

Høgskolen i Gjøviks rapportserie, 2010 nr. 2

Solør Bioenergi CHP anlegg Kirkenær 2009

Magnar Eikerol



Høgskolen i Gjøvik
2010

ISSN: 1890-520X

ISBN: 978-82- 91313-34-4

Innhold

Innhold	2
Energibruk og energibalanser ved et CHP anlegg basert på biobrensel. Solør Bioenergi.....	3
Forord	3
Sybolliste, formelverk.....	4
Sammendrag og konklusjoner.....	5
Metode	5
Totale energi- og brenselbalanser.....	6
CCA- og kreosot impregnerte materialer som brensel.	10
Avfallsbehandling og deklarererig	11
Forbrenningsanlegget	11
Røykgass utslipptillatelser	15
Vannbehandling	19
Turbin	23
Fjernvarmenettet	24
Daglig drift	24
Driftsutfordringer	25
Oppsummering.....	27
Vedlegg.....	28
Referanser	31

Energibruk og energibalanser ved et CHP anlegg basert på biobrensel. Solør Bioenergi

Erfaringer fra ett års drift.

Forord

CHP (Combined Heat and Power) anlegget til Solør Bioenergi ble startet på våren 2007 og undertegnede fikk lov til å besøke anlegget som første forsker på høsten 2009. Hensikten med dagene hos Solør Bioenergi var å finne ut hvordan et slikt anlegg fungerer (lære selv) og hvor mange driftsutfordringer det er med å være førstemann i Norge som drifter et biobrensefyrt Kraft- varme anlegg (CHP). Biobrenset er også spesielt, i og med at det er kreosot- og CCA (Kobber, krom og arsen) impregnerte produkter som forbrennes. Dette er å betrakte som spesialavfall og det er derfor underlagt strenge prosedyrer for hvordan flyveaske, aske og annet vann som har vært i kontakt med asken, skal behandles. Solør Bioenergi as sitt CHP anlegg er på 10 MW, hvorav 2 MW er elektrisk produksjon, mens de resterende 8 MW er varmt vann til kunder i nærområdet. Elektrisiteten leverer man til Eidsiva Energi sitt nett.

På den korte uken jeg var der, hadde jeg veldig hyggelige læremestre ved navn Tormod Hynne, Bjarne Taihaugen og Øyvind Bjerke som hadde masse grunnlagsdata liggende allerede. Tusen takk for at jeg fikk komme.

Magnar Eikerol

1.amanuensis

Høgskolen i Gjøvik

Symbolliste, formelverk

f_r = fuktighet av totalvekt i trevirke, kan være i prosent eller andel

m = masse (kg), m_t = masse tørrvekt. $m_{r\grave{a}}$ = masse råvekt.

$$f_r = (m_{r\grave{a}} - m_t) / m_{r\grave{a}}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

$$1000 \text{ kWh} = 1 \text{ MWh}$$

H_e = effektiv brennverdi, H_n = nedre brennverdi og r er fordampningsvarme for vann.

$H_e = H_n - (H_n + r) * f_r$ her er f_r et tall i mellom 0 og 1- altså ikke i prosent.

Q = energimengde (kWh eller MWh)

P = effekt watt = J/s eller kWh/h

λ = Luftoverskuddstall

V = volum av luft og røykgass

$V_l = \lambda * v_{l \text{ minimum}} * (1 - f_r)$ Dette er luftmengden med rå ved pr kg.

$$V_{rg} = (v_{rf \text{ minimum}} + (\lambda - 1) * v_{l \text{ minimum}}) * (1 - f_r) + f_r / 1,25$$

Ligningens siste ledd utgjør vandampvolumet på grunn av brenselets fuktighetsinnhold.

Sammendrag og konklusjoner

CHP anlegget til Solør Bioenergi er landets første som fyrer med biobrensel. Det har en kapasitet på 10 MW hvorav 2 MW er elektrisitet. For de 13 månedene man hadde tilgjengelige tall for så har man en kjelvirkningsgrad på snau 80 %. Årsvirkningsgraden er ca. 25 %, hvorav elkraft produksjonen er på ca. 14 % av innfyrte biobrensel, mens fjernvarme har 11 %. Disse tall er beheftet med usikkerhet i og med at man fram til 1. august 2009 baserte seg på volumregistrering av flis, istedenfor vekt.

Brenselet inneholder mye forurensninger som er en utfordring for ovnen. Det har i perioden vært to stopp på grunn av ristetteding og luftblokkering i samband med de bevegelige ovnsristene.

Askesiloen er ikke i orden og lager ekstraarbeid for operatørene med tømning av sveveaske i store poser 3 -4 ganger daglig. Hver pose veier ca 600 kg hvor av ca 400 kg er sveveaske med sine forurensninger. Resten er kalk og kull fra røykgassbinding. Konteinere med 15-20 m³ aske blir levert hver uke til deponi på Langøya, sammen med sveveasken og vann fra spillvannstanken. Askeanalyser etter røykgassrensing viser at anlegget leverer innenfor de gitte tillatelser.

Det brukes opptil 6 m³ vann inn til matevannstanken hver dag. Det betyr at rensing av varmevekslerene og rensing av se-glassene samt forbruket av vann fra de forskjellige målesteder er stort med et dertil stort forbruk av kjemikalier. Hele dampproduksjonsanlegget tar 20 m³ med vann.

Regulering av forbrenningen skjer automatisk for en stor del, mens det ved høyt CO innhold, det vil si redusert O₂ innhold, så kommer pådraget via sekundærviften. Man vet imidlertid ikke hvilket spjeld økningen burde komme igjennom. Dette krever operatørerfaring.

Metode

Metoden som er benyttet for denne rapport er bedriftsbesøk på Kirkenær over 4 dager for å lære den daglige rutine ved et biobrenselfyrt CHP anlegg, samt å innhente datagrunnlag fra dagrapporter for flismengder, fuktighet i brenselet og andre faktorer for å beregne energiforbruk og energibalanser ved hjelp av disse. Dette er gjort fordi Solør Bioenergi er den første og eneste som har et anlegg som produserer damp og produserer elektrisk kraft på grunnlag av biobrensel. Høgskolens behov for å vite hvordan er slik anlegg fungerer i hverdagen er av stor nytte, når man skal undervise eller forske innen utnytting av biomasse til energiformål.

Totale energi- og brenselbalanser

Fra 1.september 2008 til og med 30.september 2009 har det blitt forbrukt i perioden 28302 tonn med brensel. Tidligere ble det benyttet vekt på noen billass. Vekten på kjøretøyet er kjent. Til å begynne med, så ble all flis inn i ovnen anslått med volum, og hver skuffe tok ca. 11 lm³. Ut ifra disse tall og enkelte veiinger av hjullaster med flis, så er vekten pr netto skuffe beregnet. Underveis har det vært noen korrigeringer med hensyn til både brennverdi og vekten pr lm³. Dette har medført at det ikke er noen gode sammenlagte tall for innfyrt energimengde i denne perioden. I dag veies automatisk all flis som kjøres inn i flissiloen. Se bilde 1 og 2.



Bilde 1 og 2. Hver skuff tar ca.11 lm³ og veier i dette tilfelle 2.75 tonn(Solør Bioenergi CHP)

Dette gjør at beregningene for energi innhold blir mer konsistente for ettertiden.

DESTRUKSJON AV IMPREGNERT TRE. 2008 SAMMENDRAG

Måned:	m3 Inn i dagsilo	Antall drifts- døgn	% fuktighet	Tonn/m3	Tonn forbrent	Tonn forbrent pr. døgn	Mottatt tre i samme periode Råvekt Tonn
Januar	4096,5	28	43,98	0,2499	1023,767	36,563	1943,63
Februar	3133,5	29	36,49	0,2204	690,700	23,817	2019,66
Mars	7372,0	31	40,21	0,2341	1726,140	55,682	1613,74
April	5737	25	42,36	0,2449	1404,930	56,197	2805,26
Mai	7448	24	35,21	0,2161	1609,369	67,057	2187,75
Juni	8272	30	31,49	0,2043	1690,371	56,346	3033,22
Juli	7941	31	28,31	0,2009	1595,059	51,454	2070,04
August	0	0	0,00	0,0000	0,000	0,000	2971,44
September	8813	27	27,93	0,1998	1760,87	65,218	2940,92
Oktober	11336	31	33,17	0,21548	2442,68	78,796	3558,87
November	10488	30	36,64	0,22620	2372,42	79,081	1906,69
Desember	9078	25	40,36	0,2414467	2191,85	87,674	1307,35

Sum for 2008	83715	311	0,22305468	18508,164	28 358,57
--------------	-------	-----	------------	-----------	-----------

Sum driftstimer hittil i år:	311	24	7464 timer
------------------------------	-----	----	------------



Bilde 3 og 4. Ferdig knust flis til flislager og dagsilo til fyren

DESTRUKSJON AV IMPREGNERT TRE.

2009
SAMMENDRAG

Måned:	m3 Inn i dagsilo	Antall drifts- døgn	% fuktighet	Tonn/m3	Tonn forbrent	Tonn forbrent pr. døgn	Mottatt tre i samme periode Råvekt Tonn
Januar	11404	31	38,58	0,2345	2673,67	86,247	1418,38
Februar	9809	28	38,05	0,2481	2433,87	86,924	628,67
Mars	10664	31	37,20	0,2408	2567,41	82,820	1099,76
April	10692	30	30,19	0,2166	2315,74	77,191	1142,08
Mai	11341	31	28,05	0,2100	2381,61	76,826	2055,33
Juni	10752	30	25,70	0,2101	2259,49	75,316	2552,3
Juli	4776	23	24,04	0,1989	950,16	41,311	2141,2
August	7 750	21	25,53	0,2030	1573,58	74,932	2520,65
September	11013	30	30,05	0,2160	2378,90	79,297	3296,66
Oktober							
November							
Desember							

Sum for 2009	88201,7254	255		1,9780	19534,43	16 855,03
Økning eller reduksjon av lageret:					-2679,40	

Sum driftstimer hittil i år:	255	24	6120	timer
------------------------------	-----	----	------	-------

Forbrent flis i tonn er beregnet ut fra fuktighetsmålinger og innkjørt volum. Det er volumet som utgjør en feilkilde. Mottatt tonnasje er utveid hos leverandør. Det er en usikkerhet i innkommet materiale og dens fuktighet. Fradrag kommer i form av skrapmetall, stein og annen feil levert materiale.

I og med at det foreligger tilgjengelig energiproduksjon fra 1. september 2008 til 1. oktober 2009, så blir forbrukt brensel regnet i samme tidsrom. Til sammen 13 måneder.

I dette tidsrommet er det forbrukt 28302.25 tonn med flis med rått trevirke. Dette tilsvarer med veid trefuktighet over samme periode 19040 tørrtonn. Brennverdien for denne type virke er satt til 5472 kWh/tørrtonn, slik at innfyrt energimengde er 104191MWh.(104,191 GWh). Brennverdien for kreosot impregnert flis er noe høyere enn vanlig retur tre (Knut Foss- energirådgiver for treindustrien). Dette er tall som er hentet direkte fra Solør Bioenergi sine rapporter. Disse inneholder også støtte energi fra oljefyr og en annen kjel.

I denne rapport er det bare energi fra CHP anlegget som er beregnet. Brennverdien er for furu i henhold til diverse tabeller satt til å være i mellom 5.2 til 5.35 kWh /kg tørt tre (Sintef: Flis- og varmfyrte sentralvarmeanlegg desember 1981). Fra en rapport om "Energibruk og energibalanser i trelastindustrien – erfaringer fra forsøk ved Trysil-Tre 1982/83", sett sammen med Norsk Treteknisk Institutt sin rapport om Bioenergi, så er det benyttet en blanding av disse formler. I en referanse fra NTNU fra Ivar Ertesvåg(vedlegg som <http>) kan man, når man kjenner trevirkets kjemiske sammensetning, finne øvre og nedre brennverdi.

For **vektmålte** verdier, sammen med fuktighet, benyttes effektiv brennverdi for furu basert på nedre brennverdi lik 19250 kJ/kg (5,347 kWh/kg) minus fordampningsvarmen som er i trevirket, utregnet fra at temperaturen er 0 °C i gjennomsnitt i flisa. (2500/3600= 0,69 kWh/kg). Vi har nå to muligheter for å finne energimengden. Vi kan finne brennverdi for rå flis etter denne formel:

$H_e = H_n - (H_n + r) * f_r$ her er f_r et tall i mellom 0 og 1- altså ikke i prosent.

For den 15. September 2009 har vi innkjørt tonn råflis på 71.05 tonn, fuktigheten av totalvekten er 33.5 %. Hva er energimengden når alt er furu?

$$H_n = 5.347 \text{ kWh/kg}$$

$$r = 2500/3600 = 0.69 \text{ kWh/kg}$$

$$f_r = 0,335 \quad \text{Dette gir } H_e = 5,347 - (5.347 + 0.69)0.335 = 3.323 \text{ kWh/kg rå masse}$$

$$Q = H_e * \text{råvekt} = 3.323 * 71050 = 236.107 \text{ MWh}$$

For samme dato, beregnet på tørrstoff:

$$H_e = H_n - r * (f_r / (1 - f_r)) \quad \text{Med innsatte tall } H_e = 5.347 - 0.69 * (0.335 / (1 - 0,335)) = 5 \text{ kWh/kg tørr masse}$$

Tørrvekt når vi kjenner råvekt er som følger:

$$\text{Tørrvekt} = \text{Råvekt} * (1 - f_r) = 71050(1 - 0,335) = 47248 \text{ kg tørr flis}$$

Energimengden (Q) er da $5 \text{ kWh/kg} * 47248 \text{ kg} = 236,24 \text{ MWh}$. Som man ser, bare man er konsekvent med beregningen for brennverdier og vekt, så blir tallene like. Dette er greit når vekten er registrert, men før august 2009, så ble all flis målt inn i løsm³ med enkelte veiinger med lastebil og fulle lass. Sammenholdt med fuktigheten ble da tørrstoff mengden beregnet og et fast tall for brennverdien ble benyttet (5472 kWh/tørrtonn). Flisen består hovedsakelig av vanlig CCA impregnert furu til 98 %, mens resten er avfallstre og noe kreosot virke. Kreosotvirke kan ha noe høyere brennverdi, mens avfallstre kan også være gran med noe lavere energitetthet. Derfor har det i denne beregningen blitt benyttet furu med dets fastmasseforhold til løsmasse som $0,35 \text{ m}^3/\text{lm}^3$. Basisdensitet for furu er alt i mellom 410 til 510 kg/m^3 . I denne rapport er det benyttet en basisdensitet på 460 kg/m^3 . $(410 + 510)/2 = 460$. Basisdensitet er tørr vekt/rått volum.

Dette betyr at antall lm^3 innkjørt hver dag, bli multiplisert med faktor $0.35 * 460 = 161 \text{ kg tørr vekt}$. Slik er det arbeidet igjennom all informasjon fra 1. september 2008 til 31. Juli 2009. I august 2009 kom vekten inn i hullasteren. Basert på de registrerte tallverdier med lm^3 innkjørt til dagsilo og målt trefuktighet for hver dag, og med de nevnte forutsetninger nevnt overfor, så er innkjørt energimengde tilsvarende 103209 MWh fra 1. September 2008 til 31. september 2009. Produsert energimengde avlest etter generator og kondensator er i samme periode 80216 MWh. Dette gir en kjelvirkningsgrad på 77.6 %. Til sammenligning er tallene fra Solør Bioenergi sine beregninger 104191 MWh. Alle beregninger ligger i vedlegg 1.

Det er i ettertid foretatt en tilbake registrering av lm^3 , sammenlignet med vekten veid i hullaster, og med 468 skuffer a ca 11 lm^3 som veide 1362,4 tonn rå og gjennomsnittsfuktighet på 38,9 % av totalvekt blir registrert vekt lik $161,7 \text{ kg tørr vekt pr } \text{lm}^3$. (Standardavviket er på $10,7 \text{ kg/lm}^3$). Antall registreringer er 25. Dette ser ut til å stemme overens med det tallmateriale som er benyttet tidligere i beregningene.

CCA- og kreosot impregnerte materialer som brensel.



Bilde 5 og 6. Råstoffet til brenselflis av kreosot, litt plastikk og CCA stolper



Bilde 7,8 ,9. Knuseverket er nylig tømt for flis og metall som er sammen med materialene

Kreosot er en fellesbetegnelse for produktene **trekreosot** og **kultjærekreosot**. Trekreosot fremstilles av høytemperaturbehandling av bøk og andre tresorter, eller fra kvae fra kreosotbusken (larrea Tridentata). Benevnelsen kreosot henviser vanligvis til kultjærekreosot. Denne er en EPA-registrert trekonserveringsmiddel. (EPA= Environmental Protection Agency). Det destilleres fra rå koksovnstjære, og består hovedsakelig av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), men inneholder også benzen, fenol og kresoler. Det er kreftfremkallende og kan ved hudkontakt føre til at huden mister evnen til å motstå sollys.

Ved bruk av benevnelsen kreosot, menes som regel kultjærekreosot. Den har vært mye brukt til impregnering av tre, spesielt sviller, men også til telefonstolper og deler av brukonstruksjoner i tre. Det er en tykk oljete væske, gulaktig svart i fargen. (Wikipedia)

CCA impregnering er salter av tungmetaller Krom, Kobber og Arsen. Disse er giftige og gjør jobben sin som trevirkebeskytter i jordkontakt i overskuelig framtid. Imidlertid så er disse stoffene nå forbudt og etter hvert som trevirke som er impregnert med dette stoffet nå kommer tilbake til kretsløpet, så må det destrueres på en forsvarlig måte. I dette tilfelle, forbrenning. Returtre er og en betegnelse på trematerialer som har vært i bruk og som nå skal forbrennes. Disse inneholder også gjerne en eller annen form for overflatebehandling, samt forurensning i form av spiker, betong osv. All kreosotvirke og annet inneholder noe sand og grus som utgjør en stor belastning på ristene i ovnen.

Fra et produktdatablad (Produktdatablad nr. 1 revidert Data: 1999-08-07

Utarbeidet av: FGE/Norsk Treteknisk Institutt så fremkommer det at ” Antennelighet: Noe tyngre enn uimpregnert furu.

Flammepunkt for kreosotolje > 100 °C.

Damp fra kreosotimpregnert tre kan i lukkede, varme rom øke antenneligheten.”

Dette betyr at inne i ovnen kan temperaturen bli høyere enn man forventer dersom man et øyeblikk får veldig mye kreosot virke inn på ristene under ellers like forhold for primærluft og sekundærluft.

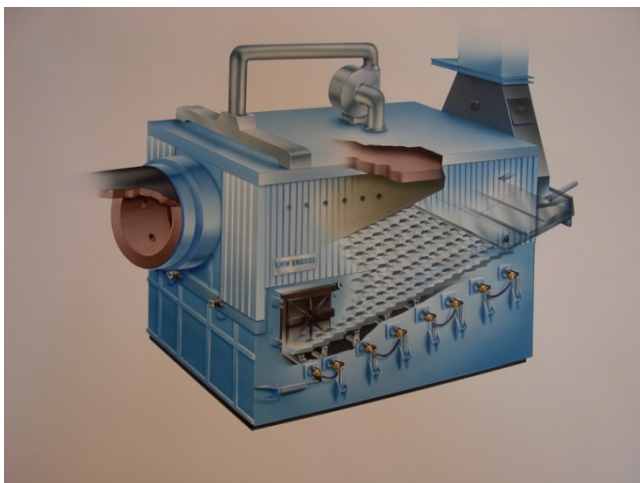
Dette gjør at man må passe på å blande brenselet til dagsilo med litt forskjellig flis, ellers kan man kanskje få reguleringsproblemer med dertil alarm.

Avfallsbehandling og deklarerer

I henhold til forskrift om gjenvinning av avfall (avfallsforskriften) er CCA- og kreosotimpregnert trevirke å regne som farlig avfall på bakgrunn av helse – og miljøfarlige stoffer. Dette betyr at avfallet ikke skal blandes med annet avfall. Det største miljøproblemet med CCA-impregnert trevirke er avfallshåndteringen. Når arsen brennes, dannes arsenikk. Brenning medfører utslipp av arsenikk med røykgassen og det blir arsenikk i asken, som er meget giftig. Slikt avfall skal kun brennes i anlegg med tillatelse til denne type brenning.(Klippet fra Norsas – norsk kompetansesenter for avfall og gjenvinning). Selvfølgelig har Solør Bioenergi de nødvendige tillatelser til slik virksomhet etter forurensingsloven.

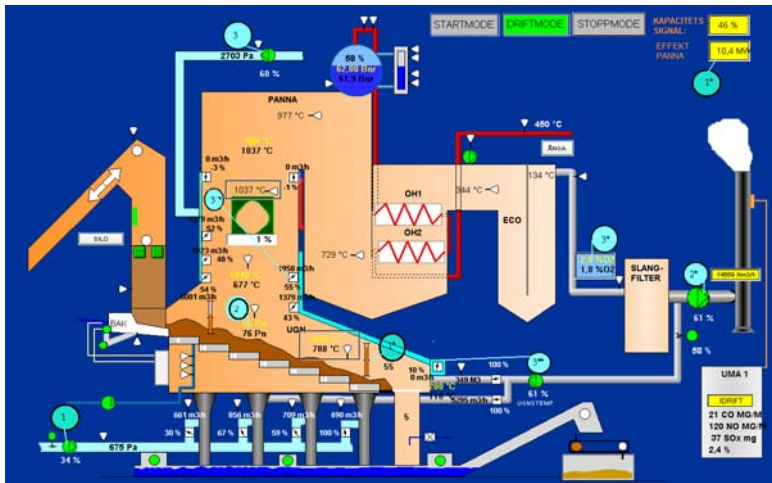
Forbrenningsanlegget

Selve ovnen og kjelanlegget er levert av KMW i Sverige. Dette er en ovn med bevegelige skrårister.



Bilde 10. fra KMW' nettside . Ovn med bevegelig skrårist(Skråvandrerist)

Bilde 11 er tatt fra skjerm til operatørene. Man henviser til dette bildet flere ganger i forbindelse med hvordan det anlegget driftes og hvilke styringsparametre man har å regulere med.



Bilde 11. Skjerm bilde fra Solør Bioenergi CHP anlegg

Fra dagsilo blir brensel skjøvet med hydrauliske stangmatere inn i en skruer som igjen sender brenselet opp i en elevator som vi ser til venstre på bildet. Flisen blir lagret over en sluse. Når den åpner så faller flis ned i rommet før ovnen og blir derfra skjøvet inn øverst i ovnen med hydraulisk hjelp. Brenselet går her inn i det som kalles tørkesonen, øverst i skråristen på bildet. Etter hvert som forbruket av brensel behøves, beveges brenselet nedover på risten, samtidig som luft blåses inn nedenifra, slik at brenselet blir luftigere og vannet fjernes. Denne luften kalles primærluft til ovnen. Når brenselet er tørt (alt vann er fjernet), så starter avgassingsfasen. Her er temperaturen blitt såpass høy at de letteste fraksjoner av trevirket forgasses og blir antent litt lenger opp i ovnen. Etter hvert som brenselet blir skjøvet mot aske utfelling, så kommer flisen til kullforbrenningsfasen og her forbrenner resten av veden. Det er nå blitt dannet maksimalt med brennbare gasser som antennes av det som kalles sekundærluft over risten og her er det den fullstendige forbrenning foregår. Dette kalles gassforbrenningsfasen og her er temperaturen høyest.



Bilde 12. Flammesonen over brenselet.

Forbrenning av trevirke følger gjerne følgende reaksjoner:

$2C + O_2$ blir til $2CO$ + varme

$2CO + O_2$ blir til $2 CO_2$ + mer varme

Det som også kan skje er at $C + O_2$ går direkte over til CO_2 og varme direkte

I trevirke er det også litt hydrogen, og det reagerer også med oksygen i lufta og blir til vann slik

$2H_2 + O_2$ blir til $2H_2O$ + varme.

For karbon: $1\text{ kg karbon} + 2,67\text{ kg } O_2 = 3,67\text{ kg } CO_2 + 9,11\text{ kWh}$

For hydrogen: $1\text{ kg } H_2 + 8\text{ kg } O_2 = 9\text{ kg } H_2O + 33,5\text{ kWh}$ (Viten fra Skog og Landskap 01/08- H.Belbo og S.Gjølsø)

Nitrogen følger med i lufta og sammen med oksygen dannes oksider, gjerne kalt NO_x . Disse er ikke ønsket, men blir en del av forbrenningslufta som nitrøse gasser. Sånn ser fullstendig forbrenning ut, men dessverre blir det en del uforbrent CO med ut i røykgassen, samt sveveaske.



Bilde 13. Big bag for sveveaske sammen med kalk og kull (600 kg avfall pr sekk)

Men før sveveasken har blitt samlet sammen, har den sammen med kull og kalktilsetninger gått igjennom et stort rensefilter. Mengden av kalk er 20 tonn hver 4.uke og det trengs 24 tonn med kull pr år. (12 tonn hvert ½ år). Man har herav funnet ut at kalk, kull og sveveaske utgjør en mengde på 730 tonn som skal til deponi for varig lagring, av dette utgjør kalk 260 tonn og kull 24 tonn. Sveveasken blir netto herved 446 tonn.



Bilde 14. Her er toppen av rensefilteret



Bilde 15. Rensefilteret sett nedenifra

Inne i denne beholderen er det 256 poser som røykgasslufta blir sugd igjennom. Disse posene blåses regelmessig ved hjelp av trykkluft, og svevestøvet ramler ned og blir fylt opp i store poser (big bag). Røykgassen er nå rensert for farlig avfall og forsvinner ut gjennom skorsteinen etter at røykgassvifta har blåst den ut. Det er store mengder luft som skal igjennom, størrelsesorden $15000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Hvorfor det er slike tall skyldes at biobrenselet utvikler mye vanndamp, samt at lufta inneholder også mye N_2 (79 %) som også skal gjennom skorsteinen. Vi skal se litt på hvordan røykgassmengder kommer fram for dimensjonering av skorsteiner. Ved forbrenning av 1 kg helt tørr ved blir luftmengden minimum $4,61 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ råvekt, mens den fuktige røykgassen blir en mengde med minimum $5,27 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ råvekt. Med fuktig røykgass menes at man tar med den vanndamp som dannes under forbrenning

Ved en gitt fuktighet og luftoverskudd som har betegnelsen "lambda" λ , får man følgende mengder pr kg råvekt;

$V_l = \lambda * v_{l \text{ minimum}} * (1 - f_r)$ Dette er luftmengden med rå ved pr kg.

$V_{rg} = (v_{rf \text{ minimum}} + (\lambda - 1) * v_{l \text{ minimum}}) * (1 - f_r) + f/1,25$

Ligningens siste ledd utgjør vanndampvolumet på grunn av brenselets fuktighetsinnhold.

Mengden flis må man også finne tak i, og det finner man slik:

$M = P / (\mu_{kjl} * (5,32 - 6,02 * f_r))$ kg råvekt

Et regneeksempel kan vise hvordan man kan gå fram. Nytteeffekt (P) er 8800 kW, kjelvirkningsgraden er 77 %, flisfuktighet f er lik 0,38 og man antar at luftoverskuddstallet er 1,28.

$v_l = 1,28 * 4,61 * (1 - 0,28) = 3,6585 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ rå.

$V_{rf} = (5,27 + (1,28 - 1) * 4,61) * (1 - 0,38) + 0,38/1,25 = 4,37 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ rå

$M = 8800 / (0,77 * (5,32 - 6,02 * 0,38)) = 3769 \text{ kg}$ rå /h

V_{rf} blir da $3769 * 4,37 \text{ Nm}^3/\text{h} = 16470 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Denne er temperaturavhengig av røykgassen. Volumet øker med økende røykgasstemperatur slik; $16470 * (\text{aktuell røykgasstemp } ^\circ\text{C} + 273) / 273 =$ Dersom røykgasstemperatur er $127 \text{ }^\circ\text{C}$ lik $16470 * (400/273) = 24131 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Disse tall er omtrentlig det som blir i ovnen på Solør Bioenergi.



Bilde 16. Røykgassvifte ved biobrenselanlegg

Røykgass utslipptillatelser

Solør Bioenergi as har selvfølgelig de nødvendige rammetillatelser fra Statens Forurensingstilsyn. Det er å betrakte som et avfallsforbrenningsanlegg som må holde sine røykgassutslipp innenfor de rammer som er gitt i vedlegg 5 i kapittel 10 i forurensningsloven. Det er et stykke arbeid for å beregne og kunne sammenligne utslippsmålinger fordi man må benytte et fast tall for oksygen som i dette tilfelle settes til 11 %. Formel for å beregne utslippskonsentrasjon ved standard oksygenkonsentrasjon er som følger:

$U_s = ((21 - O_s) / (21 - O_M)) \times U_M$ hvor U_s er beregnet utslippskonsentrasjon ved standard oksygenkonsentrasjon, U_M er målt utslippskonsentrasjon, O_s er standard oksygenkonsentrasjon (i prosent) og O_M er målt oksygenkonsentrasjon, også i prosent.

For døgnmiddelverdier har man følgende tall å forholde seg til:

Utslippsparameter	Utslippsgrenser	Enhet
Totalt støv	10	mg/Nm ³
Gass- og dampformige organiske forbindelser, uttrykt som totalt organisk karbon (TOC), heri også paH (polyaromatiske sykliske hydrokarboner)	10	mg/Nm ³
Hydrogenklorid (HCl) Saltsyre	10	mg/Nm ³
Hydrogenfluorid (HF)	1	mg/Nm ³
	50	mg/Nm ³
Nitrogenmonoksid (NO) og nitrogendioksid (NO ₂), uttrykt som nitrogendioksid	200	mg/Nm ³

Dersom man måler over en prøvetakingsperiode på minimum 6 timer og maksimum 8 timer skal man i tillegg holde seg innenfor følgende grenser for følgende utslippsparametre.

Utslippsparameter	Utslippsgrenser	Enhet
Kadmium og kadmiumforbindelser (Cd)	Totalt 0.05	mg/Nm ³
Thallium og dets forbindelser (Tl)	Ikke nevnt i vedlegget	mg/Nm ³

Kvikksølv og-forbindelser (Hg)	Totalt 0.5	mg/Nm ³
Antimon (Sb) - forbindelser, arsen (Ar)- forbindelser, bly (Pb)-forbindelser Krom (Cr) -forbindelser Kobolt –forbindelser (Co) Kobber - forbindelser (Cu) Mangan –forbindelser (Mn) Nikkel – forbindelser (Ni) Vanadium – forbindelser (V)	Totalt 0.5	mg/Nm ³
Dioksiner	0.1	ng/Nm ³

Middelverdiene ovenfor omfatter totalutslipp i gass- og partikkelfase av de relevante tungmetaller samt forbindelser hvor disse inngår.

Vi tar et regneeksempel. Fra en dag og et øyeblikksbilde fra CHP anlegget finner man at målt O₂ er 2 %. Det produseres 10400kW. Tillatt støvutslipp er 10 mg/Nm³. Øyeblikksbildet er at det slippes ut 14569 Nm³ røykgass. Man skal nå beregne konsentrasjonen ved 11 % O₂.

I formel settes inn $U_s = ((21-11)/(21 - 2)) * 10 = >5,3$ mg/Nm³ som beregnet utslippskonsentrasjon ved 10 mg/Nm³ støvutslippsmengde. På en time med denne belastning i CHP anlegget får man altså tillatelse til å slippe ut 76,8 g svevestøv. Da har man produsert en energimengde på 10400 kWh.

Til sammenligning så produseres det 40 g svevestøv pr kg tørr ved i en vanlig gammel vedovn. Den gir ca 4 kWh i energi. 2 kg ved lager 80 g svevestøv og kun 8 kWh i energi. Et CHP anlegg produserer energi for 1300 gamle vedovner pr time ved 2 kg vedbelastning, med samme svevestøvmengde.

Alle former for forbrenning innebærer en fare for forurensning til luft, vann eller støv. De vanligste forurensningene ved forbrenning er bla. svoveloksider, nitrogenoksider, støv, karbonmonoksid, PAH, VOC, tungmetaller og dioksiner. Hvilke stoffer og hvor store utslippene vil bli, bestemmes av sammensetningen av avfallet (brenselet), hvordan forbrenningsprosessen kontrolleres og hvilke rensiltak som blir gjennomført.

Det finnes flere produkter som kan benyttes for å rense røykgass, men kalk benyttes i dag i de fleste prosesser. Dette er i hovedsak våtrensing,



tørrensing eller en kombinasjon av disse to. Tilførsel av hydratkalk i våte- og semitørre systemer skjer vanligvis fra en silo med tørr hydratkalk. Kalken blir dosert ned i en blandetank og vann tilsettes. Aktivt kull doseres ut fra siloer, evt. kan hydratkalk og kull komme ferdig blandet fra leverandør.

Teoretisk mengde for fjerning av 1 kg HCL er 1 kg Ca(OH)₂ (hydratkalk) og for fjerning av 1 kg SO₂ forbrukes 1,16kg hydratkalk. For reduksjon av dioksiner og Kvikksølv benyttes aktivt kull. Normalt forbruk av dette er ca. 50-100 mg/Nm³ røykgass.(<http://www.kalk.no/website.aspx?displayid=1599>).



Bilde 17. Askecontainer som venter på opplasting til Langøya deponi for farlig avfall. Den står her en stund for avrenning av vann.(deponivann, det også- går til spillvanntank)

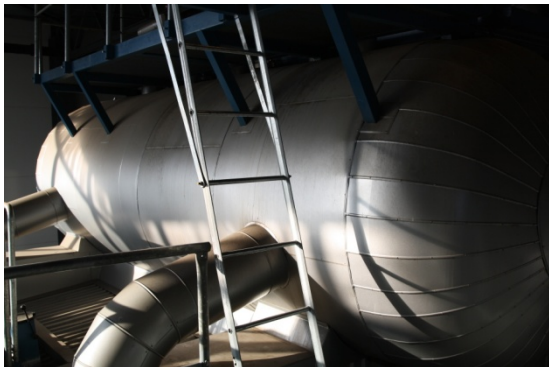
Den delen av asken som ikke forsvinner gjennom luften etter detter ned i sluser fra ovnen og derfra ned i vannfylt askeutmaterustrustning. Asken er ikke fri for diverse giftig avfall(tungmetaller) og derfor går dette uten innblanding av operatører. Asken blir avkjølt og går i lukket system over skrapetransportører til container for transport til Langøya for varig lagring der sammen med sveveasken og annet som blir felt ut i renseanlegget for røykgassen. Vannet som transporterer asken er også et spesialavfall som etter noen runder gjenbruk i askevannet blir avrent ute ved containerlageret og pumpet inni en lagertank som igjen tømmes som spesialavfall. Aske og vann blir gjerne en sterk basisk løsning som det også er lite heldig å komme i berøring med.



Bilde 18,19 Transportørkasse for aske.

Etter at gassen har blitt antent, så skal den gjøre jobben sin som er å varme opp kjelvann til fordampningstemperatur, fordampe den og overhete den slik at den blir en overheteet damp som kan produsere elektrisk strøm. Hele kjelen består av rør som danner heteflater mot røyken. Dette er

varmevekslere som har navn etter hvilke funksjon og hvor de er plassert i kjelen. Røykgassen treffer først varmevekslere som kalles overheter (her får dampen inne i rørene høyest temperatur), deretter så møter en litt kaldere røykgassen den varmeveksler som kalles fordampner. (Som navnet sier, her fordampner kokende vann til dampfasen). På denne kjelen så er det igjen kun en rekke varmevekslere som kalles økonomisere. Disse varmer opp vannet fra ca 120 grader (2 bar eller 1 bar overtrykk) til kokepunktstemperatur ved 60 bar. (276°C). Denne damp- og vannblandingen kommer så inn på en stor trykktank, kalt drum på engelsk og dom på svensk. Ut herfra renner kokende vann ut i rørene til fordampner og overheter.



Bilde 20. Drum(dom) til kjelen

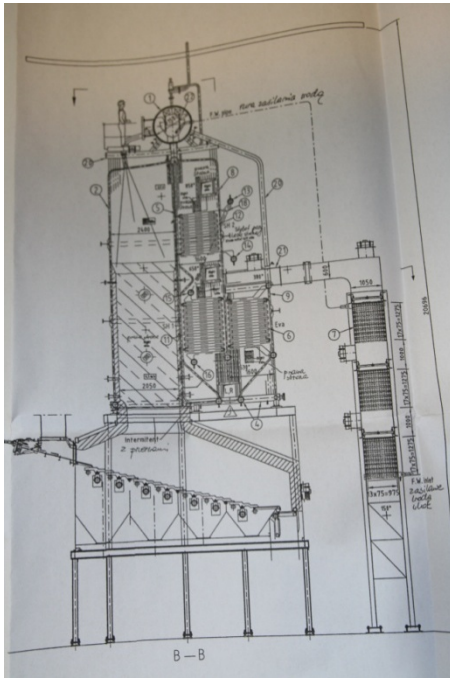
Litt energiberegninger:

Dampen som produseres til turbinen holder 60 bar og 445°C. Dette har en entalpi fra Mollierdiagrammet på 3290 kJ/kg. Den isentropiske entalpi etter turbin er 2440 kJ/kg, men da er vi inne i vann/damp delen med et dampinnhold på 89%. Da kunne turbinskovlen blitt skadet. Men vi har aldri helt isentropiske forhold og med avleste temperaturer og trykk, så er vi akkurat utenfor metningslinjen og avleser 2690 kJ/kg i entalpi etter turbin. Vi vet at turbinen etter generator avgir 2000 kW i effekt.

$2000 \text{ kJ/s} = \text{massestrøm} * (3290 - 2690) \text{ kJ/kg}$, Dette gir en gjennomsnittlig massestrøm på 3,33 kg/s. Dette tilsvarer 12 tonn damp/h som i henhold til operatørene er et godt gjennomsnitt. Noen ganger er det 11,3 og opp til ca 13 tonn /h.

Turbinens virkningsgrad er definert som (varme inn – varme ut)/ Varme inn – isentropisk varme ut).

$$\text{Virkningsgraden } \mu_{\text{turbin}} = (3290 - 2690)/(3290 - 2440) = 0,706.$$



Bilde 21. Snitt av kjelen med økonomiser i egen kolonne til høyre på bildet.

Vannbehandling

Behandling av vann inne på kjelen, rundt i rørgatene til dampturbin og tilbake til matevannstanken er svært avhengig av en god vannkvalitet med hensyn til pH verdier, kiseltsyre samt andre forurensninger som f.eks oksygen. Den minste forurensning kan i verste fall forårsake turbinhavari. Derfor tas det kontinuerlig registreringer av vannkvalitet på enkelte parametre, samt at operatør hver dag tar manuelle prøver av de samme verdier samt noen flere som her blir beskrevet. Til sammen blir 6 tonn vann erstattet hvert døgn inn på kjelen.



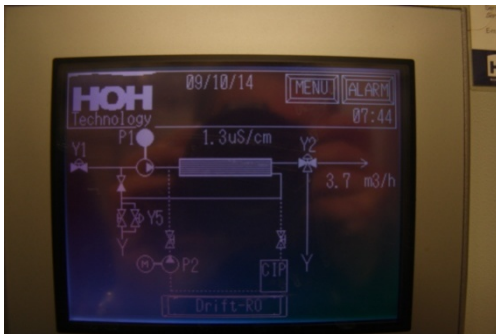
Bilde 22. Kaldt vann fra nettet kommer inn på to filter, salt tilsettes for å få de senere prosesser i gang, blant annet gjøre vannet mindre hardt.

Neste trinn i rensesprosessen er at vannet blir presset igjennom et ionebyttefilter (Omvendt osmose)



Bilde 23. Ionebyttefilter

Her foregår en kontinuerlig overvåkning av konduktiviteten som måles i en enhet som mikroSiemens (μS). Når massen inne i disse filtrene er så forurenset at verdien her overskrider en grense, så må massen byttes ut. Dette er på rundt 800 m^3 som retningsgivende verdi. Hensikten er å ta ut all forurensning, kiselsyre, slik at konduktiviteten (ledningsevnen) blir mindre enn $0,058 \mu\text{S}/\text{cm}$



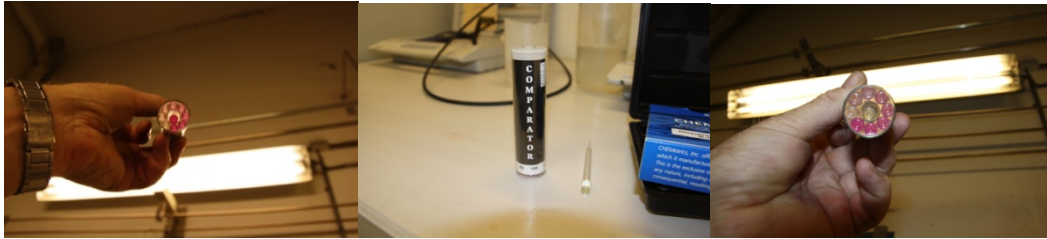
Bilde 24. Skjerm bilde av RO anlegget

Grenseverdier for ionebytte massen er når ledningsevnen (konduktiviteten) passerer $20 \mu\text{S}/\text{cm}$

Det får heller ikke være for hardt vann og det måles med en væske (Visicolor). 5 ml av vannet helles opp i et reagensglass og tilsettes 2 dråper visicolor. Hardheten på vannet skal være mindre enn $0,5 \text{ }^\circ\text{dH}$. Dersom vannet etter en tid går fra retning blankt til lyserødt, så er det ikke ok. Vannet skal skifte farge til noe som ligner grønt.



Hardhetsmåling



Bilde 25,26,27. Oksygenmålinger av vann med en komparator. For oksygenrikt vann i midten i bilde til venstre, mens bildet til høyre viser at vannet er blitt ok. (Det er en viss grønnfarge i denne, men holdt mot lyset klarte man ikke å fange den.)

Måling av vannets hardhet kan gjøres på mange måter. En kontekst er ppm som er definert som ett milligram av Kalsiumkarbonat (CaCO_3) pr liter med vann. Den metoden som benyttes ved Solør Bioenergi er såkalt Deutche Härte, ($^{\circ}\text{dH}$). En grad dH er definert som 10 mg av Kalsiumoksid pr liter vann. Dette er ekvivalent til 17,848 mg av Kalsiumkarbonat pr liter vann eller 17848 ppm. Fritt oksygen i vannet fjernes i matevannstanken på den måten at kaldt vann kommer inn over perforerte rister, slik at vannet blir fordelt over disse som dråper og oksygenet derved fordampes i og med at damp strømmer oppover i matevannstanken og utlufting foregår over topplokket på tanken. Dette gjør at man unngår tilsetninger av kjemikalier for å få vannet oksygenfritt og dermed unngå korrosjon på grunn av oksygen i vannet. For å sikre at vannet ikke korroderer på metallet, tilsettes Trinatiumfosfat, som øker pH og fosfatet beskytter mot korrosjon. Vannets oksygen kontrolleres ukentlig ved hjelp av en komparator, og farge forandringen er den samme som ved hardhetsmålingene.

Vannkvaliteten som skal behandles i et slik ionebytte anlegg skal være av avherdet drikkevannskvalitet og med maksimum 500 mg/l TDS. Råvann skal maksimum inneholde:

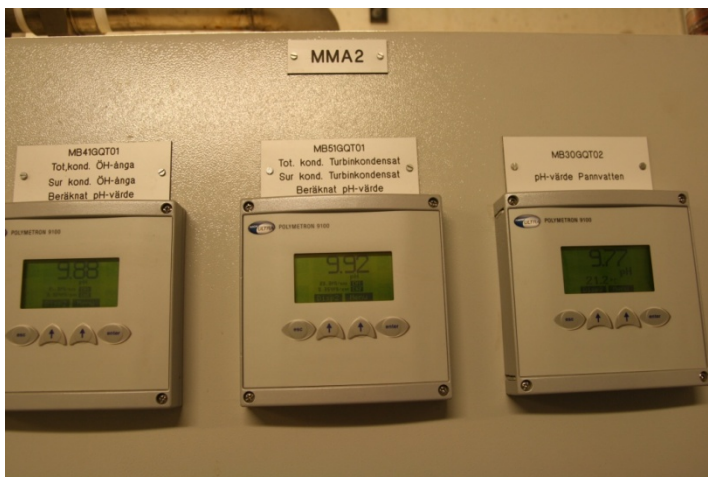
Hardhet	0.5 $^{\circ}$ dH (17848/2 ppm)
Fe	0.05 mg/
Mn:	0.05 mg/l
Fritt Klor	0.1 mg/l
KMnO ₄	10 mg/l
Siltindeks(SDI)	3,0

Dette er tatt fra instruksjonsboken for Kirkenær Bioenergi om vann. **Totalt Dissolved Solids** (ofte forkortet **TDS**) er et mål på det samlede innholdet av alle uorganiske og organiske stoffer som finnes i en væske i molekylær, ionisert eller mikro-granulat i suspendert form. Totalt oppløste faste stoffer er vanligvis kun diskutert i ferskvann systemer.(Wikipedia.co.uk)

Vannets surhetsgrad som måles som pH skal være svakt basisk med en verdi på mellom 9.2 til 9.9 på alle vannstadier. Dersom pH blir surere, tilsettes ammoniakk NH_3 . (Inn på kjel, før og etter turbin, før matevannstank- se bildene)



Bilde 28. Prøvestasjonen for Kjelvann- Det er en prøvestasjon for alle avtappings steder – Overheter, før og etter turbin og også for vann for fjernvarmenettet.



Bilde 29. Måleapparater for kontinuerlig registrering av vannets pH-verdier forskjellige steder



Bilde 30. Laboratoriebenk for prøvetaking av vann i forskjellige stadier i kjelen.

Turbin



Bilde 31,32 Venstre bilde er lastet ned fra Dresser-Rand sine egne hjemmesider. Bildet forsøker å vise en flerbladet turbin med ledeskovler og løpeskovler. Denne er selvfølgelig pakket inn på Solør Bioenergi sitt anlegg. Anlegget til Solør er mye mindre. Høyre bilde.



Bilde 33,34 viser turbinens rotasjonshastighet og hvilke temperatur, trykk det er inn på turbinen og ut av den.



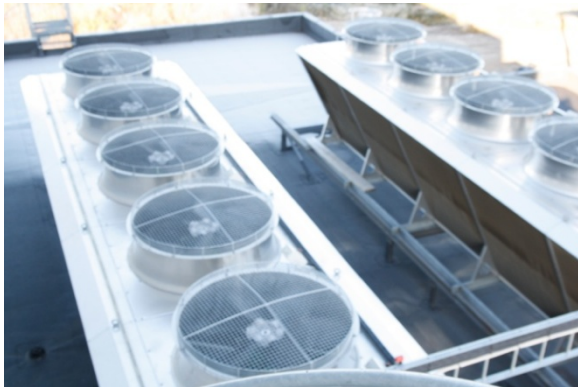
Bilde 35. Solør Bioenergis luftkjølte generator- 1500 $^{\circ}$ /min.

Turbinen er satt til full last hele tiden, 2 MW. Det er konseptet til Solør Bioenergi. Varmen som produseres etterpå går enten til fjernvarmenettet eller blir luftet ut over tak via store vifter. Dersom det mot formodning ble nødvendig å redusere på elektrisk produksjon, men øke varmeproduksjonen,

så er det mulig ved å by passe noe av dampen til kondensator. Med en rotasjonshastighet på 8000 °/min, så er det å passe lagertemperatur en viktig overvåkingsoppgave.

Fjernvarmenettet

Et fjernvarmenett er det som skal til for at slike anlegg har en fremtid. Med kun strømproduksjon via dampturbiner, så kan i beste fall oppnå en virkningsgrad på vel 30 %. Da er det undertrykk på utløpssiden av turbinen slik at dampen ut derfra holder ca 35 °C. Ved å ha et mottrykk på utløpssiden på 1 bar, så er damptemperaturen 100 °C og den kan varmeveksles med omgivelsene og gi komfort varme eller gjøre tørkearbeid til f.eks trelast eller annet biobrensel. På Solør Bioenergi så gjøres begge deler. Det ble i den undersøkte perioden fra 1. September 2008 til 31. September levert varme på fjernvarmenettet lik 11479 MWh. Dette gir en fjernvarmevirkningsgrad på kun 11,2 % på beregnet brenselenergi. Strømproduksjonen har gitt 14216 MWh som er 13,7 % av beregnet brenselenergi mengde. Resten er luftet ut over tak. Årsvirkningsgraden er summen av disse to, til sammen 25 % av tilført energi. I disse dager (november 2009) blir en ny stor kunde tilknyttet, slik at ved de samme registreringer til neste år, så får man en bedre årsvirkningsgrad.



Bilde 36. 10 vifter sørger for at vannet som returnerer til kondensatoren er kald nok

Daglig drift

Det er to operatører som på dagtid overvåker kjelen, turbinen og tømmer sveveaske fra de store posene (big bags) 3 -4 ganger om dagen. Det er en egen sjåfør som henter flis fra knuseanlegget til lager under tak og derfra til dagsilo. Dette er på hverdagene, i helgene er de operatørene selv som står for denne jobben. Det tas tre fuktighetsprøver fra dagsilo hver dag, og ut ifra disse prøvene beregnes gjennomsnittsfuktigheten for flisen. Fra kontrollrommet kan man styre luftmengder til både primærluft og sekundærluft. Disse har avgjørende innvirkning på hvor godt anlegget driftes. På primærluftsidens er muligheten noe begrenset. Man setter effekten til 10 MW og ut i fra denne parameter, så sørger anlegget for at primærluftens og barkmengden holder den mengde som skal til for å nå dette målet. Sekundærviften fordeler luftmengden til forskjellige steder i ovnen, og det er av avgjørende betydning hvor luftmengden kommer inn. Disse reguleres både med hjelp av hastighet på viften og hvilke spjeld den kommer inn gjennom. En observasjon som ble gjort, var når en operatør forandret luftfordelingen fra et sted til et annet i ovnen, så falt CO innholdet fra ca 15 mg/Nm³ til 6 mg/Nm³ og flammen fikk et helt annet bilde. (Se bilde nr 12-hvor brensløt gløder og så et tomrom, før gassen antennes med blå flamme). For å få til slik kjøring kreves mye opplæring og stor forståelse

av hva som skjer hos operatørene. Her er det mange parametre som det skal holdes styr på. En viktig parameter er brenselkvaliteten med dets fuktighetsinnhold. Denne er vanskelig å måle kontinuerlig inn på ovnen. I og med at ovnen er bygd, så er det også vanskelig å sette de riktige spjeld i riktig åpningsmodus til enhver tid. Dette skulle skje helautomatisk med de registreringer som skjer i røykgassen. Sekundærluftvifta styres etter registrert oksygen(O_2) i forbrenningslufta. Dersom O_2 kommer under en gitt grenseverdi, så skulle sekundærluftmengden øke, noe den gjør, men man vet ikke på hvilket spjeld den største økningen burde komme. Dette må operatørene prøve seg fram med.

Oksygenmengden henger sammen med CO etter det man kaller Ostwald diagram, og jo mindre uforbrent CO man har, jo bedre er forbrenningen.

Dersom undertrykket i ovnen blir mindre, så vil den frekvensstyrte røykgassvifta øke hastigheten og på den måten lage et større undertrykk i ovnen igjen. Videre er det muligheter for å sende noe av røykgassen i retur til både sekundærluften og primærlufta, avhengig av temperaturen ved brenselutmatning til askeslusen. Dens formål er å holde temperaturen i brennkammer stabil.

En annen oppgave hver dag er manuell prøvetaking av vannets hardhet, ledningsevne(konduktivitet) og pH verdier. Dette skjer ikke i fullskala hver dag, men minst en gang pr uke gjøres dette med protokollføring. Hver dag går en operatør en runde over hele anlegget og skriver ned temperaturer på vann, damp, mengder med vann og temperaturer som sirkulerer gjennom kondensator samt elektrisk energi produsert etter generator.

Driftsutfordringer

For de som arbeider på selve anlegget er det en prøvelse at askesilo ikke er i orden. Den ble fylt en gang, og der måtte man stå med en staur og stake ut asken. Dette er ingen ønskejobb, så lenge man kan risikere helsen på den måten. Derfor kommer en operatør hver kveld for å skifte en askepose (big bag), samt se over at alt er i orden. På dagtid skiftes 2 -3 poser, slik at summen blir 3,3 askeposer i gjennomsnitt over døgnet.

Brenselet er av stor betydning når det gjelder operatørenes arbeid. I løpet av den tiden anlegget har gått, så har det vært to stopp på grunn av at det har kommet forurensninger inn på ristene. Første gangen tettet de lufttilførselen for primærluften og nå siste gangen, hadde grus og spiker tettet seg i mellom de bevegelige ristene, slik at ristene ikke beveget seg lenger. Det tar to døgn å kjøre ned et slikt anlegg kontrollert. Det som kan skje ved slik avkjøling er at når man starter opp igjen, så kan noen pakninger slippe slik at man får lekkasje på rør. Dette har noe med temperaturutvidelser på metall å gjøre. Dette medfører ny nedfyring, gjennomgang av tetninger og ny oppstart.



Bilde 37 og 38. Fra første stopp på ristanlegget pga forurensninger i brenselet.

"I rosterad 1 (bilde 37)finns inga horisontalborrade roster.Alla roster har vertikal borring.Alla hål var täta och den primärluft som lyckats ta sig upp har gått mellan rosterna. Rätt stora skador på rostersidorna har uppstått till följd av detta.Det fanns också stora slaggansamlingar uppe på rostern (syns på bilden ovan).

I rostersteg 2 finns 6 st horisontalborrade roster ilagda. Alla rörliga. 80-90 % av vertikalborrade hålen är igensatta. Det är mer öppna hål där det överliggande rosteret rör sig in över ett fast.

På de horisontalborrade rostren var ca 50% helt öppna. Några enstaka hål helt igentäppta av aluminium eller slagg. I övriga tilltäppta hål fanns ganska lös aska som troligen åker ut när fullt primärlufttryck ligger på.(bilde 38)"



Bilde 39. Rosterrad 5

6 st horisontalborrade roster. 80% av hålen öppna .

Resten av rosterna vertikalborrade. 40-50% av hålen öppna(Alle bildene fått fra rapport fra Solør Bioenergi).

Som man kan se, det er ikke plass til mye primærluft når ristene tetter seg. Dette gir dårligere forbrenning, med dertil hørende problemer med å oppnå den ønskede effekt på anlegget.

Oppsummering.

CHP anlegget til Solør Bioenergi er landets første som fyrer med biobrensel. Det har en kapasitet på 10 MW hvorav 2 MW er elektrisitet. For de 13 månedene man hadde tilgjengelige tall for så har man en kjelvirkningsgrad på snau 80 %. Årsvirkningsgraden er ca. 25 %, hvorav elkraft produksjonen er på ca. 14 % av innfyrt biobrensel, mens fjernvarme har 11 %. Disse tall er beheftet med usikkerhet i og med at man fram til 1. august 2009 baserte seg på volumregistrering av flis, istedenfor vekt.

Brenselet inneholder mye forurensninger som er en utfordring for ovnen. Det har i perioden vært to stopp på grunn av ristetting og luftblokkering i samband med de bevegelige ovnsristene.

Askesiloen er ikke i orden og lager ekstraarbeid for operatørene med tømning av sveveaske i store poser 3 -4 ganger daglig. Hver pose veier ca 600 kg hvor av ca 400 kg er sveveaske med sine forurensninger. Resten er kalk og kull fra røykgassbinding. Konteinere med 15-20 m³ aske blir levert hver uke til deponi på Langøya, sammen med sveveasken og vann fra spillvannstanken.

Det brukes opptil 6 m³ vann inn til matevannstanken hver dag. Det betyr at rensing av varmevekslerene og rensing av se-glassene samt forbruket av vann fra de forskjellige målesteder er stort med et dertil stort forbruk av kjemikalier. Hele anlegget tar 20 m³ med vann.

Regulering av forbrenningen skjer automatisk for en stor del, mens det ved høyt CO innhold, det vil si redusert O₂ innhold, så kommer pådraget via sekundærviften. Man vet imidlertid ikke hvilket spjeld økningen burde komme igjennom. Dette krever operatørerfaring.

Anlegget krever 400 kW for sin egen drift av vifter, hydraulikk, pumper og annet slags elektrisk utstyr.

Energimengder i MWh pr måned fra 1.september 2008 til 31.september 2009

	MWh Egne beregninger til oven	Produsert el.kraft bak generator MWh	Kondensatorvarme-energi MWh	Leveret fjernvarme
2008				
September	7069,7452	820	4138	628
oktober	9222,8935	1188	5507	911
november	8431,7835	1240	5436	1300
desember	7230,6067	811	4758	1189
2009				
januar	9123,5056	1331	5752	1623
februar	7760,9898	1183	5099	1647
mars	8538,9666	1294	5633	1398
april	8614,1099	1182	5379	739
mai	9349,5558	1412	5972	534
juni	8937,1405	92	388	28
juli	3990,375	1331	5731	407
august	6590	1014	6267	491
september	8350	1318	5843	584
masse/lm ³	103209,672	14216	65903	11479
	161 kg			
	77,6	13,8		11,1
Kjelvirkningsgrad	74,7	Strømvirkningsgrad		Fjernvarme virkningsgrad
		Årsvirkningsgrad	24,90	

Vedlegg

Vedlegg

Test sett for vannbehandlingsmålinger Hardhet og Oksygen

<http://www.mn-net.com/tabid/5040/Default.aspx>

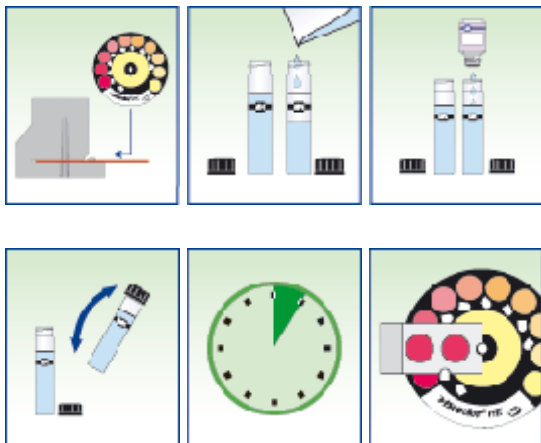
Colorimetric Test Kits

Principle: Oksygen

High sensitivity colorimetry with comparator block and colour comparison disc



- visual evaluation
- environment-friendly, without toxic reagents
- economically priced
- convenient handling
- highest accuracy due to extremely narrow gradation
- highest sensitivity down to 0.002 mg/l due to longer measuring tubes
- reagent bottles with clear dosing instructions
- compensation of turbidities and colours
- refill packs available



VISOCOLOR[®] HE test kits:

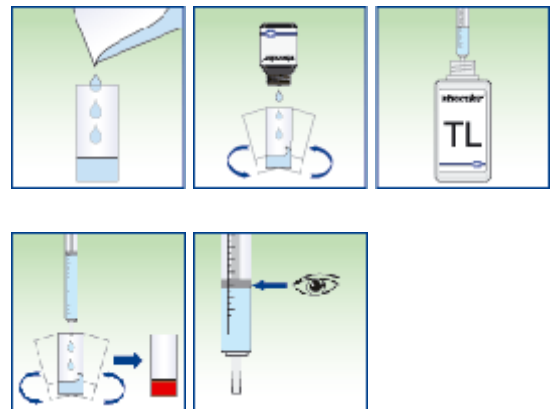
Titration Test Kits

Principle: Hardhet

High sensitive volumetric analysis with graduated syringe



- visual evaluation
- economically priced
- convenient handling
- highest accuracy due to narrow graduated syringe
- reagent bottles with clear dosing instructions
- sharper colour change due to separated dropping reagents
- dropping reagents
- refill packs available



Calcium CA20	Hardness (Total) H2F	Oxygen SA10
--------------	----------------------	-------------

Vedlegg fra Institutt for skog og landskap ved Simen Gjølshjøl om energi-innholdet i forskjellige fraksjoner av returtre ved Solør Bioenergi.

Results from Parr 6300 Oxygen Bomb Calorimeter

Calorimeter control limits when benzoic acid is used as a test sample

Accepted heat of combustion taken as 26.454 MJ/g. Instrument precision 0.10% RSD.

Values are in MJ/kg

Sample information	Gross Heat Value of dry sample (MJ/kg)	Standard deviation	Number of analysis for the sample
Solør biobrensel prøve1	20,304	0,145	3
Solør biobrensel prøve2	19,893	0,095	3
Solør biobrensel prøve4-700	28,240	0,260	4
Solør biobrensel prøve4-400	28,513	0,221	4

Dette er øvre brennverdi, nedre brennverdi er ca. 1,25 MJ/kg lavere. 3,6 MJ er lik 1 kWh

Prøve 1 og 3 ble blandet sammen, kalt prøve 1 her. Denne prøven antar vi består av maling og sopp infisert trevirke.

Prøve 2 antar vi er CCA impregnert trevirke

Prøve 4 antar vi er kreosotimpregnert trevirke.

Kreosot prøvene ble kjørt med vekt på ca. 400 og 700 mg da vi har erfart at det kan ha litt å si på resultatet hvilke innvekt vi har, og dette er et nytt produkt som vi analyserer på.

Kreosot forurenset en del i bomben og det trengs en del ekstra rengjøring ved kjøring av slike prøver.



Prøvene til kalorimeteret. 1 og 3 er returtre med sopp og maling, Nr 2 er CCA-impregnert, mens nr 4 er kreosotflis.

Referanser

Energibruk og energibalanser i trelastindustrien. Erfaringer fra forsøk ved Trysil Tre 82/83

Bioenergi, miljø, teknikk og marked Energigården isbn 82-995884-0-5

Flis og vedfyrte sentralvarmeanlegg SINTEF- avd Varme og strømningssteknikk 1981

Viten fra skog og landskap- 01/08 Trevirke- Brennverdier og energitetthet ved Helmer Belbo og Simen Gjølshø

<http://folk.ntnu.no/ivarse/energi/moistfuel.pdf>