



ENØK i varme- og tørkeanlegg i trelastindustrien

Energy efficiency in the timber industry

Henning Horn, Treteknisk





Norsk Treteknisk Institutt

Adr.: Forskningsveien 3 B

P.B. 113 Blindern

NO-0314 Oslo

Tel: +47 22 96 55 00

Fax: +47 22 60 42 91

firmapost@treteknisk.no

www.treteknisk.no

Bank: 6039.05.16714

ENØK i varme- og tørkeanlegg i trelastindustrien

Energy efficiency in the timber industry

Saksbehandler: Henning Horn
Finansiering: Enova SF og Tørkeklubben
Dato: Mai 2008

Sammendrag

De fleste norske sagbruk benytter biobrenselfyrte anlegg for å produsere termisk energi til tørking av trelast. Omkring 80 % av den produserte energien går med til tørkeprosessen, mens de resterende 20 % benyttes til oppvarming av bygninger og produksjonslokaler.

Et treårig prosjekt som inkluderte 16 sagbruk har blitt gjennomført med et mål om å spare 20 GWh termisk og elektrisk energi ved hjelp av ulike ENØK-tiltak tilpasset behovene på hver enkelt bedrift.

I prosjektet har det vært et mål å øke kompetansen omkring varmeoverføringen fra fyringsanlegg til tørke. Sammen med innføring av gode energioppfølgings-systemer (EOS) har dette gitt målbare resultater i form av redusert forbruk av termisk og elektrisk energi.

Det er blitt lagt vekt på tiltak som er relativt enkle å gjennomføre og som ikke krever veldig store investeringskostnader. Eksempler på dette er reduksjon av varmetap i forbrennings- og tørkeanlegg gjennom bedre isolering.

I tillegg har selve tørkeprosessen på hvert enkelt sagbruk blitt gjennomgått for å se på mulighetene for å effektivisere denne. I flere tilfeller er det oppnådd store reduksjoner i tørketid og energiforbruk.

De rapporterte innsparingene viser at den totale energireduksjonen som er oppnådd gjennom prosjektet, er i overkant av 22 GWh.

Stikkord: Energiøkonomisering, fyranlegg, trelasttørke, trelasttørking
Keywords: *Energy conservation, combustion plant, wood drying kiln, wood drying*

Summary

In Norwegian sawmills, it is most common to produce thermal energy for the drying process by bio fuel combustion. Approximately 80 % of the energy produced is consumed in the drying process, while the remaining 20 % is used for heating purposes in the production facilities.

A triennial project, which included 16 Norwegian sawmills, was carried out with the objective of saving 20 GWh of energy per year, both thermal and electrical, using various energy saving measures accommodated to each sawmill.

One of the objectives in the project has been to implement solid Energy Management Systems, and to increase the expertise and knowledge of heat transfer related matters among the sawmill operators. The work has resulted in measurable reductions of thermal and electrical energy.

The main focus in the project has been on low-cost actions, such as reducing heat losses by better insulation in the combustion plant and wood drying kilns.

Furthermore, simulations of the drying process using various models have been carried out to provide more efficient drying to reduce the drying time, and also the energy consumption.

The reported energy savings show that the total achieved reduction for the 16 sawmills is somewhat above 22 GWh.

Forord

Prosjektet er blitt gjennomført i regi av Treteknisk og Tørkeklubben.

I Tørkeklubben inngår det i dag 30 bedrifter, som i 2007 til sammen dekket 1,69 millioner m³ av landets trelastproduksjon.

Arbeidet i Tørkeklubben er en kombinasjon av egenanalyser ved bedriftene, forsknings- og utredningsprosjekter og vitenformidling gjennom møter og skriftlig informasjon. Arbeidsmåten til Tørkeklubben har vakt internasjonal anerkjennelse og har blitt tatt frem som et eksempel til etterfølgelse i flere europeiske land.

Treteknisk ønsker å takke de 16 bedriftene som har vært prosjektdeltakere og som har bidratt med finansiering av arbeidet gjennom egeninnsats. Følgende bedrifter har deltatt: Alvdal Skurlag AL, Begna Bruk AS, Bergene Holm AS avd. Kirkenær, Eidskog Stangeskovene avd. Vikodden, Gausdal Bruvoll BA avd. Øyer, Gilstad Trelast AS, Granvin Bruk AS, Haslestad Bruk AS, Kjeldstad Sagbruk & Høvleri AS, Moelven Eidsvold Værk AS, Moelven Løten AS, Moelven Mjøsbruket AS, Moelven Van Severen AS, Møre Tre AS, Støren Trelast AS og T-komponent AS.

I tillegg rettes en spesiell takk til Enova SF som har muliggjort prosjektet med sin finansiering.

Oslo, mai 2008

Henning Horn

Knut Magnar Sandland

Innhold

Sammendrag.....	3
Summary	4
Forord	5
1 Innledning.....	8
2 Tørking og tørkeanlegg.....	9
3 Arbeidsmetode og gjennomføring	10
3.1 Energioppfølgingssystemer for å kontrollere biobrenselforbruket	10
4 Enkle tiltak for å redusere energikostnadene	12
5 Isolering av bygg, rør og komponenter	13
5.1 Isolering av trelasttørker	13
5.2 Isolering av varmedistribusjonsnett.....	14
6 Optimalisering av tørkeprosessen.....	15
7 Frekvensomformere på tørkeviftene.....	16
8 Varmeveksling og varmegjenvinning.....	16
9 Andre tiltak som har bidratt til den totale energisparingen.....	17
10 Lønnsomheten for bedriftene ved gjennomføring av tiltak	18
10.1 Besparelser ved isolering av varmedistribusjonsnett	19
10.2 Besparelser ved optimalisering av tørkeprosessen.....	20
10.3 Besparelser ved andre ENØK-investeringer.....	21
11 Resultater - samlet	22
12 Konklusjon	25

1 Innledning

Tørking av tre er en energikrevende prosess. Det er mye vann som skal fjernes, og dette krever store mengder energi til varmeproduksjon og bruk av vifter i tørkeprosessen.

Dette var bakgrunnen for at prosjektet ble iverksatt hos medlemsbedriftene i Tørkeklubben, med finansiering fra Enova SF. 16 norske sagbruk har deltatt aktivt i prosjektarbeidet, og målsettingen har vært en innsparing på totalt 20 GWh per år med termisk og elektrisk energi, ved å benytte tilpassede energisparingstiltak for hvert enkelt sagbruk. Denne mengden energi tilsvarer omtrent energiforbruket til 1 000 norske husholdninger.

På norske sagbruk er det mest vanlig å benytte biobrenselfyrte forbrenningsanlegg for å produsere den termiske energien som er nødvendig i tørkeprosessen. Nesten 80 % av denne energien går med til tørkeprosessen, mens resterende 20 % benyttes til oppvarmingsformål i produksjonslokaler og andre bygg.

De 16 sagbrukene som deltok i prosjektet er listet (anonymisert) i *Tabell 1*, med innrapportert gjennomsnittlig forbruk av termisk og elektrisk energi, samt trelastproduksjon pr. år i perioden 2000-2003.

Tabell 1. Gjennomsnittlig forbruk av energi og trelastproduksjon for prosjektdeltakerne i perioden 2000-2003.

	Total energi [GWh]	Termisk energi [GWh]	El. energi [GWh]	Tørket trelast [m³]
Bedrift 1	11,0	8,7	2,3	27 000
Bedrift 2	35,9	30,7	5,2	65 000
Bedrift 3	55,6	47,1	8,5	97 000
Bedrift 4	12,0	9,9	2,1	25 000
Bedrift 5	14,4	11,5	2,9	36 100
Bedrift 6	1,3	0,8	0,5	3 500
Bedrift 7	12,6	9,4	3,2	33 000
Bedrift 8	23,6	17,3	6,4	75 000
Bedrift 9	16,6	10,3	6,2	53 000
Bedrift 10¹	37,2	28,1	9,1	97 200
Bedrift 11	24,1	19,9	4,2	47 200
Bedrift 12	25,5	19,6	5,9	75 000
Bedrift 13	33,5	24,4	9,2	105 000
Bedrift 14	10,4	6,8	3,5	18 000
Bedrift 15	17,4	14,9	2,5	25 000
Bedrift 16	7,7	5,1	2,7	15 300
Totalt	338,7	264,4	74,3	797 300

¹ Denne bedriften kom med noe senere i prosjektet, og tallene er hentet fra 2005.

På grunn av store forskjeller i størrelse på fyr- og tørkeanlegg samt trelastproduksjon blant de deltagende bedriftene, har det flere steder vært nødvendig med skreddersydde løsninger tilpasset de enkelte sagbruk.

Det er likevel flere generelle energibesparende tiltak som er blitt introdusert. Eksempler på dette er energioppfølgingssystemer, bedre isolering av bygninger og komponenter i varmeledningen, optimalisering av tørkeprosessen og enkel renovering som gir store energibesparelser.

Hovedfokuset i prosjektet har i første rekke vært på gjennomføring av energibesparende tiltak med lave investeringskostnader.

2 Tørking og tørkeanlegg

Det er hovedsakelig to typer tørkeanlegg som benyttes i kommersiell trelastproduksjon i Norge: Kammertørker og kanaltørker.

I kammertørker settes trelastpakkene inn, portene lukkes og oppvarming og oppfukning av luften starter. Etter hvert som prosessen går, endres luftfuktigheten mot et tørrere klima.

I kanaltørker kjøres trelastpakkene kontinuerlig gjennom i ulike klimasoner. Her er med andre ord klimaet det samme, mens pakkene beveger seg gjennom ulike soner i tørkeprosessen. Det at det er et konstant klima i de ulike sonene, gjør at installasjon av varmevekslere i kanaltørkene vil ha en god lønnsomhet.

Kanaltørker bruker mindre energi pr. m³ tørket trelast enn kammertørker, både fordi de ofte er installert med varmevekslere, men også fordi tørkeprosessen foregår kontinuerlig slik at man ikke har en energikrevende oppvarmingsperiode for hver tørkesats, noe som er tilfelle med kammertørkene.

Samtidig er det vanlig å benytte kanaltørker for store serier av likeartet virke, mens kammertørker ofte benyttes for mer spesialtilpasset virke.

Dette er forhold som gjør at man ikke kan sammenligne den spesifikke energibruken (kWh pr. m³ tørket trelast) ved de ulike sagbrukene direkte. I Enovas bransjebilag fra 2001, *Energibruk i trelastindustrien 2001*, gis det riktignok forslag til omregningsfaktorer som kan kompensere for disse forskjellene. I denne rapporten er slike faktorer ikke benyttet, da det anses å være en del usikkerhet omkring disse faktorene.

3 Arbeidsmetode og gjennomføring

Prosjektet ble satt i gang første halvdel av 2005, og ble inndelt i tre faser: Kartlegging av nåtilstand og sparepotensial, iverksettelse av tiltak og til slutt verifisering av tiltakene.

Den første fasen i prosjektet bestod av bedriftsbesøk på de deltagende sagbrukene for å få et overblikk over tilstanden og danne seg et bilde av hvilke tiltak som var mulige for å redusere energiforbruket.

I forbindelse med disse besøkene ble det laget et spørreskjema angående dimensjoner, tilstand og kapasiteter på fyr- og tørkeanlegg samt varmeledning. Bedriftene ble bedt om å fylle ut disse skjemaene på forhånd, og det ble deretter tatt en gjennomgang av disse under besøket. Det ble også foretatt en runde på hele sagbruket sammen med tørkeoperatørene for å få et fullstendig bilde av tilstanden og hvilke utfordringer man kunne ta tak i gjennom prosjektet.

Etter hvert besøk ble det skrevet en rapport for sagbruket med forslag om hvilke energisparingstiltak bedriften kunne gå i gang med. Konkrete tiltak som alle sagbrukene ble bedt om å jobbe med var:

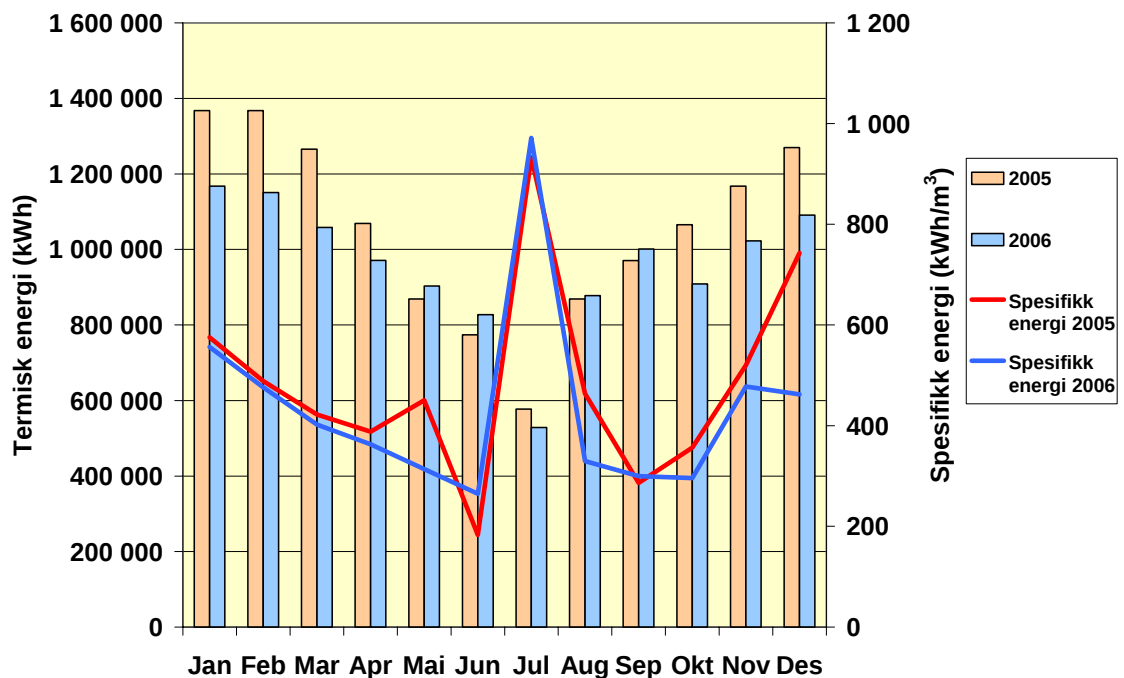
- Energioppfølgingssystemer.
- Reduksjon av varmetap ved bedre isolering av tørker.
- Reduksjon av varmetap ved bedre isolering av rør og komponenter i varmeledning.
- Optimalisering av tørkeprosessen for å se på mulighetene for å redusere tørketiden og bruken av termisk og elektrisk energi.
- Varmeveksling og varmegjenvinning.
- Generell renovering av tørker og fyranlegg der bedriftsbesøkene hadde avdekket mye slitasje på komponenter og materialer.

3.1 Energioppfølgingssystemer for å kontrollere biobrenselforbruket

Det ble gjennom disse innledende besøkene klart at de fleste sagbrukene manglet gode energioppfølgingssystemer (EOS) for å kunne kontrollere forbruket av biobrensel og elektrisitet per m³ tørket trelast. Slike systemer var derfor noe sagbrukene ble anbefalt å innarbeide. Treteknisk utarbeidet forslag til slike registreringsskjemaer tilpasset hvert enkelt sagbruk.

En slik registrering gjør at det blir mulig å måle reduksjonen i energikostnader direkte gjennom økningen i overskuddsbiobrensel etter at ulike tiltak er gjennomført. I tillegg blir de ansatte gjennom EOS mer oppmerksomme på energikostnader ved sagbruket, og et slikt system kan dermed i seg selv virke som en drivkraft og motivasjonsfaktor for bedriften til å optimalisere prosessene og redusere energibruken.

Et eksempel på en slik månedsvis registrering av termisk energi er vist i *Figur 1*.



Figur 1. Sammenligning av termisk energiforbruk i 2005 og 2006 for et sagbruk.

I kostnadsberegningene er det antatt en pris på biobrensel på 15 øre/kWh, og gjennom å beregne brennverdien på overskuddsbrenselet er det mulig å beregne reduksjonen i energikostnader. Elektrisitetsprisen er satt til 50 øre/kWh.

En rekke ulike sortimenter biobrensel forbrennes ved sagbrukene, eksempelvis bark, sagflis, hoggerflis, kutterflis og i noen tilfeller kapp. Sortimentene har ulik fuktighet, og fuktigheten vil også variere med årstiden for hvert enkelt sortiment.

Registrering av riktig fuktighet, og dermed effektiv brennverdi for beregning av effektuttaket i fyranlegget, har vært en av utfordringene med EOS-systemene og biobrenselregistreringen. Beregningene har blitt gjort med en kombinasjon av kvalifiserte antakelser om fuktigheten i biobrenselet og konkrete uttak av fuktighetsprøver på en mer kontinuerlig basis.

4 Enkle tiltak for å redusere energikostnadene

Flere ENØK-tiltak som ikke krever høye investeringskostnader er gjennomført. Vanligvis gjennomføres det en større renovasjon på sagbrukene hver sommer, men et godt vedlikeholdssystem gjør at en tidligere kan oppdage problemer, feil eller mangler på en mer kontinuerlig basis og foreta de nødvendige tiltak på et tidligere tidspunkt.

Ulike ENØK-tiltak som ble iverksatt på sagbrukene etter bedriftsbesøkene er:

- **Utskifting av dårlige flaps i trelasttørker**

For å unngå lekkasjeluft på sidene av og over pakkene med trelast, benyttes såkalte "flaps" i tørkebygningene. Disse er som regel utført i hard plast eller gummi, og blir etter hvert bøyde, får rifter eller faller delvis av på grunn av mekaniske og/eller varme- og fuktighetspåkjenninger over lang tid. Bedriftene ble bedt om å bytte ut skadete eller ødelagte flaps så raskt som mulig, noe som i seg selv gir reduserte tørketider og dermed redusert forbruk av elektrisk energi til viftene og termisk energi til tørkeprosessen.

- **Tetting av lekkasjer fra trelasttørkene**

Tørkebyggene utsettes for langvarige høye varme- og fuktighetspåkjenninger, noe som etter hvert kan gi små lekkasjer i pakninger og sammenføyninger i bygningene. Spesielt om vinteren kan man lett se damp som lekker ut ulike steder på tørkene, og det er gjerne området rundt portene som er mest utsatt.

På eldre tørkeanlegg kan det også være et problem at spjeldene for friskluft og råluft ikke tetter ordentlig, noe som kan føre til at relativt store mengder lekkasjeluft siver ut.

Konkrete tiltak som innvendig og utvendig behandling av vegger med sandblåsing og maling samt porter, bytting av pakninger og regulering av spjeld har blitt gjennomført i dette prosjektet. Resultatet av større renoveringer av denne type har vist seg som en reduksjon i forbruket av biobrensel over tid.

- **Kartlegging av varmeoverføring i trelasttørkene**

Hos noen bedrifter rapporterte operatørene av fyr- og tørkeanleggene at det ofte var et problem å nå ønsket temperatur under tørkeprosessen.

Slike tilfeller kan skyldes korrosjon eller beleggdannelse inne i eller utenpå varmebatteriene i tørkene, noe som gjør at varmeoverføringen ikke blir optimal. Det kan også skyldes for store varmetap andre steder i varmeledningen, noe som kan utbedres ved å isolere rør og komponenter bedre (se neste kapittel).

Gjennom dette prosjektet ble slike tilfeller undersøkt og rapportert, slik at

den administrative ledelsen senere kan ta beslutninger om eventuelle investeringer i nytt utstyr.

- **Vedlikehold av forbrenningsanlegget**

Periodisk service av forbrenningsanlegget med rensing av rister og røykgassvifter samt generell feiing, er nødvendig for å unngå sintring i anlegget og sikre en effektiv drift. Det er på flere anlegg i bedriftene som var med gjennomført relativt store renoveringer, noe som har gitt gode resultater i form av mer effektiv forbrenning og varmeoverføring.

Totalt har enkle ENØK-tiltak og generell renovering av tørkeanleggene på sagbrukene ført til en reduksjon på 5,8 GWh i dette prosjektet, mens renovering av fyanlegg har ført til en reduksjon på i overkant av 4,5 GWh.

Disse rapporterte innsparingene for de 16 sagbrukene står for hele 47 % av den totale energisparingen i dette prosjektet.

5 Isolering av bygg, rør og komponenter

En svært kostnadseffektiv måte å redusere varmetap på, er å bytte ut dårlig eller ødelagt isolasjon i tørkebygningene, og forbedre eller bytte ut isolasjon på rør og komponenter i den vannbårne varmeledningen på sagbrukene.

Det ble gjennom prosjektet utviklet en regnearkmodell for beregning av varmetapet i ulike trelasttørker. I tillegg ble det utviklet en regnearkmodell for bestemmelse av varmetap med og uten isolasjon for rør og komponenter i varmeledningen. Disse modellene er benyttet som et hjelpemiddel for raskt å kunne bestemme kostnader og tilbakebetalingstid ved investering i ny isolasjon.

5.1 Isolering av trelasttørker

Eldre norske trelasttørker er hovedsaklig utført i betong, mens dagens trelasttørker for det skandinaviske klimaet bygges i rustfritt stål eller med sandwich-elementer av plasstøpt betong og isolasjonsmateriale. En sammenligning av varmeovergangskoeffisienter i veggene på gamle og nyere trelasttørker viser at transmisjonstapene gjennom veggene på gamle trelasttørker er 2-3 ganger høyere enn på nyere anlegg.

Utskifting eller forbedring av veggisolasjon i trelasttørker er en komplisert og dyr prosess, og har vært vanskelig å få gjennomført i dette prosjektet.

En mer kostnadseffektiv investering for å redusere varmetapet er å bytte ut dårlig isolasjon på tørkeloftene. Et generelt problem som sagbrukene opplever, er at damp siver opp gjennom sprekker og sammenføyninger i taket mellom tørkekammeret og loftet og gjør isolasjonen våt, noe som reduserer isolasjonsevnen

betraktelig. Renovasjon av tørkeloft og erstatning av våt eller ødelagt isolasjon har vært et av tiltakene som har blitt gjennomført i dette prosjektet.

En bedrift som hadde fjernet all isolasjonen i fire av sine trelasttørker fordi den hadde blitt ødelagt, la i stedet på 150 mm LECA-blokker på betonggulvet i tørkeloftene. LECA isolerer relativt godt, og dette tiltaket førte til en reduksjon i varme-gjennomgangskoeffisienten på $6,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med en driftstid på 6 000 timer per år, er reduksjonen i varmetap med dette tiltaket 0,76 GWh pr. år. Samtidig er tørketidene gjennom dette tiltaket redusert fordi oppvarmingstiden blir kortere.

5.2 Isolering av varmedistribusjonsnett

God isolering av det vannbårne varmedistribusjonsnett med både rør, ventiler, flenser, pumpehus og annet utstyr vil være en av de mest kostnadseffektive måtene å redusere energiforbruket i den varmekrevende trelastindustrien.

Tekniske analyser som ble utført på de 16 sagbrukene, viste at det totale energisparingspotensialet ved å isolere kun de uisolerte rørstrekene er omkring 5 GWh pr. år, og tilbakebetalingstiden er bare 3-4 måneder. Den samme analysen viste at en isolering av alle komponentene i varmeledningene vil gi en total reduksjon i termisk energi på ca. 3 GWh pr. år.



Figur 2. Isolering av rør med vannbåren varme gir store energibesparelser.

Tiltak med bedre isolering av tørkebygg, rør og komponenter står for i underkant av 2,9 GWh, eller omkring 13 % av den totale energireduksjonen i dette prosjektet.

Samtidig er det her det største energisparingspotensialet ligger, og Treteknisk har mottatt signaler fra flere av bedriftene som ønsker å gjøre utbedringer her i nær fremtid. Blant annet har et sagbruk konkrete planer om å isolere fire uisolerte tørkeloft på sine kanaltørker i løpet av neste år, noe som vil gi en beregnet reduksjon i varmetapet på i størrelsesorden 1 GWh pr. år.

6 Optimalisering av tørkeprosessen

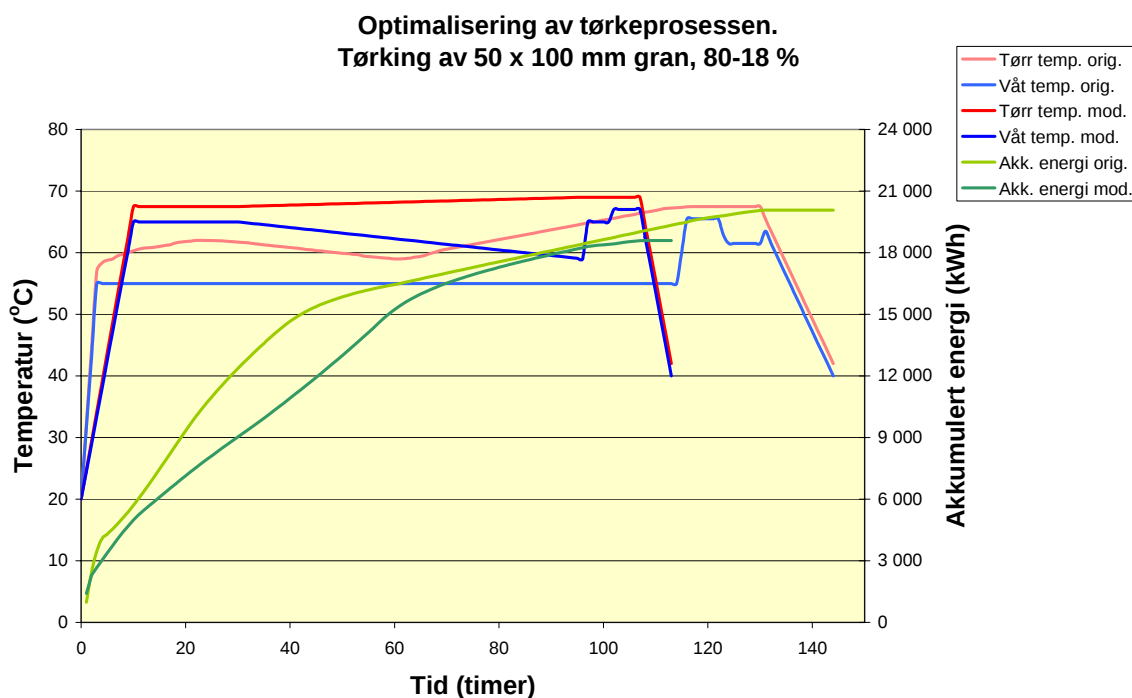
Tørkeskjema for kammertørker for alle deltakende bedrifter ble gjennomgått for å se på mulighetene for å gjøre tørkeprosessen mer effektiv. Målet var å optimalisere tørkeprosessen slik at tørketiden og energiforbruket gikk ned, uten at det gikk på bekostning av tørkekvaliteten.

To simuleringsprogrammer ble benyttet for å trimme de mottatte tørkeskjemaene (Torksim og Torksim Global).

Simuleringene viste at mange sagbruk har muligheten til å øke tørketemperaturen og endre klimaet i tørkekammeret slik at tørkehastigheten øker. Reduksjonen av elektrisk energi til tørkeviftene fulgte direkte fra reduksjonen i tørketid. Videre ble skjemaene tilpasset noe, slik at oppvarmingsperioden, som er den mest effekt-krevende fasen av tørkeprosessen, ble noe lengre, mens selve tørkeperioden ble kortere. Med en slik modifisering var det også mulig å oppnå reduksjoner i forbruket av termisk energi.

Figur 3 viser reduksjonen i tørketid og akkumulert energi for en tørkesats med 70 m³ gran med dimensjonene 50 mm x 100 mm. Startfuktigheten i trelasten var omkring 80 %, og denne ble tørket ned til en slutfuktighet på 18 %. Tørketiden ble for denne dimensjonen redusert med 21,5 %, fra 144 timer til 113 timer, mens beregnet reduksjon i det spesifikke energiforbruket er 12,4 %, fra 278 kWh/m³ til 243,5 kWh/m³. En av årsakene til at det er mulig å oppnå en så stor reduksjon i tørketiden er at temperaturnivået i tørkene ble hevet 7-8 °C.

Energireduksjonen som ble oppnådd med de nye tørkeskjemaene varierte med hvilke trelastdimensjoner som ble tørket, hvilke temperaturnivåer som ble benyttet i de ulike tørkene, målfuktighet, kvalitet på tørkebyggene og hvor godt skjemaene var trimmet inn på forhånd.



Figur 3. Eksempel på reduksjon i tørketid og energibruk med et mer effektivt tørkeskjema.

7 Frekvensomformere på tørkeviftene

Den største forbrukeren av elektrisk energi i trelasttørker er sirkulasjonsviftene som driver tørkeluften gjennom pakkene. Det er et stort energisparingspotensial ved å installere frekvensomformere på viftene for å redusere rotasjonshastigheten og dermed det elektriske forbruket mot slutten av tørkeforløpet.

Et av sagbrukene har byttet ut sine gamle vifter i to kammertørker, og installert nye med frekvensomformere. Dette førte til en reduksjon i det elektriske forbruket på 63,3 MWh pr år.

Inntrykket ved gjennomføringen av dette prosjektet er at det er et stort potensial i å utnytte mulighetene med regulering av viftehastigheten, men det mangler i dag god dokumentasjon på når det er mest effektivt å redusere hastigheten på viftene. Treteknisk vil de kommende to år videreføre dette arbeidet i et nytt prosjekt i Tørkeklubben.

8 Varmeveksling og varmegjenvinning

I høvleriet trekkes det store mengder oppvarmet luft fra produksjonshallen og ut i flisavsugene. Et sagbruk har installert frisklufttilførsel direkte inn i hver høvel for å unngå dette, samt tettet dører og åpninger best mulig slik at det ikke trekkes

varmluft inn. Det gjenstår noe arbeid med å få til en bedre tetting, men foreløpig målte resultater har gitt en energisparing på omkring 100 MWh pr. år i form av reduserte oppvarmingskostnader.

Varmevekslere blir vanligvis installert i nye kanaltørker for å gjenvinne noe av ventilasjonsvarmen i den mettede avtrekksluften. Investeringskostnaden ved å kjøpe og etterinstallere en varmeveksler i en kanaltørke er stor, og det er bare ett sagbruk som har gjort et slikt innkjøp i prosjektperioden.

Etter opplysninger fra leverandøren skal den installerte veksleren yte en varmeeffekt på 165 kW. Dette er *gjenvunnet varme*, og dermed spart varme. Dersom man antar en utnyttelsesgrad på ca. 80 % (leverandørens anslag) av en total driftstid på 330 døgn, vil total innsparing i varmeenergi være ca. 1,05 GWh.

Bedriften har beklageligvis ikke kunnet dokumentere sitt eget brenselsforbruk på en tilfredsstillende måte før og etter denne installasjonen, slik at det i dag ikke er mulig å legge fram konkrete besparelser i prosjektet. Effektiviteten på kanaltørken er imidlertid økt betraktelig med denne installasjonen, noe som har ført til en 7 % kapasitetsøkning ved omtrent samme antall driftsdøgn.

9 Andre tiltak som har bidratt til den totale energisparingen

I tillegg til energisparingstiltakene som er foreslått fra Treteknisk i løpet av prosjektet, har bedriftene også selv vært aktive og gjennomført enkle ENØK-tiltak som har bidratt til den totale energisparingen. Eksempler på dette er:

- **Riving av ubenyttede, oppvarmede fabrikklokaler**
Et fabrikklokale på totalt 633 m² har vært oppvarmet til omkring 20 °C året rundt fordi den vannbårne varmeledningen har gått gjennom lokalene uten mulighet for regulering av varmeviftene. Lokalet ble revet og varmeledningen lagt i bakken, noe som har gitt en beregnet innsparing på 0,63 GWh pr. år.
- **Automatisk regulering av utelys**
En bedrift har installert utstyr som regulerer utelysene etter "solstyrken", med slokking om natta. Dette har gitt svært positive bidrag til reduksjonen i elektrisk energiforbruk.
- **Frekvensstyring på hovedpumpe vannbåren varmeledning**
Et av sagbrukene installerte frekvensstyring på hovedpumpen i varmeledningen for å kunne regulere varmeoverføringen bedre etter hvor stor belastningen på systemet er. Dette har ført til bedre driftsmessige forhold på sagbruket, og redusert forbruk av biobrensel.

- **Økt antall basedyser i kammertørker**

En bedrift økte antall basedyser fra tre til atten dyser i fem av sine kammer-tørker, samtidig som trykket på basingen ble økt. Dette ga 7-8 timers reduksjon i oppvarmingstid, og en beregnet innsparing på hele 1,96 GWh. Verifikasjon av resultatet senere viste at innsparingen var enda større.

Foruten ENØK-tiltakene som er iverksatt i løpet av prosjektet, er det noen større investeringer som er blitt gjort uavhengig av prosjektgjennomføringen, som også har bidratt til den totale energireduksjonen.

- **Bedre styresystemer for fyr- og tørkeanlegg**

Styresystemer for forbrenningsanlegg og tørkeanlegg er under stadig utvikling, og oppgraderinger av slike systemer på enkelte sagbruk har ført til prosessforbedringer og mer stabil drift på anleggene.

- **Innkjøp av nye anlegg**

Sagbruk som sitter på eldre anlegg må fra tid til annen vurdere kostnadene ved en omfattende renovering mot kostnadene ved å kjøpe nytt utstyr. Samtidig gjør kapasitetsendringer at man ønsker å utvide produksjonen. For to sagbruk har dette vært tilfelle i løpet av prosjektperioden, slik at to nye fyranlegg er blitt satt i drift i løpet av 2006. Det ene sagbruket kjøpte i tillegg inn to nye kammertørker. Dagens tørkeanlegg kan opereres på høyere tem-peraturer, noe som gjør trelasten mer plastisk under tørke-forløpet. Dette gjør at tørkeprosessen kan kjøres raskere, noe som gir innsparinger i elektrisk og termisk energi.

Det er vanskelig å si hvor mye investeringene for disse to sagbrukene har bidratt til den totale innsparingen i prosjektet, da det parallelt med dette er utført andre ENØK-tiltak, som for eksempel optimalisering av tørkeprosessen.

Det som er sikkert er at de nye fyranleggene med styresystem har ført til en bedre forbrenning og mindre utslipp, og utnyttelsesgraden av anleggene har økt betraktelig for begge disse sagbrukene. I så måte må dette bare ses på som et positivt bidrag til den totale energisparingen.

10 Lønnsomheten for bedriftene ved gjennomføring av tiltak

Det er gjennom prosjektet kontinuerlig gjort lønnsomhetsberegninger av investeringer for å kunne gi en bedre vurdering av effekten av de ulike ENØK-tiltakene, samt å kunne gjøre bedriftene i stand til å prioritere mellom ulike tiltak.

I disse beregningene har det blitt antatt en gjennomsnittlig biobrenselpris på 15 øre/kWh og en elektrisitetspris på 50 øre/kWh.

Beregning av energisparekostnaden er en måte å vurdere lønnsomheten av et ENØK-tiltak. Energisparekostnaden uttrykker hvor mye det koster å spare inn 1 kWh. Denne kostnaden sammenlignes med hva det vil koste å kjøpe 1 kWh. Et tiltak med energisparekostnad som er lavere enn gjeldende energipris vil således være lønnsom.

10.1 Besparelser ved isolering av varmedistribusjonsnett

I prosjektet er det blant annet utført lønnsomhetsberegninger ved investeringer i nytt isolasjonsmateriale for tørkeloft og ved isolering av komponenter og rør i varmedistribusjonsnettet. Ved slike beregninger er det nødvendig å anta en realrente samt en levetid på investeringen (nedbetalingstid). Staten har i ENØK-sammenheng gitt følgende bestemmelser/retningslinjer for økonomisk levetid:

- Automatikk: 10 år
- Teknisk utstyr: 15 år
- Bygningsmessige tiltak: 30 år

For isolasjon vil det i denne sammenheng være naturlig å betrakte dette som teknisk utstyr. For å gi et konservativt estimat på kostnadsbesparelsene er det likevel antatt en nedbetalingstid på 10 år. Dette forutsetter selvsagt at isolasjonen ikke blir fuktig eller får andre skader i løpet av disse årene.

For vurdering av lønnsomheten ved investering i isolasjon er det valgt å benytte nåverdimetoden. Nåverdien av en kostnadsbesparelse uttrykker verdien vurdert i dag av de energibesparelser som realiseres i fremtiden.

Netto nåverdi beregnes ved:

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{U_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

Her er:

I_0 = investeringsutgift som påløper i år 0, U_t = prosjektoverskudd i år t ,
 k = diskonteringsrenten, n = antall år prosjektet varer.

I foretaksøkonomiske beregninger settes vanligvis den faktiske lånerenten lik diskonteringsrenten. I disse beregningene er det antatt at denne er 10 %.

Investeringer og potensielle kostnadsbesparelser ved isolering for alle bedriftene er oppsummert i *Tabell 2*.

Tabell 2. Investeringskostnader og beregnet besparelse ved isolering av uisolerte rør og komponenter i varmedistribusjonsnett.

Bedrift nr.	Årlig besparelse (kWh)	Årlig besparelse (kr)	Isolasjonskostnader (kr)
1	426 831	64 025	65 558
2	402 400	60 360	71 160
3	1 310 306	196 546	174 143
4	513 528	77 029	113 796
5	127 802	19 170	26 798
6	239 696	35 954	36 848
7	218 970	32 846	35 438
8	516 095	77 414	64 710
9	719 200	107 880	101 005
10	380 975	57 146	56 858
11	571 454	85 718	58 210
12	224 782	33 717	68 315
13	575 153	86 273	92 660
14	711 640	106 746	80 350
15	202 837	30 425	40 860
16	605 942	90 891	87 580
Totalt	7 747 610	1 162 141	1 174 287

Med rentekostnader på 10 % og en energipris på 0,15 kr/kWh vil nåverdien av investeringene i sum beløpe seg til 6 073 323 kr.

Man ser av dette at et relativt rimelig ENØK-tiltak som isolering av varmedistribusjonsnett vil være svært lønnsomt for bedriftene å gjennomføre.

10.2 Besparelser ved optimalisering av tørkeprosessen

Modifisering av tørkeskjemaene for en mest mulig optimal drift krever ikke annen investering enn at det settes av arbeidstid til analyse og utarbeidelse av nye skjema. Dette kan selvsagt være en tidkrevende prosess, og bedriftene må selv bestemme hvor mye midler de ønsker å sette av til dette på sine budsjetter. For en grundig gjennomgang med måling av tørkeekvalitet før og etter modifiseringen av tørkeskjemaene, vil det være naturlig å anta en investeringskostnad i størrelsesorden 30 000 kroner.

Reduksjoner i tørketid og energiforbruk vil variere med parametre som dimensjon på trelasten, ønsket slutfuktighet, lufthastighet samt geometri og størrelse på tørkekamrene.

Tabell 3 viser hvilke reduksjoner i tørketid og energiforbruk for ulike trelast-dimensjoner som ble oppnådd ved en av bedriftene ved modifisering av tørkeskjema og tørkeprosessen.

Tabell 3. Reduksjon i tørketid og energiforbruk ved optimalisering av tørkeprosessen.

Dimensjoner	Reduksjon i tørketid pr. tørkesats (timer)	Reduksjon termisk energi/år (kWh)	Kostnads-besparelser termisk energi (kr)	Reduksjon elektrisk energi/år (kWh)	Kostnads-besparelser elektrisk energi (kr)
19 mm (11 %)	7	116 774	17 516	22 696	11 348
50 mm (11 %)	4	16 691	2 504	6 107	3 054
50 mm (18 %)	17	214 708	32 206	80 140	40 070
63 mm	14,5	98 918	14 838	41 003	20 502
75 mm	17,5	65 149	9 772	25 805	12 903
Totalt		512 240	76 836	175 751	87 876

Den beregnede reduksjonen i termisk og elektrisk energi med de tidligere antatte energipriser tilsvarer en besparelse på 164 712 kroner pr. år for denne bedriften. Med en lånerente på 10 % over 10 år gir dette en nåverdi for investeringen på 984 811 kroner.

Eksemplet viser at det ofte er mulig å oppnå store økonomiske gevinster ved en gjennomgang av tørkeprosessen.

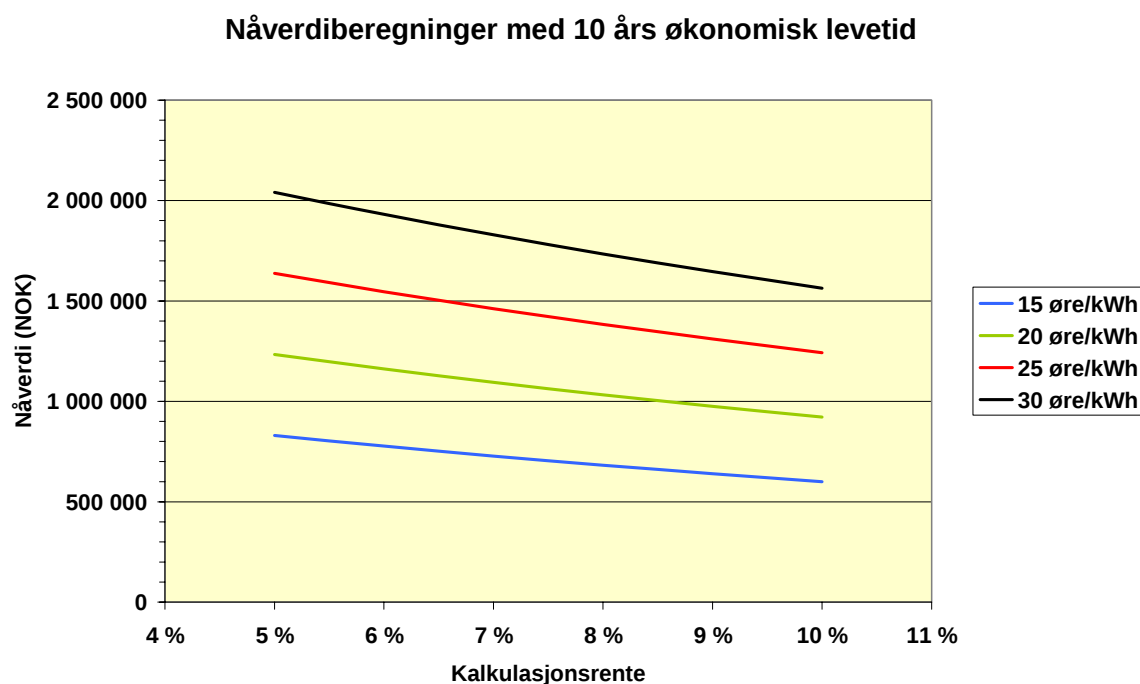
10.3 Besparelser ved andre ENØK-investeringer

Som nevnt ble det i løpet av prosjektet installert en ny varmeveksler i en kanal-tørke ved én av bedriftene. Besparelsen er beregnet å være omkring 1,05 GWh termisk energi pr. år, noe som tilsvarer en kostnadsbesparelse på ca. 157 000 kroner.

Investeringskostnaden for varmeveksleren, inkludert installasjonskostnadene, beløp seg til 350-400 000 kroner. Med en lånerente på 10 % over 10 år gir dette en nåverdi på 599 930 kroner dersom det antas en investering på 400 000 kroner.

Som nevnt er disse betingelsene konservative, i tillegg til at energiprisen på biobrensel etter all sannsynlighet vil øke i årene som kommer.

Figur 4 viser nåverdiberegninger for investeringen med varierende biobrenselpris og kalkulasjonsrente.



Figur 4. Nåverdiberegninger med varierende varmepris og kalkulasjonsrente for investering i varmeveksler for kanaltørke.

Man må samtidig huske at det kan være svært ulike årsaker til hvorfor et sagbruk ønsker å gjenvinne noe av varmen.

Noen sagbruk har for lite biobrensel, og må fyre med olje i de kaldeste vintermånedene. Varmeprisen på standard fyringsolje er i dag omkring 80 øre/kWh, noe som gjør at en situasjon med olje som tilskuddsvarme bør unngås i alle tilfelle.

Sagbruk med overskuddsbrensel ser i dag i økende grad på muligheten for å utnytte denne ressursen til videresalg av fjernvarme. Dette krever selvsagt at sagbruket er lokalisert i nærheten av annen industri eller boligbebyggelse. Energiprisen på vannbåren varme er også økende, men pr. i dag kan man regne med omkring 20-25 øre/kWh.

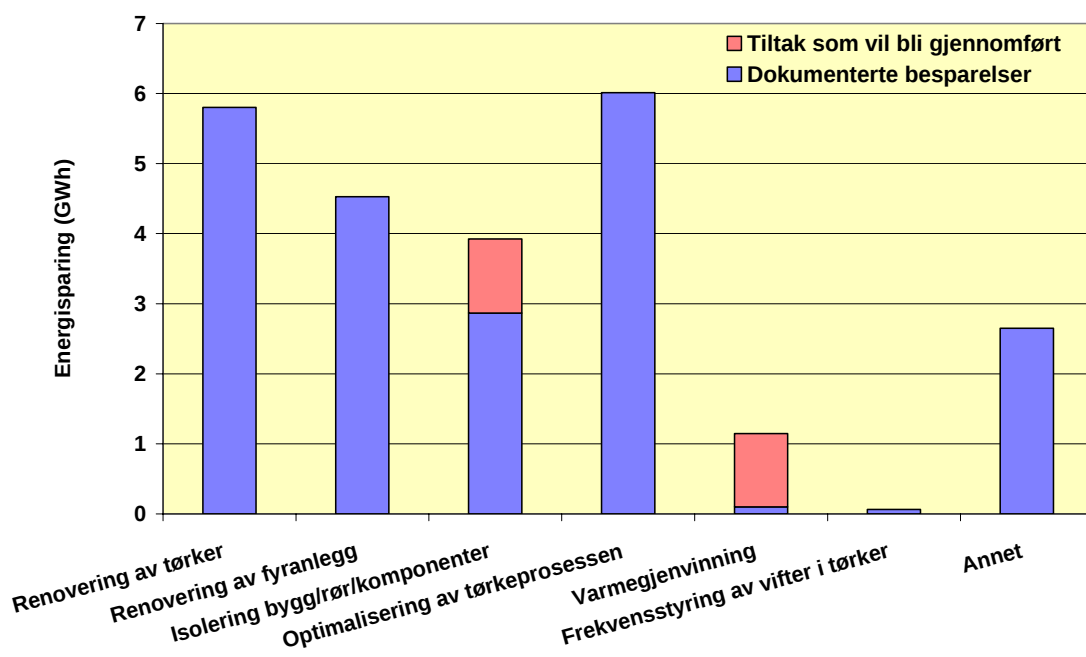
11 Resultater - samlet

En oppsummering av alle innrapporterte resultater viser at det i prosjektet samlet er oppnådd en innsparing på 22,0 GWh termisk og elektrisk energi. Dette utgjør en innsparing på 6,5 % av det gjennomsnittlige energiforbruket for alle prosjektdeltakerne som er referert i Tabell 1.

Figur 5 viser de ulike gjennomførte tiltakene inndelt i kategorier for å se hvilke tiltak som har ført til de største reduksjonene. Kategoriene er: *Renovering av tørker, renovering av fyranlegg, isolering, optimalisering av tørkeprosessen, varmegjenvinning, frekvensstyring av vifter og annet.*

Kategorien "Annet" oppsummerer de gjennomførte ENØK-tiltak som er omtalt i foregående kapittel.

Figuren viser at optimalisering av tørkeprosessen og generell renovering av tørkeanleggene har vært de tiltakene som har ført til de største energibesparelsene. I tillegg viser figuren tiltak som vil bli gjennomført, men som ikke er dokumentert i dette prosjektet.



Figur 5. Energiøkonomiserende tiltak og reduksjon i termisk og elektrisk energi.

Besparelsene for hvert enkelt sagbruk er oppsummert i Tabell 4, og denne viser at resultatene varierer mye fra bedrift til bedrift. Flere av sagbrukene har dokumentert besparelser på over 1 GWh pr. år og helt opp til 4,6 GWh pr. år.

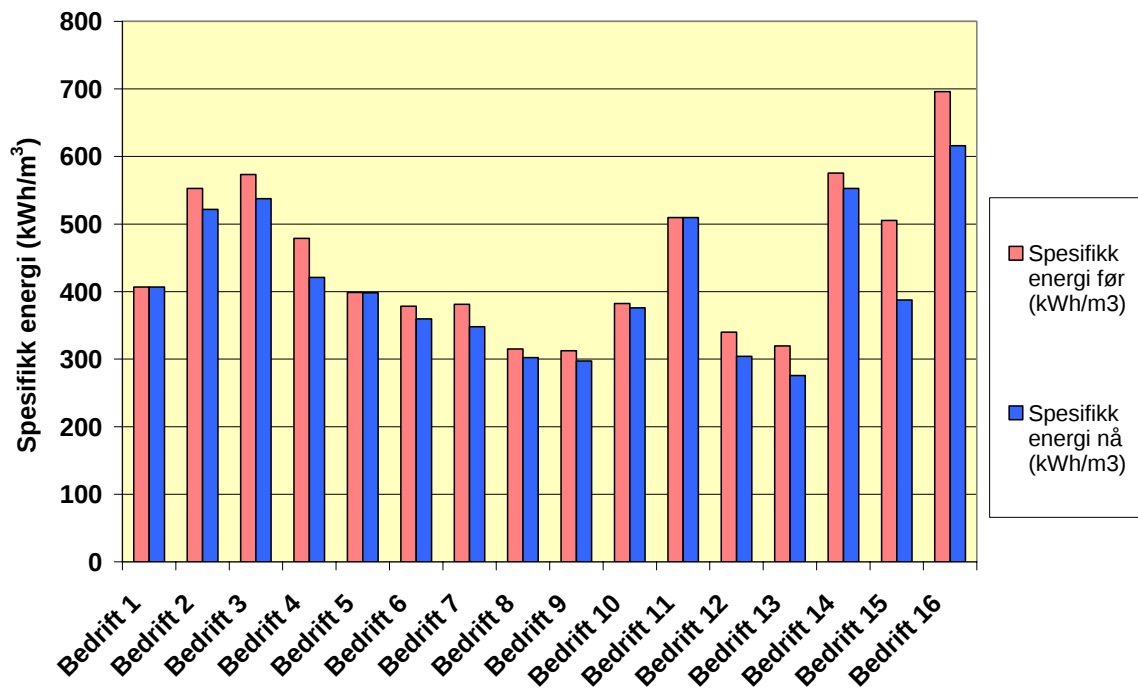
Samtidig er det to sagbruk som ikke har kunnet dokumentere noen besparelser (Bedrift nr. 1 og 11), og dette skyldes i stor grad at det ikke har blitt opprettet gode energioppfølgingssystemer. Det ene av disse to sagbrukene kom med i prosjektet relativt sent, slik at det er forventet at man vil oppnå innsparinger her senere.

Tabell 4. Dokumenterte besparelser for hver enkelt bedrift.

Bedrift nr.	Dokumenterte besparelser (MWh)	Ikke dokumenterte besparelser (MWh)
1	-	
2	2 027,3	1 058,5
3	3 485,7	
4	1 440,0	
5	20,4	1 045,4
6	65,0	
7	1 105,2	
8	950,3	
9	805,6	
10	628,0	
11	-	
12	2 689,7	
13	4 600,0	
14	403,8	
15	1 800,0	
16	1 996,5	
Totalt	22 017,5	2 103,9

I kolonnen “Ikke dokumenterte besparelser” er tidligere omtalte teoretiske besparelser ved isolasjon av fire kanaltørker for *Bedrift nr. 2* og installasjon av varmeveksler i kanaltørke for *Bedrift nr. 5* ført opp. Dette er besparelser som selvsagt ikke tas med i prosjekteresultatet, men som indikerer potensialet som ligger i et prosjekt av denne type.

Figur 5 oppsummerer reduksjonen i spesifikt energibruk for hver enkelt av bedriftene. Dette er den totale reduksjonen i spesifikt forbruk med termisk og elektrisk energi for hele produksjonen.



Figur 6. Reduksjon i spesifikk energi for hver enkelt bedrift.

12 Konklusjon

Prosjektet er gjennomført hos 16 norske sagbruk med et mål om å spare inn totalt 20 GWh pr. år med termisk og elektrisk energi.

Energioppfølgingssystemer tilpasset hvert enkelt sagbruk har blitt introdusert for bedre å kontrollere energiforbruket. Dette er et effektivt verktøy for å bringe oppmerksomhet til energikostnader og vurderinger omkring energisparingsmuligheter på sagbrukene.

Resultatene viser at store besparelser i energibruk kan oppnås ved relativt enkle tiltak basert på bedre vedlikehold og ettersyn av utstyr og bygningsmasse. Energi-reduksjoner oppnådd gjennom enkle ENØK-tiltak og renovering av anleggene, utgjør hele 10,3 GWh av de totale energibesparelsene i dette prosjektet.

En gjennomgang av tørkeskjema med simuleringer for optimalisering av tørkeprosessen har ført til store innsparinger i tørketid og energi. De totale innsparingene i elektrisk og termisk energi er 6,0 GWh etter at tørkeskjemaene er prøvd ut i praksis.

Bedre isolering av tørkebygninger og isolering av rør og komponenter i varmeledningen står for 2,9 GWh av innsparingene, men prosjektet har vist at det er et større potensial for innsparinger her, blant annet ved bedre isolering av komponenter og rør i varmeledningen.

Til slutt har andre ENØK-tiltak iverksatt av bedriftene ført til en innsparing på 2,8 GWh.

De rapporterte innsparingene viser at den totale energireduksjonen som er oppnådd gjennom prosjektet er i overkant av 22 GWh.

Rapporter fra Treteknisk

42. Tørkekvalitet i trelastindustrien. Drying quality in the sawmill industry. Sverre Tronstad, NTI, 1998.
43. Småskala sagbruksvirksomhet i Norge. Small-scale sawmills in Norway. Terje Apneseth, Lars Kleppe og Ole Helge Aalstad, NTI, 1999.
44. Utbytte ved maskinell styrkesortering av konstruksjonstrevirke i Norge. Yield from machine strength grading of structural timber in Norway. Håkon Helgerud Myhra, NTI, 1999.
45. Bygningselementer av massivtre. Prefab units of solid wood. Tor Kristensen, NTI, 1999.
46. Sidebord - kvalitet og utbytte. Side boards - quality and sawing yield. Sverre Tronstad, NTI, 1999.
47. Description and initial test of 8 principles for in-kiln measuring and end-point control of wood moisture content. IMCOPCO (task 2.1). Sjur Fløtaker and Sverre Tronstad, NTI, 2000.
48. Innleggingsnøyaktighet i sagmaskiner. Feeding accuracy into sawing machines. Audun Øvrur, NTI, 2001.
49. Virkesegenskapenes betydning for tørke- og høvlingskvalitet. The importance of wood properties concerning quality of drying and planing. Knut Magnar Sandland (NTI), Peder Gjerdrum (Skogforsk) og Bjarne Hamar (Moelven Soknabruket), 2001.
50. Kundeorientert sortering av trelast. Customer oriented grading of sawn timber. John Vincent Haugen og Magnar Müller, NTI, 2002.
51. Parkeringshus i tre. Et utviklingsprosjekt i samarbeid mellom offentlige byggherrer, industri og forskningsinstitutter. Parking house in wood. A development project in cooperation between public contractors, industry and research institutes. Dr. ing. Bernt Jakobsen, Aadnesen AS, 2002.
52. Norsk trevirke som råstoff. Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter. Litteraturreport i SSFF-prosjektet. Norwegian timber as raw material. Added value and industrial possibilities. Literature survey in the SSFF-project. Terje Birkeland, Skogforsk, Per Johan Houen, PFI, Erlend Ystrøm Haartveit, Skogforsk, Vegard Kilde, NTI, Per Lind, NTI, Knut Magnar Sandland, NTI, Kjell Vadla, Skogforsk og Audun Øvrur, NTI, 2002.
53. Skurlastkvalitet fra Sandeskur. Sawn timber quality from Sandeskur. Audun Øvrur, NTI, 2002.
54. Delamination performed on glulam according to pr.EN 391-method B, January 2001, final draft. Nordtest Project no. 1528 - 01, Martin Kemmsies - Casco Products, Per Lind - Norwegian Institute of Wood Technology, 2002.
55. Forbedring av høvlingskvalitet gjennom modifisering av høvlingsverktøy. Improvement of planing quality through modification of planing tool. Sindre Holøyen, Treteknisk, 2003.56. Råstoff til massivtreelementer. Raw material for solid wood elements. Av Olav Mjåland, Vegard Kilde, Geir Glasø og Jarle Aarstad, Treteknisk, 2004
57. Evaluation of glulam beams after 6 years exposure to outdoor climate. TEFT-Project. Av Birte Pitzner, Arne Rambøl og Per Lind, Norsk Treteknisk Institutt, 2004
58. Advances in drying of wood. Proceedings from COST-E15 seminars 2000-2004, Sverre Tronstad, Knut Magnar Sandland, Kjersti Folvik and Håkon Toverød, Norsk Treteknisk Institutt, 2005
59. Effect of top loading on the deformation in sawn timber during kiln drying. EU project STRAIGHT. Effekten av toppbelastning på deformasjoner av trelast under tørking. Sverre Tronstad, Norsk Treteknisk Institutt, 2005
60. Gluing of Norway spruce and Scots pine with an EPI-adhesive (emulsion polymer isocyanate) - Activity in the SSFF-project. Laminering av gran og furu med lim av type EPI (emulsjonspolymerisert isocyanat) - en aktivitet i SSFF-prosjektet. Birte Pitzner and Per Lind, Norsk Treteknisk Institutt, 2005
61. Prøving av trevirke ved -170 °C. Resultater fra bøye-, trykk- og skjærttest. Testing of timber at -170 °C. Results from bending-, shear- and compression tests. Kjell Helge Solli, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
62. Overflate- og systembehandling. Surface- and system treatment. Bjørn Jacobsen, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
63. Sitkagran som utvendig kledning - produksjonsforsøk. Sitka spruce as external cladding - production test. Jan Bramming og Olav Mjåland, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
64. Sawyer - planleggingsverktøy for sagprosessen. Sawyer - planning tool for the sawing process. Håkon Toverød, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
65. Fysiske og mekaniske egenskaper hos norsk gran og furu - en aktivitet i SSFF-prosjektet Physical and mechanical properties in Norwegian spruce and pine - An activity in the SSFF project. Jan Bramming, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
66. Sagbruksflis – geometri - en aktivitet i SSFF-prosjektet. Wood chips – geometry - An activity in the SSFF project. Knut Finstad, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
67. Bjørk i synlige konstruksjoner. Birch in visible constructions. Vegard Kilde, Kjell Helge Solli, Birte Pitzner, Per Lind og Jan Bramming, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
68. Sitkagran som utvendig kledning – feltforsøk Sitka spruce as external cladding – field tests Jan Bramming og Bjørn Jacobsen Norsk Treteknisk Institutt, 2007
69. Sitkagran som utvendig kledning – vedheftstest Sitka spruce as external cladding – adhesion test Jan Bramming og Bjørn Jacobsen Norsk Treteknisk Institutt, 2007
70. Sitkagran som konstruksjonsvirke. Sitka spruce as structural timber. Kjell Helge Solli, Olav Mjåland, Knut Magnar Sandland - Treteknisk og Kjell Vadla - Skog og landskap. Norsk Treteknisk Institutt, 2007
71. Industriell overflatebehandling av kledningsbord Industrial surface treatment of cladding Bjørn Jacobsen, Norsk Treteknisk Institutt, 2008

Håndbøker fra Treteknisk

1. **- bygge med Massivtreelementer.**
6 hefter i ringperm. Generelt, Byggeteknikk
Dimensjonering, Brann, Lyd og Byggeprosjekter.
ISBN 82-7120-000-3. Treteknisk 2006.
2. **Tre og fuktighet**
ISBN 82-7120-003-8. Treteknisk 2006.
3. **Mekaniske treforbindelser** - dimensjonering
Basert på NS-EN 1995-1-1:2004 og Eurocode 5
ISBN 978-82-7120-200-2. Treteknisk 2007.

Tekniske småskrifter fra Treteknisk

28. Sortererhåndboka. Kvalitetsforhold i trevirke.
Michael Foslie. 1998.
ISSN 0468-4168.
33. Treteknisk Håndbok 1999.
ISBN 82-7120-030-5.
34. Bioenergi fra treindustrien. Jarle Svanæs. 2002.
ISBN 87-7120-038-0.
36. Overflate- og systembehandling
av tre brukt utendørs - Del 1
Bjørn Jacobsen og Fred G. Evans. 2003.
ISBN 82-7120-039-9.

FOKUS på tre

- Nr. 1 Sagtømmerandel i massevirke
- Nr. 2 Vurdering av norske treslag til bruk
som fasadematerialer utendørs
- Nr. 3 Spenninger og deformasjoner
i trevirke som tørker
- Nr. 4 Øket sideborduttak
- Øket videreforedling
- Nr. 5 Kvalitetsforbedring basert
på oppfølging av avvikskostnader
- Nr. 6 Overflatebehandling av tregulv
- Nr. 7 Heltregulv
- Nr. 8 Tre og miljø
- Nr. 9 Innvendig panel
- Nr. 10 Soppfarget lauvtre
- Nr. 11 Lerk
- Nr. 12 Broer i tre
- Nr. 13 Innvendig listverk
- Nr. 14 Parkettgulv
- Nr. 15 Endebeskyttelse av tømmer
- Nr. 16 Tømmervanning
- Nr. 17 Avrenning fra tømmervanning
- Nr. 18 Lauvtrevirkets egenskaper
- Nr. 19 Konkurransefortrinn gjennom avansert
kvalitetsforbedringsarbeid
- Nr. 20 Massivtre
- Nr. 21 Trykkimpregnering
- Nr. 22 Utvendig kledning
- Nr. 23 Overflatebehandling av utvendig kledning
- Nr. 24 Virkesegenskapenes betydning for tørke-
og høvlingskvalitet
- Nr. 25 Kjerneved av furu
- Nr. 26 Trebaserte plater
- Nr. 27 Trebaserte konstruksjonselementer
- Nr. 28 Gran
- Nr. 29 Uttak av furu kjerneved
- Nr. 30 Ubehandlede trefasader
- Nr. 31 Brannbeskyttet trevirke
- Nr. 32 Fleretasjes trehus
- Nr. 33 Deformasjoner i trelast
- Nr. 34 Furu
- Nr. 35 Bjørk
- Nr. 36 Tre og lyd
- Nr. 37 Tre og brann
- Nr. 38 Trefuktighet – tørking
- Nr. 39 Tørking av gran og furu
- Nr. 40 Trevirkets oppbygging og egenskaper
- Nr. 41 Tradisjonsbasert trebruk
- Nr. 42 Tradisjonsbaserte byggemetoder
- Nr. 43 Konstruksjonsvirke