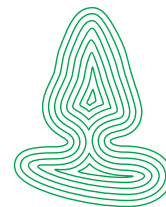


Rapport
fra Skog og landskap

13/2013



skog+
landskap

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

FLIS OG FLISEGENSKAPER

En undersøkelse av brenselflis i det norske
flismarkedet

Eirik Nordhagen & Simen Gjølshjøl



FLIS OG FLISEGENSKAPER

En undersøkelse av brenselflis i det norske flismarkedet

Eirik Nordhagen & Simen Gjølshjøl

ISBN: 978-82-311-0193-2

ISSN: 1891-7933

Omslagsfoto: Stammevedflis på Tronås flisterminal i Ski kommune, Akershus. Flishogger: skivehugger Morbark Modell 30. Foto: Eirik Nordhagen, Skog og landskap.

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

FORORD

Denne rapporten sammenstiller resultater fra analyser av brenselflis i det norske flismarkedet i prosjektet «Solid Biofuels from Forest – Fuel Specification and Quality Assurance» og Cenbio WP 1.3. Skog og landskap har analysert skogsflis som i dag omsettes i det norske flismarkedet.

Hensiktene med undersøkelsen har vært å tallfeste noen av de fysiske egenskapene som kan måles på skogsflis. Målingene er basert på gjeldende standarder for fast biobrensel i Europa, som omhandler flis og fliskvalitet. Skog og landskap har samlet inn flisprøver av grot, heltre og stammeved, stubber, bark og bakhun.

Resultatene er i hovedsak basert på skogsflis fra 5 distrikter med de tilhørende skogeierforeningene AT Skog BA, Viken Skog BA, Vestskog BA, Havass Skog BA og Mjøsen Skog BA, men det har også blitt analysert flis fra Vestlandet og Nord-Norge.

Sammenstilling av tallene er utført av Eirik Nordhagen, mens de praktiske arbeidene med sålding av flis har i hovedsak blitt utført av Jon-Edgar Sundby. Pieter Kofman, Danmark har bidratt med råd og veiledning i forbindelse med teknisk utstyr, analyseverktøy og innspill til manual for måling av flis. Arne Drømtorp og Jon-Edgar Sundby har bygget det tekniske utstyret (flistørke, såldeapparat, flisdeler) på laboratoriet for fast biobrensel ved Skog og landskap.

Styringsgruppen bestående av representanter fra Norges skogeierforbund, Norsk virkesmåling og Skogeierforeningene har bidratt med diskusjoner og nyttige innspill underveis. Prosjektleder har vært Simen Gjølshjøl ved Norsk institutt for skog og landskap. Prosjektet har blitt finansiert av Norges forskningsråd i CenBio samt Skogtiltaksfondet.

Skog og landskap takker alle for samarbeid i prosjektet.

Ås, 23. september 2013

Eirik Nordhagen

SAMMENDRAG

Skog og landskap har analysert skogsfлис som i dag omsettes i det norske flismarkedet. Resultatene er i hovedsak basert på materiale fra 5 distrikter med de tilhørende skogeierforeningene AT Skog BA, Viken Skog BA, Vestskog BA, Havass Skog BA og Mjøsen Skog BA. Skogeierforeninger har sammen med Skog og landskap samlet inn flisprøver av grot, heltre og stammeved, stubber, bark og bakhun. Fuktighet, bulkdensitet, brennverdi, energitetthet og flisstørrelse er analysert, målt og beregnet etter gjeldene standarder for fast biobrensel i Europa. Målinger og beregninger som gjør det mulig å kategorisere treflis i et marked for fornybar energi i Europa. Skog og landskap har totalt analysert 120 flisprøver. Flisstørrelse og flisklasse ble bestemt i henhold til standarder for fast biobrensel. Flisklasse er en angivelse av flisstørrelse. Flisklasse P16 og P31,5 er mindre flis hvor hoveddelen av flisen er mellom 3,15 og 31,5 mm. Mens klasse P45 og P63 er større flis mellom 8 og 65 mm.

Finstoff er definert som partikler mindre enn 3,15 mm. For P16 flis er grensen satt til $\leq 12\%$ (vekt-%) og for P45 flis er grensen satt til $\leq 8\%$. For grottflis er finstoff andelen i standarden satt til maksimum 25%. Den laveste finstoffandelen ble målt på stammeved (2,2%) og den høyeste på grot (49,2%). Finstoffandelen for grottflis var i gjennomsnitt $25,0 \pm 11,2\%$, for heltreflis $8,8\% \pm 4,9\%$ og for stammevedflis $5,3 \pm 2,1\%$.

Grovtflis er definert som lengde (mm) og tverrsnitts areal (cm^2) på flispartiklene. Krav til flislengde og størrelse varierer fra flisklasse til flisklasse. Grove partikler lengre enn 120 mm tolereres generelt ikke gjeldene standard. 61 av 85 flisprøver inneholdt kvister, grener eller stikker lengre enn 120 mm. Grot har i gjennomsnitt $2,0 \pm 1,5\%$, heltreflis $1,7 \pm 1,5\%$, mens stammevedflis har $0,6 \pm 0,7\%$ flis lengre 120 mm. I grottflis tolereres derimot flislengde inntil 350 mm.

Fuktighet er et viktig kvalitets krav og er avgjørende for energiinnhold og lagrings muligheter. Gjennomsnittlig fuktighet for hele flismaterialet var $41,7 \pm 10,1\%$. Grottflis hadde en fuktighet på $49,8 \pm 8,0\%$, heltreflis $39,9 \pm 9,5\%$ og stammevedflis $39,8, \pm 8,9\%$. Den laveste fuktigheten ble målt på heltreflis (12,8%) og den høyeste på barkflis (69,9%). *Bulkdensitet* for flis angir vekt per løs kubikkmeter. Grottflis hadde en gjennomsnittlig bulkdensitet på $356 \pm 63 \text{ kg/lm}^3$, heltreflis $278 \pm 36 \text{ kg/lm}^3$ og stammevedflis $251 \pm 49 \text{ kg/lm}^3$. Den laveste bulkdensiteten ble målt på stammeved (191 kg/lm^3) og den høyeste på grot (434 kg/lm^3).

Askeinnholdet i grottflis var i gjennomsnitt $2,26 \pm 0,95\%$ av tørrvekt. Heltreflis inneholdt $0,94 \pm 0,30\%$ med aske, mens innholdet i stammevedflis var $0,37 \pm 0,12\%$. *Nedre brennverdi for absolutt tørt askefritt brensel* er utgangspunktet for beregning av effektiv brennverdi og ble for grottflis målt til $5,47 \pm 0,10 \text{ kWh/kg TS}$, heltreflis $5,25 \pm 0,09 \text{ kWh/kg TS}$, stammevedflis $5,25 \pm 0,04 \text{ kWh/kg TS}$, bakhunflis $5,25 \pm 0,06 \text{ kWh/kg TS}$ og bark $5,50 \text{ kWh/kg TS}$.

Effektiv brennverdi fuktig brensel var for grottflis $2,40 \pm 0,49 \text{ kWh/kg}$, heltre $2,92 \pm 0,50 \text{ kWh/kg}$ og stammevedflis $3,02 \pm 0,56 \text{ kWh/kg}$. Den laveste brennverdien ble beregnet på bark ($1,13 \text{ kWh/kg}$) og den høyeste på heltreflis ($4,44 \text{ kWh/kg}$). *Energitetthet* er forholdet mellom energimengde og volum, eller kilowattimer per løs kubikkmeter. Grottflis hadde en energitetthet på $826 \pm 89 \text{ kWh/lm}^3$, heltreflis $791 \pm 77 \text{ kWh/lm}^3$ og stammevedflis $753 \pm 47 \text{ kWh/lm}^3$. Den laveste energitetthet ble beregnet på bark (490 kWh/lm^3) og den høyeste på grottflis (1048 kWh/lm^3).

Nøkkelord:

Bioenergi, flis, standarder, fliskvalitet, flisstørrelse, fuktighet, bulkdensitet, brennverdi, energitetthet

INNHold

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
1. Innledning.....	1
1.1. Målsetning for undersøkelsen.....	1
1.2. Europeisk standard for fast biobrensel.....	1
1.3. Klasser for trebrensel angitt i Norsk Standard.....	1
1.4. De viktigste egenskapene for brenselflis.....	2
1.4.1. Fuktighet.....	2
1.4.2. Bulkdensitet.....	3
1.4.3. Askeinnhold.....	3
1.4.4. Brennverdi.....	3
1.4.5. Flisstørrelse.....	3
1.4.6. Energitetthet.....	4
2. Materialer og metoder.....	5
2.1. Bestemmelse av bulkdensitet.....	5
2.2. Bestemmelse av fuktighet.....	5
2.3. Definisjoner og måling av brennverdi.....	5
2.4. Beregning av askeinnhold.....	5
2.5. Beregning av effektiv brennverdi i fuktig brensel.....	5
2.6. Beregning av effektiv brennverdi for fuktig brensel når askeinnholdet er kjent.....	5
2.7. Beregning av energitetthet.....	7
2.8. Analyse av flisstørrelse.....	7
2.9. Statistisk metode.....	8
3. Resultater.....	9
3.1. Fuktighet.....	9
3.2. Bulkdensitet.....	10
3.3. Bulkdensitet av tørrstoffet.....	10
3.4. Askeinnhold.....	11
3.5. Nedre effektiv brennverdi for tørt og askefritt brensel.....	12
3.6. Effektiv brennverdi for fuktig brensel.....	13
3.7. Energitetthet ved aktuell fuktighet.....	14
3.8. Flisstørrelse.....	14
3.8.1. Flisstørrelse og flisklasse.....	16
3.8.2. Flisstørrelse og flishogger.....	16
3.8.3. Kumulativ fordeling av flisstørrelse.....	17
3.8.4. Fin fraksjon (<3,15 mm).....	18

3.8.5. Grov fraksjon (kvister, grener og stikker > 120 mm)	19
4. Diskusjon.....	20
4.1. Fuktighet.....	20
4.2. Bulkdensitet	20
4.3. Aske	20
4.4. Brennverdi og energitetthet.....	20
4.5. Flisstørrelse	21
4.6. Bruk av standarder og klassifisering av flis	21
5. Vedlegg.....	23
5.1. Formler	23
5.2. Brenselkategorier	25
5.3. Analyse og nøkkeltall.....	26
5.4. Eksempel på en kravspesifikasjon ved kjøp og salg av skogsflis	28
6. Referanser.....	29
7. Figurliste.....	31

TERMER OG FORKORTELSER

- Måleenheten for energi i det internasjonale målesystemet SI er joule (J).
- 1 kilowattime er 3,6 Mega Joule eller 3 600 000 Joule (J).
- kWh kilowattime
- MWh megawattime
- 1 megawattime er 1000 kilowattimer
- lm^3 løskubikkmeter dvs. bruttovolum av flis og luft i en beholder eller flislass
- kg TS er kilo tørrstoff

1. INNLEDNING

1.1. Målsetning for undersøkelsen

I et voksende marked for fast biobrensel er det nødvendig å kjenne til en del egenskaper for brenselflis. I 2010, 2011 og 2012 har Norsk institutt for skog og landskap sammen med 5 deltakende skogeierforeninger deltatt i prosjektene «Solid Biofuels from Forest– Fuel Specification and Quality Assurance» og CenBio, arbeidspakke 1.3 «Wood fuel quality», samlet inn flisprøver for analyse av brenselflis for leveranser i det norske biobrenselmarkedet.

Flis er et heterogent materiale og for å karakterisere flis kan en måle fuktighet, bulkdensitet og flisstørrelse. Standardene for fast biobrensel klassifiserer materialet, beskriver metode for prøvetaking og fremgangsmåter for analyse og viser beregninger av effektiv brennverdi og energitetthet basert på målingene av fukt og vekt. Dette er størrelser som har betydning for det enkelte brenselanlegg, for lagerstørrelse, for transport kapasitet, for selve forbrenningen og generelt for kjøp og salg av biobrensel.

I denne rapporten har vi analysert flismaterialet etter gjeldene standard for fast biobrensel. Undersøkelsen har tallfestet noen av de fysiske egenskapene som kan måles på skogsflis.

1.2. Europeisk standard for fast biobrensel

Det er i regi av CEN utviklet standarder for fast biobrensel. Standardene er gitt status som nasjonal standarder med tilleggs betegnelse NS for Norge. Standarder er laget blant annet for å sikre at flis med riktige egenskaper blir produsert til et biobrenselanlegg (Alakangas et al. 2006). Standardene for fast biobrensel gir muligheter for å analysere og klassifisere fast biobrensel. Et fjernvarmeanlegg kan ha utarbeidet en kravspesifikasjon for flis. Kravspesifikasjonen kan omfatte en spesifisering på type brensel, krav til flisstørrelse, øvre eller nedre grense for innhold av fuktighet, askeinnhold, bulkdensitet, energiinnhold og energitetthet. Bruk av standarder sammen med prøvetaking og analyser kan være et system for kvalitetskontroll av brenselet. Terminologi, definisjoner og beskrivelse av fast biobrensel er standardisert i NS-EN 14588:2010, mens spesifikasjoner og klasser av brensel er avgrenset i NS-EN 14961-1:2010 og NS-EN 14961-4:2011. Standarden NS-EN 15234-1:2011 omhandler kvalitetskontroll og kvalitetssikring.

1.3. Klasser for trebrensel angitt i Norsk Standard

I den Europeiske komitéen for Standardisering (CEN) er en serie av standarder for fast biobrensel samlet under tittelen «Fast biobrensel – Spesifikasjoner og klasser for brensel»:

NS-EN 14961-1: Generelle krav

NS-EN 14961-2: Tre pelleter for ikke-industriell bruk

NS-EN 14961-3: Tre briketter for ikke-industriell bruk

NS-EN 14961-4: Tre flis for ikke-industriell bruk

NS-EN 14961-5: Ved for ikke-industriell bruk

NS-EN 14961-1 kategoriserer biobrensel etter opprinnelse, materiale og lister opp egenskaper og klasser for biobrensler. NS-EN 14961-4 omhandler kun flis og er en standard for små og mellomstore varmeanlegg opp til 0,5 MW. Spesifikasjoner på flisklasse, fraksjon og flisstørrelse som er angitt i disse standardene er satt opp i tabell 1.

Tabell 1: Spesifikasjon og klasser for brensel angitt i Norsk Standard for fast biobrensel			
Klasse	Hovedfraksjon (min 75 %) ^a	Fin fraksjon, vekt - % (< 3,15 mm)	Grov fraksjon (vekt- %), maks lengde på partikkel
P16A ^c	3.15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 12 %	≤ 3 % > 16 mm, og alt < 31,5 mm Tverrsnittet på de overstore partiklene < 1 cm ²
P16B ^c	3.15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 12 %	≤ 3 % > 45 mm og alt < 120 mm Tverrsnittet på de overstore partiklene < 1 cm ²
P31,5 ^c	8 ≤ P ≤ 31,5 mm	≤ 8 %	≤ 3 % > 45 mm, og alt < 120 mm Tverrsnittet på de overstore partiklene < 2 cm ²
P45A ^c	8 ≤ P ≤ 45 mm	≤ 8 %	≤ 6 % > 63 mm, og maksimum 3,5 % > 100 mm, alt < 120 mm
P45B ^c	8 ≤ P ≤ 45 mm ^b	≤ 8 % ^b	≤ 6 % > 63 mm, og maksimum 3,5 % > 100 mm, alt < 350 mm Tverrsnittet på de overstore partiklene < 5 cm ²
P63 ^c	8 ≤ P ≤ 63 mm ^b	≤ 6 % ^b	≤ 6 % > 200 mm, all < 350 mm Tverrsnittet på de overstore partiklene < 10 cm ²
^a Verdien (P-klassen) for dimensjon refererer til partikkelstørrelse (hvor minst 75 %) som passerer gjennom nevnte størrelse på såld (NS-EN 14961-1:2010, NS-EN 14961-4:2011). ^b For flis av avvirkningsrester (grot), som inkluderer tynne partikler som nåler, blader og grener, gjelder at hovedfraksjonen (min 75 %) for P45B er 3,15 ≤ P ≤ 45 mm og P63 er 3,15 ≤ P ≤ 63 og andelen finstoff kan maksimum være 25 vekt- %. ^c P16A, P16B, P31,5 og P45A er flis for ikke-industrielle anlegg og P45B og P63 er flis beregnet for industrielle anlegg.			

Klasse angir flisstørrelse. Kravet i standarden er at den enkelte flisklasse skal ha minimum 75 vekt- % av flismassen mellom minste akseptable størrelse og den maksimale størrelse. For P16 flis må f.eks. 75 % av den totale flismassen være mellom 3,15 mm og 16 mm. Fin fraksjonen er definert som flis mindre enn 3,15 mm. For P16 flis må ikke finstoff andelen overskride 12 vekt- %. Det er også krav til størrelse på grovfraksjonen i standarden. Klasse P16 kan kun inneholde grovflis som er < 1 cm², for klasse P45, < 5 cm² og for klasse P63, < 10 cm².

1.4. De viktigste egenskapene for brenselflis

I motsetning til kull, gass og olje er biobrensler som skogsflis mer heterogent, har lavere energitetthet og høyere fuktighet (Wagner and Esbensen 2012). Stadig variasjon i fuktighet på levert brensel kan for eksempel komplisere driften av et brenselanlegg. Jamn fuktighet og flisstørrelse vil optimalisere forbrenningen uten for mange justeringer av selve fyringsprosessen (Hermansson et al. 2011). Praksis ved en del fyringsanlegg er at ulike flismaterialer blandes for å optimalisere forbrenningen. For eksempel kan grovflis, blandes med stammevedflis. Spesifiserte krav til fliskvalitet betyr ikke nødvendigvis «kvalitetsflis», men kan være brensel spesifisert til det enkelte varmeanlegg. Se vedlegg 2 for en generell oversikt over brenselanlegg, brenselkategorier og kvalitetskrav til brenselflis.

1.4.1. FUKTIGHET

Fuktighet sammen med vekt avgjør energiinnholdet på leveransen. Et typisk biovarmeanlegg for skogsflis, mates automatisk med flis med en fuktighet fra 15 % til 50 % (Palmer et al. 2011). Små anlegg kan ha behov for flis med en fuktighet på under 30–35 %, mens større anlegg kan brenne fuktigere flis. Størrelsen på brenselkjelen varierer fra små anlegg på 10–20 kW til store kombinerte strøm- og varmeanlegg på 100 MW og mer. For større varmeanlegg og industrielle

forbrenningsovner kan det være hensiktsmessig og nødvendig å fyre med fuktig flis. Lave utslipp og en effektiv forbrenning er her sikret gjennom rensing av avgassene og gjenvinning av varmen i røyken ved kondensering. Fuktighet avgjør også mulighetene for lengre lagring. Hvis ikke flis er tilstrekkelig tørr, typisk mer enn 30 % fuktighet, vil det skje en nedbrytning av selve trematerialet. Mikrobiell aktivitet vil f.eks. føre til at lagret flis genererer varme, med fare for selvantennning når trevirket brytes ned.

1.4.2. BULKDENSITET

Bulkdensitet for flis angir råvekt i kg per løskubikkmeter (kg/lm^3). Skogsflis krever cirka fire ganger så høy lagerkapasitet som pellets (Egger et al. 2010). Kjennskap til bulkdensitet forenkler estimering av plassbehov ved lagring og beregning av lassvekt ved transport. Typiske verdier for bulkdensitet kan variere mellom 150 og 400 kg/lm^3 (Wu et al. 2011). Bulkdensitet for fast biobrensel vil variere med en rekke forhold slik som treslag, tetthet, flisstørrelse, vibrasjon, støt, press, nedbrytingsgrad og fuktighet (Alakangas 2005).

1.4.3. ASKEINNHOLD

Generelt vil askeinnholdet variere mellom 0,5 til 2 % av tørrvekt (Palmer et al. 2011). Askeinnhold for grotfelis kan variere mer og skyldes høyere andel med nåler, bark og innblanding av jord, sand og stein. Askeandelen i grot kan variere fra 1,3 til 4,7 % (Strömberg and Svärd 2012). Når en skal produsere kvalitetsflis av skogsvirke må andelen av urenheter som grus og sand holdes på et minimum. Behandlingen av trebrenselet etter hogst har dermed mye å si for andelen aske i brenselet.

1.4.4. BRENNVERDI

Ved kjøp og salg av biobrenslar kan det være riktig å kjenne til brennverdi for å beregne energimengden. Brennverdi angir brenselets energiinnhold i MJ/kg, MW/tonn eller kWh/kg. Det er variasjon i brennverdi for ulike deler av et tre. Bark eller never fra bjørk har f.eks. høyere brennverdi enn stammevirke (Nurmi 1997). Trær består i hovedsak av cellulose, hemicellulose og lignin. Andelen av de forskjellige bestanddelene varierer fra treslag til treslag. Brennverdien for lignin er noe høyere enn for cellulose og hemicellulose. Bartrærne har generelt noe høyere lignininnhold. Det betyr at brennverdien (kWh/kg TS) er litt høyere for bartrærne enn for løvtrærne. Treslag med høyere celluloseinnhold slik som f.eks. *Selje* og *Osp*, har dermed noe lavere brennverdi per kg. En nedbrytning av henholdsvis cellulose, hemicellulose og lignin kan i tillegg til tap av tørrstoff endre brennverdien i lagret biomasse (Noll and Jirjis 2012). I følge Thörnqvist og Jirjis (1990) er brennverdien ganske konstant ved riktig lagring av skogsbrensel.

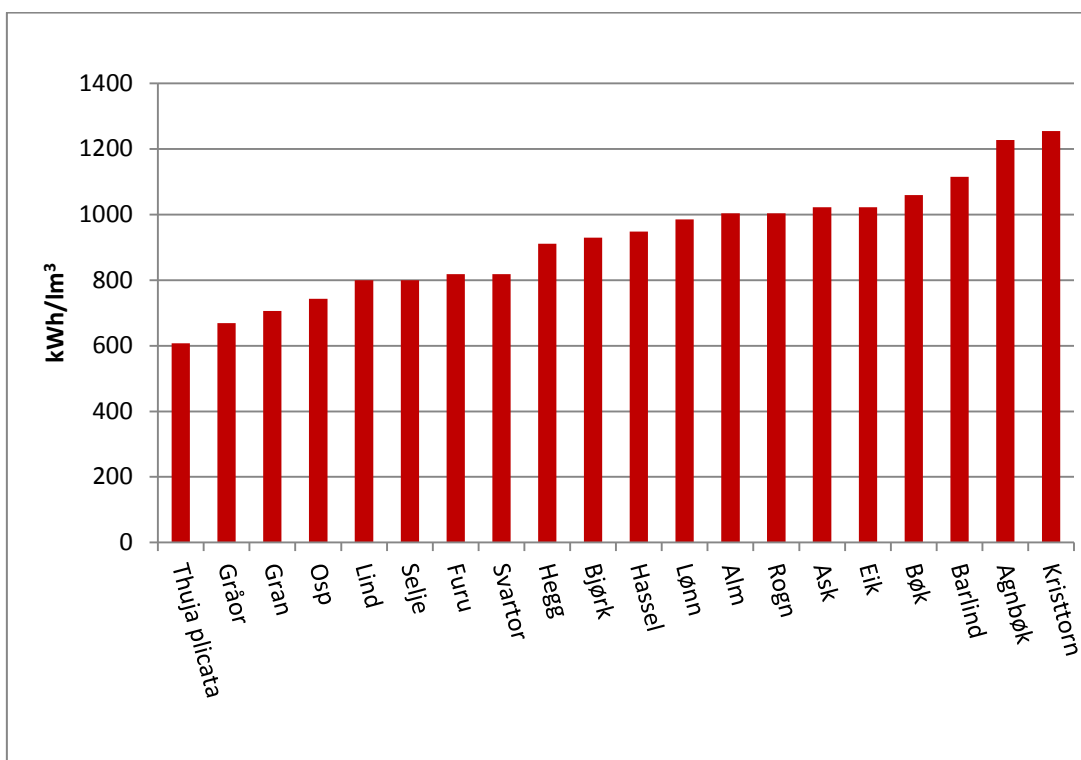
1.4.5. FLISSTØRRELSE

Liten flis egner seg for mindre varmeanlegg. Middelstor flis for større varmesentraler og grov flis i industrielle anlegg (Loibneggar 2011). Flisstørrelse avhenger blant annet av flishugger, råstoffet, treslag, kniver og såld (Nati et al. 2010). Finstoffet består av blader, barnåler, bark og knust tre eller støv. I finstoffet er det også sand og jord. Silikater (sand) kan forårsake sintring og dermed dannelse av slagg i fyringskjelen (Palmer et al. 2011; Strömberg and Svärd 2012). Gjentatt eksponering av finstoff (støv) og eventuelle soppsporer ved håndtering og bruk av flis kan være en helseskadelig (Noll and Jirjis 2012). Andelen overstor flis, som lange kvister og grener, er lavere for flis produsert av tørt materiale (Alakangas 2005). Mengden av overstor flis kan forårsake blokkering (brodannelse) av utmatings- og innmatingsystemet i et brenselanlegg (Palmer et al. 2011).

1.4.6. ENERGITETTHET

Energitetthet er forholdet mellom energiinnhold og volum, det vil si kilowattimer per løskubikkmeter (kWh/lm^3). Energitettheten i flis avhenger av en rekke faktorer, hvor den viktigste er fuktighet, basisdensiteten og fastmasseprosenten. Kjenner en bulkdensitet og effektiv brennverdi er det mulig å estimere energimengden. Ved samme fuktighet og flisstørrelse vil ulike treslag har ulik tetthet og dette vil gi utslag på vekt. Eik og bøk kan med samme fuktighet (30 %) ha en energitetthet på 1100 kWh per løskubikkmeter og lette treslag som stammeved av gran kan ha en energitetthet på om lag 680 kWh per løskubikkmeter (Loibneggar 2011)(fig. 1).

Flis produsert av hele trær og grot inneholder mer finstoff og er derfor mer kompakt enn f.eks. stammevedflis (Alakangas 2005). Med samme fuktighet vil grotflis i utgangspunktet ha en høyere energitetthet enn f.eks. stammevedflis. Skal man kjøpe/selge flis på basis av volum kan det være nødvendig å kjenne til energitettheten.



Figur 1. Figuren viser antall kWh per lm^3 . Det er forutsatt en fuktighet på 30 % og en fastmasse prosent på 38. I tillegg er det brukt gjennomsnittsverdier for basisdensitet. Kilde: Skog og landskap.

2. MATERIALER OG METODER

I prøvetaking og analyser av flis har Skog og landskap fulgt gjeldene standarder for fast biobrensel. Skogsflis er en felles betegnelse på flis som har sin opprinnelse fra rent skogsvirke. Skogsflis kan klassifiseres på grunnlag av råstoffet: Avvirkningsrester (grot), stammeved, heltre, stubber, bark, bakhun, etc. Det analyserte flismaterialet har i hovedsak bestått av: *Grotflis*, *Heltreflis* og *Stammevedflis*. *Grotflis* er biobrensel som i hovedsak består av treets grener og topper, men også mindre trær og kapp fra sluttavvirkning kan inngå i grotflis. *Heltreflis* består av hele trær eller deler av hele trær. Her inngår både stamme og grener (med og uten bar og løv). *Stammevedflis* er kvistet og fliset rundtømmer. Det ble tatt prøver fra flis på lagringsplassen ved veikant, jordekant eller på terminal. Flisprøvene ble i hovedsak tatt utover høsten og vinteren. Terminalene har vært Tronås og Ringbanen i Akershus, Sørlie og Rudshøgda i Hedmark. Totalt er det analysert 120 flisprøver. Hver prøve bestod av minimum 80 liter flis.

2.1. Bestemmelse av bulkdensitet

Bestemmelse av bulkdensitet ble målt ved tre veiinger av flis i en beholder på 50 liter ($0,05 \text{ m}^3$) (fig. 2). Flis til en bulkdensitetsprøve ble tatt fra øvre, midtre og lavere deler av en container eller flishaug. Fordi måling av bulkdensitet ble utført der brenslene ble fliset, inkluderte vektmålingen at beholderen ble dunket tre ganger fra om lag 15 cm høyde. Støtet eller dunkingen forårsaker en reduksjon av volum og skal simulere behandlingen flis får ved håndtering og transport (NS-EN 15103:2009). Bulkdensitet kan også angis i tørrvekt per løskubikkmeter, dvs. vekt av flismaterialet uten fuktighet. Bulkdensitet i kg/m^3 og bulkdensitet av absolutt tørr flis ble beregnet etter formel (1) og (3) i vedlegg 5.1.



Figur 2. Bestemmelse av bulkdensitet ved veiing av beholder med kjent volum.

2.2. Bestemmelse av fuktighet

Det ble tatt 3 prøver på omkring 700–800 gram fra hver beholder for bestemmelse av fuktighet (NS-EN 14774-2:2009). Totalt ble det dermed tatt 9 prøver. Prøven ble veid på produksjonssted (terminal eller ved bilveg). Flisprøven ble senere tørket i tørkeskap ved en temperatur på 105 ± 2 °C og til konstant vekt av flisprøven ble nådd. Fuktinnholdet, uttrykt i prosent av råvekt, ble beregnet etter formel (2) i vedlegg 5.1.

2.3. Definisjoner og måling av brennverdi

Brennverdi er den energi som blir frigitt ved fullstendig forbrenning av en gitt mengde brensel. Det er tre forskjellige måter å angi brenselets energiinnhold; *Øvre brennverdi*, *Nedre effektiv brennverdi* og *Effektiv brennverdi fuktig brensel* (NS-EN 14918:2009). Alle brennverdier er utledet av øvre brennverdi. Øvre brennverdi ble målt på en representativ prøve på ca. 1 gram ved fullstendig forbrenning i et bombekalorimeter av type PARR 6300. Totalt ble det analysert 88 flisprøver i bombekalorimeteret.

Absolutt tørt trevirke inneholder om lag 6 prosent hydrogen. Hydrogen i tre er brennbar og dens forbrenningsprodukt er vann, som må fordampe i forbrenningsprosessen. Nedre effektiv brennverdi i absolutt tørt brensel er dermed om lag 0,36 kWh per kg tørrstoff lavere enn øvre brennverdi (Belbo and Gjølsvåg 2008).

I standarden er typiske verdier for øvre og nedre brennverdier for absolutt tørt brensel angitt i joule per kg (J/kg) eller mega joule per kg. For å beregne effektiv brennverdi i fuktig brensel må en kjenne til øvre brennverdi. I tillegg kan det være nødvendig å måle askeinnholdet i brenselet.

2.4. Beregning av askeinnhold

Hvis askeinnholdet varierer eller er høyt kan det være nødvendig å måle askeinnholdet i brenselet. Dette gjelder spesielt for grot. Totalt ble det analysert askeinnhold på 88 flisprøver. En representativ prøve fra flisprøven blir malt ned til 1 mm. For å beregne askeinnholdet ble en representativ på ca. 1 gram tørket ved 105 ± 3 °C (NS-EN 14774-3:2009) for å finne fuktigheten. For å finne askeinnholdet ble prøvene glødet ved 590 °C. Askeinnholdet ble beregnet etter formel (4) i vedlegg 5.1. I standarden NS-EN 14775:2009 er 550 ± 10 °C angitt som temperatur på ovnen ved analyse av aske.

2.5. Beregning av effektiv brennverdi i fuktig brensel

Effektiv brennverdi i fuktig brensel er definert som nedre brennverdi minus fordampningsvarmen som behøves for tørke brenselet til 0 prosent fuktighet. For hvert kg med vann som skal fordampes fra en temperatur på 25 °C kreves det 0,679 kWh energi til fordampingen. Hvis askeinnholdet i brenselet er lavt eller konstant, kan utregningen baseres på typiske verdier for nedre effektiv brennverdi for absolutt tørt brensel. Se NS-EN 14961-1:2010. Effektiv brennverdi i fuktig brensel kan dermed beregnes etter formel (5) i vedlegg 5.1.

2.6. Beregning av effektiv brennverdi for fuktig brensel når askeinnholdet er kjent

I denne undersøkelsen ble 88 flisprøver analysert med bombekalorimeter og askeinnholdet ble beregnet. Effektiv brennverdi i fuktig brensel kan da beregnes med formel (6) i vedlegg 5.1. Denne formelen kan benyttes hvis askeinnholdet varierer eller er høyt (NS-EN 14961-1:2010).

2.7. Beregning av energitetthet

Er bulkdensitet (kg/m^3) og effektiv brennverdi (kWh/kg) kjent kan man beregne energitettheten i kilowattimer per løskubikkmeter (kWh/m^3) etter formel (6) i vedlegg 5.1.

2.8. Analyse av flisstørrelse

For å bestemme flisstørrelse ble en representativ flisprøve på om lag 80 liter tatt fra topp, midt og bunn i flishaugen eller fliscontaineren. Et potetgreip ble brukt for å ta flisprøvene. Såldeprøvene ble tørket i en egen tørkeenhet (fig. 3) til under 20 % fuktighet. Dette er forutsatt i standarden og er preventivt for å hindre at flispartiklene klumper seg i selve sålde prosessen (NS-EN 15149-1:2010). Såldeprøven ble deretter delt i fire like store deler og sålding ble utført på tre prøver av omlag 18–20 liter. NS-EN 15149-1:2010 angir 8 liter som minste volum for sålding av en enkelt såldeprøve.

I første del av analysearbeidet ble prøvene delt ved å splitte prøvene manuelt. Senere i analysearbeidet ble det konstruert en «flisdeler» som delte prøvene i fire deler (fig. 4). Prøvene ble såldet med et såldesett med runde hull og diameter: 3,15 mm, 8,0 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm og 63 mm og en såldebunn for å fange opp finstoffet mindre enn 3,15 mm.



Figur 3. En flisprøve ble tørket ned i en egen tørkeenhet og delt i fire etter tørking (flisdeleren til venstre i bildet).



Figur 4. Flisdeler som deler flisprøven i fire deler. Etter deling såldes tre av prøvene.

Prøven ble fordelt på det horisontale og mekaniske såldeapparatet i fig. 5 og såldet i 15 minutter. De enkelte fraksjoner ble veid og gjennomsnittlig andel av hver fraksjon ble regnet ut i prosent av totalvekt (vekt- %). Metoden for sålding har i følge (Hartmann et al. 2006) svakheter ved at lange og tynne partikler har en tendens til å falle nedover i hullene i det horisontale såldeapparatet.



Figur 5. Flis ble fordelt på det horisontale såldeapparatet og såldet i 15 minutter.

2.9. Statistisk metode

Størrelser som fuktighet, bulkdensitet, brennverdi, flisstørrelse er angitt som gjennomsnittsverdier og variasjonen i datamaterialet er oppgitt som standardavvik. For å teste datamaterialet statistisk ble det brukt en Kruskal–Wallis test (ANOVA) sammen med TukeyHSD funksjonen i R (R 2012).

3. RESULTATER

Det ble totalt analysert 120 flisprøver. Tabell 2 viser gjennomsnittstall for fuktighet, bulkdensitet, brennverdi og energitetthet for flis fordelt på type råstoff. For bark, bakhun og stubber var det få prøver til å foreta en sammenligning med resten av materialet. Se vedlegg 3 for en fullstendig oversikt for antall målinger og beregninger for hvert enkelt råstoff.

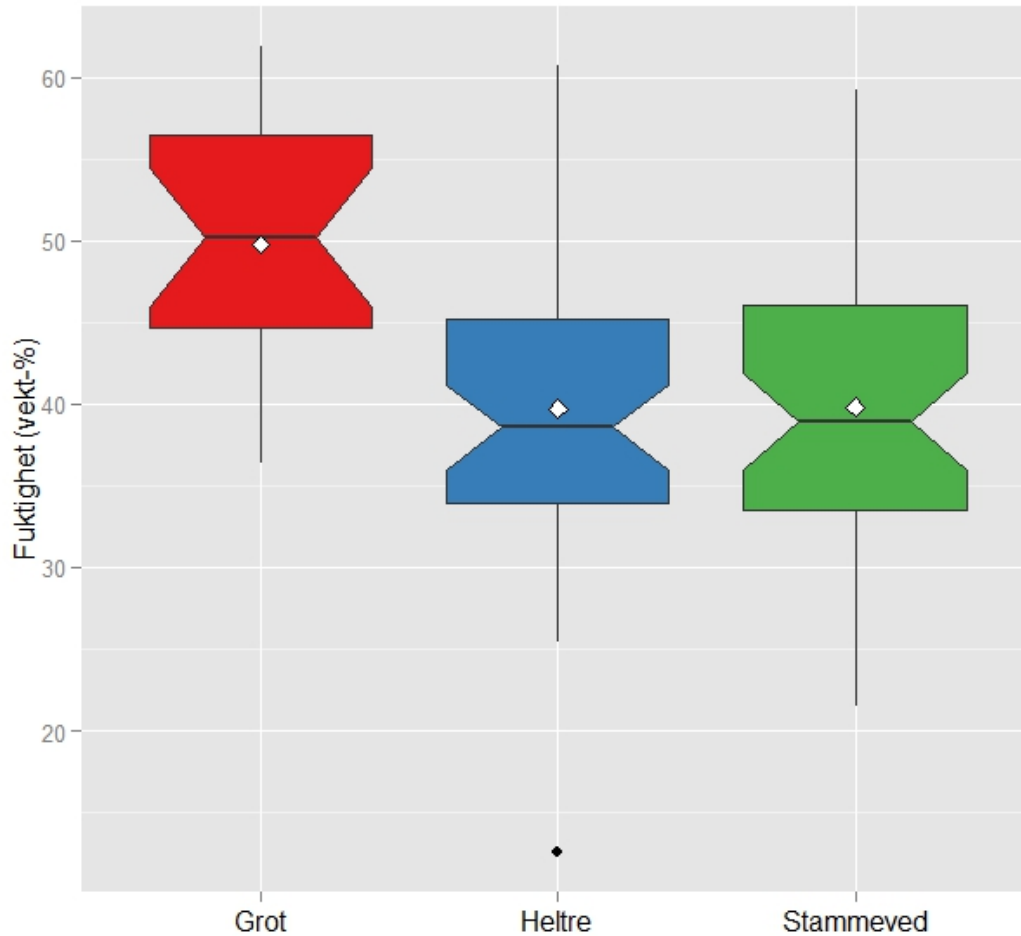
Tabell 2. Flisegenskaper ved ulike typer råstoff

	Grot		Heltre		Stammeved		Stubbe	Bark	Bakhun	
Fuktighet, (vekt - %)	49,8	(8,0)	39,9	(9,5)	39,8	(8,9)	50,6	69,9	39,3	(9,8)
Bulkdensitet ved aktuell fuktighet, (kg/lm ³)	356	(63)	278	(36)	251	(49)	320	433	296	(55)
Bulkdensitet absolutt tørt, (kg/lm ³)	174	(16)	166	(13)	156	(11)	158	130	169	(10,9)
Aske (vekt- %)	2,26	(0,95)	0,94	(0,30)	0,37	(0,12)	-	2,92	0,37	(0,07)
Effektiv brennverdi for tørt og askefritt brensel (kWh/kg)	5,47	(0,10)	5,25		5,25	(0,04)	-	5,50	5,25	(0,06)
Effektiv brennverdi ved aktuell fuktighet, (kWh/kg)	2,40	(0,49)	2,92	(0,51)	3,02	(0,56)	-	1,13	2,79	(0,66)
Energitetthet ved aktuell fuktighet, (kWh/lm ³)	826	(89)	791	(77)	753	(47)	-	490	801	(86)

Note: Tallene er vist som gjennomsnitt. Standardavviket i parentes. Effektiv brennverdi ved aktuell fuktighet er beregnet på grunnlag av formel 5 og energitetthet ved aktuell fuktighet er beregnet på grunnlag av formel 6 i Vedlegg 5.1.

3.1. Fuktighet

Grotflis var i gjennomsnitt 9,9 og 10,0 prosentenheter fuktigere enn henholdsvis heltre- og stammevedflis ($p < 0,01$) (fig. 6). Det var ingen forskjell i fuktighet i flis av heltre og stammeved. 12 av 112 flisprøver var fuktigheten under 30 %. Noen av flisprøvene ble tatt av ferskt fliset materiale med en forventet fuktighet på rundt 50 %. Den høyeste fuktigheten ble målt på fliset bark (69,9 %).



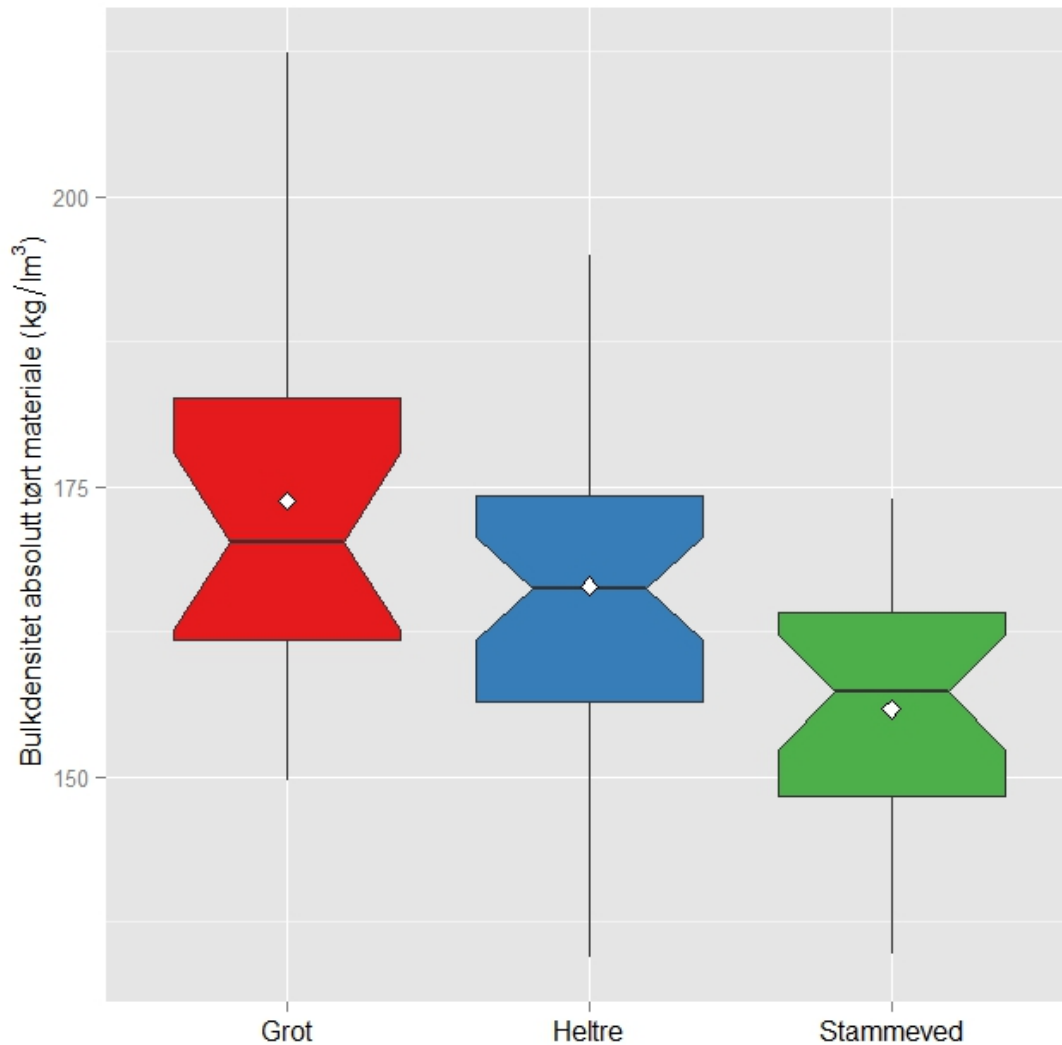
Figur 6. Boksplot for fuktighet (svart strek angir medianen og hvit diamant angir middelveiden) for grot-, heltre og stammevedflis. Grotflis var fuktigere enn heltreflis og stammevedflis ($p < 0,01$).

3.2. Bulkdensitet

Grotflis (356 kg/lm^3) veide i gjennomsnitt 78 kg/lm^3 og 105 kg/lm^3 mer enn henholdsvis heltre- og stammevedflis ($p < 0,01$). Det var en tendens til at bulkdensiteten var noe lavere for stammevedflis sammenlignet med heltreflis. Laveste bulkdensitet ble målt på stammevedflis (192 kg/lm^3) med 12,6 % fuktighet. Høyeste verdi ble målt på grot (488 kg/lm^3) med en fuktighet på 62 %.

3.3. Bulkdensitet av tørrstoffet

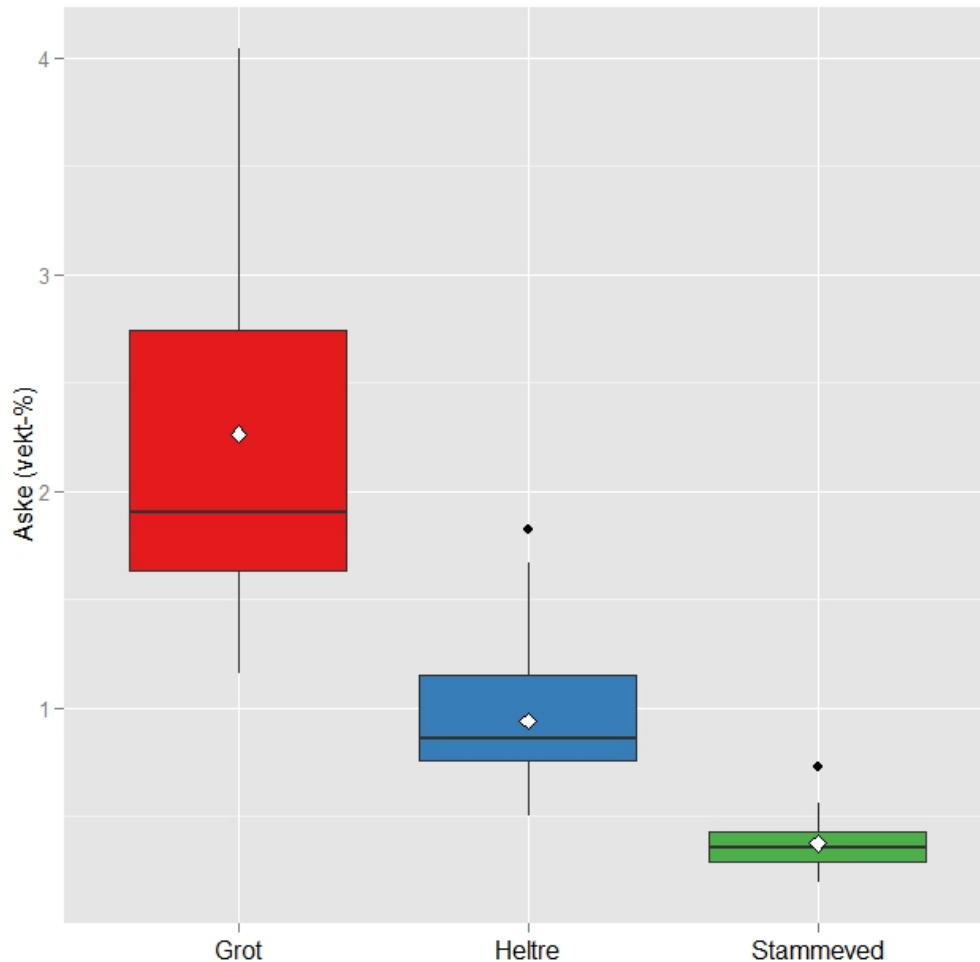
Bulkdensiteten for absolutt tørt materiale var signifikant høyere for grotflis sammenlignet med stammevedflis (fig. 7). Bulkdensiteten var signifikant høyere også for heltreflis sammenlignet med stammevedflis. Gjennomsnittlig bulkdensitet for tørt materiale av grotflis var 174 kg/lm^3 , for heltreflis 166 kg/lm^3 og stammevedflis 156 kg/lm^3 .



Figur 7. Boksplot for bulkdensitet (kg/lm^3) for absolutt tørr grot-, heltre- og stammevedflis. Absolutt tørr grotflis veide tørt 18 kg/lm^3 mer enn stammevedflis ($p < 0,01$) og heltreflis var i gjennomsnitt 10 kg/lm^3 tyngre enn stammevedflis ($p < 0,01$).

3.4. Askeinnhold

Grot inneholdt mer aske (2,26 vekt- %) enn heltre- og stammevedflis ($p < 0,01$). Det var også en signifikant forskjell i askeinnhold i heltre- og stammevedflis. Stammevedflis inneholdt minst aske (0,37 %). Det var en større variasjon i askeinnhold i grot- og heltreflis enn i stammevedflis (fig. 8).



Figur 8. Boksplot med medianen og gjennomsnittlig askeinnhold (vekt - %) av tørrstoffet for grot, heltreflis og stammevedflis.

3.5. Nedre effektiv brennverdi for tørt og askefritt brensel

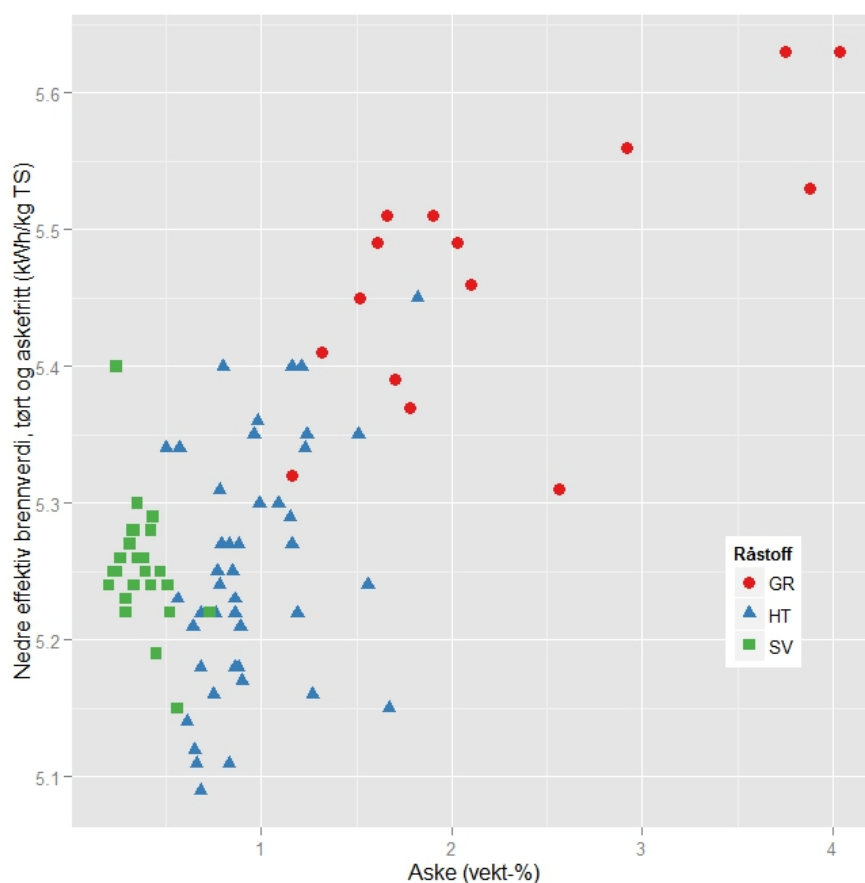
Nedre effektiv brennverdi for tørt askefritt brensel fordelt på råstoff er satt opp i tabell 3. Grotflis hadde den høyeste brennverdien i kWh per kg askefritt tørrstoff. Nedre effektiv brennverdi for grot var signifikant høyere enn både heltre og stammeved. Det var derimot ingen signifikant forskjell på heltre- stammevedflis.

Tabell 3. Nedre effektiv brennverdi, tørt og askefritt (Net calorific value, dry and ash-free) fordelt på råstoff.

Råstoff	Antall	kWh/kg TS
Grot	15	5.47 (0,10)
Heltre	43	5.25 (0,09)
Stammeved	26	5.25 (0,04)

Note: Tallene er vist som gjennomsnitt. Standardavviket i parentes.

Nedre effektiv brennverdi for tørt askefritt brensel (kWh/ TS) fordelt på det respektive askeinnhold er vist i fig 9. Grot inneholdt mest aske og variasjonen i både askeinnhold og effektiv brennverdi var størst for grot.



Figur 9. Nedre effektiv brennverdi for tørt askefritt brensel (kWh/kg TS) etter askeinnhold og type råstoff.

3.6. Effektiv brennverdi for fuktig brensel

Effektiv brennverdi for fuktig brensel var signifikant lavere for grot enn for både heltre- og stammevedflis ($p < 0,01$) (tabell 4). Den laveste effektive brennverdien ble beregnet på bark (1,13 kWh/kg) og den høyeste på heltre (4,44 kWh/kg).

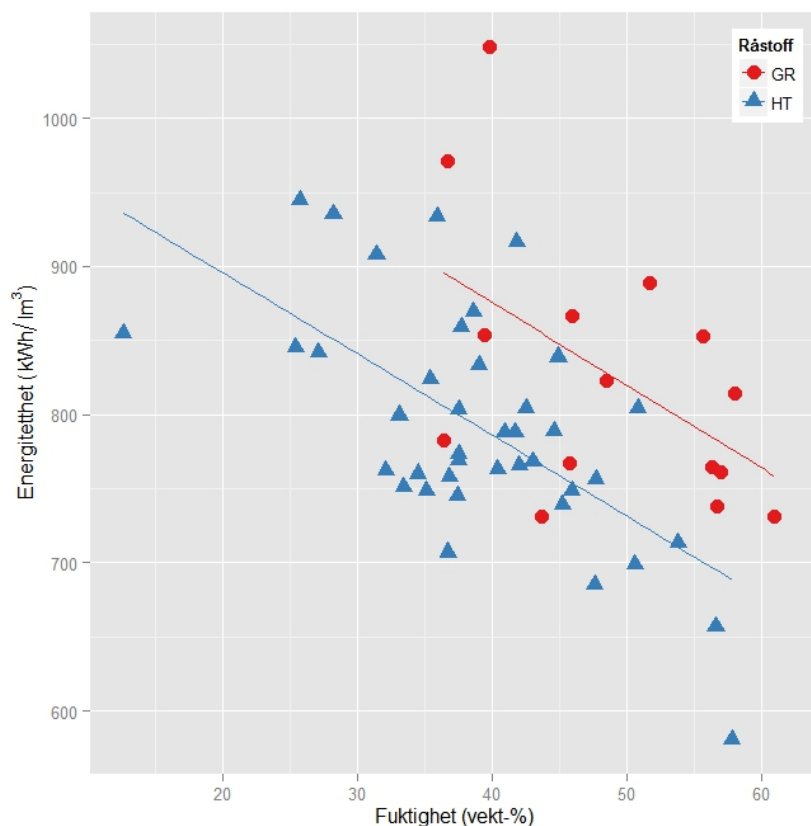
Tabell 4. Nedre effektiv brennverdi for fuktig brensel og råstoff.

Råstoff	Antall	kWh/kg TS
Grot	15	2,40 (0,48)
Heltre	43	2,92 (0,50)
Stammeved	26	3,02 (0,56)

Note: Tallene er vist som gjennomsnitt. Standardavviket i parentes.

3.7. Energitetthet ved aktuell fuktighet

Beregnet energitetthet for grofflis var høyere enn for stammevedflis ($p < 0,05$). Høyeste energitetthet (1048 kWh/lm^3) ble beregnet på grot med en fuktighet på 39,8 % (fig. 10).



Figur 10. Energitetthet og fuktighet fordelt på grot-, heltreflis. Høyeste energitetthet (1048 kWh/lm^3) ble beregnet på grot med en fuktighet på 39,8 %.

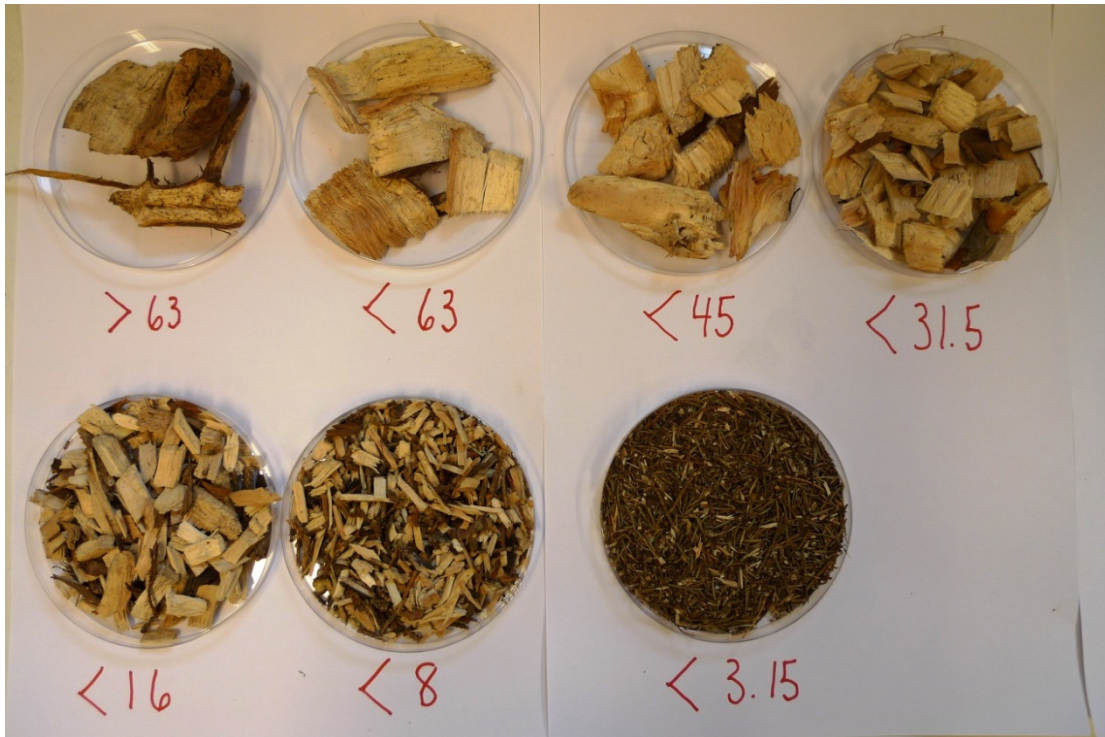
3.8. Flisstørrelse

Flisstørrelse fordelt på fraksjoner er satt opp i tabell 5 og fraksjonene er vist i fig. 11. Grot inneholdt mest finstoff ($< 3,15 \text{ mm}$) og stammevedflis minst finstoff.

Tabell 5. Gjennomsnitt av de ulike fraksjoner i prosent av totalvekt (vekt- %)

Fraksjon	Grot (n=19)	Heltre (n=49)	Stamme (n=46)	Stubbe (n=1)	Bark (n=1)	Bakhon (n=4)
< 3,15 mm	25,0 (11,2)	9,5 (4,9)	5,5 (2,1)	15,5	21,4	10,2 (5,3)
< 8 mm	23,6 (3,7)	21,1 (6,0)	21,5 (7,8)	25,0	32,1	28,3 (10,3)
< 16 mm	27,9 (6,9)	36,9 (6,2)	38,4 (6,2)	27,2	27,1	36,5 (3,3)
<31,5	16,9 (6,8)	25,1 (5,2)	27,4 (9,0)	17,2	13,8	19,6 (8,9)
< 45 mm	2,5 (1,6)	3,9 (2,6)	4,5 (3,4)	5,9	3,4	3,0 (2,2)
< 63 mm	0,6 (0,5)	0,8 (0,9)	0,9 (1,2)	0,6	1,2	0,6 (0,6)
> 63 mm	0,04 (0,01)	0,1 (0,3)	0,1 (0,4)	0,1	0,2	0,1 (0,3)
100 – 120 mm	1,3 (0,8)	0,7 (0,7)	0,7 (0,7)	1,3	0,0	0,6 (0,4)
> 120 mm	2,1 (1,5)	1,6 (1,4)	1,0 (1,4)	7,3	0,8	0,8 (0,3)

Note: Gjennomsnittstall og standardavviket i parentes.



Figur 11. Flis fordelt etter fraksjonsstørrelse etter sålding med såld med runde hull med diameter: 3,15 mm, 8,0 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm og 63 mm.

Grot og heltreflis inneholdt mer av grovfraksjonen > 120 mm (fig. 12). Det skyldes i hovedsak kvister, grener og stikker lengre enn 100 og 120 mm.



Figur 12. Grovfraksjonen (kvister, grener og stikker) lengre enn 120 mm.

3.8.1 FLISSTØRRELSE OG FLISKLASSE

Standard for fast biobrensel er spesifisert slik at minst 75 % av flispartiklene i en flisprøve må være inkludert mellom minste akseptable størrelsen og maksimale flisstørrelse. For P16 flis må 75 % av flisa være mellom 3,15 og 8 mm og for P45 flis må 75 % av flisa være mellom 8 og 45 mm. Av 120 flisprøver kunne 7 prøver klassifiseres som P16 flis. 20 flisprøver kunne klassifiseres som P45 flis. 28 flisprøver kunne klassifiseres som P63 flis. For grotflis gjelder flisklasse P45B og P63. Det var 5 flisprøver av grot som kunne klassifiseres som P45B flis, mens 8 prøver av grotflis kunne klassifiseres som P63 flis.

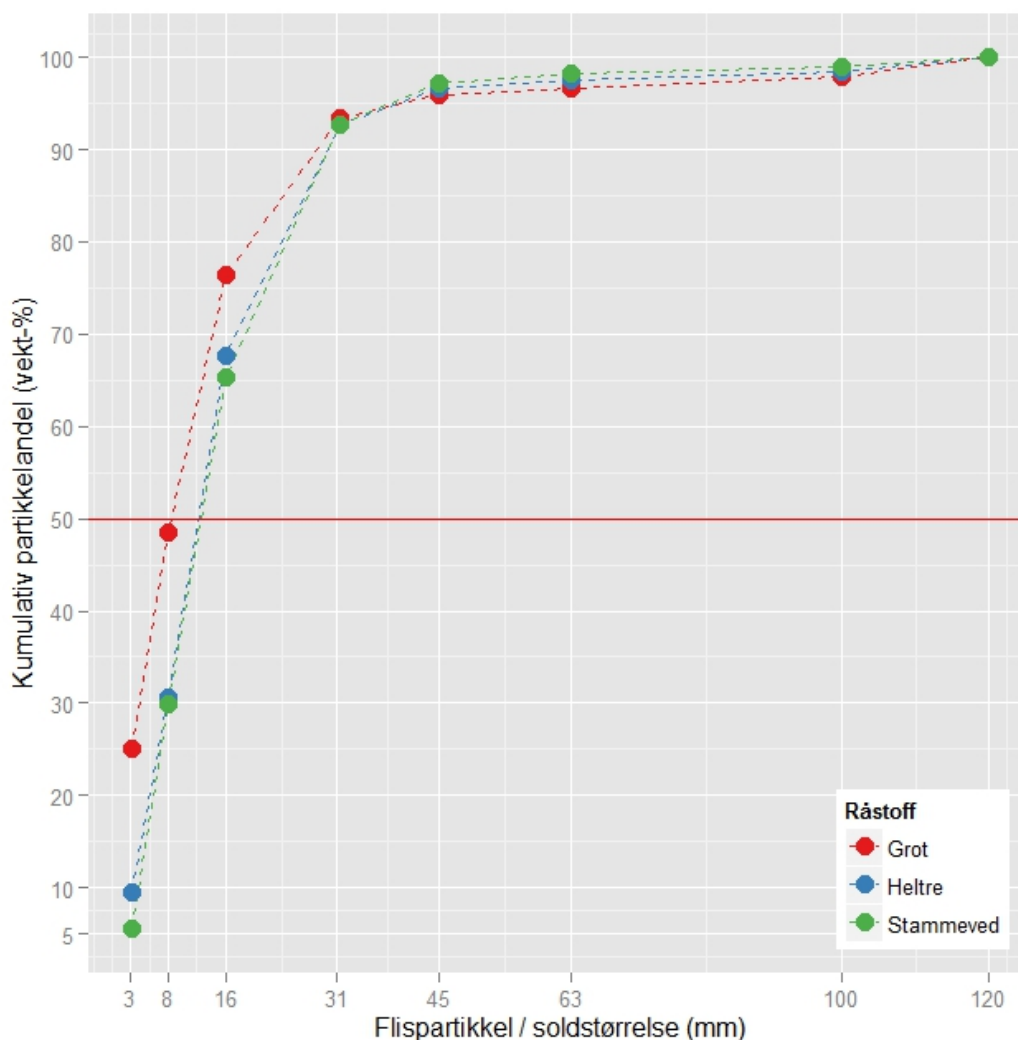
3.8.2 FLISSTØRRELSE OG FLISHOGGER

Tre typer flishogger har vært brukt for flising: Trommelhugger, skivehugger og hammerkvern. 105 av 120 flisprøver ble hogget med trommelhugger. 13 av 120 flisprøver ble hogd med skivehugger og 2 av 120 ble hogd med hammerkvern. Trommelhogger ble brukt på grot, stammeved og heltre. Skivehugger ble brukt på stammeved og heltre, men ble ikke brukt på grot. Størrelse på såld som ble brukt i flishogger har betydning for flisstørrelse og dermed flisklasse.

P16 og P31,5 flis ble produsert med de minste såldene (50x50, 70x70 og 80x80 mm). Den største skivehuggeren (Morbark) produserte stammevedflis som kunne klassifiseres som P45 flis. Andre faktorer som har betydning for flis og flisstørrelse er antall kniver, vedlikehold av kniver, innstilling av kniver, motstål og innmatingshastighet. Opplysninger om temperatur ved flishogging og skarphet på kniver ble notert, men tallene er for usikre til å konkludere om dette har en innvirkning på flisstørrelse i denne undersøkelsen.

3.8.3 KUMULATIV FORDELING AV FLISSTØRRELSE

Gjennomsnittlige og kumulative størrelsesfordeling på grot-, heltre- og stammevedflis er vist i fig. 13. I grofflis var over halvparten av flisa mindre enn om lag 8–9 mm. Andelen flis > 63 mm var mindre i stammevedflis enn i grot- og heltreflis.

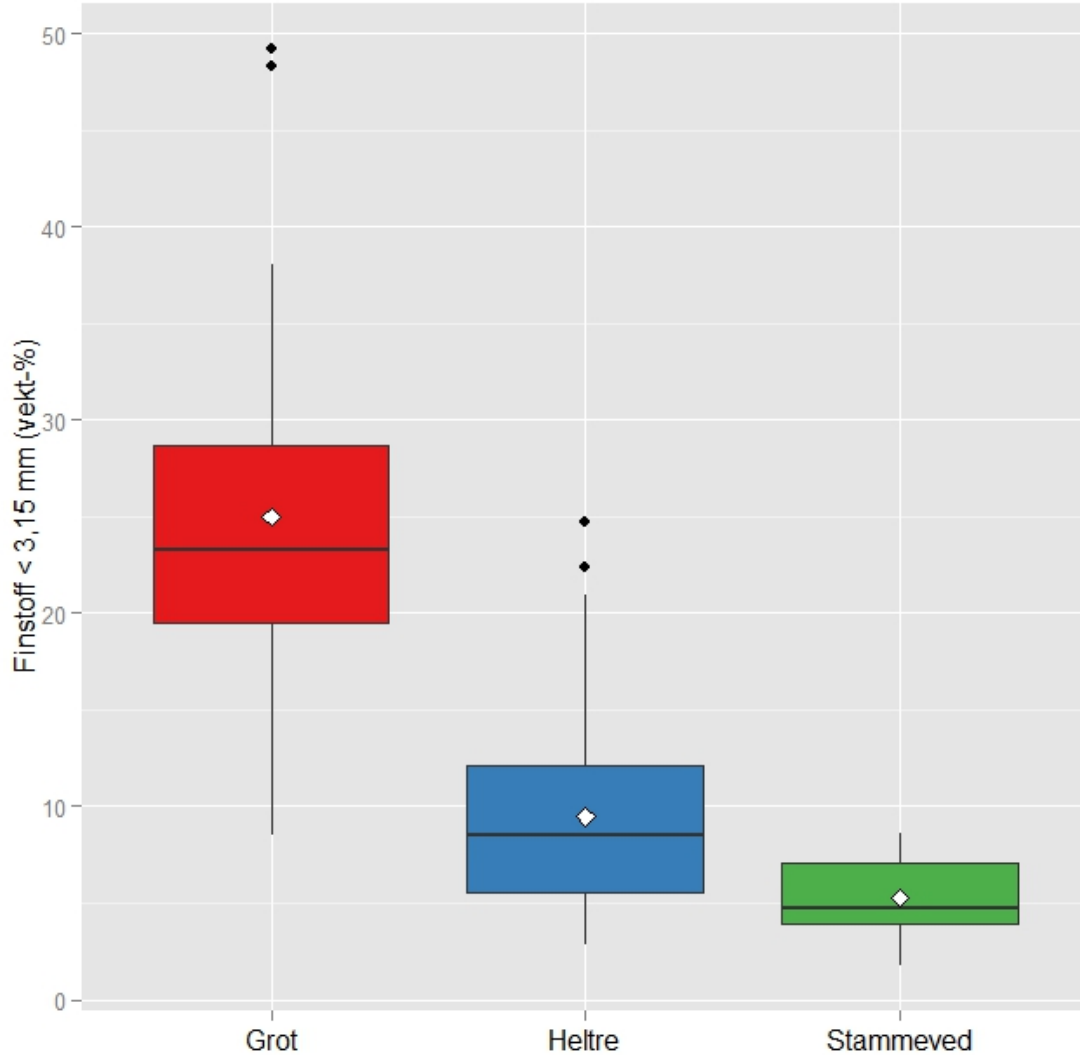


Figur 13. Kumulativ fordeling av flisstørrelse for grot, heltre og stammevedflis. Rød horisontal strek angir medianen.

Grofflis inneholdt mest finstoff og 50 % av flispartiklene var mindre enn om lag 8–9 mm. For heltreflis og stammevedflis var 50 % av partiklene mindre enn cirka 12,5 mm. Stammevedflis inneholdt i gjennomsnitt 5,5 % med partikler mindre enn 3,15 mm (nederste grønne punkt i fig. 13).

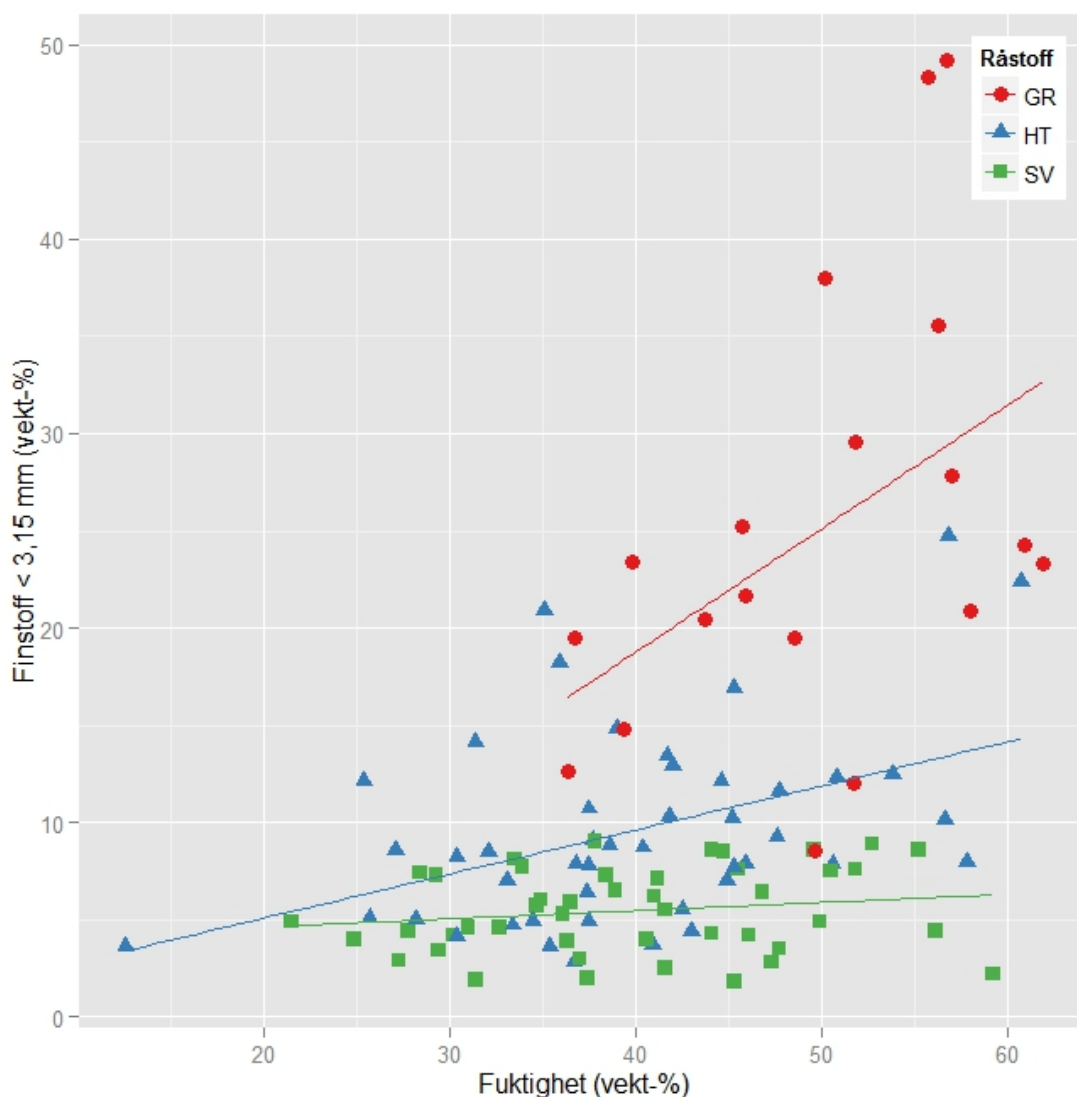
3.8.4 FIN FRAKSJONEN (< 3,15 MM)

Andelen finstoff var signifikant høyere i grotflis enn i stammevedflis og heltreflis. Det var i gjennomsnitt 4,2 prosentenheter mer finstoff i heltreflis enn i stammevedflis ($p < 0,05$). Heltreflis og grotflis viste større variasjon i mengden av finstoff i forhold til stammevedflis (fig. 14).



Figur 14. Finstoff (vekt-%) i grot-, heltre- og stammevedflis. Grotflis (25 %) hadde i gjennomsnitt 15,5 og 19,7 prosentenheter mer finstoff enn henholdsvis heltre- og stammevedflis ($p < 0,01$).

Det var en tendens til at andelen finstoff i grot- og heltreflis vil øke med stigende fuktighet i råstoffet (fig. 15). Dette gjelder spesielt for grot- og heltreflis.



Figur 15. Fuktighet og andelen finstoff for grot, heltre og stammevedflis.

3.8.5 GROVFRAKSJON (KVISTER, GRENER OG STIKKER > 120 MM)

Det var i gjennomsnitt mindre kvister, grener og stikker i stammevedflis enn i heltreflis. Det var ingen forskjell mellom heltreflis og grotflis. Det var mer stikker i grotflis enn i stammevedflis ($p < 0,05$). Enkelte flisprøver med heltreflis hadde helt opp mot 100 flispartikler lengre enn 120 mm i en enkelt flisprøve.

4. DISKUSJON

4.1. Fuktighet

Fuktigheten har betydning for effektiv brennverdi og dermed energimengden i en leveranse av flis. Fuktigheten i det undersøkte flismaterialet varierte fra 12–62 %. Opplegg og behandling av råstoffet har stor betydning for fuktighet. Det er i stor grad det enkelte anlegg som bestemmer hvilken fuktighet i brenselet som kan tolereres. I hovedsak er det et krav om jevnest mulig fuktighet på flismaterialet ved forbrenning (Hermansson, Lind and Thunman 2011).

Grotflis var relativt fuktig. Fuktig grotflis vil redusere effektiv brennverdi og energitettheten kraftig, mens forholdsvis tørr grotflis kan være "krutt" for et biobrenselanlegg. I denne undersøkelsen var grot med lavest fuktighet plassert åpent, på et solrikt og vindfullt sted og ofte med grovere toppe, avkapp og hele trær innblandet i velta. Moderne brenselanlegg kan ha et krav til fuktighet på omkring 40–50 %. Disse anleggene kan ikke anvende flis tørrere flis med en høyere effektiv brennverdi, hvis ikke anlegget fra starten er justert for å fyre med f.eks. tørr grotflis (Strömberg and Svärd 2012).

4.2. Bulkdensitet

Vegtransport av flis blir ofte gjort med flisbiler med henger. En typisk flisbil med henger kan ha rom for 115 løskubikkmeter flis, og lastekapasitet er på om lag 30–32 tonn (Belbo and Gjølsvåg 2008). Dermed vil vekt være begrensende faktor ved en bulkdensitet høyere enn om lag 270 kg/lm³. Grotflis i denne undersøkelsen hadde i gjennomsnittlig en bulkdensitet på 344 kg/lm³. Undersøkelsen viste også at grot med mye finstoff kombinert med høy fuktighet kan gi en bulkdensitet på grotflis på over 400 kg/lm³. Det vil dermed være vanskelig å utnytte lastevolumet på flisbilen ved transport av fuktig grotflis. Vekten på råstoffet (grotflis) kan reduseres ved tørking før flising eller ved å blande inn annet og tørrere flismateriale før transport.

4.3. Aske

Flinkmann og Thörnqvist (1986) fant høyeste verdier av aske i buntet grot og i fersk grot. Grotflis i denne undersøkelsen inneholdt mer aske enn heltre og stammevedflis. Bar og bark inneholder mer aske enn stammeved. Hensikten ved lagring og tørking av grot er at baret skal falle av før flising. Det vil redusere mengden aske. Grot kan være forurenset av grus og jord i forbindelse med avvirking. Dette vil øke mengden aske. Heltreflis inneholder mer aske enn stammevedflis og skyldes i hovedsak større andel løv, bar og bark. Hvis askeinnholdet varierer eller er høyt kan en ta hensyn til dette ved beregning av effektiv brennverdi for fuktig brensel (NS-EN, 14961-1:2010).

4.4. Brennverdi og energitetthet

I denne undersøkelsen ble brennverdi analysert i et bombekalorimeter. Beregninger av nedre effektiv brennverdi for fuktig brensel ble dermed kalkulert på basis av effektiv nedre brennverdi for tørt og askefritt brensel. Nedre effektiv brennverdi for tørr og askefri grot varierte fra 5,31– 5,63 kWh/kg TS og effektiv brennverdi for fuktig brensel varierte fra 1,71–3,17 kWh/kg.

I *Bränslehandboken 2012* er effektiv nedre brennverdi for tørt og askefri grot oppgitt som 19,9 MJ/kg TS i.e. 5,52 kWh/kg (Strömberg and Svärd 2012). Energitetthet for grot varierte fra 731–1048 kWh/lm³ og indikerer at grot kan være et energirikt brenselet. I undersøkelser fra Finland varierte energitettheten for grot fra 700–900 kWh/lm³ (Alakangas 2005).

Heltreflis bestod i hovedsak av en miks av løvtrær og bartrær og en miks av løvtrær. Nedre effektiv brennverdi for heltreflis varierte fra 5,09–5,45 kWh/kg TS. Osp og or hadde lavest nedre effektiv brennverdi, henholdsvis 5.11 og 5.09 kWh/kg TS. Effektiv brennverdi for fuktig heltreflis varierte fra 1,82–4,44 kWh/kg og energitettheten fra 581–945 kWh/lm³. Stammevedflis bestod også stammer av trær fra ulike treslag, både lauv og bartrær. Nedre brennverdi for stammevedflis varierte fra 5,12–5,38 kWh/kg TS, effektiv brennverdi for fuktig heltreflis varierte fra 1,73–3,96 kWh/kg og energitettheten fra 668–846 kWh/lm³.

Er askeinnholdet i brenselet lavt eller konstant kan beregninger av effektiv brennverdi for fuktig brensel baseres på effektiv nedre brennverdi for tørt brensel. NS-EN 14961-1:2010 angir f.eks. nedre brennverdi på tørt brensel med mindre eller lite innhold av bark, blader og nåler. Brenselflis for små brenselanlegg og husholdninger kan handles på basis av volum (NS-EN, 14961-1:2010). Energimengde kan da være oppgitt i kWh per løskubikkmeter. Undersøkelsen viste at fuktighet og vekt varierer med type råstoff. Hvis leveransen til et større anlegg varierer mellom stammeved-, heltre- og grotflis etc. vil fakturering på grunnlag av volum være relativt upresist. Med stort volum på en flisleveranse vil riktig omsetningsform over tid være basert på vekt, fuktinnhold og brennverdi. Det er da mulig å beregne energimengden for enkelt leveransen.

4.5. Flisstørrelse

Råstoffet og sammensetningen av råstoffet har stor betydning for flisstørrelse. Stammevedflis har mindre finstoff enn heltre- og grotflis. Grotflis viste helt opp mot 50 % finstoff. I disse prøvene var barnålene ikke falt av kvisten ved tidspunkt for flising. Ved flising av fuktig grot der nålene ikke er falt av vil finstoffandelen øke. For å redusere finstoffandelen bør grot være relativt tørr før flising. Det betinger åpen lagring av grot på hogstflaten eller i velter med dekkpapp i god bredde. Kravet for finstoff i grotflis er maksimalt 25 % i gjeldene standard og ble overholdt i 9 av 13 prøver av grotflis. Finstoffet i grot består av barnåler, bark, knust tre eller støv og urenheter som sand og jord. Det er sannsynlig at behandling av grot etter avvirking har mye å si for andelen finstoff i brenselet. Askeinnholdet vil øke med økende mengde forurensing i brenselet. Grot kan brennes i større brenselanlegg og ofte i blanding med annet flismateriale. Store kombinerte strøm- og varmeanlegg kan være langt mer fleksible på type brensel og innblandinger av 40–60 % grot er vanlig (Strömberg and Svärd 2012).

Generelt ble andelen finstoff overholdt i større grad enn grovfraksjonen på de analyserte prøvene. Det var særlig heltreflis av løvtrær (bjørk) og blandinger av løvtrær og bartrær som inneholdt mye av grovfraksjonen, det vil si kvister og grener. Mengden av små kvister og grener vil øke med økende slitasje av knivene (Nati et al. 2010). Standarden aksepterer generelt ikke flis som er lenger enn 120 mm. For små og mindre gårdsanlegg kan kvister og stikker lengre enn 120 mm i en leveranse føre til tekniske utfordringer (Palmer et al. 2011). Standarden tolererer at grotflis til industrielle anlegg leveres med flis opptil 350 mm. Større brenselanlegg kan i større grad tolerere kvister og stikker.

4.6. Bruk av standarder og klassifisering av flis

I et marked for fast biobrensel er det nødvendig å kjenne til ulike egenskaper for flis som brensel. Standardene beskriver metode for prøvetaking, måling og beregning av fuktighet, bulkdensitet, flisstørrelse, brennverdi og energitetthet. Dette er størrelser som har betydning for det enkelte brenselanlegg, for transportkapasitet, for størrelse på flislager, for selve forbrenningen og ikke minst for kjøp og salg av biobrensel.

Formålet med den Europeiske Standard for fast biobrensel er å gi entydige og klare prinsipper for klassifisering for fast biobrensel, herunder flis. Standardene skal tjene som et verktøy for effektiv handel av biobrensler, forståelse mellom selger og kjøper, samt verktøy for kommunikasjon med utstysprodusenter. Bruk av standardene vil også lette godkjenningen av nye anlegg og rapportering når det er nødvendig. Det er anbefalt av CEN å bruke NS-EN 14961-1 sammen med NS-EN 14961-4. NS-EN 14961-4 er en standard for flis tiltenkt mindre brenselanlegg.

NS-EN 14961-1 angir normative verdier, som skal oppgis og informative egenskaper, som er frivillig (NS-EN 14961-12010). For flis er det flisstørrelse, fuktighet og aske som skal oppgis, mens bulkdensitet og mengden av elementer slik som nitrogen, svovel, klor og tungmetaller er informativ. Fuktighet kan f.eks. være oppgitt som M35, som betyr at fuktigheten skal være mindre eller lik 35 %. Bulkdensitet kan være oppgitt som BD200. Det betyr at bulkdensitet som mottatt er oppgitt som større eller lik 200 kg/lm³. Opplysninger om bulkdensitet er informativ og kan oppgis hvis det handles med flis på volumbasis.

De fleste varmeanlegg vil ha optimal drift innenfor visse grenser knyttet til fuktighet og flisstørrelse. Et mindre forbrenningsanlegg kan for eksempel fungere best med flis med spesifikasjonene P16 flis og fuktighet M30. Det betyr at 75 % av den totale flismassen skal være mellom 3,15 og 16 mm og at brenselet skal ha maksimum fuktighet på 30 %. For leveranser til et større brenselanlegg kan flis med ulik fuktighet, størrelse, energitetthet blandes for å få til en jevn kvalitet og dermed en optimal drift. For å sikre riktig kvalitet på skogsbrenselet kan det i utgangspunktet knyttes en kravspesifikasjon til leveranser av flis til et brenselanlegg. En kravspesifikasjon kan være relatert til Norsk Standard for fast biobrensel. Se et eksempel i vedlegg 5.4. En kontroll av en leveranse kan være nødvendig og kan utføres i henhold til angitte standarder for fast biobrensler. En gjentatt kvalitetskontroll vil over tid være et middel for å sikre kvaliteten for hele forsyningskjeden fra stubbe til kjele. NS-EN 15234-1:2011 omhandler rutiner for kvalitetssikring av brensel.

Standardene for fast biobrensel er under videre utvikling i ISO TC238 som er det internasjonale samarbeidet om standarder for fast biobrensel. I disse standardene er det lagt opp til endringer for klassifisering av fast biobrensel. Disse endringene vil også gjelde for de eksisterende europeiske standardene for fast biobrensel.

5. VEDLEGG

5.1. Formler

1. Bestemmelse av bulkdensitet for fuktig flis

$$BD_{ar} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (1)$$

BD_{ar} er bulkdensitet (kg/lm³) i fuktig brensel

m_1 er massen av tom beholder i kg

m_2 er massen av full beholder i kg

V er volum av beholder i m³

2. Bestemmelse av fuktighet

$$M_{ar} = \left(\frac{Råvekt - Tørrvekt}{Råvekt} \right) \times 100 \quad (2)$$

M_{ar} er fuktighet som prosent av totalvekt

3. Bestemmelse av bulkdensitet for absolutt tørr flis

$$BD_d = BD_{ar} \times \frac{(100 - M_{ar})}{100} \quad (3)$$

BD_d er bulkdensitet for tørr flis

4. Bestemmelse av askeinnhold på tørr basis som prosent av massen på tørr basis

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (4)$$

m_1 = massen i g, tom beholder

m_2 = massen i g, beholder og prøve

m_3 = massen i g, beholder og aske

M_{ad} = fuktigheten på prøven

5. Bestemmelse av effektiv brennverdi for fuktig flis

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} \times \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,67861 \times M_{ar} \quad (5)$$

$q_{p,net,ar}$ er effektiv brennverdi fuktig brensel kilowatt timer per kilogram (kWh/kg)

$q_{p,net,d}$ er nedre effektiv brennverdi i tørt materiale i kilowatt timer per kilogram (kWh/kg).

Se NS-EN 14961-1 for verdier for nedre effektiv brennverdi for ulike biobrensler.

6. Bestemmelse av effektiv brennverdi for fuktig flis når askeinnholdet og nedre effektiv brennverdi er kjent

$$q_{p,net,ar} = \left[\left(\frac{q_{p,net,daf} \times (100 - A_d)}{100} \right) \times \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) \right] - 0,67861 \times M_{ar} \quad (6)$$

$q_{p,net,daf}$ er nedre effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel

A_d er askeinnhold på tørr basis i prosent

7. Kalkulering av energitetthet ved aktuell fuktighet

$$E_{ar} = q_{p,net,ar} \times BD_{ar} \quad (7)$$

E_{ar} er energitetthet i kilowatt timer per løskubikkmeter (kWh/lm³) i fuktig brensel.

5.2. Brenselkategorier

En generell oversikt over størrelse på varmeanlegg, brensel kategori og kvalitets krav til brenselflis (Loibneggar 2011).

Kunde gruppe (størrelse på anlegg)	Brensel kategori	Kvalitets krav
Små husholdningsanlegg Ved og flis	Høy kvalitetsbrensel	<ul style="list-style-type: none"> • Homogent brensel (dimensjon, form og fuktighet). • Brenseltyper: heltre, stammevirke. • Ingen fremmed elementer, luft-tørket og tørr flis. • Biobrensel standard: NS-EN 14961-4 (klasse A1).
Større lokale fellesanlegg (varmesentraler) Flis	Medium kvalitetsbrensel	<ul style="list-style-type: none"> • Hovedsakelig homogent brensel, brensel egenskaper slik som fuktighet og størrelse må ikke overskride definerte grense størrelser. • Brenseltyper: heltre, stammevirke, avvirkningsrester (grener og topper). • Nesten ensartet brensel. • Lave nivåer av urenheter (jord, sand). • Økt innhold av fin fraksjon. • Lagrings tørr flis, noe variabel nivå på fuktighet. • Biobrenselstandard: NS-EN 14961-4 (klasse A1, A2).
Industrielle ovner for kommersielt salg av varme, «district heating and combined heat and power plants» Flis	Lav kvalitetsbrensel	<ul style="list-style-type: none"> • Brenseltype avhengig av hva kjelen kan brenne. • Brenseltyper: avvirknings rester, grønt avfall, grener og topper, rester fra treindustri, returvirke. • Høy andel av fin fraksjon, høyt askeinnhold. • Uensartet brensel. • Høyere nivå av urenheter (jord, sand, steiner). • Fuktig og fersk tre flis med varierende nivå av fuktighet. • Ofte brenselblandinger fra ulikt råstoff • Biobrensel standard: NS-EN 14961-4 (klasse B2) eller en definisjon av treflis i henhold til kriteriene i NS-EN 14961-1.

5.3. Analyse og nøkkeltall

Tabell 1. Analyse av grot

Analyse	Mean	sd	Median	Min	Max	n
Fuktighet (vekt- %)	49,8	8,0	50,2	36,4	61,9	19
Bulkdensitet i brenselet som mottatt (kg/lm ³)	356	63	348	253	488	19
Bulkdensitet absolutt tørt (kg/lm ³)	174	16	170	150	212	19
Aske (vekt- %)	2,26	0,95	1,90	1,16	4,04	15
Effektiv brennverdi tørt og askefritt (kWh/kg)	5,47	0,10	5,49	5,63	5,31	15
Effektiv brennverdi i brenselet som mottatt (kWh/kg)	2,40	0,49	2,40	3,17	1,71	15
Energitetthet i brenselet som mottatt (kWh/lm ³)	826	89	814	731	1048	15

Tabell 2. Analyse av heltre

Analyse	Mean	sd	Median	Min	Max	n
Fuktighet (vekt- %)	39,9	9,5	38,8	12,6	60,7	46
Bulkdensitet i brenselet som mottatt(kg/lm ³)	278	36	281	192	363	40
Bulkdensitet absolutt tørt (kg/lm ³)	166	13	166	134	195	40
Aske (vekt- %)	0,94	0,30	0,86	0,50	1,82	40
Effektiv brennverdi tørt og askefritt (kWh/kg)	5,25	0,09	5,24	5,09	5,45	43
Effektiv brennverdi i brenselet som mottatt (kWh/kg)	2,92	0,50	2,95	1,82	4,44	43
Energitetthet i brenselet som mottatt (kWh/lm ³)	791	77	780	581	945	40

Tabell 3. Analyse av stammeved

Analyse	Mean	sd	Median	Min	Max	n
Fuktighet (vekt- %)	39,8	8,9	38,9	21,5	59,2	45
Bulkdensitet i brenselet som mottatt (kg/lm ³)	251	49	243	191	388	25
Bulkdensitet absolutt tørt (kg/lm ³)	156	11	157	135	174	25
Aske (vekt- %)	0,37	0,12	0,35	0,20	0,73	25
Effektiv brennverdi tørt og askefritt (kWh/kg)	5,25	0,04	5,25	5,15	5,4	26
Effektiv brennverdi i brenselet som mottatt (kWh/kg)	3,02	0,56	3,11	1,73	3,96	26
Energitetthet i brenselet som mottatt(kWh/lm ³)	753	47	755	669	846	25

Tabell 4. Analyse av bakhon

Analyse	Mean	sd	Median	Min	Max	n
Fuktighet (vekt- %)	39,3	9,8	35,3	32,9	53,8	4
Bulkdensitet i brenselet som mottatt (kg/lm ³)	296	55	287	246	355	4
Bulkdensitet absolutt tørt (kg/lm ³)	169	10,9	164	162	182	3
Aske (vekt- %)	0,37	0,07	0,37	0,38	0,29	3
Effektiv brennverdi tørt og askefritt (kWh/kg)	5,25	0,06	5,25	5,19	5,31	3
Effektiv brennverdi i brenselet som mottatt (kWh/kg)	2,79	0,66	3,11	2,03	3,22	3
Energitetthet i brenselet som mottatt (kWh/lm ³)	801	86	792	719	891	3

Tabell 5. Analyse av bakhon

Analyse	Mean	n
Fuktighet (vekt- %)	69,9	1
Bulkdensitet i brenselet som mottatt(kg/lm ³)	433	1
Bulkdensitet absolutt tørt (kg/lm ³)	130	1
Aske (vekt- %)	2,92	1
Effektiv brennverdi tørt og askefritt (kWh/kg)	5,50	1
Effektiv brennverdi i brenselet som mottatt (kWh/kg)	2,92	1
Energitetthet i brenselet som mottatt (kWh/lm ³)	490	1

Tabell 6. Analyse av stubber

Analyse	Mean	n
Fuktighet (vekt- %)	50,6	1
Bulkdensitet i brenselet som mottatt (kg/lm ³)	320	1
Bulkdensitet absolutt tørt (kg/lm ³)	158	1

5.4. Eksempel på en kravspesifikasjon ved kjøp og salg av skogsflis

Råstoff: Grot (**1.1.4**; NS-EN 14961-1)

Omsatt form: Treflis

Egenskaper: Flisstørrelse: **P45**, Fuktighet: **M40**, Aske innhold: **A1,5**

*Note: Spesifikasjonen på størrelse, fuktighet og askeinnhold er normative.
Andre opplysningene er informative.*

6. REFERANSER

Alakangas, E. 2005. Properties of wood fuels used in Finland – BIOSOUTH - project. in Project Report PRO2/P2030/05, Jyväskylä, Finland: VTT Process.

Alakangas, E., J. Valtanen, and J.-E. Levlin. 2006. CEN technical specification for solid biofuels— Fuel specification and classes. *Biomass and Bioenergy* 30(11):908-914.

Belbo, H., and S. Gjølsjø. 2008. Trevirke : brennverdier og energitetthet. Norsk institutt for skog og landskap, Ås. 15 s. p.

Egger, C., C. Öhlinger, B. Auinger, B. Brandstätter, N. Richler, and G. Dell. 2010. Biomass heating in Upper Austria Green energy, green jobs. P. 40. O.O. Energiesparverband.

Hartmann, H., T. Bohm, P.D. Jensen, M. Temmerman, F. Rabier, and M. Golser. 2006. Methods for size classification of wood chips. *Biomass & Bioenergy* 30(11):944-953.

Hermansson, S., F. Lind, and H. Thunman. 2011. On-line monitoring of fuel moisture-content in biomass-fired furnaces by measuring relative humidity of the flue gases. *Chemical Engineering Research and Design* 89(11):2470-2476.

Loibneggar, T. 2011. Roadmap for Implementing Standards. Woodheat Solutions, Styrian Chamber of Agriculture and Forestry.

Nati, C., R. Spinelli, and P. Fabbri. 2010. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *Biomass & Bioenergy* 34(5):583-587.

Noll, M., and R. Jirjis. 2012. Microbial communities in large-scale wood piles and their effects on wood quality and the environment. *Applied Microbiology and Biotechnology* 95(3):551-563.

NS-EN. 14588:2010. Fast biobrensel - Terminologi, definisjoner og beskrivelser.

NS-EN. 14774-2:2009. Bestemmelse av fuktinnhold. Tørkemetode i ovn. Del 2: Totalt fuktinnhold. Forenkelt metode.

NS-EN. 14775:2009. Fast biobrensel - Bestemmelse av askeinnhold.

NS-EN. 14918:2009. Fast biobrensel - Bestemmelse av brennverdi.

NS-EN. 14961-1:2010. Fast biobrensel - Spesifikasjoner og klasser for brensel - Del 1: Generelle krav.

NS-EN. 14961-1:2011. Fast biobrensel - Spesifikasjoner og klasser for trebrensel - Del 4: Treflis for ikke-industriell bruk.

NS-EN. 15103:2009. Fast biobrensel. Bestemmelse av romdensitet.

NS-EN. 15149-1:2010. Fast biobrensel. Bestemmelse av partikkelstørrelsesfordeling. Del1: Oscillerende siktmetode med bruk av silåpninger på 1 mm og over.

NS-EN. 15234-1:2011. Fast biobrensel. Kvalitetssikring av brensel. Del1: Generelle krav.

Nurmi, J. 1997. Heating values of mature trees. Acta Forestalia Fennica, Tampere. 28 p.

Palmer, D., I. Tubby, G. Hogan, and W. Rolls. 2011. Biomass heating: a guide to medium scale wood chip and wood pellet systems., Biomass Energy Centre, Forest Research, Farnham.

R, C.T. 2012. R: A language and environment for statistical computing., R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

Strömberg, B., and H.S. Svärd. 2012. Bänsselhandboken 2012. P. 426. Värmeforsk.

Thörnqvist, T., and R. Jirjis. 1990. Bränsleflisens förändringar över tiden : vid lagring i stora stackar. Institutionen., Uppsala. 49 s. + bilag p.

Wagner, C., and K.H. Esbensen. 2012. A critical review of sampling standards for solid biofuels – Missing contributions from the Theory of Sampling (TOS). Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(1):504-517.

Wu, M.R., D.L. Schott, and G. Lodewijks. 2011. Physical properties of solid biomass. Biomass and Bioenergy 35(5):2093-2105.

7. FIGURLISTE

Figur 1. Figuren viser antall kWh per lm^3 . Det er forutsatt en fuktighet på 30 % og en fastmasse prosent på 38. Kilde: Skog og landskap	4
Figur 2. Bestemmelse av bulkdensitet ved veiing av beholder med kjent volum.	5
Figur 3. En flisprøve ble tørket ned i en egen tørkenhet og delt i fire etter tørking (flisdeleren til venstre i bildet).	7
Figur 4. Flisdeler som deler flisprøven i fire deler. Etter deling såldes tre av prøvene.	7
Figur 5. Flis ble fordelt på det horisontale såldeapparatet og såldet i 15 minutter.	8
Figur 6. Boksplot for fuktighet (svart strek angir medianen og hvit diamant angir middelveidien) for grot-, heltrær og stammevedflis. Grotflis var fuktigere enn heltreflis og stammevedflis ($p < 0,01$).	10
Figur 7. Boksplot for bulkdensitet (kg/lm^3) for absolutt tørr grot-, heltre- og stammevedflis. Absolutt tørr grotflis veide tørt $18 \text{ kg}/\text{lm}^3$ mer enn stammevedflis ($p < 0,01$) og heltreflis var i gjennomsnitt $10 \text{ kg}/\text{lm}^3$ tyngre enn stammevedflis ($p < 0,01$).	11
Figur 8. Boksplot med medianen og gjennomsnittlig askeinnhold (vekt - %) av tørrstoffet for grot, heltreflis og stammevedflis.	12
Figur 9. Nedre effektiv brennverdi for tørt askefritt brensel ($\text{kWh}/\text{kg TS}$) etter askeinnhold og type råstoff.	13
Figur 10. Energitetthet og fuktighet fordelt på grot-, heltre- og stammevedflis. Høyeste energitetthet ($1048 \text{ kWh}/\text{lm}^3$) ble beregnet på grot med en fuktighet på 39,8 %.	14
Figur 11. Flis fordelt etter fraksjonsstørrelse etter sålding med såld med runde hull med diameter: 3,15 mm, 8,0 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm og 63 mm.	15
Figur 12. Grovfraksjonen (kvister, grener og stikker) lengre enn 120 mm.	15
Figur 13. Kumulativ fordeling av flisstørrelse for grot, heltre og stammevedflis. Rød horisontal strek angir medianen.	17
Figur 14. Finstoff (vekt- %) i grot-, heltre- og stammevedflis. Grotflis (25 %) hadde i gjennomsnitt 15,5 og 19,7 prosentenheter mer finstoff enn henholdsvis heltre- og stammevedflis ($p < 0,01$). ...	18
Figur 15. Fuktighet og andelen finstoff for grot, heltre og stammevedflis.	19