rørmateriell utgjør typisk kun ca. 30 % av total kostnad pr. meter rørtrasé. Det er imidlertid viktig å korrigere for terrengforhold på det aktuelle stedet. Hvis en bygger ut fjernvarmenett i tettbygd strøk og ikke minst bystrøk, vil investeringene kunne bli vesentlig høyere enn det som fremgår av tabellen. En bør om mulig samordne legging av fjernvarmerør med andre typer infrastruktur. Det er ikke uvanlig å kunne redusere prisen pr. meter rørtrasé med ca. 30 % ved samordning med f.eks. avløpsnett. /10/

Tabell 6.1 Dimensjonering og kostnad knyttet til fjernvarmenett

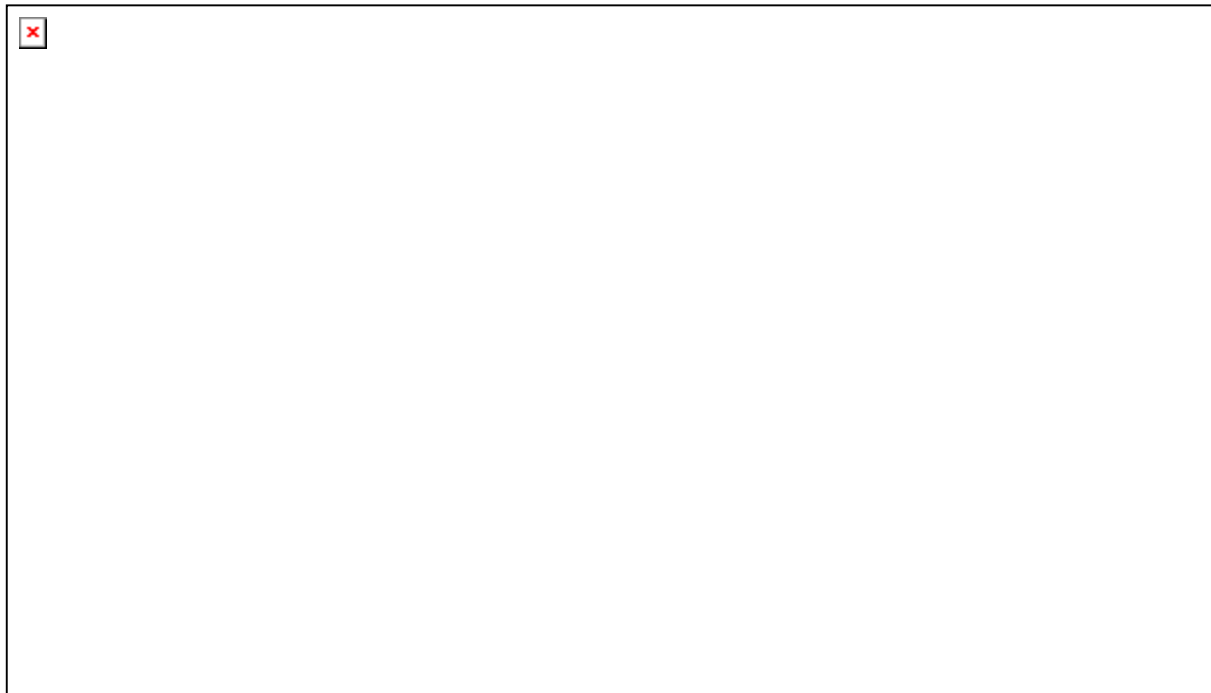
Investeringer i fjernvarmenett		
Dimensjon	Kapasitet (kW)	Enhetspris (kr/m)
DN 20	37	1.000
DN 25	70	1.050
DN 32	140	1.100
DN 40	210	1.250
DN 50	380	1.400
DN 65	750	1.600
DN 80	1.100	1.800
DN 100	2.200	2.000
DN 125	3.800	2.200
DN 150	6.400	2.400
DN 200	12.900	2.800
DN 250	23.200	3.300
DN 300	36.300	4.000

## 7 Resultater

### 7.1 Smoltanlegget

#### 7.1.1 Skisse over anlegget

Figur 7.1 viser de ulike komponentene i smoltanlegget, samt reguleringsstrukturen. I Vedlegg 9) er denne figuren presentert i et mer lettleselig format.



Figur 7.1 "P & ID" over smoltanlegget

#### 7.1.2 Beregning av produksjonsmengde

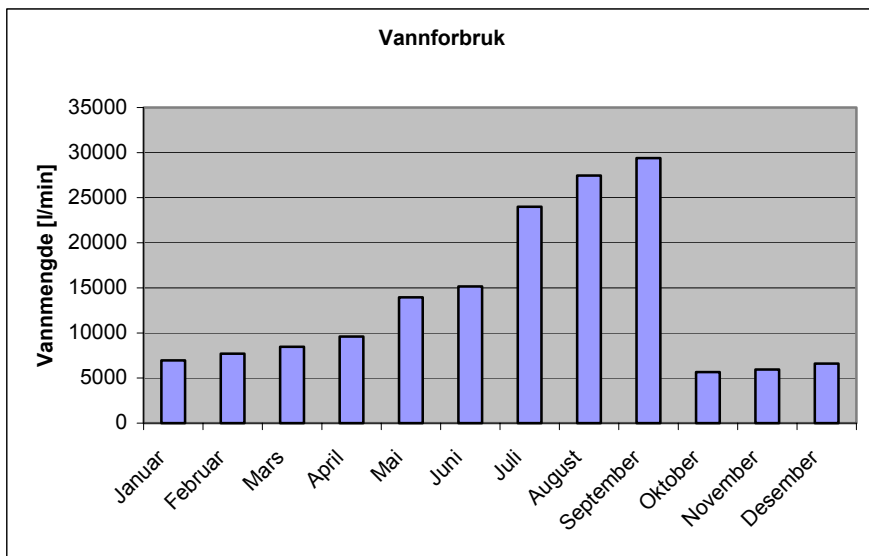
I forbindelse med beregning av produksjonsmengde måtte følgende forhold vurderes:

- Konesjon på uttak / utslipp av ferskvann på 30 000 l/min
- Forskrifter gitt av Fiskeridepartementet
- Erfaringstall vedrørende gunstige temperaturer gjennom året

Kriteriene ble behandlet i et regneark, og gav nødvendige data/informasjon til videre bruk i simulering. Dette regnearket er vist i Vedlegg 8)

Ut fra regnearket ble det funnet at produksjonsbegrensningen lå i tilgjengelig vannmengde. Dette ser en tydelig fra Figur 7.2 som viser at vannforbruket i september er opp i mot konesjonsgrensen.

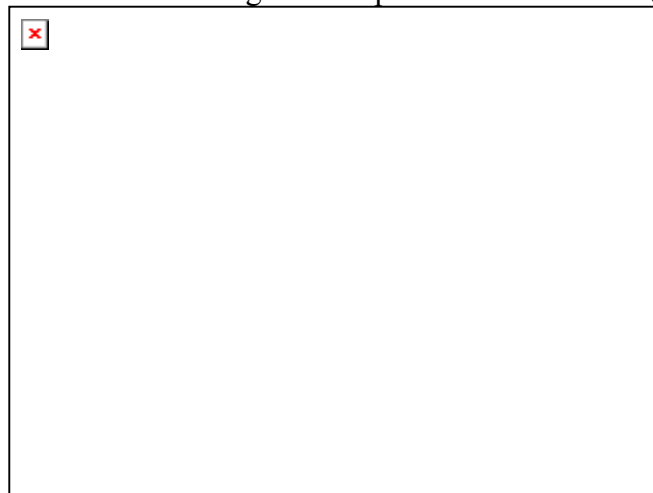
Maksimal produksjon blir dermed 1,3 millioner smolt pr. år. Overstiger en dette vil tilgjengelig vannmengden være for liten i september.



Figur 7.2 Oversikt over vannforbruk

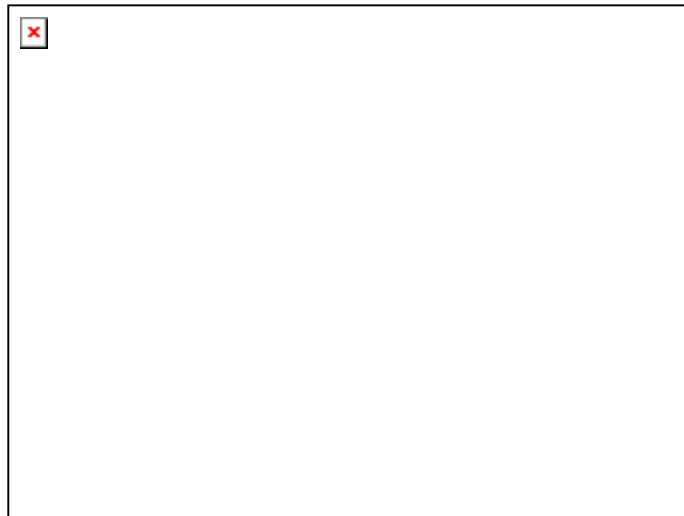
### 7.1.3 Simulering av varmevekslerparken i smoltanlegget

Figur 7.3 viser hvordan Matlabprogrammet tilpasser effekten i varmevekslerne ved å redusere strømmingen trinnvis. En ser at effekten gradvis tilpasses effektbehovet (grønn linje).



Figur 7.3 Effekttilpasning

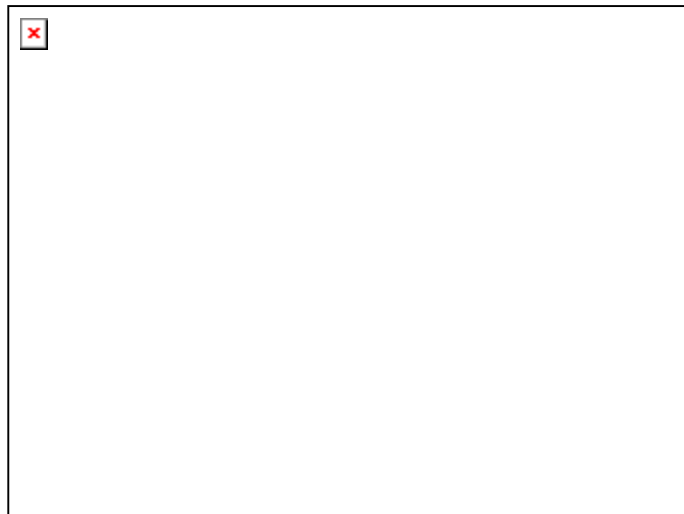
Figur 7.4 til Figur 7.6 viser temperaturforløpet gjennom varmevekslerparken. Hver figur viser temperaturen i veksleren med hensyn på tid og posisjon. Utgangen av veksleren er representert med den øverste gule kurven. Som en ser av figurene får VVX2 inngangstemperaturen fra utgangen på VVX1, og tilsvarende for VVX3.



**Figur 7.4 Temperaturforløp i VVX1**



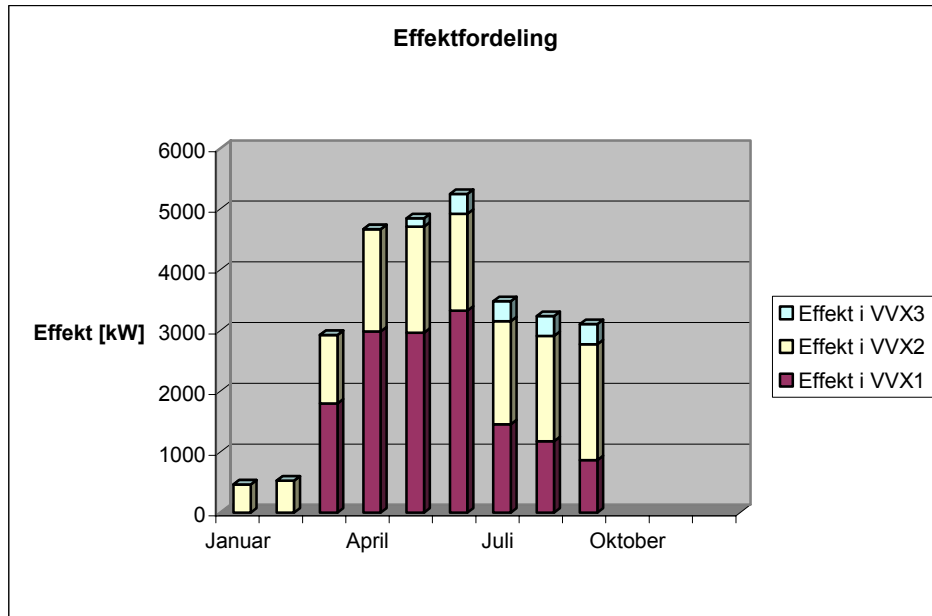
**Figur 7.5 Temperaturforløp i VVX2**



**Figur 7.6 Temperaturforløp i VVX3**

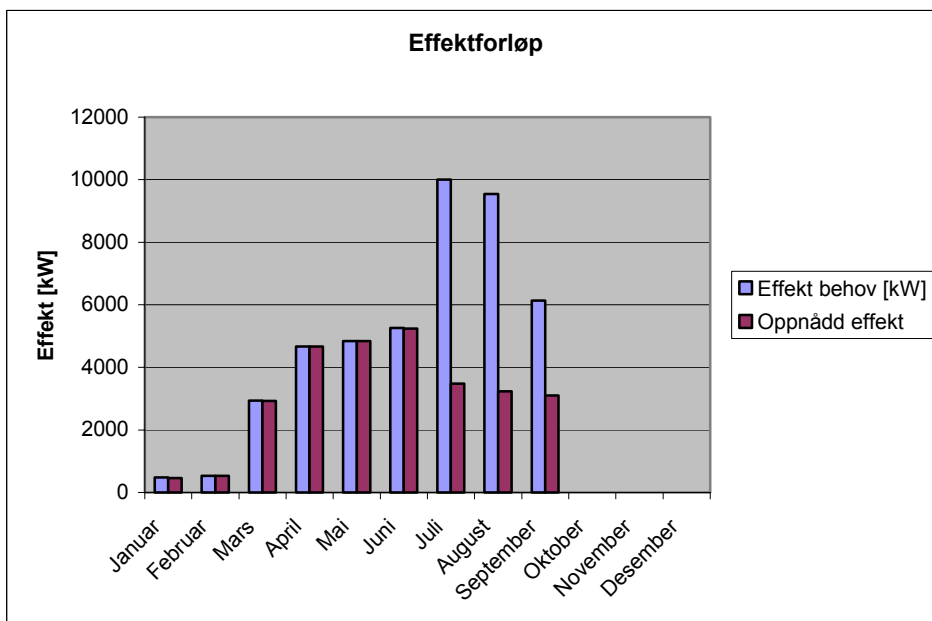
### 7.1.4 Resultat av simulering

Figur 7.7 viser hvordan effekten fordeler seg over varmevekslerne gjennom året.



Figur 7.7 Oversikt over effektfordeling i varmevekslerne

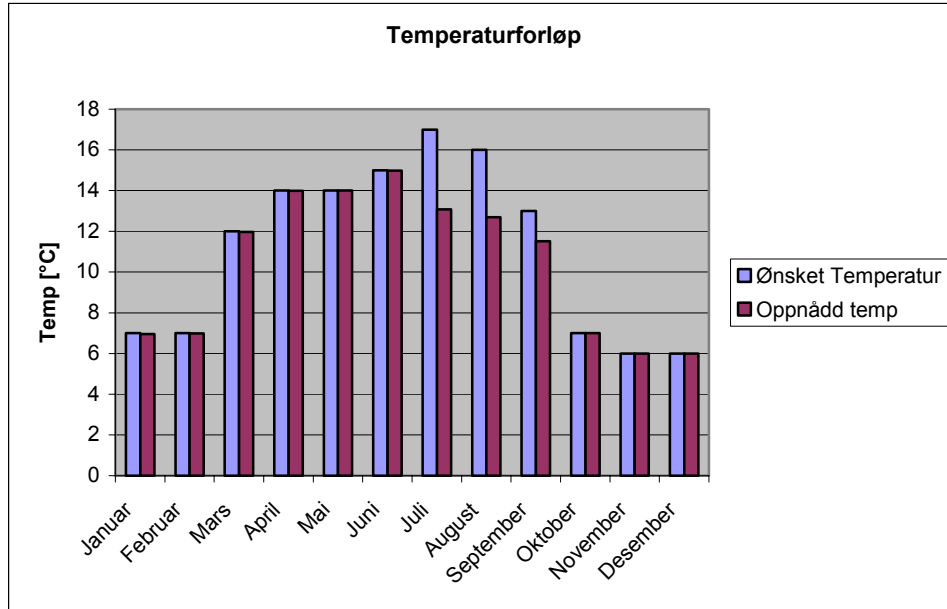
Figur 7.8 viser forholdet mellom effektbehov og oppnådd effekt.



Figur 7.8 Effektforløp gjennom året



Figur 7.9 viser forholdet mellom ønsket temperatur og oppnådd temperatur.



Figur 7.9 Temperaturforløp gjennom året

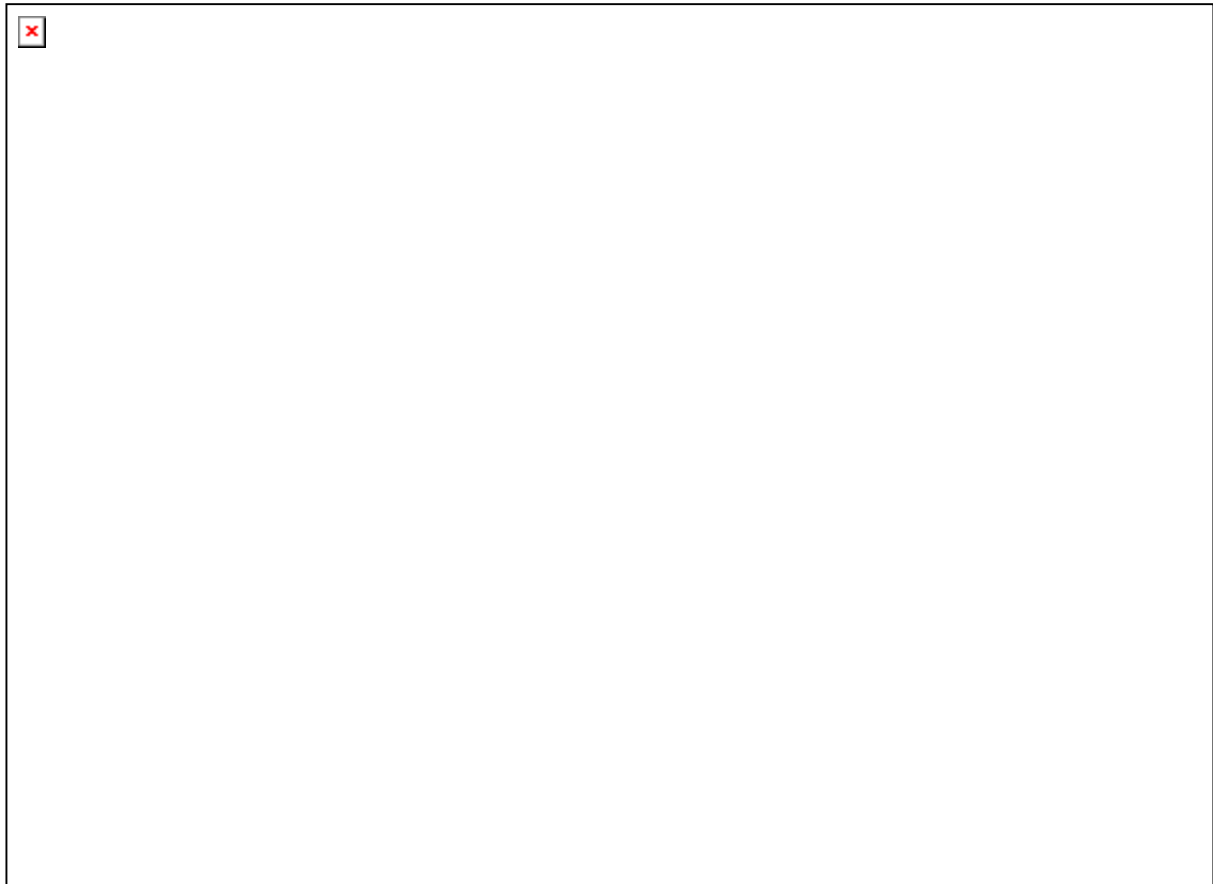
I simuleringen ble det beregnet mengden på vannstrømningen gjennom hele anlegget til enhver tid. Resultatet av disse er vist i tabellen i Vedlegg 8).



## 7.2 Varmesentralen

### 7.2.1 Prinsippskisse over varmesentralen

Figur 7.10 viser forslag til varmesentral, med de viktigste komponentene. Reguleringsstruktur og instrumentering inngår også. I Vedlegg 10) er denne figuren presentert i et mer letleselig format.



Figur 7.10 Skisse over varmesentralen



## 8 Diskusjon

### 8.1 Smoltanlegget

#### 8.1.1 Skisse over smoltanlegget

Figur 7.1 viser oppkobling av komponenter med reguleringsstruktur slik vi mener det kan gjøres. Vi har valgt å benytte enkel tilbakekobling når det gjelder strømningsregulering. Grunnen til dette er at varmevekslerne har en meget rask respons (se Figur 7.4), og en hurtig temperaturendring i vannet er ikke ønskelig. Det er derfor ikke behov for å benytte foroverkobling i denne reguleringen.

Videre har vi tegnet inn energimålingsutstyr på linjene fra de eksterne energileverandørene, henholdsvis fra industriens spillvarme og fjernvarmeleverandøren. Det er også tegnet inn en sløyfe som utnytter energien i utløpsvannet fra smoltanlegget før det går til sjø. Her er installert en pumpe som leverer variabel mengde som følge av valgt innstrømning på anlegget.

#### 8.1.2 Beregning av produksjonsmengde

I regnearket i Vedlegg 8) er det antall smolt samt opplysninger om antatt vekt som danner grunnlaget for beregning av biomasse og korresponderende vannbehov. Ut fra dette er det enkelt å finne maksimal produksjonsmengde som er på 1,3 millioner smolt pr. år, fordelt på 1 millioner 0-åringer og 0,3 millioner 1-åringer. Begrensningen i produksjonsmengde skyldes at nødvendig vannmengde i september ligger rundt konsesjonsgrensen. En økning i tilgang på vann hadde derfor vært ønskelig for å kunne øke produksjonen. Men vi ser imidlertid at det er et problem å holde ønsket temperatur i månedene juli, august og september med nåværende vannmengde og energitilgang. En eventuell økning av vannmengde krever enda mer energi til oppvarming.

#### 8.1.3 Simulering av varmevekslerparken i smoltanlegget

Det ble som tidligere nevnt utviklet et simuleringsverktøy i Matlab. Programkoden for dette er vist i Vedlegg 7). For å kunne foreta simuleringen, var det nødvendig å systematisere disse dataene:

- temperaturer og vannstrømning
- temperaturen på innløpsvannet satt etter informasjon fra PDS Klimakonsult AS
- informasjon om normaltemperatur ble hentet fra Meteorologisk Institutt /29/
- kombinasjon av disse data ble videre brukt til å estimere tapet på returvannet

Etter kjørt simulering er det mulig å lese ut temperaturer, strømning og effekt i hver varmeveksler. Det er også mulig å lese oppnådd temperatur på vannblandingen inn til smoltkarene.



### 8.1.4 Resultat av simulering

Figur 7.7 viser effektbidraget fra de ulike varmevekslerne med de gitte forutsetninger som vi har satt angående ønsket temperatur og strømning. Bidraget fra veksler 3, som representerer energien fra fjernvarmeanlegget, har lite å si for prosessen. Det er derfor energien fra veksler 2 (spillvarme) som er den viktigste energikilden. En kan merke seg at dersom en ikke får tilgang på ekstern energi, vil en heller ikke kunne hente ut noe effekt fra veksler 1 som benytter varmen fra utslippsvannet i anlegget. Dette innebærer at dersom energitilførselen til veksler 2 bortfaller, vil en i liten grad kunne oppnå temperaturøkning i anlegget. Anlegget er dermed svært sårbart når det gjelder tilgang på spillvarme.

Figur 7.8 og Figur 7.9 viser henholdsvis effektbehovet vs. oppnådd effekt og ønsket temperatur vs. oppnådd temperatur. Som en ser av kurvene mangler en mye effekt for å kunne oppnå ønsket temperatur. I september kreves det ca. 2 MW for å øke temperaturen 1 °C. Det må derfor vurderes nøye hvilken temperatur en har bruk for i produksjonen sammenlignet med kostnaden dette vil medføre.

Det som gjør dette anlegget spesielt sammenlignet med enn del andre anlegg er at en bruker forholdsvis kaldt fjellvann i produksjonen. Dette medfører at det er behov for oppvarming av vannet store deler av året for å muliggjøre produksjon av 0 årig smolt i løpet av ca. 10 måneder. Andre anlegg som bruker lavtliggende vannreservoarer får naturlige vanntemperaturer opp mot 18 °C om sommeren, og trenger kun å tilføre varme på våren.

På bakgrunn av simuleringen fant vi også frem til vanngjennomstrømningen gjennom hele anlegget til enhver tid. Vi ser at i månedene juli august og september er det maksimal gjennomstrømning gjennom alle 3 varmevekslerne. I oktober, november og desember derimot trengs ingen oppvarming, derfor blir vannet ledet utenom alle varmevekslerne i denne perioden. Eventuell service på varmevekslerne kan da planlegges lagt til denne perioden.

### 8.1.5 Usikkerhet i simulering

Det er flere av parametrene i simuleringen det er knyttet usikkerhet til. En del av disse vil kunne gi store variasjoner i resultatene av simuleringen. Disse parametrene bør vurderes nøye:

- Råvannstemperatur
- Vekstforløpet til smolten og dermed anleggets biomasse
- Estimert temperaturløstap i returvann fra smoltanlegget
- Temperatur og strømning til eksterne energileverandører

I tillegg har vi gått ut fra en vanlig smoltproduksjon der det blir satt inn rogn i desember/januar. Hoveddelen blir produsert som 0-åring og har en produksjonstid på ca 10 måneder, mens den minste fisken blir sortert ut og går som 1-åring, det vil si med en produksjonstid på ca 18 måneder. Andre valg av produksjonsforløp kan få innvirkning på biomasse, og dermed nødvendig vannmengde, og vil kunne avvike i forhold til våre beregninger.



### 8.1.6 Mulige tiltak

En har nå sett at effekten av veksler 3 har så liten innvirkning på prosessen at oppkobling og tilknytning til fjernvarmenettet ikke vil være lønnsomt. Det hadde derfor vært ønskelig med mulighet for større effektuttak i veksler 3. Hvis den skal kunne fungere som en backup for veksler 2, må den kunne avgi en effekt opp i mot 2 MW.

Det bør også undersøkes om det er mulig å ta ut større mengder spillvarme enn det som er oppgitt fra oppdragsgiver. Grunnen til at dette er interessant å undersøke, er at en lett kan øke kapasiteten i varmevekslerparken for å utnytte denne energien.

### 8.1.7 Videre arbeid

Forslag til videre prosjekteringsarbeid:

- Utvikle en matematisk modell for temperaturtapet i returvannet
- Konstruere et regulerings-/overvåkningsprogram for smoltanlegget
- Sette opp et kostnadsestimat

## 8.2 Varmesentralen

### 8.2.1 Skisse over varmesentralen

Figur 7.10 viser mulig oppkobling av en varmesentral der de viktigste komponentene inngår. Her har vi hentet flere løsninger fra kogenereringsanlegget på Bø som MT Vest har utarbeidet. /24/

Styringsprogrammet gir pådrag til kjelene samt regulerer shuntventilen på grunnlag av levert energimengde. I tillegg blir denne informasjonen korrigert for utetemperatur.

Sirkulasjonspumpen blir styrt ut fra trykkdifferansen på tur-/retursiden.

### 8.2.2 Mulige tiltak

Som tidligere beskrevet i kapittel 4.2, vil det være naturlig å se på muligheten for installasjon av gassturbin-/motor når varmesentralen skal dimensjoneres for store energimengder.

Dersom leveransen av spillvarme til smoltanlegget skulle bortfalle, ville det vært naturlig å ha en direkte varslingslinje til varmesentralen slik at den kan prioritere backup leveranse av energi til smoltanlegget ved behov.

### 8.2.3 Videre arbeid

Forslag til videre prosjekteringsarbeid:

- Skaffe oversikt over totalt effektbehov sentralen må kunne levere
- Dimensjonere varmesentralen med tanke på størrelse av kjeler, akkumulatortank og sirkulasjonspumpe
- Konstruere et regulerings-/overvåkningsprogram for varmesentralen
- Sette opp et kostnadsestimat



## 9 Konklusjon

Bakgrunnen for denne oppgaven har vært etablering av et smoltanlegg i en industribygd hvor en har tilgang på spillvarme fra smelteovner (kjølevann), og hvor det i tillegg skal etableres et fjernvarmeanlegg basert på naturgass. Fjernvarmeanlegget vil forsyne smoltanlegget med energi, samt levere til andre kunder.

Det har vært stor fokus på selve smoltanlegget, smoltproduksjonen, og hvilke krav produksjonen stiller til vanngjennomstrømning og temperaturer til en hver tid. Det ble også undersøkt hvilke krav regelverket stiller for smoltanlegg. Smoltanlegget får energi i form av spillvarme fra industri, varme fra fjernvarmeanlegget, og utnytter temperaturen i utløpsvannet. For å utnytte disse energikildene brukes det 3 varmevekslere. Varmeveksleres virkemåte er beskrevet. Modellering av varmevekslere og hvordan temperaturen endres gjennom veksleren er vist. Det er blitt tegnet et P & ID skjema over smoltanlegget.

Ut fra de oppgitte data for temperaturer og normal vekst på smolt, ble det laget et program i Excel som foretar beregninger for å optimalisere produksjonsmengden i smoltanlegget.

Det ble videre utarbeidet et program i Matlab som simulerer temperaturer og vannstrømninger gjennom varmevekslerparken i smoltanlegget. Ut fra denne simuleringen finner en ut hvilke effekter som trengs fra de ulike varmevekslerne, og om en har tilstrekkelig effekt for å oppnå den ønskede temperaturen i smoltanlegget. Simuleringen ble, sammen med Excel programmet, brukt til å lage en månedlig oversikt over effektbehov, vannbehov, tilgjengelig effekt og om ønsket temperatur og vannmengde ble oppnådd.

Resultatene av simuleringen er vist i kapittel 7, og ble diskutert i kapittel 8. Vi fant ut at optimal mengde smolt vi kan produsere i anlegget er 1,3 millioner pr. år. Begrensningen skyldes tilgang på vann i september, men i tillegg så vi at det er vanskelig å oppnå ønsket temperatur i juli, august og september. Tilgang på mer vann vil derfor ikke hjelpe, så lenge vi ikke har tilgang på mer energi for å varme opp vannet. Det kan nevnes at i september, når vanngjennomstrømningen er størst, kreves det en effekt på 2 MW for å øke temperaturen 1 °C i smoltanlegget.

Sammenlignet med andre anlegg som har tilgang på varmere råvann om sommeren, gjerne opp mot 17 – 18 °C, må det i dette anlegget tilføres store energimengder gjennom hele sommeren for å oppnå like gode vekstvilkår. Dette innebærer en stor merkostnad. Fordelen er imidlertid at en har tilgang på spillvarme fra industri.



Vi fant ut at varmeveksleren VVX3, for fjernvarmenettet, som kun er på ca 300 kW, er for liten til å ha noen betydning for temperaturøkning av vannet. Det bør undersøkes om det er mulig å få tilgang på mer energi fra fjernvarmeanlegget. Ved å få tilgang på for eksempel 2 MW, vil en kunne ha reserve for den viktigste energikilden, som er spillvarmen. I tillegg vil det være mulig å øke temperaturen på vannet ytterligere og dermed øke vekstvilkårene. Det er imidlertid en økonomisk vurdering om en ønsker å betale for fjernvarme, for å få bedre vekst på smolten.

Det bør undersøkes om det er mulig å få tilgang på mer energi i form av spillvarme siden denne lett lar seg utnytte i varmevekslerparken i smoltanlegget.

I oppgaven har en sett på et fjernvarmeanlegg generelt. Vi har beskrevet varmesentralen med de komponenter som er nødvendige i en slik sentral, tegnet et P & ID skjema over varmesentralen og sagt litt om distribusjonsnettet til et fjernvarmenett.

Videre arbeid i prosjektet vil være å finne nødvendig effektproduksjon for varmesentralen og dimensjonere denne. Lage kostnadsoverslag, og utarbeide styrings- og overvåkingsprogram både for smoltanlegget og fjernvarmeanlegget.

Simuleringsprogrammet vil bli bedre ved å utarbeide en matematisk modell for estimert temperaturtap i returvann fra smoltanlegget. Simuleringsprogrammet bør også gjøres mer brukervennlig ved å lage et bedre grensesnitt slik at det lettere kan brukes som verktøy også i andre smoltanlegg.



## 10 Litteratur

- /1/ Stensaas, Leif I. *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer* (Skarland Press AS, 1996)
- /2/ Norske Rørleggerbedrifters Landsforening *Varmeanlegg Anleggsoppbygning og beregninger* (Teknologisk institutt, 1990)
- /3/ Jansson, Erik *Reguleringsteknikk med måleteknikk* (Gyldendal Norsk Forlag AS, 2000)
- /4/ NITO *Teknologi i oppdrettsnæringen* (NITO-konferansen 9. - 11. mai 1985)
- /5/ Lien, Peter *PeCon AS* (Fjernvaremedagene 2001)
- /6/ Energibedriftenes Landsforening <http://energifakta.no> (11.02.03)
- /7/ Statistisk sentralbyrå/ fiskeoppdrett <http://www.ssb.no/fiskeoppdrett/om.html> (11.02.03)
- /8/ Kontali Analyse AS <http://www.kontali.no> (11.02.03)
- /9/ Enova <http://www.enova.no> (11.02.03)
- /10/ Soma Miljøkonsult AS <http://www.somamiljokonsult.no> (11.02.03)
- /11/ Grønnesby, Roar *Grønnesby Prosjekt AS* (Fjernvarmedagene 2001)
- /12/ Juhler, Heide *Norsk Fjernvarmeforening* (Teknisk Ukeblad 02/03)
- /13/ Thauland, Ronald *Fjernvarme Øst* (Teknisk Ukeblad 02/03)
- /14/ Fiseridepartementet norsk□ (11.02.03)
- /15/ Viken, Rune Volla *Energinet AS* (Fjernvarmedagene 2001)
- /16/ Haugen, Finn *Regulering av dynamiske systemer I* (TAPIR forlag, Trondheim 1994)
- /17/ Larsen, Bjørnar *Måle og reguleringsteknikk for prosessfaget* (Vett og viten, 1996)
- /18/ Heco <http://www.heco.dk> (06.02.03)
- /19/ Nor-Term AS <http://www.nor-gruppen.no> (04.02.03)
- /20/ Fosen, Asle *Forelesningsnotater Prosessregulering* (Høst 2002)





- 
- /21/ Bergen Engineering <http://www.be-as.no>
- /22/ Kleppe, Gisle *Introduksjon til kommunikasjon med PC* (Høst 2002)
- /23/ Haraldseid, Øyvind *Trovåg Laks AS* (2003)
- /24/ MT vest AS <http://www.mtvest.no> (2003)
- /25/ Norsk Fjernvarmeforening <http://www.fjernvarmeforeningen.org> (20.02.03)
- /26/ Alfa Laval <http://www.alfalaval.com> (20.02.03)
- /27/ Høgskulen i Telemark *Prosjektoppgave i prosessautomatisering* <http://www-studpors.hit.no/~pa31h01/> (20.02.03)
- /28/ Høgskulen i Narvik  
<http://www.hin.no/ansatte/brs/teaching/courses/6124tdyn/docs/vv/varmevekslere.htm>  
(25.02.03)
- /29/ Metrologisk Institutt <http://met.no> (27.02.03)
- /30/ Arnøy, Harald *Gasnor Forelesningsnotater* (2003)



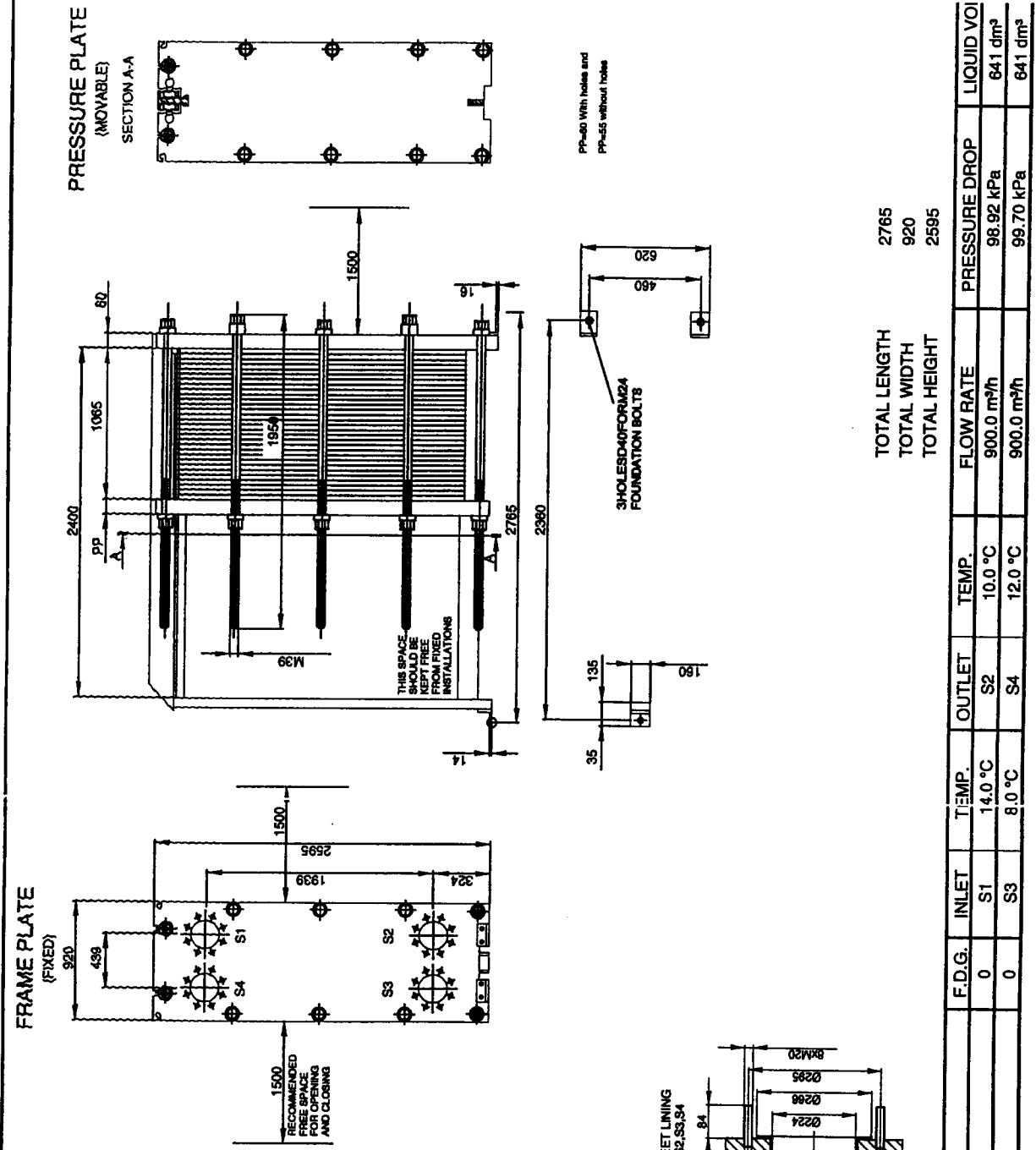
## 11 Vedlegg

- 1) Datablad varmeveksler 1 (VVX1) fra Alfa Laval (2 sider)
- 2) Datablad varmeveksler 2 (VVX2) fra Alfa Laval (2 sider)
- 3) Datablad varmeveksler 3 (VVX3) fra Alfa Laval (2 sider)
- 4) Matlab programkode, VVX1.m
- 5) Matlab programkode, VVX2.m
- 6) Matlab programkode, VVX3.m
- 7) Matlab programkoden, Anlegget.m (5 sider)
- 8) Excel regneark, Smoltanlegg2.xls (3 sider)
- 9) Skisse over smoltanlegget
- 10) Skisse over varmesentralen

## Alfa Laval Plate Heat Exchanger Specification

**Customer** : PDS PROTEK AS    **Model** : MX25-BFMS  
**Project:** : JOMAR-261-2002  
**Item** : VVX1 alt1    **Date** : 2002-10-22  
**Budsjett pris pr stk.:** NOK 250 000,-  
 Specification of 1 exchanger out of 2 connected in parallel

		<u>Hot side</u>	<u>Cold side</u>
Fluid		Water	Water
Density	kg/m <sup>3</sup>	999.5	1000
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.20	4.20
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.590	0.587
Viscosity inlet	cP	1.17	1.39
Viscosity outlet	cP	1.31	1.24
Volume flow rate	m <sup>3</sup> /h	<u>900.0</u>	900.0
Inlet temperature	°C	14.0	8.0
Outlet temperature	°C	10.0	12.0
Pressure drop	kPa	98.9	99.7
Heat exchanged	kW	4205	
L.M.T.D.	K	2.0	
O.H.T.C clean conditions	W/(m <sup>2</sup> *K)	4366	
O.H.T.C service	W/(m <sup>2</sup> *K)	3969	
Heat transfer area	m <sup>2</sup>	529.5	
Fouling resistance * 10000	m <sup>2</sup> *K/W	0.23	
Duty margin	%	10.0	
Rel. directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		355	
Effective plates		353	
Number of passes		1	1
Extension capacity		9	
Plate material / thickness		AISI 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRP CLIP-AD	NBRP CLIP-AD
Connection material		Stainless steel	
Connection standard		DN200	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED	
Flange rating		DIN	
Design pressure	barg	8.0	8.0
Test pressure	barg	10.4	10.4
Design temperature	°C	85.0/5.0	85.0/5.0
Overall length x width x height	mm	2765 x 920 x 2595	
Liquid volume	dm <sup>3</sup>	640.7	640.7
Net weight, empty / operating	kg	4550 / 5840	
Packed weight ( SKID BASE )	kg	4770	
volume	m <sup>3</sup>	10.1	
length x width x height	mm	3100 x 1040 x 3120	



REMARKS:

	SIDE1	SIDE2		
TEST PRESSURE	10,4 barg	10,4 barg	GASKET	NBRP CLIP-AD
DESIGN PRESSURE	8 barg	8 barg	PLATE MATERIAL	AISI 316
MAX TEMPERATURE	85 °C	85 °C	PLATE THICKNESS	0.50 mm
MIN TEMPERATURE	5 °C	5 °C	HEATING SURFACE	529,5 m <sup>2</sup>
NETWEIGHT	4554 kg		PLATE GROUPING	1* (66MH+111L)1* (66ML+111L)
OPERATING WEIGHT	5836 kg			

TOTAL LENGTH 2765  
 TOTAL WIDTH 920  
 TOTAL HEIGHT 2595

SIDE	MEDIA	F.D.G.	INLET	TEMP.	OUTLET	TEMP.	FLOW RATE	PRESSURE DROP	LIQUID VOI
1	Water	0	S1	14.0 °C	S2	10.0 °C	900.0 m <sup>3</sup> /h	98.92 kPa	641 dm <sup>3</sup>
2	Water	0	S3	8.0 °C	S4	12.0 °C	900.0 m <sup>3</sup> /h	99.70 kPa	641 dm <sup>3</sup>

SUPPLIER	REF.	MP NO.	<b>PLATE HEAT EXCHANGER</b> <b>MX20-BFMS</b> <b>PED</b>		
AGENT/REF. ALFA LAVAL AS					QUOTATION JOMAR-261-2002
CUSTOMER NAME / REF. NO. PDS PROTEK AS					
SIGN.		RISKCATEGORY N/A			REV No. 0

## Alfa Laval Plate Heat Exchanger Specification

**Customer** : PDS PROTEK AS      **Model** : M15-BFM8  
**Project:** : JOMAR-261-2002  
**Item** : VVX2 alt2                      **Date** : 2002-10-22  
**Budsjett pris** : NOK 72 000,-

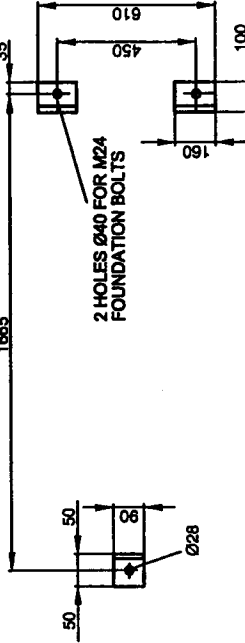
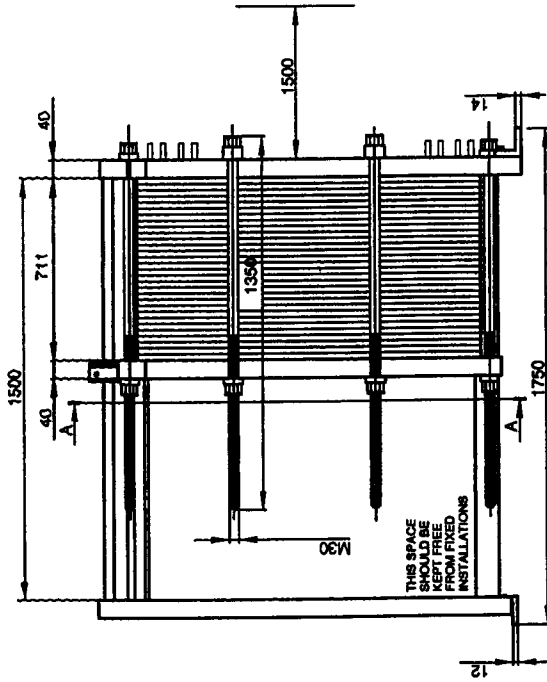
		<u>Hot side</u>	<u>Cold side</u>
Fluid		Water	Water
Density	kg/m <sup>3</sup>	997.5	998.2
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.19	4.19
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.603	0.598
Viscosity inlet	cP	0.895	1.24
Viscosity outlet	cP	1.15	0.953
Volume flow rate	m <sup>3</sup> /h	150.0	150.0
Inlet temperature	°C	25.0	12.0
Outlet temperature	°C	14.7	22.3
Pressure drop	kPa	59.2	59.7
Heat exchanged	kW	1800	
L.M.T.D.	K	2.7	
O.H.T.C clean conditions	W/(m <sup>2</sup> *K)	5068	
O.H.T.C service	W/(m <sup>2</sup> *K)	4608	
Heat transfer area	m <sup>2</sup>	145.7	
Fouling resistance * 10000	m <sup>2</sup> *K/W	0.20	
Duty margin	%	10.0	
Rel. directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		237	
Effective plates		235	
Number of passes		1	1
Extension capacity		18	
Plate material / thickness		AISI 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB CLIP-ON	NBRB CLIP-ON
Connection material		Rubber NBR	Rubber NBR
Connection diameter	mm	150	150
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED	
Flange rating		DIN	
Design pressure	barg	8.0	8.0
Test pressure	barg	10.4	10.4
Design temperature	°C	85.0/10.0	85.0/10.0
Overall length x width x height	mm	1750 x 610 x 1885	
Liquid volume	dm <sup>3</sup>	182.9	182.9
Net weight, empty / operating	kg	1450 / 1810	
Packed weight ( SKID BASE )	kg	1490	
volume	m <sup>3</sup>	3.4	
length x width x height	mm	2080 x 800 x 2070	

**PRESSURE PLATE**  
(MOVABLE)

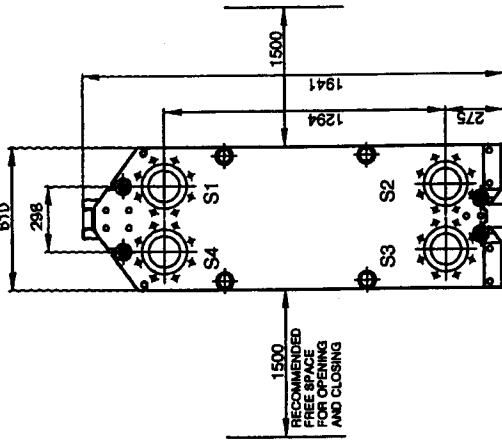
SECTION A-A



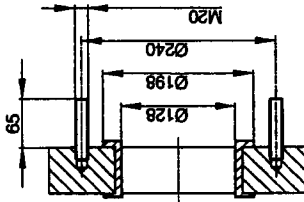
REMARKS:  
CONNECTION T1-T4 ONLY  
SPECIFIED AS INLET OR



**FRAME PLATE**  
(FIXED)



DIN RUBBER LINING  
NBR  
S1, S2, S3, S4



REMARKS:	SIDE1	SIDE2
TEST PRESSURE	10,4 barg	10,4 barg
DESIGN PRESSURE	8 barg	8 barg
MAX TEMPERATURE	85 °C	85 °C
MIN TEMPERATURE	10 °C	10 °C
NETWEIGHT	1445 kg	
OPERATING WEIGHT	1810 kg	

GASKET	NBRB CLIP-ON
PLATE MATERIAL	AISI 316
PLATE THICKNESS	0.50 mm
HEATING SURFACE	145,7 m²
PLATE GROUPING	1*118H/1*118H

TOTAL LENGTH 1750  
TOTAL WIDTH 610  
TOTAL HEIGHT 1885

SIDE	MEDIA	F.D.G.	INLET	TEMP.	OUTLET	TEMP.	FLOW RATE	PRESSURE DROP	LIQUID
1	Water	0	S1	25,0 °C	S2	14,7 °C	150,0 m³/h	59,23 kPa	183 dn
2	Water	0	S3	12,0 °C	S4	22,3 °C	150,0 m³/h	59,71 kPa	183 dn

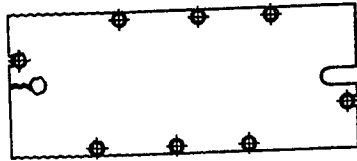
SUPPLIER	REF.	MP NO.	PLATE HEAT EXCHANGER			
AGENT/REF.			<h1>M15-BFM8</h1> <p>PED</p>			QUOTATION
CUSTOMER NAME / REF. NO.						JOMAR-261-2002
SIGN.						RISKCATEGORY
			N/A	2002-10-22	REV No. 0	

## Alfa Laval Plate Heat Exchanger Specification

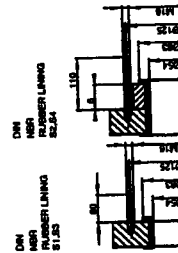
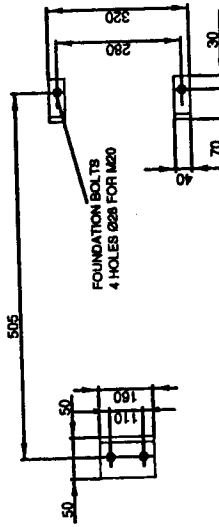
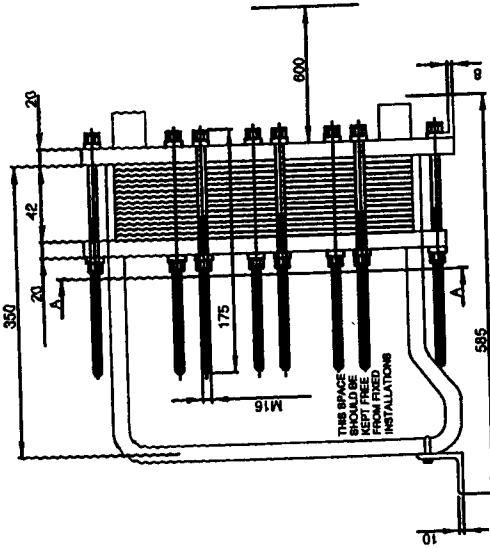
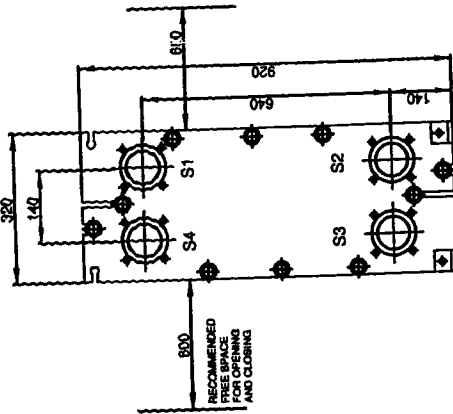
<b>Customer</b>	: PDS PROTEK AS	<b>Model</b>	: M6-MFM
<b>Project:</b>	: JOMAR-261-2002	<b>Date</b>	: 2002-10-22
<b>Item</b>	: VVX3 alt1		
<b>Budsjett pris</b>	: NOK 7 000,-		

		<u>Hot side</u>	<u>Cold side</u>
Fluid		Water	Water
Density	kg/m <sup>3</sup>	977.2	993.9
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.18	4.18
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.662	0.619
Viscosity inlet	cP	0.353	0.940
Viscosity outlet	cP	0.465	0.652
Volume flow rate	m <sup>3</sup> /h	<u>13.30</u>	15.00
Inlet temperature	°C	80.0	22.9
Outlet temperature	°C	60.0	40.2
Pressure drop	kPa	44.1	43.9
Heat exchanged	kW	300.0	
L.M.T.D.	K	38.4	
O.H.T.C clean conditions	W/(m <sup>2</sup> *K)	6419	
O.H.T.C service	W/(m <sup>2</sup> *K)	5584	
Heat transfer area	m <sup>2</sup>	1.4	
Fouling resistance * 10000	m <sup>2</sup> *K/W	0.23	
Duty margin	%	15.0	
Rel. directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		12	
Effective plates		10	
Number of passes		1	1
Extension capacity		9	
Plate material / thickness		AISI 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB CLIP-ON	NBRB CLIP-ON
Connection material		Rubber NBR	Rubber NBR
Connection diameter	mm	50	50
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED	
Flange rating		DIN	
Design pressure	barg	8.0	8.0
Test pressure	barg	10.4	10.4
Design temperature	°C	85.0/60.0	85.0/20.0
Overall length x width x height	mm	585 x 320 x 920	
Liquid volume	dm <sup>3</sup>	2.1	2.6
Net weight, empty / operating	kg	94.8 / 99.5	
Packed weight ( BOX )	kg	115	
volume	m <sup>3</sup>	0.3	
length x width x height	mm	960 x 420 x 680	

PRESSURE PLATE  
(MOVABLE)  
SECTION A-A



FRAME PLATE  
(FIXED)



REMARKS:

	SIDE1	SIDE2
TEST PRESSURE	10,4 barg	10,4 barg
DESIGN PRESSURE	8 barg	8 barg
MAX TEMPERATURE	85 °C	85 °C
MIN TEMPERATURE	60 °C	20 °C
NETWEIGHT	95 kg	
OPERATING WEIGHT	99 kg	

GASKET  
NBRB CLIP-ON  
PLATE MATERIAL  
AISI 316  
PLATE THICKNESS  
0.50 mm  
HEATING SURFACE  
1,4 m<sup>2</sup>  
PLATE GROUPING  
1\*5L/1\*6L

TOTAL LENGTH 585  
TOTAL WIDTH 320  
TOTAL HEIGHT 920

FLOW RATE 13.30 m<sup>3</sup>/h  
15.00 m<sup>3</sup>/h

TEMP. 60.0 °C  
40.2 °C

OUTLET S2  
S4

TEMP. 80.0 °C  
22.9 °C

INLET S1  
S3

F.D.G. 0  
0

MEDIA Water  
Water

PRESSURE DROP 44.07 kPa  
43.94 kPa

LIQUID 2,15 dl  
2,58 dl

SUPPLIER	REF.	IMP NO.
AGENT/REF. ALFA LAVAL AS		
CUSTOMER NAME / REF. NO. PDS PROTEK AS		
SIGN.		RISKCATEGORY N/A

PLATE HEAT EXCHANGER  
**M6-MFM**  
PED

**ALFA LAVAL**

QUOTATION  
JOMAR-261-2002

DATE 2002-10-22 REV No. 0



## Matlab programmkoden: VVX1.m

```

Sp=0.0010285; %Areal strømning
Sh=0.0010285;
A=0.85; %Areal pr lengdeenhet
h=4366; %Varmeovergangstall
Cp=4200; %Spesifikk varmekapasitet
Ch=4200;
rho=1000; %Tetthet
rho=1000;
Tp0=11; %Temp produkt ved tiden 0
ThN=11; %Temp hetemedium i element N
Thinn0=17; %Inn temp hetemedium ved tiden 0
Tpinn0=11; %Inn temp produkt ved tiden 0
L=623; %Lengde i meter
N=20; %Antall element
antall_elem=N;
Delta_z=L/N;
tidmaks=40; %Sample tid
samp_int=0.1; %Sample intervall
t=[0:samp_int:tidmaks]';
antall_samp=length(t);
Tp=zeros(antall_samp,antall_elem)+Tp0;
Th=zeros(antall_samp,antall_elem)+ThN;
dotTp=zeros(antall_samp,antall_elem);
dotTh=zeros(antall_samp,antall_elem);
Tpinn=zeros(antall_samp,1)+Tpinn0;
Thinn=zeros(antall_samp,1)+Thinn0;
qp0=0.25; %Strømning produkt
qh0=0.25; %Strømning hetemedium
qp=zeros(antall_samp,1)+qp0;
qh=zeros(antall_samp,1)+qh0;
konst1=Sp*Delta_z;
konst2=Sh*Delta_z;
konst3=h*A/(Cp*rhop*Sp);
konst4=h*A/(Ch*rhoh*Sh);
for k=2:antall_samp
    n=1;
    dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tpinn(k-1,1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
    dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Th(k-1,n+1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    for n=2:antall_elem-1
        dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tp(k-1,n-1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
        dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Th(k-1,n+1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    end;
    n=N;
    dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tp(k-1,n-1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
    dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Thinn(k-1,1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    Tp(k,:)=Tp(k-1,:)+samp_int*dotTp(k,:);
    Th(k,:)=Th(k-1,:)+samp_int*dotTh(k,:);
end;
figure(1);
%plot(t,[Tp(:,N) Th(:,N)]);
plot(t,Tp)
xlabel('Tid [sek]')
ylabel('[grader C]')

```

## Matlab programmkoden: VVX2.m

```

Sp=0.00069;
Sh=0.00069;
A=0.55;
h=5000;
Cp=4200;
Ch=4200;
rhop=1000;
rhoh=1000;
Tp0=10;
ThN=10;
Thinn0=25;
Tpinn0=10;
L=264.9;
N=20;
antall_elem=N;
Delta_z=L/N;
tidmaks=40;
samp_int=0.1;
t=[0:samp_int:tidmaks]';
antall_samp=length(t);
Tp=zeros(antall_samp,antall_elem)+Tp0;
Th=zeros(antall_samp,antall_elem)+ThN;
dotTp=zeros(antall_samp,antall_elem);
dotTh=zeros(antall_samp,antall_elem);
Tpinn=zeros(antall_samp,1)+Tpinn0;
Thinn=zeros(antall_samp,1)+Thinn0;
qp0=0.04166;
qh0=0.04166;
qp=zeros(antall_samp,1)+qp0;
qh=zeros(antall_samp,1)+qh0;
konst1=Sp*Delta_z;
konst2=Sh*Delta_z;
konst3=h*A/(Cp*rhop*Sp);
konst4=h*A/(Ch*rhoh*Sh);
for k=2:antall_samp
    n=1;
    dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tpinn(k-1,1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
    dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Th(k-1,n+1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    for n=2:antall_elem-1
        dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tp(k-1,n-1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
        dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Th(k-1,n+1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    end;
    n=N;
    dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tp(k-1,n-1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
    dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Thinn(k-1,1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    Tp(k,:)=Tp(k-1,:)+samp_int*dotTp(k,:);
    Th(k,:)=Th(k-1,:)+samp_int*dotTh(k,:);
end;
figure(1);
%plot(t,[Tp(:,N) Th(:,N)]);
plot(t,Tp)
xlabel('Tid [sek]')
ylabel('[grader C]')

```

## Matlab programmkoden: VVX3.m

```

Sp=0.00042;
Sh=0.00042;
A=0.28;
h=6400;
Cp=4200;
Ch=4200;
rhop=1000;
rhoh=1000;
Tp0=22.3;
ThN=22.3;
Thinn0=80;
Tpinn0=22.3;
L=5;
N=20;
antall_elem=N;
Delta_z=L/N;
tidmaks=4;
samp_int=0.01;
t=[0:samp_int:tidmaks]';
antall_samp=length(t);
Tp=zeros(antall_samp,antall_elem)+Tp0;
Th=zeros(antall_samp,antall_elem)+ThN;
dotTp=zeros(antall_samp,antall_elem);
dotTh=zeros(antall_samp,antall_elem);
Tpinn=zeros(antall_samp,1)+Tpinn0;
Thinn=zeros(antall_samp,1)+Thinn0;
qp0=0.004166;
qh0=0.003694;
qp=zeros(antall_samp,1)+qp0;
qh=zeros(antall_samp,1)+qh0;
konst1=Sp*Delta_z;
konst2=Sh*Delta_z;
konst3=h*A/(Cp*rhop*Sp);
konst4=h*A/(Ch*rhoh*Sh);
for k=2:antall_samp
    n=1;
    dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tpinn(k-1,1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
    dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Th(k-1,n+1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    for n=2:antall_elem-1
        dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tp(k-1,n-1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
        dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Th(k-1,n+1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    end;
    n=N;
    dotTp(k,n)=(qp(k,1)/konst1)*(Tp(k-1,n-1)-Tp(k-1,n))+konst3*(Th(k-1,n)-Tp(k-1,n));
    dotTh(k,n)=(qh(k,1)/konst2)*(Thinn(k-1,1)-Th(k-1,n))+konst4*(Tp(k-1,n)-Th(k-1,n));
    Tp(k,:)=Tp(k-1,:)+samp_int*dotTp(k,:);
    Th(k,:)=Th(k-1,:)+samp_int*dotTh(k,:);
end;
figure(1);
%plot(t,[Tp(:,N) Th(:,N)]);
plot(t,Tp)
xlabel('Tid [sek]')
ylabel('[grader C]')

```

## Matlab programmkoden: Anlegget.m

```

qp=0.4575;           %Ønsket strømning          SETTES!
Tput=13;             %Ønsket temperatur          SETTES!
Tpinn=11;           %Temperatur inn, hentes i tabell SETTES!
Tp01=Tpinn;         %Tpinn på VVX1
ThN1=Tpinn;
Tpinn01=Tpinn;

Thinn01=Tput-1;     %Returvannet hentes, minus tapet SETTES!

qp01=0;             %Setter startbetingelser
qp02=0;
qp03=0;
qpd1=qp;
qpd2=0;
qpd3=0;
qp01max=0.25;       %Setter max verdier for strømningene
qp02max=0.041667;
qp03max=0.0041667;
P3=0;
a=1;
b(a,1)=a;           %Def matrise for effektilpassning
Pt(a,1)=0;

P=qp*4170*(Tput-Tpinn); % Regner ut totalt EFFEKT BEHOV

if (qp > qp01max)   %Fordeler strømningen gjennom VVX1, og setter strømningen på returnvannet
    qp01=qp01max;
    qh01=qp01max;
else
    qp01=qp;
    qh01=qp;
end;

qpd1=qp-qp01;      %Fordeler strømning

%Simulering av VVX1:

Sp1=0.0010285;     %Data om VVX1:..
Sh1=0.0010285;
A1=0.85;
h1=4366;
Cp1=4200;
Ch1=4200;
rhop1=1000;
rhoh1=1000;
L1=623;
N1=20;
antall_elem1=N1;
Delta_z1=L1/N1;
tidmaks1=40;
samp_int1=0.1;
t1=[0:samp_int1:tidmaks1]';
antall_samp1=length(t1);
Tp1=zeros(antall_samp1,antall_elem1)+Tp01;
Th1=zeros(antall_samp1,antall_elem1)+ThN1;
dotTp1=zeros(antall_samp1,antall_elem1);
dotTh1=zeros(antall_samp1,antall_elem1);

```

```

Tpinn1=zeros(antall_samp1,1)+Tpinn01;
Thinn1=zeros(antall_samp1,1)+Thinn01;

qp1=zeros(antall_samp1,1)+qp01;
qh1=zeros(antall_samp1,1)+qh01;
konst11=Sp1*Delta_z1;
konst21=Sh1*Delta_z1;
konst31=h1*A1/(Cp1*rhop1*Sp1);
konst41=h1*A1/(Ch1*rhoh1*Sh1);
for k=2:antall_samp1
    n=1;
    dotTp1(k,n)=(qp1(k,1)/konst11)*(Tpinn1(k-1,1)-Tp1(k-1,n))+konst31*(Th1(k-1,n)-Tp1(k-1,n));
    dotTh1(k,n)=(qh1(k,1)/konst21)*(Th1(k-1,n+1)-Th1(k-1,n))+konst41*(Tp1(k-1,n)-Th1(k-1,n));
    for n=2:antall_elem1-1
        dotTp1(k,n)=(qp1(k,1)/konst11)*(Tp1(k-1,n-1)-Tp1(k-1,n))+konst31*(Th1(k-1,n)-Tp1(k-1,n));
        dotTh1(k,n)=(qh1(k,1)/konst21)*(Th1(k-1,n+1)-Th1(k-1,n))+konst41*(Tp1(k-1,n)-Th1(k-1,n));
    end;
    n=N1;
    dotTp1(k,n)=(qp1(k,1)/konst11)*(Tp1(k-1,n-1)-Tp1(k-1,n))+konst31*(Th1(k-1,n)-Tp1(k-1,n));
    dotTh1(k,n)=(qh1(k,1)/konst21)*(Th1(k-1,n+1)-Th1(k-1,n))+konst41*(Tp1(k-1,n)-Th1(k-1,n));
    Tp1(k,:)=Tp1(k-1,:)+samp_int1*dotTp1(k,:);
    Th1(k,:)=Th1(k-1,:)+samp_int1*dotTh1(k,:);
end;

Tpu1=Tp1(401,20) %Leser stasjonær verdi av Tp ut fra VVX1

P1=qp01*4170*(Tpu1-Tpinn); %Regner ut tilgjengelig effekt i VVX1

a=2;
Pt(a,1)=P1;
b(a,1)=a;

P2=5000;

if (qp01 > qp02max) %Fordeler strømmingen gjennom VVX2
    qp02=qp02max;
else
    qp02=qp01;
end;

while (P2 > (P-P1)) %Tester om effekten fra VVX2 er større enn behovet

    Tp02=Tpu1; %Setter Tp fra VVX1 inn på VVX2
    ThN2=Tpu1;
    Tpinn02=Tpu1;

    %Simulering av VVX2:

    Sp2=0.00069; %Data om VVX2:...
    Sh2=0.00069;
    A2=0.55;
    h2=5000;
    Cp2=4200;
    Ch2=4200;
    rhop2=1000;
    rhoh2=1000;

    Thinn02=25; %Setter Temperatur på spillvarmen fra Eramet

```

```

L2=264.9;
N2=20;
antall_elem2=N2;
Delta_z2=L2/N2;
tidmaks2=60;
samp_int2=0.1;
t2=[0:samp_int2:tidmaks2]';
antall_samp2=length(t2);
Tp2=zeros(antall_samp2,antall_elem2)+Tp02;
Th2=zeros(antall_samp2,antall_elem2)+ThN2;
dotTp2=zeros(antall_samp2,antall_elem2);
dotTh2=zeros(antall_samp2,antall_elem2);
Tpinn2=zeros(antall_samp2,1)+Tpinn02;
Thinn2=zeros(antall_samp2,1)+Thinn02;

qh02=0.04166; %Setter Strømning på spillvarmen fra Eramet

qp2=zeros(antall_samp2,1)+qp02;
qh2=zeros(antall_samp2,1)+qh02;
konst12=Sp2*Delta_z2;
konst22=Sh2*Delta_z2;
konst32=h2*A2/(Cp2*rhop2*Sp2);
konst42=h2*A2/(Ch2*rhoh2*Sh2);
for k=2:antall_samp2
    n=1;
    dotTp2(k,n)=(qp2(k,1)/konst12)*(Tpinn2(k-1,1)-Tp2(k-1,n))+konst32*(Th2(k-1,n)-Tp2(k-1,n));
    dotTh2(k,n)=(qh2(k,1)/konst22)*(Th2(k-1,n+1)-Th2(k-1,n))+konst42*(Tp2(k-1,n)-Th2(k-1,n));
    for n=2:antall_elem2-1
        dotTp2(k,n)=(qp2(k,1)/konst12)*(Tp2(k-1,n-1)-Tp2(k-1,n))+konst32*(Th2(k-1,n)-Tp2(k-1,n));
        dotTh2(k,n)=(qh2(k,1)/konst22)*(Th2(k-1,n+1)-Th2(k-1,n))+konst42*(Tp2(k-1,n)-Th2(k-1,n));
    end;
    n=N2;
    dotTp2(k,n)=(qp2(k,1)/konst12)*(Tp2(k-1,n-1)-Tp2(k-1,n))+konst32*(Th2(k-1,n)-Tp2(k-1,n));
    dotTh2(k,n)=(qp2(k,1)/konst22)*(Thinn2(k-1,1)-Th2(k-1,n))+konst42*(Tp2(k-1,n)-Th2(k-1,n));
    Tp2(k,:)=Tp2(k-1,:)+samp_int2*dotTp2(k,:);
    Th2(k,:)=Th2(k-1,:)+samp_int2*dotTh2(k,:);
end;

Tpu2=Tp2(601,20) %Leser ut Tp fra VVX2

P2=qp02*4170*(Tpu2-Tpu1); %Regner ut tilgjengelig effekt i VVX2

a=a+1;
Pt(a,1)=(P2+P1);
b(a,1)=a;

qp02=qp02-0.0004166; %Reduser qp02 med 1% og sjekker while betingelsen

end;

qp02=qp02+0.0004166; %Øker qp02 med 1%
qp02=qp01-qp02; %Fordeler strømning..

if ((P-50)>(P1+P2)) %Sjekker om det er nok effekt tilgjengelig

    P3=4000;

    if (qp02 > qp03max) %Fordeler strømmingen gjennom VVX3
        qp03=qp03max;
    end;
end;

```

```

else
    qp03=qp02;
end;

while (P3 > (P-P1-P2)) %Tester om effekten fra VVX3 er større enn behovet

Tp03=TPu2; %Setter Tp fra VVX2 inn på VVX3
ThN3=TPu2;
Tpinn03=TPu2;

%Simulerer VVX3:

Sp3=0.00042; %Data om VVX3...
Sh3=0.00042;
A3=0.28;
h3=6400;
Cp3=4200;
Ch3=4200;
rhop3=1000;
rhoh3=1000;

Thinn03=80; %Setter Temperatur på vannet fra varmesentralen

L3=5;
N3=20;
antall_elem3=N3;
Delta_z3=L3/N3;
tidmaks3=20;
samp_int3=0.01;
t3=[0:samp_int3:tidmaks3]';
antall_samp3=length(t3);
Tp3=zeros(antall_samp3,antall_elem3)+Tp03;
Th3=zeros(antall_samp3,antall_elem3)+ThN3;
dotTp3=zeros(antall_samp3,antall_elem3);
dotTh3=zeros(antall_samp3,antall_elem3);
Tpinn3=zeros(antall_samp3,1)+Tpinn03;
Thinn3=zeros(antall_samp3,1)+Thinn03;

qh03=0.003694; %Setter strømning på vannet fra varmesentralen

qp3=zeros(antall_samp3,1)+qp03;
qh3=zeros(antall_samp3,1)+qh03;
konst13=Sp3*Delta_z3;
konst23=Sh3*Delta_z3;
konst33=h3*A3/(Cp3*rhop3*Sp3);
konst43=h3*A3/(Ch3*rhoh3*Sh3);
for k=2:antall_samp3
    n=1;
    dotTp3(k,n)=(qp3(k,1)/konst13)*(Tpinn3(k-1,1)-Tp3(k-1,n))+konst33*(Th3(k-1,n)-Tp3(k-1,n));
    dotTh3(k,n)=(qh3(k,1)/konst23)*(Th3(k-1,n+1)-Th3(k-1,n))+konst43*(Tp3(k-1,n)-Th3(k-1,n));
    for n=2:antall_elem3-1
        dotTp3(k,n)=(qp3(k,1)/konst13)*(Tp3(k-1,n-1)-Tp3(k-1,n))+konst33*(Th3(k-1,n)-Tp3(k-1,n));
        dotTh3(k,n)=(qh3(k,1)/konst23)*(Th3(k-1,n+1)-Th3(k-1,n))+konst43*(Tp3(k-1,n)-Th3(k-1,n));
    end;
    n=N3;
    dotTp3(k,n)=(qp3(k,1)/konst13)*(Tp3(k-1,n-1)-Tp3(k-1,n))+konst33*(Th3(k-1,n)-Tp3(k-1,n));
    dotTh3(k,n)=(qp3(k,1)/konst23)*(Thinn3(k-1,1)-Th3(k-1,n))+konst43*(Tp3(k-1,n)-Th3(k-1,n));
    Tp3(k,:)=Tp3(k-1,:)+samp_int3*dotTp3(k,:);
    Th3(k,:)=Th3(k-1,:)+samp_int3*dotTh3(k,:);
end;

```

```

Tpu3=Tp3(1001,20) %Leser ut Tp fra VVX3

P3=qp03*4170*(Tpu3-Tpu2); %Regner ut tilgjengelig effekt i VVX3

a=a+1;
Pt(a,1)=(P3+P2+P1);
b(a,1)=a;

qp03=qp03-0.00004166; %Reduserer qp03 med 1% og tester while betingelsen

end;

qp03=qp03+0.00004166; %Øker qp03 med 1%..
qpd3=qp02-qp03; %Fordeler strømning..
Tptot=((qpd1*Tpinn)+(qpd2*Tpu1)+(qpd3*Tpu2)+(qp03*Tpu3))/qp; %Regner ut blandingens
temperatur

else
    qpd3=qp02-qp03; %Fordeler strømning
    Tptot=((qpd1*Tpinn)+(qpd2*Tpu1)+(qpd3*Tpu2))/qp; %Regner ut blandingens
temperatur nå VVX3 er utkoblet
end;

Tptot %Skriver ut temperatur, effekt og strømninger til skjerm
P
P1
P2
P3
qp01
qp02
qp03

figure(1); %Plotter forløpet til VVX1
plot(t1,Tp1)
xlabel('Tid [sek]')
ylabel('[grader C]')

figure(2); %Plotter forløpet til VVX2
plot(t2,Tp2)
xlabel('Tid [sek]')
ylabel('[grader C]')

if (qp03 > 0) %Plotter forløpet til VVX3 viss den er innkoblet
    figure(3);
    plot(t3,Tp3)
    xlabel('Tid [sek]')
    ylabel('[grader C]')

end;

Po=P*ones(length(b),1);
Pp=[Pt Po];

figure(4); %Plotter effektilpassningen
plot(b,Pp)

end

```



Måned	Antall smolt	Biomasse 0 åring	BM 1 åring 1. år	BM 1 åring 2. år	Biomasse [kg]	Vannmengde	Volumbehov
Januar	1600000	1000	300	21900	23200	6960	928
Februar	1600000	2000	600	23100	25700	7710	1028
Mars	1600000	3000	900	24300	28200	8460	1128
April	1600000	5000	1500	25500	32000	9600	1280
Mai	1600000	15000	4500	27000	46500	13950	1860
Juni	1300000	40000	10500		50500	15150	2020
Juli	1300000	65000	15000		80000	24000	3200
August	1300000	75000	16500		91500	27450	3660
September	1300000	80000	18000		98000	29400	3920
Oktober	300000		18900		18900	5670	756
November	300000		19800		19800	5940	792
Desember	1600000	1000	21000		22000	6600	880

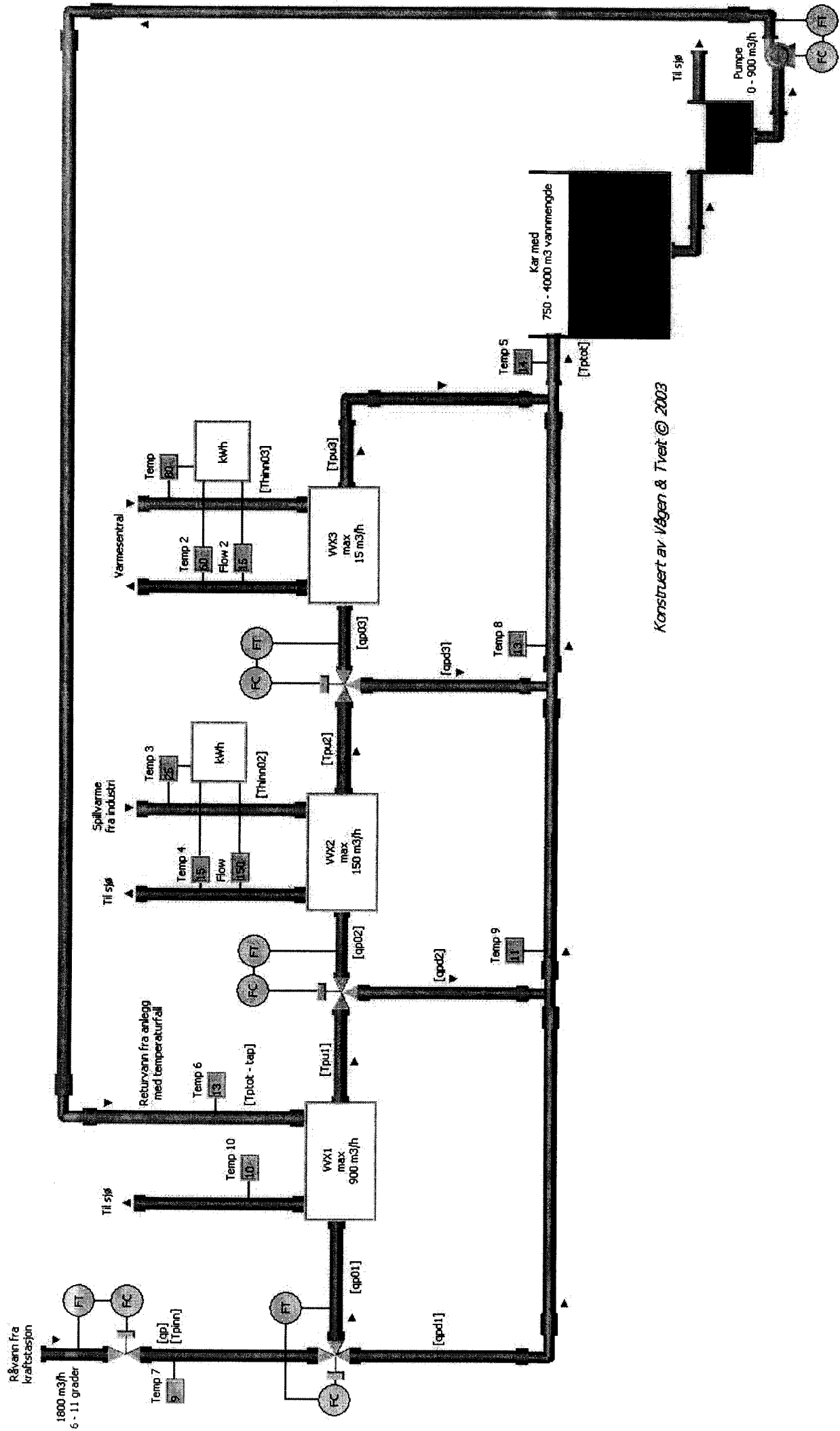
Måned	Nyinnsetting	Salg 1 åring	Salg 0 åring
Januar			
Februar			
Mars			
April			
Mai		300000	
Juni			
Juli			
August			
September			1000000
Oktober			
November			
Desember	1300000		

Måned	Råvanns-temp	Ønsket Temperatur	Temp diff	Vannmengd [m3/s]	Effekt behov [kW]
Januar	6	7	1	0,116	484
Februar	6	7	1	0,1285	536
Mars	7	12	5	0,141	2940
April	7	14	7	0,16	4670
Mai	9	14	5	0,2325	4848
Juni	10	15	5	0,2525	5265
Juli	11	17	6	0,4	10008
August	11	16	5	0,4575	9539
September	10	13	3	0,49	6130
Oktober	7	7	0	0,0945	0
November	6	6	0	0,099	0
Desember	6	6	0	0,11	0
	Snitt:				
	8				

Måned	Ønsket Temperatur	Normal temp Sauda	Diff V/L	Estimert temp tap	Kommentar
Januar	7	-2	9	1	
Februar	7	-1,7	8,7	1	
Mars	12	1,4	10,6	1	
April	14	4,8	9,2	1	
Mai	14	10,2	3,8	0,5	
Juni	15	13,7	1,3	0,2	
Juli	17	14,9	2,1	0	Normaltemp > Oppnådd
August	16	14,2	1,8	0	Normaltemp > Oppnådd
September	13	10,6	2,4	0,2	Oppnådd < Ønsket
Oktober	7	7,1	-0,1	0	
November	6	2,2	3,8	0,5	
Desember	6	-0,7	6,7	1	

Måned	Effekt behov [kW]	Effekt i VVX1	Effekt i VVX2	Effekt i VVX3	Oppnådd effekt	Differanse	Oppnådd temp	Avvik fra ønsket
Januar	484	0	463	0	463	-21	6,96	-0,04
Februar	536	0	529	0	529	-7	6,99	-0,01
Mars	2940	1800	1127	0	2927	-13	11,98	-0,02
April	4670	2986	1681	0	4667	-3	13,99	-0,01
Mai	4848	2963	1743	140	4846	-1	14,00	0,00
Juni	5265	3327	1590	327	5244	-21	14,98	-0,02
Juli	10008	1455	1697	328	3480	-6528	13,08	-3,92
August	9539	1178	1733	328	3239	-6300	12,69	-3,31
September	6130	866	1908	330	3104	-3026	11,52	-1,48
Oktober	0				0	0	7,00	0,00
November	0				0	0	6,00	0,00
Desember	0				0	0	6,00	0,00

	Strømninger i smoltanlegget [m <sup>3</sup> /s]							
	qp	qp01	qpd1	qp02	qpd2	qp03	qpd3	qp
Januar	0,11600	0,11600	0,00000	0,00580	0,11020	0,00000	0,00580	0,11600
Februar	0,12850	0,12850	0,00000	0,00670	0,12180	0,00000	0,00670	0,12850
Mars	0,14100	0,14100	0,00000	0,01830	0,12270	0,00000	0,01830	0,14100
April	0,16000	0,16000	0,00000	0,03540	0,12460	0,00000	0,03540	0,16000
Mai	0,23250	0,23250	0,00000	0,04167	0,19083	0,00063	0,04104	0,23250
Juni	0,25250	0,25000	0,00250	0,04167	0,20833	0,00417	0,03750	0,25250
Juli	0,40000	0,25000	0,15000	0,04167	0,20833	0,00417	0,03750	0,40000
August	0,45750	0,25000	0,20750	0,04167	0,20833	0,00417	0,03750	0,45750
September	0,49000	0,25000	0,24000	0,04167	0,20833	0,00417	0,03750	0,49000
Oktober	0,09450	0,00000	0,09450	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,09450
November	0,09900	0,00000	0,09900	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,09900
Desember	0,11000	0,00000	0,11000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,11000



Konstruert av Vågen & Tveit © 2003

