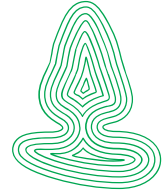


Rapport  
fra Skog og landskap

16/2012



skog+  
landskap

NORSK INSTITUTT FOR  
SKOG OG LANDSKAP

---

## FLISFYRING I NORD- TRØNDELAG 2012

---

### Brukerundersøkelse

---

Helmer Belbo<sup>1</sup>, Geir Fisknes<sup>2</sup>

1 Norsk institutt for skog og landskap

2 Mære Landbruksskole



---

## FLISFYRING I NORD-TRØNDELAG 2012

### Brukerundersøkelse

---

Helmer Belbo<sup>1</sup>, Geir Fisknes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Norsk institutt for skog og landskap

<sup>2</sup> Mære Landbruksskole

ISBN 978-82-311-0169-7  
ISSN 1891-7933

Omslagsfoto: Flishogging i Snåsa, Foto: Helmer Belbo, Skog og landskap.

---

Norsk institutt for skog og landskap, Pb. 115, NO-1431 Ås

---

## FORORD

Dette arbeidet utgjør en del av prosjektet «Biovarmeproduksjon i Nord-Trøndelag», som er finansiert av Fylkesmannen i Nord Trøndelag, Innovasjon Norge og Nord Trøndelag Fylkeskommune. Prosjektet er på mange måter en videreføring av Bioenergiprojektet i Nord-Trøndelag 2007 – 2010. Prosjektet har som formål å styrke kompetansen omkring varmeproduksjon basert på lokale brenselressurser i regionen, og gjennomføres som et samarbeidsprosjekt mellom finansisørene, Mære Landbruksskole og Norsk institutt for skog og landskap. En stor takk rettes også til alle brukerne som har latt seg intervju om sine anlegg.

Steinkjer / Mære, oktober 2012

Helmer Belbo  
Geir Fisknes

## SAMMENDRAG

Bruken av bioenergi er i stadig utvikling, og både internasjonal og nasjonal politikk tilsier at denne utviklingen vil fortsette i tiden som kommer. I Nord-Trøndelag er det per i dag 80 flisfyringsanlegg utenom skogsindustrien med en samlet installert effekt på 13 MW, og flere er i emning. Denne brukerundersøkelsen har kartlagt utnyttelsesgrad, varmeproduksjon og økonomi for et utvalg små- til mellomskala flisfyringsanlegg i Nord-Trøndelag. Videre har en kartlagt hvilke brenselressurser som blir benyttet, og drøftet utviklingen i markedet for energivirke i tiden som kommer.

12 flisfyringsanlegg med en installert effekt i intervallet 50 – 2000 kW og en årlig varmeproduksjon i intervallet 90 – 7000 MWh er fulgt opp ved intervju av anleggsinnehaver. Investeringsnivået på varmesentralen (fyrrom, kjele, teknisk installasjon) var i intervallet 2 700 – 7 600 kr per kW installert effekt for gårds- og gartnerianleggene, og i intervallet 6 200 – 10 600 kr per kW for varmesalg-sanleggene. I tillegg kommer investering i varmedistribusjon og eventuelt sesonglager for flis, som beløp seg til 300-3100 kr per kW installert effekt for gårds- og gartnerianleggene, og til 0 – 7500 kr per kW for varmesalg-sanleggene. Utnyttelsesgraden var i intervallet 1000 – 3600 timer per år, hvor de største anleggene generelt hadde en høy utnyttelsesgrad. Gitt en annuitetsfaktor på 0,07 var kapitalkostnadene (renter og avdrag) i intervallet 11 - 30 øre / kWh for gårds- og gartnerianleggene og 11 - 40 øre / kWh for varmesalg-sanleggene. De store forskjellene i kostnadsnivå har flere forklaringer, hvor de viktigste er knyttet til:

1) forskjellige forutsetninger: Enkelte anlegg er bygd i eksisterende bygg hvor mye a nødvendig infrastruktur (el, vann, avløp, brannsikre vegger, varmedistribusjon) er mer eller mindre på plass, mens andre må reise nytt bygg og / eller besørge ny tilsvarende infrastruktur. For varmesalg-sanleggene er det forskjeller i hvor mye av varmedistribusjonen varmeselskapet er ansvarlig for, noe som også påvirker utbyggingskostnadene.

2) forskjellig utnyttelsesgrad: Enkelte anlegg virker å være overdimensjonerte i forhold til varmebehovet, noe som gir dårlig utnyttelse av investert kapital.

Kostnaden for brenselet varierte fra 15 til 24 øre / kWh for gårds- og gartnerianleggene og fra 22 til 35 øre / kWh for varmesalg-sanleggene. Totale kostnader for kapital (etter investeringstilskudd), brensel, samt drift og vedlikehold var i intervallet 37 – 54 øre / kWh for gårds- og gartnerianleggene, og 51 – 81 øre / kWh for varmesalg-sanleggene. Alle gårds- og gartnerianlegg er dermed lønnsomme om en sammenligner med siste års strømpriser. Lønnsomheten i varmesalg-sanleggene avhenger også av avtalen med varmekundene, noe som ikke er undersøkt i denne studien.

Samlet årlig varmeproduksjon for de tolv respondentene var 10 821 MWh. Virkesforsyningen til denne varmeproduksjonen besto av 46 % virke fra jordekanter, beiterydding og vegkantrydding, 26 % energivirke (samfengt lauv, råtevirke, energigran) fra sluttavvirkning, 18 % bakhun, 6 % massevirke, og 2 % tynningsvirke. Om årlig utnyttelsesgrad av anleggene og virkesforsyningen er representativ for alle flisfyringsanleggene i fylket (skogsindustrien holdt utenom) innebærer dette et årlig forbruk på 16 000 fm<sup>3</sup> per år, hvor knapt 8000 fm<sup>3</sup> kommer fra beite, åkerkant og vegkantrydding, 5000 fm<sup>3</sup> kommer fra ordinær skogsdrift i form av energivirke og slip, 3000 fm<sup>3</sup> er bakhun fra sagbruk, og 300 fm<sup>3</sup> er heltrevirke fra tynningsdrifter. Dette kvantumet tilsvarer 3-4 % av den årlige avvirkningen i fylket, og storparten av virke som benyttes har liten eller ingen verdi for skogsindustrien.

### Nøkkelord:

Bioenergi, flis, logistikk, kostnader, Nord-Trøndelag

# INNHold

Forord .....	ii
Sammendrag .....	iii
Innhold .....	iv
1. Bakgrunn og målsetting .....	1
1.1 Politiske målsettinger og økonomiske incentiver for økt bruk av bioenergi .....	1
1.2 Trebrenselressursen .....	2
1.3 Treflis – egenskaper, brenselkvalitet og forbrenningsteknologi .....	2
1.4 Forsyningskjeden – fra stubbe til fyrkjel .....	3
1.5 Målsetting for studiet .....	4
2. Materiale og metoder .....	4
2.1 Brukere .....	4
2.2 Anleggsdetaljer og utbyggingskostnader .....	5
2.3 Varmeproduksjon og driftssikkerhet .....	5
2.4 Brenselressurser og logistikk .....	5
2.5 Økonomi .....	5
3. Resultater .....	6
3.1 Brukere .....	6
3.2 Anleggsdetaljer og utbyggingskostnader .....	6
3.3 Varmeproduksjon og driftssikkerhet .....	8
3.4 Brenselressurser og logistikk .....	9
3.5 Økonomi og tilfredshet .....	10
4. Diskusjon og konklusjon .....	10
4.1 Anleggskostnader, varmemproduksjon og økonomi .....	10
4.2 Brenselressurser og forsyning .....	12
5. Referanseliste .....	13
Vedlegg: formler, termer og forkortelser .....	14

# 1. BAKGRUNN OG MÅLSETTING

## 1.1. Politiske målsettinger og økonomiske incentiver for økt bruk av bioenergi

Økt utnyttelse av bioenergi har av flere grunner blitt et hett tema de senere år, også i Norge. Den sittende regjering har satt seg fore å øke bruken av bioenergi med inntil 14 TWh innen 2020 (MD, 2007). I Stortingsmelding nr 39, «Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen», er målsettingen satt til samme nivå. Samtidig er det stadfestet at Norges jordbruksarealer først og fremst skal forbeholdes matproduksjon (LMD, 2009). For å realisere målsettingene gir norske myndigheter økonomisk støtte til blant annet etablering av biobvarmeanlegg tilknyttet gårdsbruk gjennom Innovasjon Norge, samt støtte til utbygging av større fjernvarmeanlegg gjennom Enova. Nord-Trøndelag fylkeskommune har fulgt opp regjeringens ambisjoner med en egen klima og energiplan (NTFK, 2010). Elektrisk energi øker i verdi, og fossile brenslere som fyringsolje, propan og kull pålegges CO<sub>2</sub>- og forbruksavgifter. Sammen gjør dette at utnyttelse av biomasse fra jord og skogbruk til energiformål blir et økonomisk interessant alternativ.

Flere aktører fra forvaltning, skognæring og interesseorganisasjoner i Nord-Trøndelag gjennomførte prosjektet «Bioenergi i Nord Trøndelag» i perioden 2007 – 2009. Hovedmålsettingen var å legge til rette for at 30 GWh biovarme skulle realiseres i fylket, hvorav 10 GWh skulle realiseres i løpet av prosjektperioden (Mørkved & Westrum, 2011).

Tabell 1. Oversikt over anleggstyper, installert effekt og anslått årsproduksjon av bioenergi i Nord Trøndelag per 1. oktober 2012.

Anleggstype	Antall (%)	Samlet effekt, MW (%)	Anslått års-produksjon GWh (%)
Ved	74 (39 %)	3,3 (2 %)	3,3 (1 %)
Pellets	21 (11 %)	5,1 (4 %)	10,2 (2 %)
Halm	12 (6 %)	3,1 (2 %)	3,1 (1 %)
Flis	80 (42 %)	13 (9 %)	26 (5 %)
Flis og bark, skogsindustri	5 (3 %)	113,5 (82 %)	490 (92 %)
Totalt	192 (100 %)	138 (100 %)	530 (100 %)

I Nord-Trøndelag har en per 1. oktober 2012 identifisert totalt 192 biovarmeanlegg, med en samlet installert effekt på 138 MW og en årsproduksjon på om lag 510 GWh (tabell 1). Oversikten er utarbeidet av fylkesmannen i Nord-Trøndelag, og alle anlegg er presentert i kartløsningen «GiNT» (FMNT, 2012). Vanlige vedovner er holdt utenom. Når det gjelder vedfyrte anlegg er det antagelig en del mørketall. Skogsindustrien, med Norske Skog (Skogn), Inntre (Steinkjer og Verdal), og Moelven Van Severen (Namsos) sine anlegg er desidert størst, med en samlet effekt på 113 MW og en årsproduksjon på om lag 490 GWh. Disse anleggene benytter biprodukter fra egen industri som ressursgrunnlag for biovarmeproduksjonen. Resterende 80 flisfyringsanlegg har en samlet installert effekt på 13 MW og antatt årsproduksjon på om lag 26 GWh. Disse anleggene må hente brensel fra mindre omkringliggende sagbruk eller fra skog og kulturlandskap direkte.

Selv om vi ikke har oversikt over oppstartdato for alle anleggene, vet vi at flesteparten av anleggene utenom skogsindustrien er av nyere dato. Videre er flere utbygginger og utvidelser på gang, hvor den største er et nytt fjernvarmeanlegg på Stjørdal med 8 MW fliskjele som kommer i drift i løpet av høsten 2012. Det kan dermed se ut som at målsettinger og resultater harmonerer relativt godt i forhold til ambisjonene forut for prosjektet «Bioenergi i Nord-Trøndelag».

## 1.2. Trebrenselressursen

Den totale tilveksten på produktiv skogsmark utenom verneområder i Nord-Trøndelag er nå på om lag 1,4 millioner  $\text{fm}^3$  (hentet fra landskogtakseringens oppslagstjeneste), mens den årlige omsetningen av industrivirke med Nord-Trøndersk opphav ligger på ca 4 - 500 000  $\text{fm}^3$  rundvirke (SSB, 2012). Det er dermed betydelige virkesressurser tilgjengelig, men prisnivået på rundvirke gjør at driftsøkonomien blir svak i områder langt fra veg og i bratt terreng. Biprodukter fra skogsindustrien, dvs bakhun, rotreduserflis, sagflis, høvelspon og bark, er i de fleste tilfeller den enklest tilgjengelige og billigste trebrenselressursen. Mesteparten av disse fraksjonene er imidlertid allerede i bruk både til biobrensel og andre formål. Økt bruk av bioenergi betinger derfor at en henter mer virke fra skog og kulturlandskap, eller at en overtar virkes-strømmer fra annen industri (papir, sponplate, smelteverk). Hogstavfall, det vil si grener, topper og avkapp som ligger igjen i skogen etter ordinær hogst, er et betydelig brenselprodukt fra skogbruket hos våre naboland i øst. Typisk utbytte fra granbestand er 120 – 150 kg ts (ca. 0,3 - 0,4  $\text{fm}^3$ ) hogstavfall per  $\text{fm}^3$  rundvirke (Nurmi, 2007). Potensialet for hogstavfall er dermed i størrelsesordenen 150 000  $\text{fm}^3$ , tilsvarende ca 300 GWh. Hogstavfall benyttes vanligvis i store robuste anlegg på grunn av store variasjoner i fuktighet og flisfraksjonsfordeling. Tørrgran, råtevirke og samfengt lauv-virke fra sluttavvirkning, samt blandingsvirke fra jordekantrydding, beiterydding og vegkantrydding er i større grad benyttet på små varmeanlegg. Disse sortimentene er ikke inkludert i de nasjonale hogststatistikkene hos Statistisk Sentralbyrå (SSB, 2012). En har derfor liten oversikt over hvor store kvantum som omsettes eller ligger igjen i skogen av disse sortimentene. Når det gjelder virke fra kulturlandskapspregede områder, viser landskogtakseringens oversikter et areal på 470 000 dekar lauvdominert skog under 300 m over havet og under 400 m fra bilveg. Dette arealet inkluderer sannsynligvis mye av det som er av gjengroingsarealer og annen lauvskog i kulturlandskapet. Dette arealet har en årlig tilvekst på om lag 81 000  $\text{fm}^3$ , noe som representerer en energimengde på om lag 170 GWh per år. Energivirkepotensialet fra tynningsdrifter har vi per dags dato ingen estimater på.

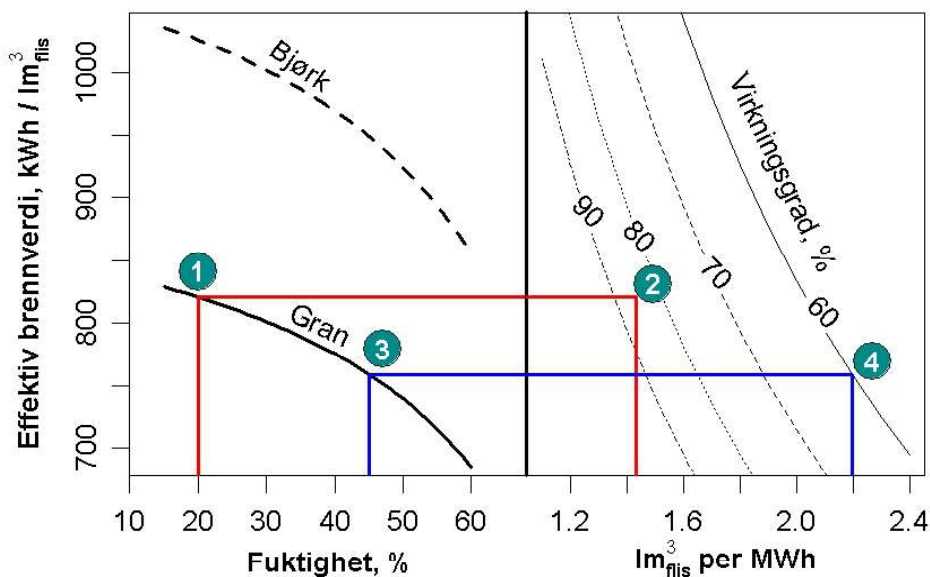
## 1.3. Treflis – egenskaper, brenselkvalitet og forbrenningsteknologi

Ved hogsttidspunktet har ferskt trevirke et fuktinnhold i intervallet 45 – 55 % alt etter treslag og årstid. Lagringsstabilitet og effektiv brennverdi (dvs nyttbar energi for små til mellomstore varmeanlegg) er sterkt knyttet til materialets fuktighet. Om flisa er fuktig (> 25 % fuktighet) under lagring er det gode forhold for mugg- og råtesopp. Dette gir en biologisk nedbryting / forbrenning av flis, noe som gir energitap i form av tørrstofftap samt økt helseisriko ved håndtering grunnet økt eksponering av sopp sporer. Selvantennning i flisstakker på grunn av kraftig varmegang har forekommet i store stakker av rått materiale. Flisfyringsanlegg i liten og mellomstor skala er vanligvis designet for å brenne tørr flis, dvs med fuktighet under 30 %. Noen modeller, som har såkalt for-ovn eller ristbrenner, kan benytte enda fuktigere flis (40 – 45 %).

Virkningsgraden til et anlegg angir hvor stor andel av den potensielle varmeenergien i brenselet et anlegg avgir som nyttbar varme. Om et anlegg har 80 % virkningsgrad, betyr det at 80 % av tilgjengelig varmeenergi i brenselet er avgitt som nyttbar varme, mens 20 % er gått tapt. Med mindre anlegget har røykgasskondensering, vil brensel med høy fuktighet gi en lavere virkningsgrad enn brensel med lav fuktighet. Største forskjell får en selvsagt i anlegg som er designet for tørr flis.

Virkningsgraden til anlegget har stor innflytelse på økonomien ved et biovarmeanlegg. Om en oppnår høy virkningsgrad vil en behøve mindre brensel og får dertil lavere energikostnad (figur 1).





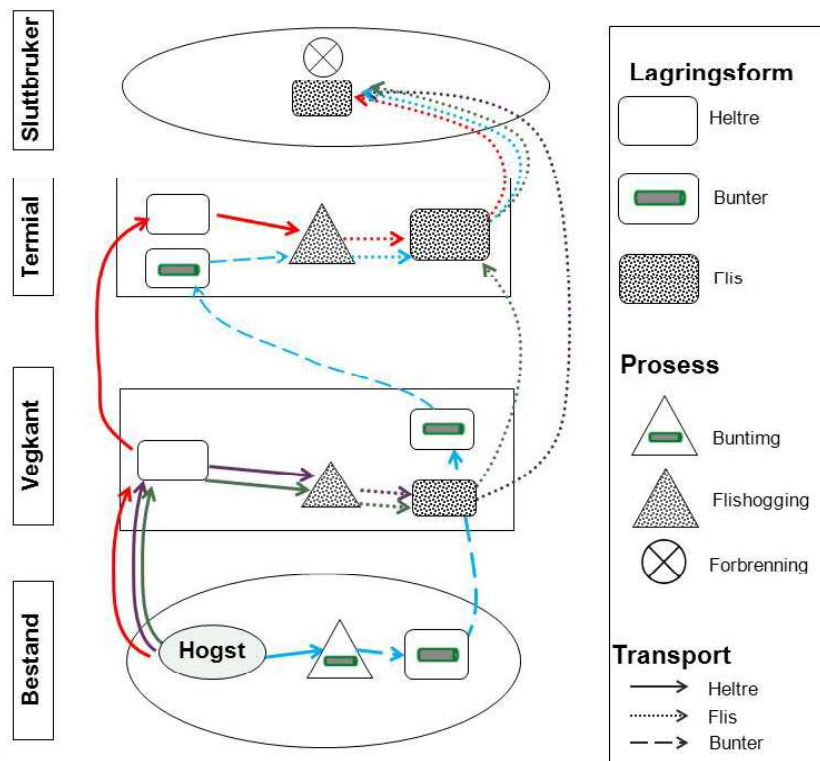
Figur 1. Flisbehovet relatert til brenselets fuktighet og anleggets virkningsgrad. Basisdensiteten for gran og bjerk er satt til hhv 400 og 500 kg tørrstoff per fm<sup>3</sup>, og for begge er det antatt en fastmasseprosent på 40.

Figur 1 viser sammenhengen mellom treslag, brenselets fuktighet og energi-tetthet, samt sammenhengen mellom energi-tetthet, virkningsgrad og flisforbruk. Granflis med 20 % fukt vil ha en energitetthet på ca 825 kWh / lm<sup>3</sup> flis (1). En tørrflis-kjele vil ved brenning av så tørr flis ha en virkningsgrad på om lag 80 – 95 %, og dermed vil flisbehovet være på om lag 1,4 lm<sup>3</sup> flis per MWh produsert (2). Om fuktigheten er 45 % vil energitettheten falle til om lag 775 kWh / lm<sup>3</sup> flis (3), og virkningsgraden kan falle ned mot 60 % (dette varierer en del mellom ulike kjeler). Flisbehovet øker da til om lag 2,2 fm<sup>3</sup> flis per produserte MWh (4).

#### 1.4. Forsyningskjeden – fra stubbe til fyrkjel

Som for alle andre produksjonskjeder består forsyningskjeden av en rekke operasjoner, hvor hver operasjon innebærer en (forhåpentligvis) hensiktsmessig endring av brenselets form, egenskaper eller posisjon. Figur 2 illustrerer noen typiske produksjonskjeder for skogsflis. Årlig produksjonsmengde, anleggsavhengige kvalitetskrav for flisa, lagringsmuligheter, og tilgang på eget utstyr og / eller entreprenører for hogst, transport og flishogging har mye og si for hvilken produksjonskjede en legger opp til. Denne studien gjør ingen dypere analyse av brukernes forsyningskjeder, men fokuserer i større grad på hvordan brenselforsyningen er organisert og om brukerne er tilfreds eller tenker å gjøre endringer i forsyningskjeden.





Figur 2. Prinsippskisse forsyningskjeder for skogsfliis. Alle kjeder starter med hogst i bestand. Virke kan så transporteres til vegkant eller terminal for sesonglagring og naturlig tørking, eventuelt bntes før denne transporten. Flishogging kan foregå enten på skogsveggkant eller på terminal (i noen tilfeller gjøres dette også ved varmeverket).

## 1.5. Målsetting for studiet

Denne brukerundersøkelsen fokuserer på små til mellomstore (50 – 2000 kW) anlegg i Nord Trøndelag, og har følgende målsettinger og motiver:

- 1) Kartlegge årlig varmeproduksjon, relatert til kjeleeffekt og anleggskostnader
- 2) Kartlegge hvilke brenselressurser som blir benyttet, å drøfte hvordan dette vil påvirke markedet for rundvirke og energivirke i tiden som kommer
- 3) Undersøke hvorvidt bruk av biobrensel er økonomisk lønnsomt for brukerne som har investert i biobrenselanlegg
- 4) Undersøke hvilke utfordringer brukerne opplever i forhold til teknisk installasjon og brenselforsyning.

## 2. MATERIALER OG METODER

### 2.1. Brukere

12 små og mellomstore flisfyringsanlegg, med installert effekt i intervallet 50 – 2000 kW er fulgt opp i denne undersøkelsen. Anlegg tilknyttet treforedlingsbedrifter er holdt utenom, da de har en forsynings situasjon for brensel som i liten grad er relevant for andre aktører. Anleggseier har latt seg intervju om anleggsdetaljer, kostnader, logistikkløsninger, og øvrige relevante erfaringer ved sine anlegg.

## 2.2. Anleggsdetaljer og utbyggingskostnader

Brukerne har beskrevet anleggene med hensyn på fabrikat og effekt på kjele, krav til brensel (fuktighet, flisdimensjoner), og størrelsen på flislager tilknyttet kjelen og øvrig flislager. I tillegg er brukerne spurt om hvorvidt anlegget er godt tilpasset varmebehovet, brenselet som er i bruk, samt hvorvidt brukeren er godt fornøyd med oppfølging og service fra kjele-leverandøren.

Brukerne har angitt anleggskostnadene i sju kategorier;

- 1) Branncelle eller fyrhus, inkludert vann, avløp, el-installasjon, og pipe.
- 2) Fyrkjele med innmatingssystem
- 3) Montering av kjele og innmating
- 4) Oppføring av flislager tilknyttet kjele
- 5) Kulvertrør, inkludert tilkobling fyrhus og kunde(r)
- 6) Oppføring av annet flislager
- 7) Andre kostnader

I tillegg har de angitt budsjett for utbyggingen, hvor mye støtte de har fått til utbyggingen, og hvilke poster som hadde største avvik i forhold til budsjett.

## 2.3. Varmeproduksjon og driftssikkerhet

Brukerne har angitt hvor mye varme som er produsert siden oppstart, samt årsproduksjon (MWh varme) og årsforbruk av flis per sesong for opp til 5 fyringssesonger. I tillegg har de beskrevet hyppigheten av alvorlige og mindre alvorlige driftsstans siden anlegget ble tatt i bruk, og årsakene til dette. Denne informasjonen benyttes til å estimere anleggenes brukstid (et mål på utnyttelsesgraden, (Hohle, 2005)). Brukstiden er årsproduksjonen delt på anleggets angitte effekt. Et 200 kW anlegg som produserer 400 000 kWh per år vil dermed ha en brukstid på 2000 timer per år.

## 2.4. Brenselressurser og logistikk

Brukerne har angitt hvilke brenselressurser / virkessortiment som er benyttet i varmemproduksjonen, og hvorvidt de er tilfreds med de ulike ressursene / sortimentene I tillegg har de beskrevet hvilke brenselressurser de tror vil bli mest brukt i årene som kommer. De ulike brenselressursene deles inn i primær-ressurs og supplement etter hvor stor andel av forsyningen de står for. Hvis 50 % eller mer av forsyningen kommer fra ett sortiment, er dette en primærressurs, om ikke er det et supplement. I noen tilfeller vil derfor en bruker ha to primærressurser for sin brenselforsyning (de som har anslått 50 % av ett og 50 % av et annet sortiment), i andre tilfeller kan en bruker ha en miks av mange supplement og ingen primær-ressurs.

Brukerne har beskrevet lagerkapasiteten for flislager tilknyttet kjele og øvrig flislager, samt hvordan virke lagres før flishogging. I tillegg har de angitt hvilke deler av produksjonskjeden de står for selv, og hvilke deler de leier inn av eksterne aktører.

## 2.5. Økonomi

Lønnsomheten i varmemproduksjon avgjøres av om kostnadene for kapital, brensel, drift og vedlikehold er større eller mindre enn en annen løsning som dekker samme varmebehov. Elektrisk energi er gjerne det enkleste å sammenligne med. Videre må en ta hensyn til at størst andel av forbruket er om vinteren. Om en antar at 70 % av energibruken foregår i vinterhalvåret, har gjennomsnittlig energipris for elektrisitet til husholdninger, inkludert nettleie og avgifter (men uten fastleddet for nettleie), vært på 95 øre per kWh de siste 5 årene i Nord Trøndelag (Beregnet fra Nordpool markedsdata og historiske tall for nettleie i NTE). Landbruk, annen næring og offentlige virksomheter har ca 15 øre / kWh rimeligere nettleie, noe som for disse gir en gjennomsnittlig energikostnad på 80 øre per kWh i samme periode.

Kapitalkostnadene beregnes ut fra investeringsbeløp, avskrivningstid, rentenivå, og restverdien på anlegget etter endt avskrivningstid. Avskrivningstid, rentenivå og restverdien på anlegget er til en viss grad er en subjektiv vurdering. Avskrivningstiden for faste installasjoner er vanligvis tiden til installasjonen må fornyes eller totalrenoveres. Teknisk levetid, dvs tiden bygninger og anlegg kan fungere, er ofte enda lengre. Men på grunn av nye bedre løsninger og innovasjoner, eller endrede behov, vil ofte anleggene fornyes på et tidligere tidspunkt, noe som gir kortere økonomisk levetid. Økonomisk levetid på ovner, pumper, skruetransportører og annen leamikk ligger i intervallet 5 – 20 år. Bygninger og fjernvarmerør har vesentlig lengre levetid, og 30 – 40 år er ofte brukt som estimat (Hohle, 2005). Per i dag er kapital relativt billig, med en realrente (effektiv rente fratrukket inflasjon og skattefordel) på 0,5 - 2 prosent for boliglån. Om en antar 21 års økonomisk levetid på anlegget, en realrente på 2 prosent og et risikotillegg på 2 prosent gir dette en kalkulasjonsrente på 4 prosent og en annuitetsfaktor på 0,07 (se vedlegg 1).

Brenselkostnadene er angitt av brukerne. Summen av kapitalkostnader, brenselkostnader, drift og vedlikeholdskostnader er det som til slutt avgjør kostnaden for biovarmen.

### 3. RESULTATER

#### 3.1. Brukere

Tolv anlegg var med i undersøkelsen. Tre anlegg drev varmeproduksjon for salg (200 - 2000 kW installert effekt), to anlegg var tilknyttet gartneri (150 – 240 kW), og resterende sju anlegg var rene gårdsanlegg (65 – 130 kW) som produserte varme til egen drift og bolig.

#### 3.2. Anleggsdetaljer og utbyggingskostnader

Fem av gårds- og gartnerianleggene var montert i eksisterende driftsbygning, mens fire var montert i nybygd fyrhus eller levert ferdig montert i container. Alle anlegg for kommersielt varmesalg var montert i egne fyrhus. Flislagre tilknyttet kjelen holder for 9 – 500 dager på gjennomsnittslast på gårds- og gartnerianleggene, mens for anleggene for varmesalg rommer flis-siloen brensel for 12- 45 dagers fyring. Et av varmesalgsanleggene hadde et litt spesielt flislager tilknyttet kjelen; lageret besto av seks 40 m<sup>3</sup> containere med bunnelevator, hvor containerne settes i stativ og mater ut brensel etter behov. Kjelen på dette anlegget hadde bevegelige rister i forbrenningskammeret, og kan brenne flis på opp til 45 % fuktighet. Ett av anleggene hadde en såkalt forovn koblet til kjelen. Slike anlegg kan også brenne flis med opp til 45 % fuktighet. Alle øvrige anlegg er stoker-kjeler, beregnet på flis med under 30-35 % fuktighet. Flere av brukerne har rapportert at de kan brenne flis med noe høyere fuktinnhold, men at virkningsgraden da går betydelig ned og flisbehovet tilsvarende opp.



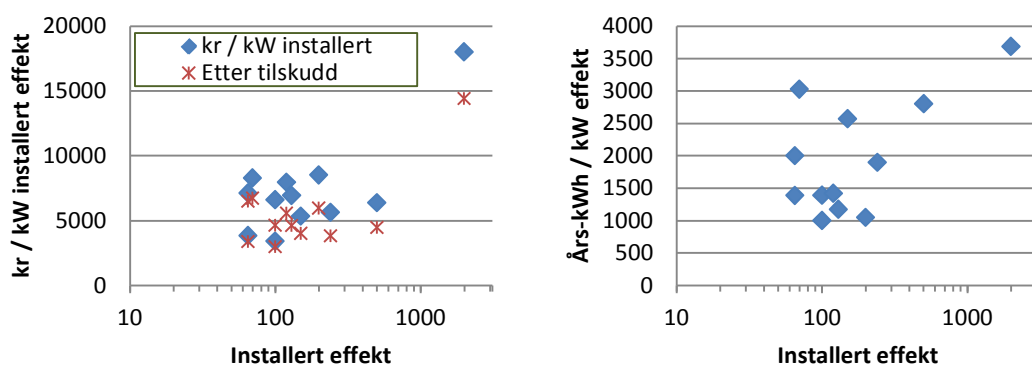
Figur 3. Til venstre en fliskjel beregnet på tørr flis. Asken skrues ut til beholderen i front av kjelen. Til høyre en kjele med såkalt for-ovn, noe som gjør at den kan benytte råere flis.

Gårdsanleggene hadde en total kostnad på 250 – 950 kkr, gartnerianleggene lå litt høyere med en investering på 800 – 1 350 kkr, og anleggene for varmesalg hadde en investering på 1,7 – 36 millioner kr (tabell 2). Målt i forhold til anleggenes størrelse og årlige energiproduksjon, ligger investeringen i intervallet 3400 – 18000 per kW installert effekt. Minst like interessant er investeringsnivået per produserte energimengde. Gårds- og gartnerianleggene lå på et investeringsnivå på 2,1 – 5,9 kr per års-kWh, mens varmesalganleggene lå i intervallet 2,3 – 8,1 kr per års-kWh. Alle anlegg som lå på et høyt kostnadsnivå (> 5 kr / års-kWh) hadde planer om å knytte til seg ytterligere abonnenter. Dermed vil årlig produksjon økes, og investeringen relativt til årsproduksjonen sannsynligvis gå ned.

Tabell 2. Anleggskostnader fordelt på ulike kostnadskomponenter (uten støtte)

Kostnadskomponent	Gårds- og gartnerianlegg		Kommersielle anlegg	
	kkr	kr / kW	kkr	kkr / kW
Branncelle i driftsbygning	30 - 80	300 - 1200		
Frittstående fyrhus	200 - 450	1700 - 3500	200 - 6000	1000 - 3000
Fyrkjele m innmating	100 - 300	1500 - 3100	475 - 12000	2400 - 6000
Montering	5 - 126	80 - 840	200 - 1200	600 - 1000
Flislager tilknyttet kjelen	15 - 100	150 - 770	0 - 200	0 - 1000
Containeranlegg inkl kjele og silo	1036	4316	-	-
Sum varmesentral	190 - 1047	2700 - 7600	1250 - 21200	6200 - 10600
Varmedistribusjonsnett	10 - 200	150 - 2100	0 - 12600	0 - 1400
Annet flislager	0 - 100	0 - 890	-	-
Annet	0 - 250	0 - 2500	0 - 5000	0 - 2300
<b>Totalt</b>	<b>250 - 1350</b>	<b>3400 - 8300</b>	<b>1700 - 36000</b>	<b>6400 - 18000</b>

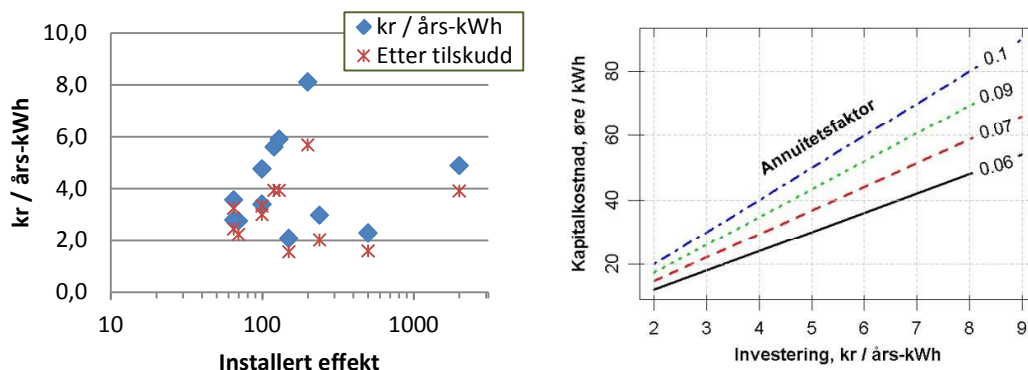
Tabell 2 viser at det er relativt stor spredning i anleggskostnadene. For gårds- og gartnerianlegg kan det være store forskjeller knyttet til forutsetningene før bygging. I enkelte tilfeller bygges branncellen på et sted hvor betongvegger, vann, avløp og strømforsyning allerede er mer eller mindre på plass, mens andre steder må alt legges nytt. Bygging av branncelle i eksisterende driftsbygning er betydelig rimeligere enn å bygge nytt frittstående fyrhus. For seks av brukerne var utgiftene til rørleggertjenester betydelig større enn forventet, og fire brukere hadde underbudsjettet elektrikertjenester.



Figur 4. Totalkostnad for anlegget, inkludert varmedistribusjon ut til boliger og i driftsbygninger, per kW installert effekt til venstre. Brukstid (årsproduksjon i kWh per kW installert effekt) til høyre.

Tre av gårdsvarmeanleggene hadde et støttenivå på om lag 10-12 % av investeringen, og anleggene med dette støttenivået hadde en total anleggskostnad i intervallet 2,8 – 3,6 kr per års-

kWh. De andre anleggene, hvorav alle som hadde en total kostnad på mer enn 4 kr / års-kWh, har hatt et støttenivå på ca 30 % (figur 4).



Figur 5. Investeringsnivå i kr per års-kWh (dvs gjennomsnittlig årsproduksjon) til venstre, og årlige kapitalkostnad per produserte energimengde for ulike investeringsnivå og annuitetsfaktorer til høyre.

Brukstiden varierer fra 1000 til 3000 timer per år for de mindre anleggene, og fra 2000 – 3600 timer per år for de større anleggene (figur 3).

Gårds- og gartnerianleggene hadde et investeringsnivå (etter tilskudd) i intervallet 1,6 – 4 kr per års-kWh, mens varmesalg-sanleggene lå i intervallet 1,6 – 5,7 kr per års-kWh (figur 4). Med en annuitetsfaktor på 0,7 gir dette kapitalkostnader i intervallet 11 – 28 øre / kWh for gårds- og gartnerianleggene, og 11 – 40 øre / kWh for varmesalg-sanleggene (figur 4).

### 3.3. Varmeproduksjon og driftssikkerhet

De 12 brukerne i denne undersøkelsen hadde en samlet installert effekt på 3740 kW, og en samlet varmeproduksjon på 10,8 GWh per år. Dette gir en samlet brukstid på 2900 timer per år. Brukstiden varierte fra 1000 til 3600 timer per år. De to største anleggene hadde en relativt høy brukstid (figur 3), noe som drar opp gjennomsnittlig brukstid betydelig.

Anleggseierne ble spurt om hyppigheten og årsaken til alvorlige driftsstans (flere timer driftsstans og / eller reparasjon av anlegg) og mindre alvorlige driftsstans (kort stans hvor feilen enkelt rettes og anlegget restarteres av brukeren). Hyppigheten av mindre alvorlige driftsstans varierte fra 0 til 30 ganger per år, med et årlig gjennomsnitt på 7,5 stans per anlegg. Enkelte anleggseiere har også bemerket at hyppigheten på mindre alvorlige driftsstans går betydelig ned fra og med andre års drift av anlegget. Alle mindre alvorlige driftsstanser er knyttet til brenselkvalitet eller fremmedlegemer i brenselet, og lange stikker som kiler seg eller blokkerer matingen er den desidert viktigste årsaken.

Åtte av tolv anlegg har hatt alvorlig driftsstans eller har måttet bytte vitale deler i anlegget. I to av tilfellene ble feilen oppdaget på et tidlig stadium, og feilene kunne rettes uten at det ble nevneverdig driftsstans. Alt for fuktig flis, frossen flis og fremmedlegemer i flisa var årsak i halvparten av tilfellene og medførte at brukeren må tømme flis-siloen eller demontere innmatingen.



Figur 6. Tippettsjakt for flis med rist, reduserer risikoen for store ved-biter eller fremmedlegemer som blokkerer matesystemet.

### 3.4. Brenselressurser og logistikk

Fire av gårdsanleggene benytter utelukkende eget virke fra skog, åkerkanter, beiteområder og vegkanter. De øvrige gårds- og gartnerianleggene kjøper 50-95 % av virke, mens varmesalg-sanleggene kjøper 95 – 100 % av brenselet. Virke fra beiterydding, jordekanter og vegkantrydding er den desidert viktigste brenselressursen blant brukerne i denne undersøkelsen etterfulgt av energisortiment fra ordinær hogst og bakhun fra lokale sagbruk (tabell 3).

Tabell 3. Sortiment brukt som brensel hos brukerne i undersøkelsen. Merk at en bruker kan ha to sortiment som primærressurs hvis brukeren har angitt to brenselressurser som begge står for 50 % av forsyningen.

Sortiment	Andel brukere som benytter sortimentet som		Andel av total forsyning
	Primærressurs	Supplement	
Energivirke og tørrgran fra ordinær hogst	25 %	8 %	26 %
Massevirke	8 %	8 %	6 %
Tynningsvirke	17 %	0 %	2 %
Virke fra beiterydding, jordekanter, vegkanter	42 %	42 %	48 %
Bakhun	33 %	42 %	18 %

Alle brukerne oppgir at dagens brensel-sortiment vil være de viktigste også i årene som kommer. Brukerne er med noen unntak fornøyd eller meget fornøyd med brenselet. Noen opplever at heltrevirke ikke blir tilstrekkelig tørt. Om det skyldes kort lagringstid, rått eller fuktig lagringssted, manglende overdekking eller at det rett og slett ikke vil bli tørt er ikke dokumentert.

Tre brukere står for all håndtering, bortsett fra flishogging, av virke selv, og en bruker kjøper alt virke som flis og får det levert direkte på flisfyringsanlegget. Resterende brukere veksler på å håndtere virke selv og å kjøpe virke og tjenester fra andre. For alle anlegg lagres virke en periode, for de fleste minst ett år og for noen opp til to år, for at brenselet skal tørke. De aller fleste har eget lager for ufliset virke, mens tre brukere praktiserer lagring ute på lunneplass i nærheten av hvor virke ble avvirket. Tre av brukerne har egen flishogger, men bare en av dem står for all flishogging selv. De øvrige med flishogger (to brukere) bruker entreprenør til deler av flishoggingen. Seks av brukerne har ingen planer om å gjøre endringer i brenselforsyningskjeden. Tre brukere planlegger å utvide lagerkapasiteten for flis, mens andre vil øke lagerkapasiteten for ufliset virke.

Gårds- og gartnerianleggenes egne estimater på totale brenselkostnader varierer fra 15 til 23 øre per kWh. For varmesalg-sanleggene var brenselkostnadene i intervallet 25 til 35 øre per kWh, hvor de som har kjeler for tørr flis har de høyeste brenselkostnadene.

### 3.5. Økonomi og tilfredshet

Tabellen under (tabell 4) viser beregnede kapitalkostnader, samt kostnader for brensel og drift for anleggene i undersøkelsen.

Tabell 4. Faste og variable kostnader i øre per kWh for anleggene i undersøkelsen.

	Gårds- og gartneranlegg			Varmesalg-sanlegg		
	Snitt	Min	Max	Snitt	Min	Max
Varmesentral	20	10	40	26	16	41
Varmedistribusjon	5	1	12	10	0	30
Ekstra flislager	1	0	3	0	0	0
Investeringsstilskudd	- 6	- 2	- 14	- 10	- 5	- 17
Brensel	19	15	23	31	25	35
Drift og vedlikehold*		6*			6*	
<b>Totalt</b>	<b>45</b>	<b>37</b>	<b>54</b>	<b>63</b>	<b>51</b>	<b>81</b>

\*Drift og vedlikeholdskostnader er ikke undersøkt og er derfor hentet fra bioenergiboken (Hohle, 2005).

Sammenlignet med kostnaden for elektrisk energi i perioden 2007 - 2012, dvs 95 øre / kWh for private og 80 øre for næringsaktører, har alle anlegg bortsett fra ett en positiv margin. Leveransevilkårene for varmesalg-sanleggene er ikke kjent, dermed er den reelle marginen ukjent.

Alle brukerne i undersøkelsen er fornøyde med at de har investert i flisfyring, og mener at det har vært en riktig avgjørelse. Ti av brukerne mener at flisfyringsanlegget har vært en lønnsom investering, mens en er tvilende og en er uenig i dette. Halvparten av brukerne ville gjort enkelte detaljer annerledes om de skulle gjort samme utbygging på nytt; tre av dem ville gjort endringer i flisshåndteringen, en ville hatt en mer fleksibel (med tanke på fukt) fyrkjel, en ville løfte fyrhuset litt høyere i forhold til flomvannstand i naboelva, og en hadde endt opp med en uhensiktsmessig og kronglete askehåndtering.

## 4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

### 4.1. Anleggskostnader, varmeproduksjon og økonomi

Anleggskostnadene var i intervallet 3 – 8 kkr per kW installert effekt, med ett avvik hvor investeringen var på 18 kkr per kW. I en tidligere undersøkelse av mindre flisfyringsanlegg fant Fønhus (2007) at investeringsnivået for hele installasjonen lå i intervallet 3,5 – 11,7, med et gjennomsnitt på 6,3 kkr per kW installert effekt. Selve varmesentralen lå i intervallet 2 – 4 kkr per kW installert effekt for anlegg i eksisterende driftsbygninger, 4 – 5 kkr per kW ved nybygg, og 3 - 4 kkr per kW ved bruk av fyrsentral ferdig montert i container før leveranse (Fønhus, 2007). Bruk av eksisterende bygningsmasse gir en rimeligere investering også i denne undersøkelsen. Erfaringstallene i Bioenergiboken (Hohle, 2005) er også på linje med Fønhus (2007) og angir en investering i størrelsesordenen 2,5 – 4,5 kkr / kW for selve varmesentralen. Erfaringstall fra Norsk Fjernvarmeforening (Enercon AS, 2003) angir et betydelig høyere investeringsbehov, på ca. 10 kkr / kW for små (< 1 MW) varmesentraler. Kostnadsnivået i denne undersøkelsen harmonerer dermed ganske bra med funnene i Fønhus (2007) og Hohle (2005). Rørleggerutgifter er den kostnadskomponenten som oftest gir overraskelser for brukerne. Eneste måte å unngå dette er å



be om en fast anbudspris før investeringsbeslutningen tas, eller kjøpe anlegg ferdig montert i container.

Økonomien i investeringen avgjøres av om hvorvidt summen av kapitalkostnader, brenselkostnader og øvrige driftskostnader blir større eller mindre enn prisen på en annen alternativ løsning for energiforsyning.

Brukerne har oppgitt en brenselkostnad i intervallet 15 – 35 øre per kWh. For anlegg som i hovedsak varmer privatboliger gir dette et «dekningsbidrag» på 60 -80 øre per kWh som skal dekke kapitalkostnader, drift og vedlikehold av anlegget. For anlegg som i hovedsak varmer driftsbygninger og andre næringsbygg blir tilsvarende dekningsbidrag 45 - 65 øre per kWh. Brenselkostnaden er vanligvis sterkt knyttet til kvalitetskravet på brenselet. Markedspris på energiflis av hogstavfall i Sør-Norge har i 2012 ligget på 17 øre / kWh levert varmeverk, mens tørr stammevedflis ligger på 26 øre per kWh ("Energirapporten Energioversikt," 2012). For et anlegg som produserer 500 MWh per år utgjør forskjellen mellom hogstavfall og tørr stammevedflis dermed om lag kr 45 000 per år, noe som forsvarer en mer-investering på inntil kr 650 000 (gitt en annuitetsfaktor på 0,07 og ellers like drift og vedlikeholdskostnader) for et anlegg som håndterer denne typen flis.

Samlede kostnader for kapital og brensel var (etter investeringstilskudd) i intervallet 31 til 48 øre / kWh for gårds- og gartnerianleggene, og 45 – 75 øre / kWh for varmesalgsanleggene. Drifts- og vedlikeholdskostnader er ikke med i denne undersøkelsen, men ligger vanligvis på 3-8 øre per kWh (Fønhus, 2007; Hohle, 2005). Litt avhengig av kostnader til drift og vedlikehold, samt hvor stor andel av forbruket som går til privat husholdning, tyder dette på at alle gårds- og gartnerianleggene er lønnsomme. Med el-pris til næring og offentlige virksomheter i perioden 2007 - 2012 som sammenligningsgrunnlag (80 øre / kWh) kommer ett av varmesalgsanleggene ut med negativ margin på om lag 1 øre per kWh, mens to av anleggene har en positiv margin på hhv 21 og 30 øre per kWh. Anlegget med negativ margin hadde en årlig driftstid på om lag 1100 timer per år, og er dermed tilsynelatende kraftig overdimensjonert i forhold til eksisterende varmebehov. For varmesalgsanleggene er lønnsomheten også avhengig av prisavtalen anleggseier har med kundene, samt varmetap i distribusjonsnett om dette belastes varmeleverandøren. Uten et investeringstilskudd i størrelsesordenen 30 % ville marginen gått ned med 10 – 15 øre per kWh for de minst kostnadseffektive anleggene. Dette innebærer at de fleste anleggene fortsatt ville gitt en liten men positiv margin. Rentekravet i denne analysen (4 % realrente) kan imidlertid være satt lavere enn hva utbyggerne vil kreve. En høyere annuitetsfaktor sammen med bortfall av investeringsstøtte vil fort gi negativ margin, noe som i sin tur fører til at anlegg ikke blir realisert. Andre undersøkelser (Forbord & Vik, 2011) har fremhevet investeringstilskuddet som avgjørende for realisering av mange flisfyringsanlegg. Utbyggingstakten før og etter ENOVA's fjernvarmeprogram og Innovasjon Norge's biobrenselprogram bekrefter dette i stor grad.

## 4.2. Brenselressurser og forsyning

Hvis brukergruppen i denne undersøkelsen er representativ for alle flisfyringsanlegg utenom skogsindustrien i fylket, kan en regne med at det årlig produseres om lag 32 GWh varme fra flisfyringsanleggene i fylket, og at det benyttes drygt 16 000 fm<sup>3</sup> virke til denne biovarmeproduksjonen. Om lag 8 000 fm<sup>3</sup> virke kommer fra beite, åkerkant og vegkantrydding, mens 5 000 fm<sup>3</sup> kommer fra ordinær skogsdrift i form av energivirke, råtevirke, tørrgran og slip. I tillegg benyttes ca 3000 fm<sup>3</sup> bakhun og 300 fm<sup>3</sup> heltrevirke fra tynningsdrift. 16 000 fm<sup>3</sup> per år tilsvarer om lag 3 - 4 % av den årlige avvirkingen i fylket, hvilket tilsier at energivirke utenom biprodukter fra skogsindustrien fortsatt utgjør et volummessig ubetydelig sortiment.



Figur 7. Til venstre: Heltrevirke og bakhun ligger til tørk. Verdal, mai 2012. Til høyre: Plantørke kan brukes til å tørke både korn og flis. Levanger, mai 2012. Foto: Geir Fisknes

Dagens biovarmeproduksjon bidrar derfor utvilsomt til at en får åpnet gjengrodde arealer i kulturlandskapet og ryddet bort virke fra åkerkanter og vegkanter. Dette er virkesressurser som ellers neppe ville bli tatt i bruk. Sammenlignet med estimatene på tilgjengelige og ubrukte virkesressurser, som omfatter hogstavfall, heltrevirke fra tidligere og eksisterende kulturlandskap, energivirkesortimentene fra ordinær skogsdrift, og virke fra tidlig førstegangs tynning (som foreløpig ikke er kvantifisert), er det fortsatt rom for en mangedobling av biobrenselforsyningen.

Nesten alle brukerne framhever fliskvalitet (fuktinnhold og stikker) som kritisk parameter for stabil drift. To av anleggene har en mindre driftsstans per uke, dels på grunn av stikker og dels på grunn av for fuktig flis. Samtidig kan en merke seg at ni av tolv anlegg har mindre enn 1 driftsstans per måned, og at to anlegg ikke har hatt driftsstans i det hele tatt (etter 1-2 års drift). Videre er det flere brukere som oppgir at de har hatt flere driftsstans første år enn senere år. Dette betyr at de fleste etter ett års innkjøring lykkes ganske bra med og skaffe til veie flis av god nok kvalitet, men at noen også har utfordringer med dette.

Flere av brukerne har også understreket viktigheten av god logistikk og gjennomtenkte løsninger for naturlig tørking og transport av ufliset virke, samt transport og lager av flis lokalt ved fyrkjelen. Gode løsninger finner en ved å se mange eksempler, høre andres erfaringer, samt tenke grundig igjennom hvordan dette kan løses lokalt.

## 5. REFERANSELISTE

- Enercon AS. (2003). *Kostnader ved fjernvarmeutbygging (kundesentraler, fjernvarmenett og biobrensel varmesentraler), status 2003*. Oslo: Norsk Fjernvarmeforening.
- Energirapporten Energioversikt. (2012). *Energirapporten, Nr. 31 2012*. ISSN 1891-6562.
- FMNT. (2012). GiNT - Geografi i Nord-Trøndelag. from [www.gint.no](http://www.gint.no)
- Forbord, M., & Vik, J. (2011). *Forsyningskjeder for bioenergi - nettverk og kritiske faktorer* (Rapport 1/11). Trondheim: Norsk senter for bygdeforskning.
- Fønhus, A. E. (2007). *Kostnader og brukererfaringer fra et utvalg av mindre flisfyringsanlegg i Norge*. UMB, Ås.
- Hohle, E. E. (Ed.). (2005). *Bioenergi - miljø, teknikk og marked* (Vol. 2): Energigården.
- LMD. (2009). *St.meld. nr. 39 (2008-2009) Klimautfordringene - landbruket en del av løsningen*. Retrieved <http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/dok/regpubl/stmeld/2008-2009/stmeld-nr-39-2008-2009-.html?id=563671>.
- MD. (2007). *Norsk klimapolitikk*. Retrieved <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/regpubl/stmeld/2006-2007/Stmeld-nr-34-2006-2007-.html?id=473411>.
- Mørkved, J. C., & Westrum, G. (2011). *Bioenergi prosjektet i Nord-Trøndelag 2007 - 2010 Sluttrapport* Steinkjer: Fylkesmannen i Nord Trøndelag.
- NTFK. (2010). *Klima- og energiplan for Nord-Trøndelag*. Retrieved 10. Sept. 2012 from <http://www.ntfk.no/SiteCollectionDocuments/Klima%20og%20energiplan.pdf>.
- Nurmi, J. (2007). Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass & Bioenergy*, 31, 375-380.
- SSB. (2012). Tabell 02895: Avvirkning for salg, etter sortiment (m3) (K). Statistisk Sentralbyrå. Retrieved 15. Sept. 2012, from: [http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default\\_FR.asp?Productid=10.04&PXSid=0&nvl=tr ue&PLanguage=0&tilside=selecttable/MenuSelP.asp&SubjectCode=10](http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default_FR.asp?Productid=10.04&PXSid=0&nvl=tr ue&PLanguage=0&tilside=selecttable/MenuSelP.asp&SubjectCode=10)

# Vedlegg 1 – formler, termer og forkortelser

---

## Termer og forkortelser

kg ts	kg tørrstoff
t ts	tonn tørrstoff
fm <sup>3</sup>	fastkubikkmeter
lm <sup>3</sup> <sub>flis</sub>	løskubikkmeter flis (på folkemunne fliskubikkmeter)
MW	1000 kW
MWh	1000 kWh
GWh	1000 MWh
TWh	1000 GWh
kkkr	1000 norske kr (NOK)

## Beregning av årlige kapitalkostnader av en investering med annuitetsmetoden

$$a = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i$$

$$PMT = \left( PV - \left( \frac{R}{(1+i)^n} \right) \right) * a$$

*a* er annuitetsfaktoren, som angir relativ sum av renter og avskrivninger per år

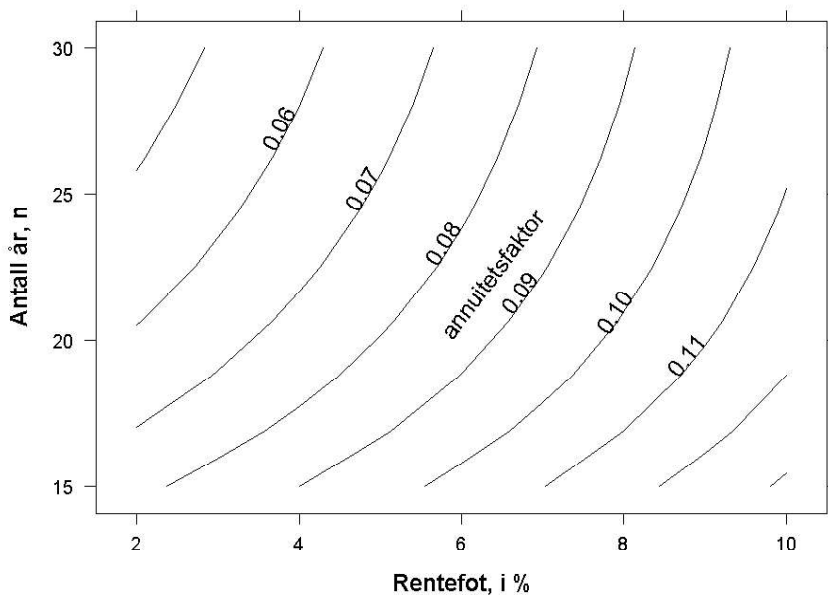
*PMT* er renter og avdrag per år

*PV* er investert beløp

*R* er antatt restverdien etter endt brukstid

*i* er rentekravet på kapital

*n* er levetid (år) på investeringen



Figur 1. Figur 8. Annuitetsfaktor for ulike renter og nedbetalingstider.

## Effektiv brennverdi for trevirke

Effektiv brennverdi for trevirke kan beregnes når vekt og fuktighet er kjent

$$q_{eff} \left( \frac{kWh}{kg \text{ ts}} \right) = 5,3 - \left( 0,7 * \frac{F(\%)}{(100-F(\%))} \right)$$

5,3 er effektiv brennverdi for trevirke med 0 % vanninnhold (kWh / kg ts),

0,7 er fordampningsvarmen som kreves for å fordampe 1 kg vann, (kWh / kg vann).

F er brenselfuktigheten i prosent.

## Tørstoffmengde, når vekt og fuktighet er kjent

$$kg \text{ ts} = kg \text{ råvekt} * \left( \frac{100 - F\%}{100} \right)$$

## Virkningsgrad.

På bakgrunn av registreringer av varmeproduksjon, brenselforbruk og elforbruk i anlegget kan fyrkjelens virkningsgrad bestemmes.

$$\text{Virkningsgrad } \eta (\%) = \frac{\text{Energi avgitt fra varmeanlegget}}{\text{Energi innfyrt (kWh brensel + evt el.)}} * 100$$

Avgitt energi beregnes fra vannmengde (flow) og temperaturforskjell mellom tur og retur rør fra fyrkjel til varmekunde. Dette kobles til et regneverk som regner ut avgitt energimengde. Innfyrt energimengde kan bare beregnes om en kjenner vekt og fuktighet på biomassen som er brukt.