



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Fakultetet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for naturforvaltning

Hageavfall som brensel i fjernvarme

Kan hageavfall brukes som brensel i fjernvarme?
-Analyse av brenselsegenskaper til hageavfall.

Garden waste as fuel in district heating
Can garden waste be used as fuel in district
heating?
-Analysis of fuel characteristics of garden waste.

Martin Knoop
Fornybar energi



Forord

Denne masteroppgaven avslutter mine 5 år på studiet i fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Med fordypning innen bioenergi var det naturlig å skrive oppgave om bruk av hageavfall som brensel i fjernvarme.

Oppgaven forsøker å finne ut om hageavfall egner seg som brensel og om det finnes tilgjengelig i dag. Kandidaten håper oppgaven kan være et lite, første steg i videre forskning på hageavfall som brensel og på bioenergiressurser i Norge. Kandidaten ønsker å rette en spesiell takk til sin veileder Monica Havskjold for all hjelp og veiledning.

Videre hadde oppgaven vært umulig å gjennomføre uten tålmodigheten og hjelpsomheten til:

Biveileder Luis Alberto Morais da Conceicao, Statkraft, Kenneth Szwarc, Statkraft, Simen Gjølshøj, Nibio, Eva Grodås, Nibio, Eirik Nordhagen, Nibio, Monica Fongen, Nibio, Janka Dibdiakova, Nibio, Thor Erik Vatne Alstad, Nibio, Toril Tredal, NMBU, Ås økolag, Tara Holm, Siril Sæther Færestrand og Katharina Vassaass. Tusen takk for all hjelp!

Takk også til dere som svarte på spørsmål og delte av deres kunnskaper:

Ole Jonny Ellingsen, Statkraft, Jørgen Nordlund, Statkraft, Leif Bernt Pedersen, Statkraft, Christer Carr, AB-trepleie, Christian Hansen, Norsk Miljøindustri, Ole Christian Hodnemyr, Norsk Energigjenvinning AS, Are E. Stenkjær, Harstad kommune, Sven Haslerud, Teigen Gjenvinningsstasjon.

Til sist vil jeg takke Daniel T. Stabu for all støtte og motivasjon.

Martin Christian Knoop

Ås, 18 Mai 2016





Sammendrag

Dette er en studie som ser på brenselsegenskapene til flis fra hageavfall. Flis fra fem forskjellige steder er blitt samlet inn. Flisen fra fire av disse stedene består av hageavfall mens den femte er vanlig flis brukt som referanse. Det er utført en analyse av flisen for følgende brenselsegenskaper: fraksjonsfordeling, askeinnhold, fuktighetsinnhold, bulkdensitet, brennverdier og energitetthet.

Studien forsøker å svare på hvilke brenselsegenskaper hageavfall har og om hageavfall er en alternativ brenselsressurs for bruk i fjernvarme. Studien ser også på hva brenselsegenskapene kan ha å si for lønnsomheten og om hageavfall er tilgjengelig som brenselsressurs i dag.

Studien fant at askeinnholdet i hageavfall er større og varierer mer enn for vanlig flis. Flisen har større fuktighet med større variasjoner. Den effektive brennverdien varierer mer og har en tendens til å være lavere. Fraksjonsfordelingen varierer mellom de ulike prøvestedene, men lite innad for hvert enkelt prøvested. Fraksjonsfordelingen er relativt lik fraksjonsfordelingen til vanlig flis. Tallene for bulkdensitet og energitetthet er usikre på grunn av få prøver, men tallene gir indikasjoner på at hageavfall har større variasjon i bulkdensitet og omtrent lik variasjon i energitetthet som referanseflisen.

Hageavfall kan følge krav satt i gjeldene standarder, men vil trolig variere såpass mye at man må være romslig med klasseinndelingen. Hageavfall er trolig en tilgjengelig ressurs. Det trengs aktører som kan ta ansvar for innsamlingen slik at fjernvarmeprodusenter slipper å inngå for mange avtaler om brenselsforsyning. En større kartleggingsstudie er nødvendig for å avgjøre tilgjengeligheten av hageavfall.

Brenselsegenskapene til hageavfall vil mest sannsynlig gi økte kostnader knyttet til askehåndtering og transport. Likevel vil den høye fuktigheten gjøre det attraktivt med tanke på større effekt fra røykgasskondenseringen. Dersom leverandører av hageavfall kan akseptere en lavere pris for hageavfall på grunn av lavere kvalitet vil hageavfall etterhvert kunne bli lønnsomt med tid for begge parter.

Det er tydelig at hageavfall har potensial som brensel, men at det tar tid å utvikle denne ressursen til den oppnår tilfredsstillende kvalitet. Fjernvarmeprodusenter og leverandører av hageavfall bør avklare forventningene de har til behandling av hageavfall som brenselsressurs. Hageavfall bør utvikles som brenselsressurs.



Abstract

This is a study of the fuel properties of garden waste. Chips from five different locations were collected. The chips from four of these locations were of garden waste, while the fifth were of regular chips- as a reference example. An analysis of the chips is conducted of the following fuel properties: distribution of faction, ash content, moisture content, bulk density, calorific values and energy density.

The study seeks to answer what the fuel properties of garden waste is and whether garden waste is an alternative fuel resource for use in district heating. The study also looks into what these properties might have to say regarding profitability and availability.

The study found that the ash content in garden waste is higher and varies more than for regular chips. The chip has higher content of moisture and bigger variations than the reference. The effective calorific value tends to be lower for garden waste than for the reference, and it varies more. The distribution of faction varies between chips from the different location, but little between samples. The distribution of faction is relatively similar to regular chips. The numbers for bulk density and energy density are uncertain due to few samples, but the numbers indicate that garden waste have bigger variation in bulk density and about the same variation in energy density as the reference.

Garden waste can fulfill the demands set by current standars but will probably vary so much that a wider classification must apply. Garden waste is probably available as a fuel resource. Actors then need to collect it to the same place so that many smaller actors are avoided. A bigger study of the availability of garden waste needs to be conducted to make the availability certain.

The fuel properties of garden waste will most likely lead to higher costs concerning the ash disposal and the transportation of the fuel. However, the high moisture content will likely make it an attractive fuel when used with flue gas condensation. If actors accept a lower price for the garden waste because of lower fuel quality the garden waste will likely be profitable for both the supplier and the district heating plant over time.

It is clear that garden waste has the potential to be developed as a fuel resource, but this takes time. Producers of heat and suppliers should clarify their expectations and start develop garden waste as a fuel



Innhold

Forord	2
Sammendrag	4
Abstract	5
Figurer	11
Tabeller	14
1 Innledning	16
Formål	19
Problemstilling:	19
Begrensninger/avgrensning av oppgaven	19
2 Tidligere forskning	20
3 Material og Metode	27
3.1 Dybdeintervjuer	27
3.2 Forsøk	28
3.2.1 Innsamling av flis	28
3.2.2 Bulkdensitet	28
3.2.3 Solding/fraksjonsestimering	31
3.2.4 Fuktprøver	34
3.2.5 Oppkverning av flisen	35
3.2.6 Bombekalorimeter	36
3.2.7 Askeprøver	38
3.2.7.1 Når det går galt	39
3.2.8 HMS	39
4 Resultater:	40
4.1 Intervjuresultater	40
4.1.1 Om intervjuobjektene	40



4.1.2	Tilgjengelighet og etterspørsel	40
4.1.3	Utfordringer og optimalisering av driften	41
4.1.4	Priser.....	42
4.2	Informasjon om prøvene og prøvestedene.....	44
4.2.1	Prøver fra AB trepleie	44
4.2.2	Prøvene fra gjenvinningsstasjon i Moss	45
4.2.3	Prøver fra gjenvinningsstasjon på Nesodden.....	46
4.2.4	Referanseprøvene- flis levert til fjernvarmeanlegget i Ås.....	47
4.2.5	Prøver fra NMI	48
4.3	Analyse av flisegenskaper.....	49
4.3.1	Fraksjonsfordeling	49
4.3.2	Fuktighet.....	53
4.3.3	Askeinnhold	54
4.3.4	Brennverdier:.....	56
4.3.4.1	Øvre brennverdi	56
4.3.4.2	Nedre brennverdi	57
4.3.4.3	Effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel	57
4.3.5	Bulkdensitet.....	60
4.3.6	Energitetthet	61
4.4	Lønnsomhet.....	63
4.4.1	Forutsetninger valgt i regneeksempel for lønnsomhet.....	63
4.4.2	Utrekning av fjernvarmeanleggs merkostnad ved å bruke hageavfall grunnet større askeandel som må deponeres:	64
4.4.3	Utrekning av leverandørs sparte kostnader ved å levere hageavfall gratis til fjernvarmeanlegg, samt betaler for transport og fjernvarmeanleggenes merkostnad av større askedeponering:	64

4.4.4	Utrekning av leverandørs vilje til å betale for å få levere hageavfall til fjernvarmeanlegg i kr/kWh, -når leverandør betaler transport og for fjernvarmeanleggets økte kostnader knyttet til askehåndtering:	65
4.4.5	Utrekning av leverandørs mulige maksimumsinntekter av å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg:.....	66
4.4.6	Utrekning av leverandørs mulige inntekter av å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg etter en mer realistisk pris:.....	67
4.4.7	Utrekning av fjernvarmeanleggs sparte kostnader ved å bruke hageavfall:.....	68
4.4.8	Oppsummering	70
4.4.8.1	Lønnsomhet for leverandører	70
4.4.8.2	Lønnsomhet for fjernvarmeprodusenter ved bruk av hageavfall i fjernvarmeanlegg	70
5	Diskusjon.....	71
5.1	Flisegenskaper	71
5.1.1	Uttak av flis	71
5.1.2	Fraksjonsfordeling	71
5.1.3	Bulkdensitet.....	72
5.1.4	Fuktighet.....	73
5.1.5	Askeinnhold	73
5.1.6	Brennverdier	74
5.1.6.1	Øvre og nedre brennverdi	74
5.1.6.2	Effektiv brennverdi	74
5.1.7	Energitetthet	75
5.1.8	Læringseffekt.....	76
5.2	Tilgjengelighet	76
5.3	Utfordringer og optimalisering av driften	77
5.4	Lønnsomhet.....	77
5.5	Forbedring av oppgaven.....	78



6	Konklusjon	80
7	Videre forskning.....	81
8	Kildehenvisninger:	82
9	Vedlegg	84
9.1	Vedlegg 1, HMS i forsøksarbeidet	85
9.1.1	Prøvetaking av flis.....	85
9.1.2	Fuktprøver	85
9.1.3	Solding	85
9.1.4	Oppkverning av flisen	85
9.1.5	Bruk av bombekalorimeteret	86
9.2	Vedlegg 2, Formler	87
9.2.1	Bestemmelse av bulkdensitet	87
9.2.2	Bestemmelse av fuktighet	87
9.2.3	Bestemmelse av bulkdensitet for absolutt tørr flis.....	87
9.2.4	Bestemmelse av askeinnhold som % av tørrvekt.....	87
9.2.5	Bestemmelse av nedre brennverdi for tørr flis	88
9.2.6	Bestemmelse av effektiv brennverdi for fuktig flis	88
9.2.7	Bestemmelse av effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel.....	88
9.2.8	Bestemmelse av energitettheten ved aktuell fuktighet.....	88
9.3	Vedlegg 3, Nøkkeltall for flisegenskaper	89
9.4	Vedlegg 4, Gjennomsnittlig fraksjonsfordeling	92
9.5	Vedlegg 5, Beskrivelse av brenselsegenskaper og standardisering av disse.....	93
9.5.1	Flisegenskaper som er viktig for brensel	93
9.5.2	Kjemisk sammensetning av vedmasse	93
9.5.3	Forbrenningsprosesser	94



9.5.4	Energiinnholdet i treet	94
9.5.4.1	Energitetthet	94
9.5.4.2	Fastmasseprosent.....	95
9.5.4.3	Bulkdensitet.....	95
9.5.4.4	Brennverdier.....	96
9.5.4.5	Effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel	97
9.5.4.6	Fuktighet.....	98
9.5.4.7	Askeinnhold	99
9.5.4.8	Flisstørrelse.....	100
9.6	Vedlegg 6, Eksempler på fraksjoner	103



Figurer

Figur 1: Produksjon av hageavfall i Århus per person/år, fra 1994-2006. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).	20
Figur 2: Variasjonen i produksjon av hageavfall per person, for de ulike månedene- i Århus, fra 1994-2006. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).	21
Figur 3: Sammensetning av hageavfall gjennom året. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).	21
Figur 4: Askeinnhold, innhold av våtstoff og fuktighet som andel av hageavfall for de ulike månedene. Stiplet linje viser nedre brennverdi. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).	22
Figur 5: Sesongvariasjoner i karboninnhold (C) og nitrogeninnhold (N) i hageavfall gjennom året. Kilde:(Boldrin & Christensen 2010).	22
Figur 6: Økning i grøntarealer i byer, Kina, mellom 1995 og 2009. Kilde:(Shi et al. 2013).	23
Figur 7: Fotografi av de tre ulike fraksjonene. Kilde: (Rackl & Günthner 2016).	24
Figur 8: Fraksjonsfordeling og andeler i % av de tre ulike flisene. Kilde: (Rackl & Günthner 2016).	25
Figur 9: Flishaug hos leverandør. Potetgreip og vekt brukt til bulkdensitetsprøver, plastsekk til 80 l flis brukt til soldeprøver og papirposer til fuktighetsprøver (fotografi: kandidaten).	29
Figur 10: Kandidaten tar bulkdensitetsprøve og flater ut toppen ved bruk av lekt (fotografi: Tara Holm).	30
Figur 11: Flis lagt i en tørke for å klargjøre til solding (fotografi: kandidaten).	31
Figur 12: Deler sett ovenifra. Stangen til venstre lukker og åpner bunnen av trakten (fotografi: kandidaten).	31
Figur 13: Deler med skuffer nederst (fotografi: kandidaten).	31
Figur 14: Flis i deleren (fotografi: kandidaten).	32
Figur 15: Flisen detter ned i skuffene under når stangen presses inn (fotografi: kandidaten).	32
Figur 16: Bunnen av deler uten og med flis- sett ovenifra, samt en full skuff sett utenifra (fotografi: kandidaten).	32
Figur 17: Soldemaskinen tømmt brett for brett (fotografi: kandidaten).	33
Figur 18: En prøve lagt i soldemaskinen (fotografi: kandidaten).	33
Figur 19: Skuffene fra soldemaskinen blir vendt over dette trebrettet for å minske svinn. Brettet helles over en trakt med bøtten under. Etterpå veies bøtten (fotografi:kandidaten).	34
Figur 20: Tørkeskap med fuktprøver (fotografi: kandidaten).	34
Figur 21: Kvern med 4 mm gitter. Det samles opp mye spon og det er viktig med god rengjøring (fotografi: kandidaten).	35
Figur 22: Pelletspresse med ferdigpresset pellets (fotografi: kandidaten).	36
Figur 23: Pelletspresse, vekt og brett med nummererte prøver (fotografi: kandidaten).	36
Figur 24: Bombekalorimeteret brukt i forsøkene (fotografi: kandidaten).	37
Figur 25: Skåler med fuktighetsprøver brukt til å korrigere bombekalorimeteret (fotografi: kandidaten).	37
Figur 26: Eksikator med tørkede sponprøver.	37
Figur 27: Brett med nummererte prøver. Dette for å holde rede på prøvene (fotografi: kandidaten).	38



Figur 28: Benzosyre og beger til pelletsene.....	38
Figur 29: Kandidaten brenner seg når han skal ta ut fuktighetsprøver- til korrigering av tall fra bombekalorimeter, fra varmeovn. Prøven gikk tapt (fotografi: kandidaten).	39
Figur 30: Flishaug hos leverandør AB i Bærum (fotografi: kandidaten).	44
Figur 31: Haug med hageavfall hos potensiell leverandør i Moss (fotografi: kandidaten).	45
Figur 32: Haug med hageavfall hos potensiell leverandør på Nesodden (fotografi: kandidaten).	46
Figur 33: Flishaug levert til anlegget i Ås- kalt referanseflisen (fotografi: kandidaten).	47
Figur 34: Haug med hageavfall hos leverandør NMI, Larvik (fotografi: kandidaten).	48
Figur 35: Pose med forurensninger som NMI Larvik har rensket ut fra det oppfliste hageavfallet sitt (fotografi: kandidaten).	48
Figur 36: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for AB-flisen.	49
Figur 37: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for flisen fra Nesodden.....	50
Figur 38: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for Moss-flisen.	50
Figur 39: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for NMI-flisen.	51
Figur 40: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for referanseflisen.	51
Figur 41: Variasjon er i fuktighet- i %, for flis fra de ulike prøvestedene.....	53
Figur 42: Boksplot av fuktighet i %. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av referanseprøvene er en utligger.	53
Figur 43: Variasjon i askeinnhold (i % av tørrvekt) mellom alle prøvene til hvert prøvested.	54
Figur 44: Boksplot av askeinnhold i % av tørrvekt. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av Nesodden-prøvene er en utligger.	55
Figur 45: Variasjon i øvre brennverdi (kWh/kg) vist etter prøvenummer for hvert prøvested.....	56
Figur 46: Boksplot av øvre brennverdi i kWh/kg. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av referanseprøvene er en utligger.....	56
Figur 47: Variasjon i nedre brennverdi (kWh/kg) vist etter prøvenummer for hvert prøvested.	57
Figur 48: Variasjon i effektiv brennverdi (kWh/kg) vist etter prøvenummer for hvert prøvested.	57
Figur 49: Boksplot av effektiv brennverdi i kWh/kg. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av referanseprøvene er en utligger.....	58
Figur 50: Effektiv brennverdi (kWh/kg) etter nedre brennverdi (kWh/kg). Korrelasjonskoeffisienten R^2 beskriver hvor god korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og nedre brennverdi er. Trendlinjene viser hvilken vei trenden går. ..	58



Figur 51: Effektiv brennverdi (kWh/kg) etter askeinnhold i %. Korrelasjonskoeffisienten R^2 beskriver hvor god korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og askeinnhold er. Trendlinjene viser hvilken vei trenden går.	59
Figur 52: Effektiv brennverdi etter fuktighet (kWh/kg). Korrelasjonskoeffisienten R^2 beskriver hvor god korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og fuktighet er. Trendlinjene viser hvilken vei trenden går.	59
Figur 53: Variasjon i bulkdensitet (kg/m^3) mellom prøvestedene og innad for hvert prøvested.	60
Figur 54: Energitetthet (kWh/m^3) etter bulkdensitet (kg/m^3) og effektiv brennverdi (kWh/kg) for 3 prøver per prøvested.	61
Figur 55: Energitetthet (kWh/m^3) etter bulkdensitet (kg/m^3). Korrelasjonskoeffisient R^2 angir hvor stor korrelasjonen er mellom energitetthet og bulkdensitet. Trendlinjen viser en økende trend.	62
Figur 56: Energitetthet (kWh/m^3) etter effektiv brennverdi (kWh/kg). Korrelasjonskoeffisient R^2 angir hvor stor korrelasjonen er mellom energitetthet og effektiv brennverdi. Trendlinjen viser en økende trend.	62
Figur 57: Hørselvern, vernebriller, ansiktsmaske og spade til bruk under kverning (fotografi: kandidaten).	85
Figur 58: Kjemisk sammensetning av ved, Kilde:(Høibø 2013).	93
Figur 59: Antall kWh/lm ³ for ulike treslag med 30 % fukt og fastmasseprosent på 38 %. Verdiene er regnet ut fra gjennomsnittlige basisdensitetet. Kilde:(Nordhagen & Gjølshø 2013).	95
Figur 60: Brennverdi for de ulike hovedbestanddelene i treet. Kilde:(Høibø 2013).	96
Figur 61: Brennverdi ved ulike fuktigheter. Kilde: (Filbakk et al. 2014).	98
Figur 62: Eksempel på fraksjonen >300 mm (fotografi: kandidaten).	103
Figur 63: Eksempel på fraksjonen 200-300 mm (fotografi: kandidaten).	103
Figur 64: Eksempel på fraksjonen 100-200 mm (fotografi: kandidaten).	104
Figur 65: Eksempel på fraksjonen 100 - 63 mm (fotografi: kandidaten).	104
Figur 66: Eksempel på fraksjonen 45 - 31,5 mm (fotografi: kandidaten).	105
Figur 67: Eksempel på fraksjonen 63 - 45 mm (fotografi: kandidaten).	105
Figur 68: Eksempel på fraksjonen 31,5 - 16 mm (fotografi: kandidaten).	106
Figur 69: Eksempel på fraksjonen 16 – 8 mm (fotografi: kandidaten).	106
Figur 70: Eksempel på fraksjonen 8 – 3,15 mm (fotografi: kandidaten).	107
Figur 71: Eksempel på fraksjonen < 3,15 mm (fotografi: kandidaten).	107



Tabeller

Tabell 1: Fraksjonsklasser som flisen fra de ulike prøvestedene faller under, samt kravliste til hver klasse. Tallene for vekt-% er oppgitt i andel av 1 (0,78 = 78%). Klassifiseringen følger standarden (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).....	52
Tabell 2: Fraksjonsklasser som flisen fra de ulike prøvestedene faller under, samt kravliste til hver klasse. Tallene for vekt-% er oppgitt i andel av 1 (0,78 = 78%). Klassifiseringen følger standarden (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).....	52
Tabell 3: Tabell over fuktighetsklassene flisen til de ulike prøvestedene faller inn under. Klassifisering er gjort etter prøvn med størst fuktighet for hvert prøvested. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).....	54
Tabell 4: Tabell over askeklassene flisen til de ulike prøvestedene faller inn under. Klassifisering er gjort etter største prøve. Kilde:(NS-EN-ISO-17225-1: 2014).	55
Tabell 5: Kostnad for å levere hageavfall til gjenvinningsstasjon i kr/m ³	63
Tabell 6: Kostnad for å deponere aske i kr/kg.	63
Tabell 7: Utregning av merkostnad for askehåndtering.	64
Tabell 8: Utregning av leverandørs sparte kostnader for 60 m ³ levert 53 km unna.	65
Tabell 9: Utregning av leverandørs betalingsvilje for å få lov til å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg.	65
Tabell 10: Utregning av maksimumsinntekt for leverandør, for 60 m ³ levert 53 km unna.	66
Tabell 11: Utregning av maksimumsprisen leverandør kan oppnå i kr/kWh for hageavfall levert 53 km unna.	67
Tabell 12: Utregning av antatt realistisk inntekt leverandør kan oppnå for 60 m ³ hageavfall levert 53 km unna.	67
Tabell 13: Utregning av antatt realistisk pris leverandør kan oppnå i kr/kWh for hageavfall levert 53 km unna.	68
Tabell 14: Utregning av fjernvarmeprodusentens sparte kostnader av å bruke hageavfall.	68
Tabell 15: Utregning av fjernvarmeprodusentens sparte kostnader av å bruke hageavfall når leverandør aksepterer å betale for å få levere.	69
Tabell 16: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.	89
Tabell 17: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.	89
Tabell 18: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.	90
Tabell 19: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.	90
Tabell 20: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.	91
Tabell 21: Gj.snittlig fraksjonsfordeling for flis fra de ulike prøvestedene. Antall stikkere (fra 100 mm til >300 mm) er oppgitt i parentes før tallet for vektprosent. Tap er differansen mellom vekt før- og etter solding, altså masse som forsvant under solding:	92
Tabell 22: Gj.snittlig fraksjonsfordeling for flis fra de ulike prøvestedene. Antall stikkere (fra 100 mm til >300 mm) er oppgitt i parentes før tallet for vektprosent. Tap er differansen mellom vekt før- og etter solding, altså masse som forsvant under solding:	92
Tabell 23: Krav til maksimum fuktighet etter standardene ISO 181341-1 og ISO 18134-2. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).	99



<i>Tabell 24: Askeinnhold i % av træs ulike bestanddeler (Hohle 2005):</i>	<i>99</i>
<i>Tabell 25: Krav til maksimum askeinnhold etter standarden ISO 18122. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014):</i>	<i>100</i>
<i>Tabell 26: Spesifiseringer av fraksjoner for flisklasser (P), samt klassifisering for finstoffinnhold (F). Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014):</i>	<i>101</i>



1 Innledning

”Dette er en historisk dag. Dette er det største antall land noensinne- som signerer en avtale på en og samme dag” erklærte FNs generalsekretær Ban Ki-Moon for ca. en måned siden på den internasjonale ”Mother Earth day”, 22 April, 2016. Anledningen var underskrivelsen av Parisavtalen- inngått i desember 2015, hvor 174 nasjoner møttes for å signere en ny klimaavtale (COP21 2016).

Parisavtalen gir håp om at verden skal klare seg gjennom klimakrisen. Avtalen gjelder nå alle land, ikke bare de rikeste, og alle nasjoner forplikter seg til å kutte i utslippene (FN-sambandet 2016). Målet er å begrense den globale oppvarmingen til 1,5°C, med maksimumsnivået satt til 2°C. Avtalen setter også som mål at verden skal være klimanøytral en gang mellom 2050 og 2100 (FN-sambandet 2016). Selv om avtalen gir håp har verden fremdeles en lang vei å gå.

Ifølge det Internasjonale energibyråets (IEA) årlige rapport; ”World Energy Outlook, 2015”, kommer verdens energiforbruk til å øke med nesten en tredjedel fra 2013 til 2040 (IEA 2015b).

Klimagassutslippene forbundet med energiforbruket vil i samme periode øke med 16 %. Dette er dramatisk fordi energisektoren står for de største klimagassutslippene (IEA 2015c).

Andelen forbybar energi i verden var i 2013, 22 % (IEA 2016b), men er spådd å øke til 33 % i 2040, (IEA 2014). Fornybare energiresurser vil overta ledelsen fra kull med tanke på elektrisitetsproduksjon allerede i 2030-årene. IEA spår videre at verdens elektrisitetsforbruk vil øke med 70 % frem mot 2040. Likevel vil over 550 millioner mennesker være uten strøm i 2040- de fleste sør for Sahara (IEA 2015b).

Bioenergi utgjør 10 % av energiproduksjonen i verden og 1,5 % av kraftproduksjonen. Det meste av bioenergiforbruket skjer i utviklingsland hvor man fyrer med ved for å skaffe mat og varme og bruken er lite effektiv (IEA 2016a).

I dag står produksjonen av varme for mer enn halvparten av verdens energiforbruk og dette fører alene til en tredjedel av klimagassutslippene fra energisektoren. 75 % av varmeforbruket dekkes nemlig av fossile kilder (Eisentraut & Brown 2014). Rett over 1 % av verdens totale energiproduksjon er varme solgt kommersielt til kunder, for det meste som fjernvarme. Av dette er 5 % produsert fra fornybare ressurser (Eisentraut & Brown 2014).



Halvparten av verdens energiforbruk var i 2013 dekket av olje og gass (IEA 2015a). I 2014 kom oljegiganten BP med et estimat på verdens oljereserver. BP mente da at verden har oljereserver som vil rekke frem til november 2067 (Dilallo 2014).

Verden står ovenfor store utfordringer med tanke på energi og rettferdig fordeling av energiresursene som finnes. For å klare å redusere klimagassutslippene samtidig som vi dekker verdens økende energibehov må vi nyttiggjøre oss av alle fornybare ressurser vi har. Verden vil gå tom for fossil energi før eller senere. Blir det før eller enn senere kan dette komme på bekostning av 2 gradersmålet, klimaet og verden vi ønsker overlate til våre etterkommere. Det vil bli spennende å se hva IEA skriver i sin rapport WEO, 2016, nå som Parisavtalen er inngått og det er skapt et skift fra pessemisme til optimisme-forankret i konkrete forpliktelser.

Tidligere har Norge forpliktet seg til EU's fornybardirektiv og skulle nå en fornybar andel på 67,5 % innen 2020 (Øvrebø 2016). Dette klarte Norge å oppnå allerede i 2014- 6 år før målet skulle nås. Andelen kom da på 69,2 % og var grunnet et varmt og vått år som senket forbruket og økte elektrisitetsproduksjonen (Øvrebø 2016). Nå skal Norge ratifisere klimaavtalen fra Paris (Regjeringen 2016). "Norge vil påta seg en betinget forpliktelse om minst 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990" sa Klima- og miljøminister Vidar Helgesen til Stortinget, en uke før han signerte avtalen på vegne av Norge i New York, 22 April (Regjeringen 2016).

Norsk skog binder karbon tilsvarende halvparten av Norges klimagassutslipp hvert år! Dette er mye grunnet den store tilveksten vi har hatt i skogen dette århundret. Det totale karbonlageret i norsk skog er på ca. 2 milliarder tonn karbon (Grønlund 2011). Skogen lagrer med andre ord totalt karbon tilsvarende godt over 40 år med utslipp (Miljødirektoratet 2016).

Hvert år vokser Norsk skog med 25,1 millioner m³ (Nibio 2016). Skogavvirkningen var i 2014 på 9,8 millioner m³, og dette var den største avvirkningen på 25 år (SSB 2015b). Vi kan altså doble avvirkningen og likevel ha nettotilvekst av skogen. Skogen vi har i Norge representerer dermed et stort potensiale for fornybar energi og en mulighet for Norge å nå sine klimamål på.



Norges totale energiforbruk havnet i 2014 på 231 TWh (SSB 2015a). Bioenergi stod i 2012 for 18,1 TWh eller nesten 8 % av det totale forbruket (Melbye et al. 2014). Vedforbruket i Norge var i 2012 på 7,5 TWh og dermed den desidert største kilden til bioenergi. Norge har et mål om at bioenergiproduksjonen i Norge skal økes til 28 TWh innen 2020 (Melbye et al. 2014).

Fjernvarme stod for 4,7 TWh i 2012, (med andre ord litt over 2 % av energiforbruket). Dette er en dobling siden 2003. Av dette igjen består 19 %, eller ca. 0,9 TWh av biobrenstoff; flis, bark, briketter og bioolje (SSB 2014). Bioenergi i fjernvarmesektoren står for så lite som 0,4 % av det totale energiforbruket. Videre står hageavfall- brent i anleggene denne oppgaven har vært i kontakt med, for mellom 7 – 14 % av disse 0,4 prosentene. Bruk av hageavfall har dermed per i dag liten effekt på det store bildet.

Alle produkter laget av olje kan lages av tre (Avner 2014). Skogen er dermed en uvurderlig ressurs hvis vi skal gå over til en grønn bioøkonomi (Norge 2016). I fremtiden vil virke av bedre kvalitet kunne bli for dyrt å brennes. Videre baseres fjernvarme på energi med lav kvalitet, altså varme og bør derfor utnytte virke med lav kvalitet (Kjølstad 2011). Da kan hageavfall og andre avfallsprodukter være et alternativ til virke som i dag går til forbrenning men som i fremtiden vil gå til foredling. Fjernvarmeanleggene kandidaten har vært i kontakt med har god evne til å brenne slike lavkvalitetsbrenslers. Alle fornybare ressurser som er tilgjengelige, billige og teknisk mulige å bruke burde så absolutt inngå som en del av Norges energifremtid.



Formål

Formålet med denne studien er å kartlegge brenselsegenskapene til hageavfall. Studien prøver å avdekke om hageavfall kan brukes som brensel i fjernvarme og hvor lønnsomt det eventuelt kan være. Studien forsøker å oppdage utfordringer knyttet til bruken av hageavfall som brenselsressurs, dets forbedringspotensiale og tilgjengelighet.

Problemstilling:

Problemstillingen til studien er delt to med to underproblemstillinger:

- **Hvilke brenselsegenskaper har hageavfall? Og hvordan er dette sammenlignet med vanlig brenselsflis?**

Underproblemstilling: -Hva vil brenselsegenskapene til hageavfall kunne si for lønnsomheten? Med andre ord, vil det være lønnsomt å bruke hageavfall som brensel i fjernvarme?

- **Er hageavfall en alternativ brenselsressurs? Med andre ord, kan hageavfall brukes som brensel i fjernvarme?**

Underproblemstilling: Hvor tilgjengelig er hageavfall i dag? Finnes det tilbud av hageavfall og hvor tilgjengelig er det i så fall?

Begrensninger/avgrensning av oppgaven

Denne oppgaven er fokusert rundt brenselsegenskapene til flis fra hageavfall. Oppgaven ser på et lite utvalg av flis fra to leverandører av hageavfall, samt to potensielle leverandører på sør-østlandet. Et referanseeksempel av vanlig brenselsflis er også tatt med som sammenligning. Oppgaven ser på flis som allerede er kuttet opp og som var tilgjengelig under prøvetaking.

Informasjon om kostnader knyttet til bruken av hageavfall i fjernvarme og hvor tilgjengelig hageavfall er baseres på en intervjudel og er ment som en indikator. En større studie av kostnader og tilgjengelighet er ikke foretatt.

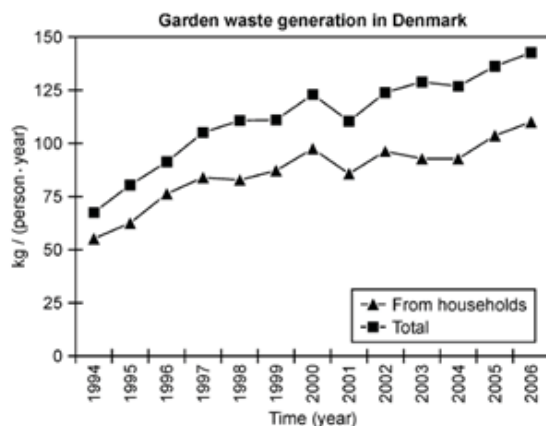


2 Tidligere forskning

Det har så vidt kandidaten vet vært gjort lite forskning på hageavfall som brensel her i Norge. Kandidaten søkte etter artikler som omhandler hageavfall, fliskvalitet, kompostering og behandling av grøntområder. I dette kapitlet presenteres 4 artikler om forskning som har vært gjort rundt hageavfall, hageavfall som energiressurs og fliskvalitet.

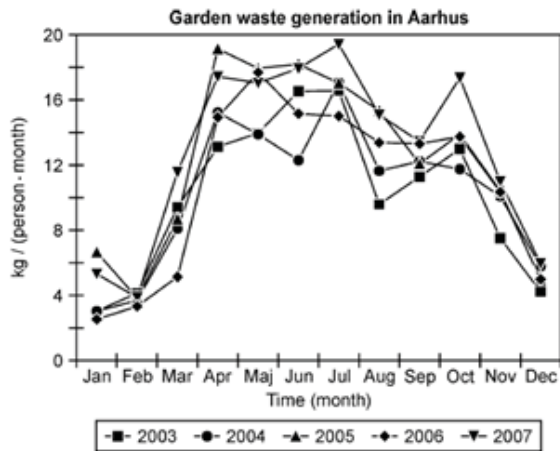
Boldrin, A., Christensen, T. H., “Seasonal generation and composition of garden waste in Aarhus (Denmark)”, 2010.

Dette er en studie fra Århus i Danmark som så på sesongvariasjonene i produksjonen av hageavfall- dets sammensetning og kjemiske innhold. Studien gikk gjennom avfallsstatistikk gjennomført av Miljøstyrelsen, samt samlet inn prøver gjennom et år på komposteringsanlegget i byen (Boldrin & Christensen 2010).



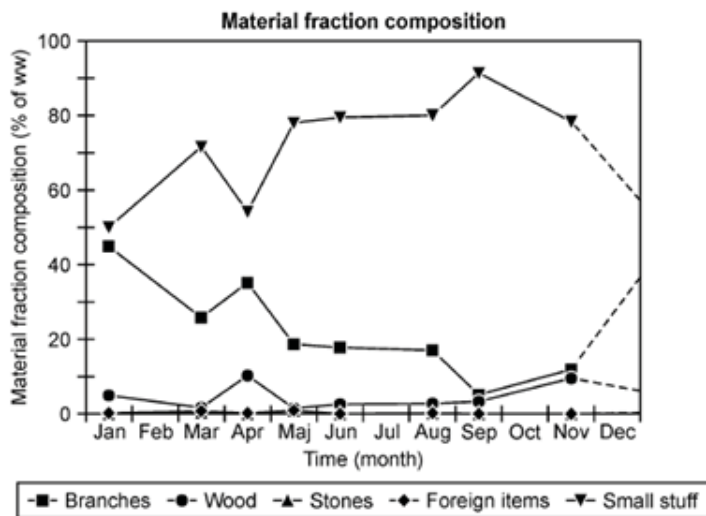
Figur 1: Produksjon av hageavfall i Århus per person/år, fra 1994-2006. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).

Per definisjon oppstår hageavfall først når det blir samlet inn (Boldrin & Christensen 2010). Studien fant at det meste av hageavfallet ble produsert på seinvåren (april til juni), samt om sommeren. Den største toppen kommer i juli (19,4 kg per person/mnd) og den neste kommer i oktober. Det er minst produksjon av hageavfall om vinteren, men aldri under 2,5 kg per person/mnd. Til gjengjeld øker andelen vedmasse til 45 % av hageavfallet i perioden desember til april (Boldrin & Christensen 2010).



Figur 2: Variasjonen i produksjon av hageavfall per person, for de ulike månedene- i Århus, fra 1994-2006. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).

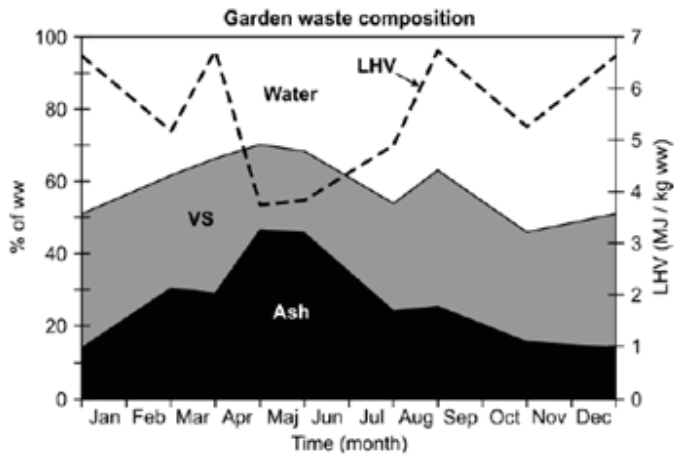
Om sommeren består 90 % av vekten av fraksjonen småstoff; gress, blomster, jord, blader mm. Andelen vedmasse er altså lav om sommeren. I alle prøvene var andelen fremmede legemer som for eks. stein under 0,2 %. Årlig produksjon av hageavfall per person har økt gradvis i perioden 2003-2007 fra 122 kg/person i 2003 til 155 kg/person i 2007 (Boldrin & Christensen 2010).



Figur 3: Sammensetning av hageavfall gjennom året. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).

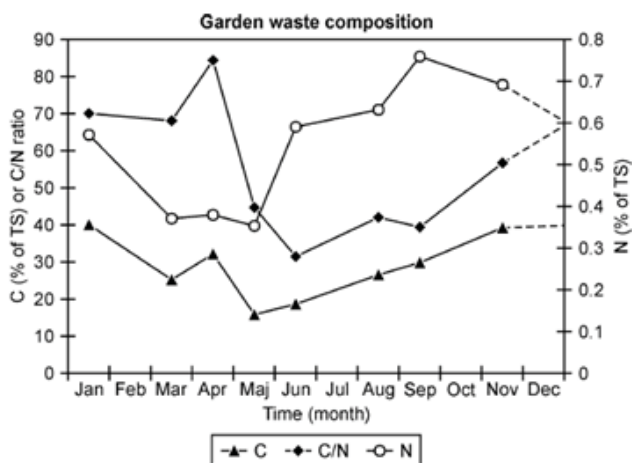
Den laveste nedre brennverdi/LHV (lower heating value) ble målt i mai til 6,35 GJ/tonn tørrstoff (TS). Det er da fraksjonen småstoff er størst. Studien konkluderer også med at askeinnholdet er størst i mai

grunnet at andel jord da er størst, og at jorden øker askeinnholdet. Den høyeste målte LHV var på 15,35 GJ/tonn TS og ble målt i januar. Da var fraksjonene ved og greiner større (Boldrin & Christensen 2010).



Figur 4: Askeinnhold, innhold av våtstoff og fuktighet som andel av hageavfall for de ulike månedene. Stiplet linje viser nedre brennverdi. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).

Det var også i januar at karboninnholdet, C, var på det høyeste; 40,1 % av TS. Tilsvarende var andelen karbon på sitt laveste i mai; 15,8 % av TS. Minimum av nitrogen (N), ble målt i mars; 0,35 % av TS og maks N ble målt i september; 0,76 % av TS. For kompostering er karbon/nitrogenforholdet viktig (Boldrin & Christensen 2010).



Figur 5: Sesongvariasjoner i karboninnhold (C) og nitrogeninnhold (N) i hageavfall gjennom året. Kilde: (Boldrin & Christensen 2010).

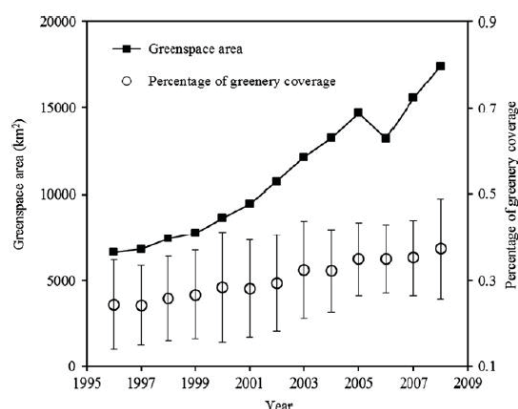
Studien henviser til en annen studie «Composting yard trimmings and municipal solid waste» (USEPA 1994), som sier at et optimalt C/N forholdet er viktig for kompostering og dette ligger mellom 25 og 35.

Resultatene under indikerer at den større andelen vedmasse om vinteren (november til april) gir et dårlig C/N forhold med tanke på kompostering (Boldrin & Christensen 2010).

Studien konkluderer med at hageavfall varierer enormt gjennom året, både i mengde og komposisjon. Grunnen til større andel aske om sommeren tildeles større mengde jord i avfallet. Våtstoff, karboninnhold og nedre brennverdi var høyest om vinteren (Boldrin & Christensen 2010).

Shi, Y., Ge, Y., Chang, J., Shao, H., Tang, Y., “Waste biomass for renewable and sustainable energy production in China: Potential, challenges and development”, 2013.

Denne studien ser på grøntarealer i byer i Kina og på energipotensialet i hageavfall produsert under stell av disse grøntområdene. Studien brukte data fra 7 byer i Kina, samt utførte forsøk i andre byer for å kunne estimere potensialet for å produsere hageavfall. Områder klassifisert som urbane økte med 6,1 % årlig i perioden 1996-2008. I samme periode økte grøntområder med 12,7 % årlig og endte i 2008 på 1,77 millioner hektar (Shi et al. 2013).



Figur 6: Økning i grøntarealer i byer, Kina, mellom 1995 og 2009. Kilde:(Shi et al. 2013).

Artikkelforfatterne skriver at grøntarealer i Kina stelles så godt (gjødsles, vannes og beskjæres) at grøntarealer kan være mer produktive enn skogen, og at man dermed kan produsere mer vedmasse her enn i skogen. Prydvekster på disse arealene skiftes ut og beskjæres, og gir opphav til hageavfallet som varierer med klima, urbant område, grøntområdetype etc. Hvor mye som produseres og hvilken kjemisk

sammensetning hageavfallet har er også bestemt av disse faktorene. Energiinnholdet i denne type biomasse er mellom 14 og 20 MJ/kg (Shi et al. 2013).

Studien fant at det årlig produseres ca. 14,4 millioner tonn hageavfall med potensialet for energiproduksjon på 244,5 PJ- i de provinsene i Kina studien dekker; Guangdong, Jiangsu, Shandong and Zhejiang (Shi et al. 2013). For kraftproduksjon i CHP var potensialet utregnet til 496,5 GWh. Mengden biomasse/ha varierte mellom 5,6 og 7,67 tonn (Shi et al. 2013).

Studien konkluderer med at hageavfall har stort potensial i bioenergi, men det er flere utfordringer å løse først. Det er vanskelig å anslå riktig tilgjengelig mengde hageavfall, og det behøves mer informasjon for å kunne modellere optimal bruk. Hageavfall består også av så mye forskjellig- og har så ulik komposisjon og størrelse, at det kan være utfordrende å bruke med dagens teknologi (Shi et al. 2013).

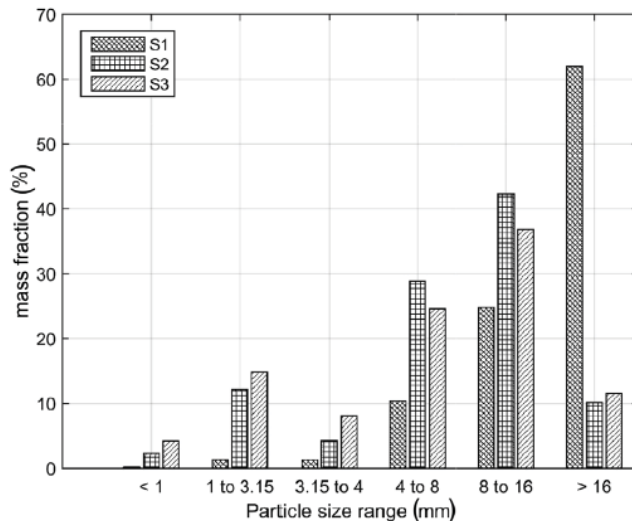
Rackl, M., Güntner, W. A., “Experimental investigation on the influence of different grades of wood chips on screw feeding performance”, 2016.

Dette er en studie med mål å se på hvordan tre ulike fraksjoner av flis eller blandinger av disse påvirker et innmatingsystem med skrue. Flis nr. S1 og S2 var flis fra stammevirke med lite bark, mens flis S3 hadde en stor andel nåler. Det var også to blandinger som bestod av fraksjon 1 og 3, med forholdet 70/30 og 30/70. Faktorer som masseflyt, dreiemoment og energibruk til skruen ble testet påvirket av de ulike fraksjonene (Rackl & Günthner 2016).



Figur 7: Fotografi av de tre ulike fraksjonene. Kilde: (Rackl & Günthner 2016).

Over halvparten av flis S1 bestod av fraksjoner større enn 16 mm og denne flisen var derfor ikke like lett å håndtere i skruen. Flis S2 bestod for det meste av fraksjoner mellom 4 mm og 16 mm, mens Flis S3 bestod av fraksjoner mellom 1 mm og 4 mm. Bulkdensiteten var størst for S3 og minst for S1 (Rackl & Günthner 2016).



Figur 8: Fraksjonsfordeling og andeler i % av de tre ulike flisene. Kilde: (Rackl & Günthner 2016).

Studien fant at forskjellige flistyper påvirker masseflyten til flisen, dreiemomentet og energibruken til skruen. For eks. var det behov for dobbelt så stort dreiemoment for flistype S2 sammenlignet med S3. Flis S1 bestod rett og slett av for store fraksjoner og skapte blokkeringer i systemet. Men når S1 ble blandet med S3 behøvde denne blandingen mindre dreiemoment enn S2. Studien konkluderer derfor med at man kan bøte for blokkeringer i skruene ved å blande inn en større andel finstoff. Dette ga i tillegg liten forskjell i bulkdensitet og forventet masseflyt (Rackl & Günthner 2016).

Voinov, A., Arodudu, O., Van Duren, I., Morales, J., Qin, L., “Estimating the potential of roadside vegetation for bioenergy production”, 2015.

Dette er en studie som ser på tilgangen på biomasse, hovedsakelig gress og pil, langs veinettet i Nederland med tanke på bioenergi. Motivasjonen for studien er EU's klimamål og reduksjonen av klimagasser. «Nederlands bidrag til EU's klimamål er å øke fornybarandelen fra 3,4 % i 2008, til 14 % i 2020» (Voinov et al. 2015). Bioenergi står for over 60 % av den fornybare energien i Nederland og forfatterne argumenterer for hovedfordelen med bioenergi; biomasse kan i motsetning til sol og

vindenergi lagres og brukes uten variasjoner i produksjonen. Bioenergi er dermed et godt alternativ for fornybar energi (Voinov et al. 2015).

Forfatterne ønsker å finne andre kilder til bioenergi da det meste av produksjonen av energivirke i Europa- inntil nylig, var produsert på jordbruksarealer. Dette ga konflikt med matproduksjonen (Voinov et al. 2015). «Med hensyn til matsikkerheten er det som regel å foretrekke å la jordbruksarealer gå til matproduksjon og heller finne andre kilder til bioenergi» (Londo 2002).

«Produksjon av bioenergi burde være fokusert på avfallskilder (urbant avfall, biomasserester fra jordbruket, dyregjødsel etc). samt biomasse produsert på bare arealer, som byggeplasser og eroderte områder mm. Bare da kan det bli gjennomført effektivt nok» (Arodudu et al. 2013). Nederland har et enormt tett veinett og det er potensielt stor tilgang på biomasse langs veiene. Høstekostnader og transportkostnader langs veiene antas også å være små (Voinov et al. 2015).

Metoden brukt i studien er analyse av veinettet i 6 kommuner i østre Nederland. Størrelse på områdene langs veinettet, type veier, tilgangen på biomasse i områdene og type biomasse ble brukt til å estimere total biomassetilgang. Energieffektivitet ble målt i energi oppnådd korrigert for investert energi. Studien ser for seg at biomassen dyrket langs veiene må tilfredsstille flere krav; hurtig vekst og reproduksjon, vekstene må være flerårige, tilpasningsdyktige mm. Forfatterne foreslår derfor å dyrke piletrær og en spesiell type gress. Tre scenarier blir presentert (Voinov et al. 2015).

De tre scenariene var: pileproduksjon uten gjødsling og sprøyting- med høsting hvert annet år og en levetid på 25 år. Pileproduksjon med gjødsling, men uten sprøyting- med høsting hvert annet år og en levetid på 25 år. Pileproduksjon med gjødsling og sprøyting, med høsting hvert tredje år og en levetid på 25 år. Studien så også på et referansescenario hvor veikantene stelles som i dag, med gressklipping og kutting/beskjæring av trær (Voinov et al. 2015).

Studien fant at energieffektiviteten var best i scenario 1. Områder tilgjengelig for biomasseproduksjon anslås til 1,02-1,62 ha/km. Skulle noen gjeldene krav til veisikkerhet mm. endres kan dette tallet økes til 4,24-4,68 ha/km. Det beste scenarioet, scenario 1 antas å kunne gi mellom 624.6-1778 GJ/ha. Langs Nederlands 137000 km lange veinett er det et potensialet for biomasseproduksjon tilsvarende 50-177 PJ, eventuelt med endringer i gjeldene krav: 149-527 PJ (Voinov et al. 2015).



3 Material og Metode

3.1 Dybdeintervjuer

I denne oppgaven er dybdeintervjuer brukt som metode i samtaler med arbeidere på fjernvarmeanleggene til Statkraft i Sandefjord og Ås- som begge bruker noe hageavfall i anleggene sine, samt et utvalg av deres leverandører.

Der hvor kvantitative intervjuer gir et stort datagrunnlag, stiller de også de samme spørsmålene til alle intervjuobjektene. Dette gjør at intervjuobjektene er mer rettleidet i prosessen og intervjueren avdekker kun det denne spør om (Holme 1998).

Med dybdeintervjuer forholder det seg anderledes. Her kan intervjuobjektet selv styre samtalen inn på det denne synes er viktig informasjon. Intervjuers jobb blir da å sette rammeverket for samtalen og passe på at de spørsmålene som er viktig for at sammenhengen blir besvart (Holme 1998).

Kandidaten har gjennom dybdeintervjuerne prøvd å avdekke hvilke forutsetninger som må ligge til grunn for at fjernvarmeanleggene kan bruke hageavfall som brensel, og at leverandørene skal kunne levere hageavfall til fjernvarmeanlegg. Både utfordringer og fordeler er forsøkt kartlagt. Kandidaten har også prøvd å skaffe seg en forståelse for hva hageavfall faktisk er.

Kandidaten har som intervjuer fulgt en intervjurettleder skreddersydd av kandidaten for oppgaven. Kandidaten har ikke nødvendigvis fulgt denne fra punkt til punkt, men heller passet på at ethvert punkt ble besvart før samtalen var over. Punkt som kan dukke opp, men som ikke har vært med i rettlederen burde vurderes å ta med i det videre intervjuarbeidet (Holme 1998).

Intervjuene skal avdekke erfaringene arbeiderne ved fjernvarmeanlegge har gjort seg når de har brukt hageavfall som brensel. Det er spesielt interessant å få frem hvordan hageavfall er sammenlignet med det brenselet de vanligvis bruker. Intervjuene skal også avdekke om hageavfall er tilgjengelig, hvilke utfordringer leverandørene har og om det er trolig at hageavfall vil bli brukt som brensel. Annen relevant informasjon er også forsøkt avdekket.



Kandidaten har i arbeidet tatt i bruk en båndopptaker og selv tatt notater under intervjuene. Intervjuene er så transkribert og innholdet som er viktig skilt ut for videre bearbeiding inn i oppgaven. Basert på informasjonen fra intervjuene skal oppgaven prøve å danne et bilde av hvor egnet hageavfall er som brenselssressurs.

3.2 Forsøk

For informasjon om nevnte brenselsegenskaper i dette kapitlet, se vedlegg 5.

3.2.1 Innsamling av flis

Kandidaten har samlet inn flisprøver av hageavfall fra to leverandører og to potensielle leverandører. Flisen av hageavfall lå i hauger hos leverandørene og disse var opp til 4 meter høye. Den ordinære flisen - brukt til referanse/sammenligning, ble hentet på terminalen til fjernvarmeanlegget i Ås. Det ble tatt prøver av bulkdensitet på hvert sted. Minst 80 liter hver av denne flisen ble tatt med til laboratoriet på Nibio for å utføre prøver av fuktighet, energiinnhold, askeinnhold og fordeling av de ulike fraksjonene flisen består av. Lengste transporttid av flisen var 4 timer, og flisen til fuktighetsprøver ble frosset ned ved ankomst.

3.2.2 Bulkdensitet

Bulkdensitet er definert som den rå vekten til flis i kg/lm^3 (Nordhagen & Gjølsvik 2013). Bulkdensiteten er viktig å vite for å kunne beregne brenselets energitetthet- hvor mange kWh som finnes i 1 lm^3 .

Det ble tatt uttak av flis med potetgreip fra ulike steder av flishaugene på hvert sted. Dette for å gi et best mulig representativt uttak. Flisen ble lagt i et spann på 50 liter ($0,05 \text{ lm}^3$). For å simulere behandling av flisen dunkes spannet 3 ganger fra ca. 10-15 cm over bakken på flatt underlag. Da komprimeres flisen og tar mindre plass.





Figur 9: Flishaug hos leverandør. Potetgreip og vekt brukt til bulkdensitetsprøver, plastsekk til 80 l flis brukt til soldeprøver og papirposer til fuktighetsprøver (fotografi: kandidaten).

En lekt blir så lagt på den fulle bøtten og ført frem og tilbake langs kanten- til ingen flis stikker opp. Dette for å sikre at bøtten inneholder akkurat 50 liter flis. I de tilfellene et stort stykke blir fjernet i prosessen dekkes hullet med ny flis og prosessen gjentatt. Metoden for å bestemme bulkdensitet følger standarden (NS-EN-ISO-17828: 2015). Bulkdensiteten ble regnet ut etter formel 9.2.1 i vedlegg 2.



Figur 10: Kandidaten tar bulkdensitetsprøve og flater ut toppen ved bruk av lekt (fotografi: Tara Holm).

Tre prøver med slike spannlass ble tatt for hver haug og veid på flatt underlag på stedet- totalt 15 prøver. Vekten noteres og det ble så tatt 3 fuktprøver av hver spann, en i det øvre, midtre og nedre skiktet- totalt 41 prøver. De ble lagt i hver sin papirpose. Videre ble det meste av flisen fra hvert spann lagt i en stor søppelsekk (minst 80 liter) som også ble tatt med. Flisen i denne posen ble brukt til å bestemme fraksjonsfordelingen.

3.2.3 Solding/fraksjonsestimering

Metoden for fraksjonsbestemmelse følger standarden (NS-EN-15149-1: 2010). Flisen i søppelsekkene (minst 80 liter) ble lagt i en tørke for å redusere fuktigheten til $< 20\%$. Dette for å hindre sammenklumpinger av partikler under soldingen. Tørkingen tok 24-48 timer.

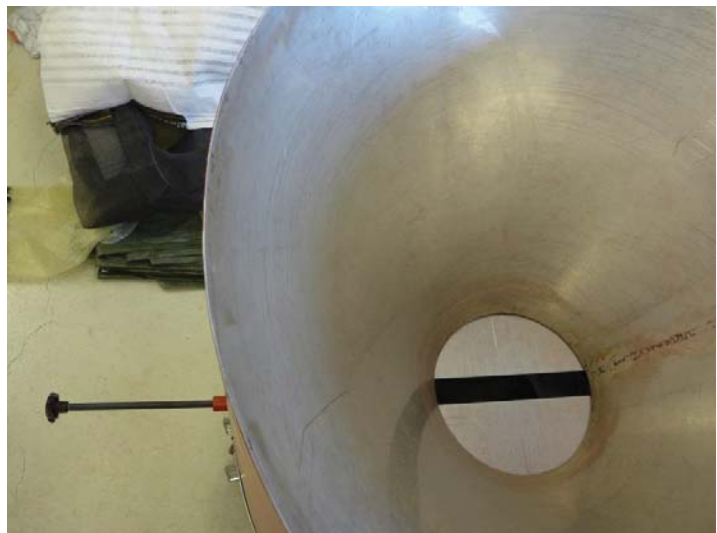


Figur 11: Flis lagt i en tørke for å klargjøre til solding (fotografi: kandidaten).

Etterpå ble den tørkede flisen lagt i en deler med hensikt å dele flisen i fire like deler. Deleren er som en stor trakt, hvor bunnen kan åpnes etter at flisen er lagt oppi. Under trakten er fire skuffer som samler opp flisen.



Figur 13: Deler med skuffer nederst (fotografi: kandidaten).



Figur 12: Deler sett ovenifra. Stangen til venstre lukker og åpner bunnen av trakten (fotografi: kandidaten).

Flisen legges i deleren:



Figur 14: Flis i deleren (fotografi: kandidaten).



Figur 15: Flisen detter ned i skuffene under når stangen presses inn (fotografi: kandidaten).

Deleren fordeler flisen likt i fire like deler, og de fire skuffene kan dermed tas ut:



Figur 16: Bunnen av deler uten og med flis- sett ovenifra, samt en full skuff sett utenifra (fotografi: kandidaten).

Tre av bøttene soldes, den fjerde kastes. I tilfeller hvor det var for mye flis ble prosessen gjentatt en gang før de tre gjenværende prøvene ble soldet hver for seg.

Flisen fra hver skuff ble overført til en bøtte med kjent vekt. Bøtten med flis ble så veid og vekten av bøtten trukket fra. Dette for å vite vekten på flisen før solding og for å kunne redegjøre for evt. tap.

Bøtten ble så helt ut over i en soldemaskin med syv brett. Seks av brettene hadde hull med ulik størrelse. Det øverste brettet hadde hull med diameter 63 mm, det neste brettet 45 mm, så 31,5 mm, 16 mm, 8 mm og 3,15 mm. Det nederste brettet er uten hull og skal samle opp finpartikler under 3,15 mm. Soldemaskinen ble så startet og gikk i ca. 15. minutter.



Figur 18: En prøve lagt i soldemaskinen (fotografi: kandidaten).



Figur 17: Soldemaskinen tømt brett for brett (fotografi: kandidaten).

Etter solding ble hvert brett tatt ut fra maskinen og flisen i hvert brett overført til en benk hvor det ble fotografert og så overført til bøtten igjen gjennom en trakt. Bøtten ble så veid. Det ble i både soldeprosessen og i overføringen av flis en del svinn.

Hver fraksjon ble overført tilbake til bøtten for veiing. Før dette ble fraksjonene fotografert og forsøkt analysert for treslag og evt. forurensninger som stein, plast etc. Resultatene ble vurdert opp mot kravene til flis fastsatt av standarden (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).



Figur 19: Skuffene fra soldemaskinen blir vendt over dette trebrettet for å minske svinn. Brettet helles over en trakt med bøtten under. Etterpå veies bøtten (fotografi:kandidaten).

3.2.4 Fuktprøver

Grunnen til at prøvene ikke ble veid i felt var at kandidaten ikke hadde nøyaktig nok vekt. Metoden for prøver av fuktighet følger (NS-EN-14774-2: 2009).

Fuktprøvene ble frosset ned ved ankomst til Nibio etter bulkdensitetprøvene/innsamlingen av flisen. Dette for å forhindre tap av fuktighet. Prøvene ble så veid dagen etterpå og plassert i et tørkeskap på 105 ± 2 grader, i 24 timer. I de tilfellene tørkeskapet var veldig fullt kunne tørketiden forlenges med 12 timer.

Etter tørking ble posene veid på nytt. Reine tørre og vætede poser ble også veid for å vite hva vekten på posene var før og etter tørking. Denne vekten ble så trukket fra ved utregningene av fuktighet.



Figur 20: Tørkeskap med fuktprøver (fotografi: kandidaten).

Utrekningene følger formel 9.2.2. i vedlegg 2. Når vi vet fuktigheten kan vi regne ut tørrdensiteten og effektiv brennverdi til flisen, samt energitettheten.

3.2.5 Oppkverning av flisen

Den tørkede flisen som ble veid og brukt til fuktprøver ble etterpå kvernet ned til først til 4 mm, og så til 1 mm partikler- totalt 41 prøver. Dette for å kunne lage pellets som brennes i bombekalorimeter. Det er viktig å få med seg en representativ prøve fra flisen og det ble derfor kvernet opp $\frac{3}{4}$ deler av flisen i hver pose, og med flis fra bunn, midten og toppen av posen.



Figur 21: Kvern med 4 mm gitter. Det samles opp mye spon og det er viktig med god rengjøring (fotografi: kandidaten).

Når man kverner opp flisen er det viktig å rengjøre kvernen mellom hver prøve for å unngå at de ulike prøvene forurenses hverandre. Kvernen ble rengjort mellom prøvene og for hver ny prøve ble det kvernet opp en liten del som ble kastet før resten av prøven ble kvernet opp. Dette for å blande eventuelle rester av den forrige prøven med den nye prøven slik at en eventuell forurensning ble halvert.

3.2.6 Bombekalorimeter

Det oppkvernete sponet ble først lagt minst et par døgn i klimarom for å bli fuktig nok til å kunne presse pellets av. Et representativt utvalg av sponet ble veid opp og presset til pellets i en pellets-presse. Vekten på hver pellets lå på rundt 0,7 gram.



Figur 23: Pelletspress, vekt og brett med nummererte prøver (fotografi: kandidaten).



Figur 22: Pelletspress med ferdigpresset pellets (fotografi: kandidaten).

Hver pellets ble lagt i et lite beger som først veies på en vekt med stor nøyaktighet. Begeret med pelletsen ble så veid på ny og vekten av begeret trukket ifra. Vektene ble automatisk notert inn i et excelskjema. Pelletsen ble brent i et bombekalorimeter av typen PARR6300 og øvre brennverdi (MJ/Kg) ble lest av og skrevet inn i excelskjemaet. Hver forbrenning tok ca. 15 min.



Figur 24: Bombekalorimeteret brukt i forsøkene (fotografi: kandidaten).



Figur 25: Skåler med fuktighetsprøver brukt til å korrigere bombekalorimeteret (fotografi: kandidaten).

Fuktigheten sponet må ha for å kunne presses til pellets må seinere trekkes fra tallene som blir lest av fra bombekalorimeteret.

Ca. 1 gram av sponet til hver prøve ble derfor veid opp i egne skåler og tørket i tørkeskap. Etter tørking ble prøvene lagt i en eksikator for å unngå at prøvene tar til seg fuktighet igjen. Tallene fra bombekalorimeteret ble deretter korrigert etter hvor fuktig pelletsene var.



Figur 26: Eksikator med tørkede sponprøver.

Bombekalorimeteret ble før bruk kalibrert ved å forbrenninge to pellets av benzosyre (C_6H_5COOH). Man vet at en pellets med benzosyre skal ha brennverdi på 26,454 MJ/Kg, og standarden sier at man skal ha en nøyktighet på 100 % $\pm 0,02$ %. Metoden for bruk av bombekalorimeter og utregninger av øvre brennverdi følger standarden (NS-EN-14918: 2009).



Figur 28: Benzosyre og beger til pelletsene.



Figur 27: Brett med nummererte prøver. Dette for å holde rede på prøvene (fotografi: kandidaten).

Øvre brennverdi ble lagt til grunn ved utregning av nedre, effektiv brennverdi og effektiv brennverdi tørt og askefritt, etter formlene 9.2.5-7 i vedlegg 2. Energitetthet ble regnet ut etter etter formel 9.2.8. også i vedlegg 2.

3.2.7 Askeprøver

Sponet som ble tørket i tørkeskap for å korrigere tallene fra bombekalorimeteret ble etterpå brent i en ovn på 550 ± 10 °C. Skålene ble så veid på nytt og askeinnholdet regnet ut. Metoden for å finne askeinnhold følger standarden (NS-EN-14775: 2009). Resultatene fra askeprøvene ble brukt i utregninger av lønnsomheten (kostnader knyttet til askehåndtering). Askeinnholdet ble regnet ut etter formel 9.2.4 i vedlegg 2.

3.2.7.1 Når det går galt



Figur 29: Kandidaten brenner seg når han skal ta ut fuktighetsprøver- til korrigering av tall fra bombekalorimeter, fra varmeovn. Prøven gikk tapt (fotoграфи: kandidaten).

Noen ganger går ting i bakken. Prøven i bildet over ble ikke veid før uhellet og prøven gikk derfor tapt. 7 stykker av askeprøvene ble også veltet på et tidspunkt og prøvene blandet. Men siden tall fra førvekt og vekt etter tørking allerede var registrert kunne kandidaten veie opp nye skåler med ca. 1 gram i hver- tørke disse og veie på nytt og så brenne prøvene sammen med de andre prøvene i ovn for å finne askeinnholdet.

3.2.8 HMS

For notis på HMS se vedlegg 1.

4 Resultater:

4.1 Intervjuresultater

4.1.1 Om intervjuobjektene

Intervjuobjekt 1 er ansatt ved Statkrafts fjernvarmeanlegg i Ås.

Intervjuobjekt 2 er ansatt ved Statkraft fjernvarmeanlegg i Sandefjord.

Intervjuobjekt 3 er en bedrift i Bærum som driver med trefelling/ryddinger i folks hager etc. Trærne blir fliset direkte i hengere og denne flisen kjørt til bedriften. Hageavfall er i denne betydningen alle mulige typer trær som finnes i folks hager. Hos bedriften lagres det til det enten kan selges eller bli levert til gjenvinningsstasjon.

Intervjuobjekt 4 er en bedrift som tar imot hageavfall/GROT fra gjenvinningsstasjoner etc. og komposterer dette. Hageavfallet er i dette tilfellet alle typer vedmasser som kommer fra folks hager, fra linjeryddinger etc. Komposteringsprosessen tar ca. 1 og ½ til 2 år og komposten blir solgt som taktorv. Det som enda ikke har blitt kompostert blir solgt som brensel til fjernvarmeanlegget i Sandefjord.

4.1.2 Tilgjengelighet og etterspørsel

Begge intervjuobjektene fra fjernvarmeanleggene har sagt at det ikke er noe i veien for at alt brenselet kan bestå av hageavfall- sett at det holder god nok kvalitet. En viktig forutsetning er da at fjernvarmeanleggene har røykgasskondensering- noe som er tilfellet i begge anleggene. Ved å bruke fuktig flis av heltre/bark/hageavfall er det mulig å bruke røykgasskondenseringen hele året. Optimal fuktighet i brenselet blir av intervjuobjektene 1 og 2 angitt til å være et sted mellom 50-55 %. Høy fuktighet er ikke et krav kun pga. røykgasskondenseringen, men pga. at biokjelen er konstruert for høyere fuktigheter og ikke vil tåle for tørr flis.

Røykgasskondenseringen kan gi opptil 30 % av effekten til biokjelen, noe som for anleggene 1 og 2 gir opptil 2,4 MW ekstra effekt. Mye av energien som går tapt i fordampingen av vannet i veden vil dermed kunne gjenbrukes. Effekten av røykgasskondensering blir bedre desto lavere returtemperaturen er. Intervjuobjekt 1 mener det er realistisk med en returtemp nede i ca. 40 °C og forteller at det er



differansen mellom returtemperaturen og varmen til den kondenserte røykgassen som gir effekten i røykgasskondenseringen.

Intervjuobjekt 1 forteller videre at det er først på vårparten at tilgjengeligheten av hageavfall blir bedre, men det er også da behovet for brensel begynner å synke. Varmere vær ute vår og sommer gjør at det for det meste kun er behov for tappevann hos fjernvarmekundene. Det er heller ikke interessant å kjøpe inn masse brensel og lagre det til høsten fordi fuktigheten i flisen gir fare for selvantenning. Fuktigheten gjør også at flisen begynner å komposteres veldig raskt og det blir tap i brennverdi/kvalitet.

Fra leverandørene sin side mener de at tilgjengeligheten er stor nok til at det meste av fjernvarmeanleggenes brensel kan komme fra hageavfall. Intervjuobjekt 3 forteller at de alene kan levere 30-60 m³ i uken til anlegget i Ås- noe som tilsvarer ca. en halv dags brensel- i april, i anlegget i Ås. Energiinnholdet ligger mellom 26-51 MWh. Det samme anlegget kan komme opp i ca. 3-400 m³ i døgnet når det kjører på full last, sier intervjuobjekt 1. Intervjuobjekt 4 forteller at de leverer 2-3 lass i uken. Hvert lass veier ca. 30 tonn og har et volum på ca. 80 m³. Tre lass vil da veie 90 tonn / ha et volum på 240 m³. Energiinnholdet vil være på ca. 153 MWh.

4.1.3 Utfordringer og optimalisering av driften

Anlegg 1 har hatt kontrakter med hageavfall på 4 GWh. Anlegg 2 har totalt hatt kontrakter på 3 + 3 GWh, men ikke alt er levert. Leveransene har vært stoppet flere ganger på grunn av for store avvik som leverandørene har måttet fikse opp i. Statkraft har sagt at de vil akseptere en større andel aske sammenlignet med annet brensel. Dette betyr likevel ikke at de vil akseptere fremmedlegemer. De stiller også krav til fast dekke under lagring, men dette har ikke vært gjennomført- og grus, sand og jord kommer med flisen når man skufler flisen opp fra bakkenivå.

Intervjuobjekt 2 presiserer at dette er en lang prosess som kanskje vil ta flere år- der leverandørene må skaffe seg gode rutiner og gjøre nødvendige endringer i driftsopplegget for å kunne oppnå den nødvendige kvaliteten. Det tar også tid å forstå hverandres forventninger i kunde-leverandørforholdet. Endringer i driftsopplegget kan for eks. være at hageavfall blir sortert som brensel på gjenvinningsstasjonene. Altså av vedmasse blir sortert ut fra hageavfallet, kvernet og lagret på hardt underlag. Plast, stein/grus og andre forurensninger må ikke forekomme. Det bør kanskje tilsettes en



person som har ansvar for å passe på at sortering og håndtering blir bra nok gjennomført. Flisingen må også gjøres tilfredsstillende slik at man unngår for store fraksjoner. Anlegg 2 har hatt flere driftsstanser pga. forurensninger i hageavfallet. Spesielt store steiner kan forårsake stans i innmatingen av flisen. Begge anleggene foreller også at de har opplevd driftsstanser pga. for store fraksjoner som setter seg fast i innmatingen.

Når det gjelder å kjøre optimalt, mener intervjuobjekt 2 at det tar kort tid å lære seg anlegget å kjenne og hvordan man skal drive kjelen optimalt. Man kan ha ulik hastighet på skruene ut fra siloen og får dermed blandet tørr og våt flis i fordelaktige mengder. Bruken av hageavfall i så henseende påvirker ikke driften negativt, men forbedrer bruken av røykgasskondenseringen ved at fuktig hageavfall kan blandes med tørrere flis. Blir flisen derimot for fuktig forteller intervjuobjekt 1 at det blir problemer med NoX-utslipp og lignende fordi temperaturen i kjelen synker. Det vil da forekomme hyppigere at forbrenningen av flisen blir ufullstendig og røyken mer forurenset.

4.1.4 Priser

Intervjuobjekt 2 forteller at brenselkontraktene er på 1 års tid. Det er anbudsrunder i februar og forhandlinger i April. Anleggene er avhengige av stabilitet, men mange endringer i markedet- som pris og tilgjengelighet, gjør at det er mest gunstig for Statkraft å kunne være fleksible i et marked i stor endring. Det er derfor ikke lett å bli enige om kontrakter over lengre tid.

Intervjuobjekt 1 presiserer at hageavfall som det fungerer i dag ikke nødvendigvis lønner seg for fjernvarmeanleggene, men at Statkraft ser potensialet i å utvikle ressursen som brensel. Videre gir den ekstra askehåndteringen som hageavfall fører med seg store merkostnader. Legger man til en driftsstans i tillegg kan bruken av hageavfall gi store tap. Det er per i dag ikke lov å tilbakeføre aske til skogen og fjernvarmeanleggene skiller derfor ikke flyveasken fra bunnasken. All aske må deponeres. (For mer om aske og tilbakeføring til skogen se vedlegg 5. kapittel 9.5.4.7).

Intervjuobjekt 1 kan fortelle at å sende en kontainer på deponi koster mellom 25-30000 kroner for fjernvarmeanlegg 1. Grunnen til den store kostnaden er at asken må behandles våt og det er behov for en sprøytebil som vanner asken mens den sprøytes inn i bilen. En kontainer med tørr aske koster mellom 8-9000 å deponere. Begge priser er inkludert transport. Asken i en kontainer veier som tørr mellom 5,5



og 8 tonn og har et volum på ca. 10 m³. Intervjuobjekt 1 forteller videre at Statkraft sine fjernvarmeanlegg er bygd slik at man i fremtiden kan skille flyveasken fra bunnasken, sett at det skulle bli lov å tilbakeføre asken til skogen. Dette vil i så fall redusere kostnadene for askehåndteringen betraktelig.

Intervjuobjekt 3 sier de har store utgifter med å bli kvitt sitt hageavfall/treflis og må ellers betale en gjenvinningsstasjon ca. 4000,- per lass (30 m³), noe som gir utgifter på ca. 350.000 i året. Bedriften har prøvd å gi bort gratis ved, gratis flis til andelslandbruket i nærheten, gårdsbruk etc. uten hell. De får heller ikke levere flis til søppelforbrenningsanlegg fordi disse får betalt for å brenne søppel. Brenner søppelforbrenningsanlegg biomasse går de glipp av denne inntekten. Intervjuobjekt 3 foreller at de til og med har prøvd å gi bort gratis ved uten hell.

Intervjuobjekt 4 har muligheter til å tilbakeføre det brenselet fjernvarmeanleggene ikke ønsker, i komposthaugene og har således ingen større kostnader knyttet til alternativ bruk.



4.2 Informasjon om prøvene og prøvestedene

4.2.1 Prøver fra AB trepleie



Figur 30: Flishaug hos leverandør AB i Bærum (fotografi: kandidaten).

Prøvene kalt AB kommer fra trefellinger/beskjæringer av trær/busker. Oppdelte stokker blir fliset direkte i tilhengere og kjørt til bedriften for lagring. Flisen lagres ute, enten i containere eller på bakken- da uten fast grunnlag. Flisen som ble analysert av kandidaten inneholdt ingen forurensninger og bestod av ulike typer trær/busker samt granbar. Det fantes ikke noe løv da dette har falt til bakken før trærne/buskene ble hugget, men det var en del bar.

4.2.2 Prøvene fra gjenvinningsstasjon i Moss



Figur 31: Haug med hageavfall hos potensiell leverandør i Moss (fotoграфи: kandidaten).

Prøvene kalt Moss kommer fra en gjenvinningsstasjon i Moss. Hageavfallet er fliset opp for å kunne komprimeres og ikke med tanke på bruk som brensel. Hageavfallet er ikke sortert og flisen kan bestå av utallige ulike vekster. Flisen lagres ute på bar bakke og bestod også av bar og noe løv.

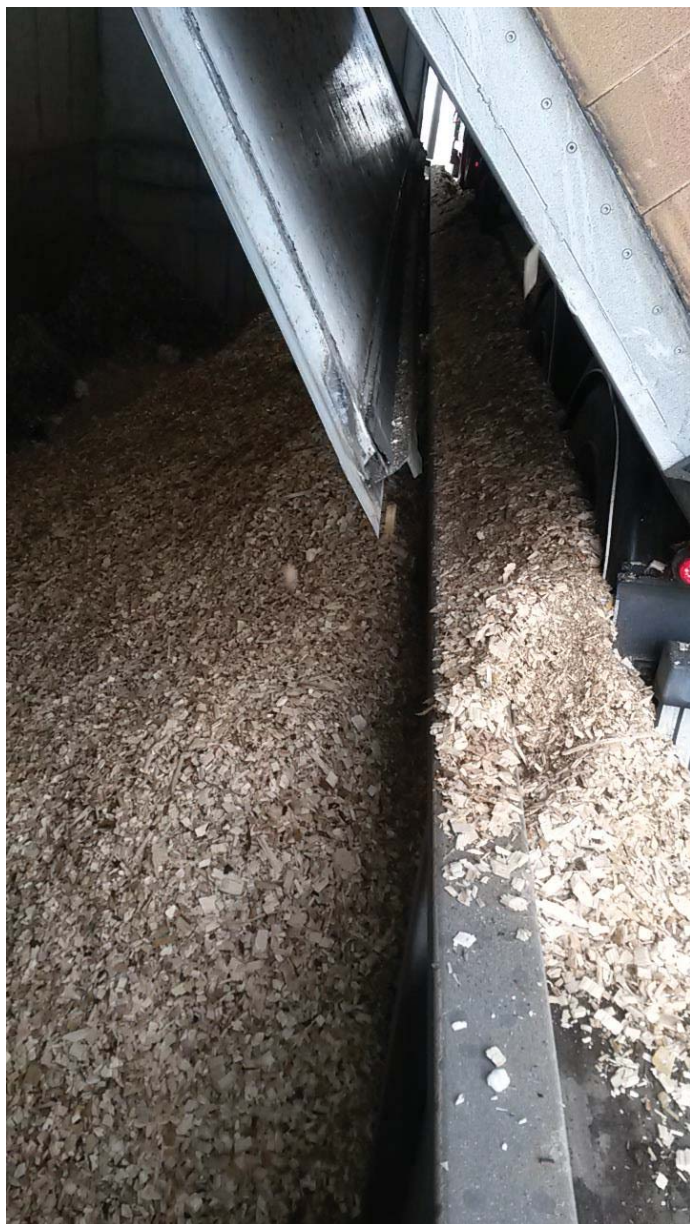
4.2.3 Prøver fra gjenvinningsstasjon på Nesodden



Figur 32: Haug med hageavfall hos potensiell leverandør på Nesodden (fotografi: kandidaten).

Prøvene kalt Nesodden kommer fra en gjenvinningsstasjon på Nesodden. Hageavfallet fra denne gjenvinningsstasjonen blir også fliset for å komprimeres. Flisen blir ikke solgt som brensel og flisen lagres ute på bar bakke. Prøvene kandidaten tok var av flis fra hovedsakelig gran og furu. Flisen inneholder masse bar og ingen forurensninger.

4.2.4 Referanseprøvene- flis levert til fjernvarmeanlegget i Ås



Figur 33: Flisshaug levert til anlegget i Ås- kalt referanseflisen (fotografi: kandidaten).

Flisen som referanseprøvene er fra ble hentet på fjernvarmeanlegget i Ås. Flisen bestod av heltre og kom fra et hogstfelt i Ski kommune. Flisen var trolig fra gran og furu- og var uten bar/løv. Flisen ble fliset direkte i containeren og har ikke vært lagret på bar bakke. Flisen var uten forurensninger.

4.2.5 Prøver fra NMI



Figur 34: Haug med hageavfall hos leverandør NMI, Larvik (fotografi: kandidaten).

Prøvene fra NMI er flis laget på hageavfall som kommer fra flere ulike gjenvinningsstasjoner, samt linjeryddinger etc. Hageavfallet hugges opp og legges i ranker opp til 4 meter for å komposteres. Etter 1 og ½ til 2 år er komposteringen ferdig og vedmasse som ennå ikke har blitt kompostert blir fliset opp og solgt som brensel til fjernvarmeanlegget i Sandefjord. Flisen lagres ute på bar bakke. Prøvene som kandidaten tok inneholdt mye forurensninger; stein, jord, plast, tau, keramikk etc.



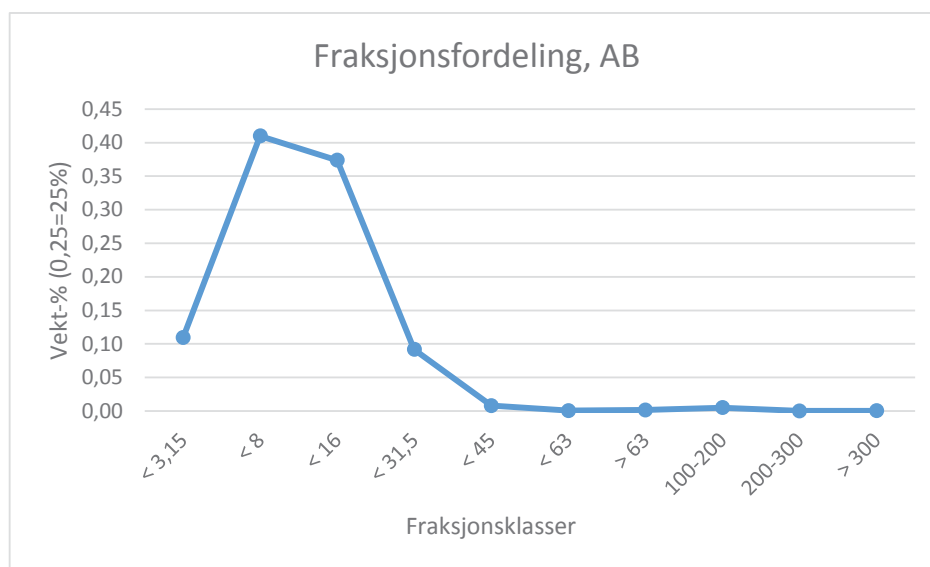
Figur 35: Pose med forurensninger som NMI i Larvik har rensket ut fra det oppfliste hageavfallet sitt (fotografi: kandidaten).

4.3 Analyse av flisegenskaper

For nøkkeltall til flisegenskapene: fuktighet, aske, brennverdier, bulkdensitet og energitetthet se vedlegg 3. For nøkkeltall til fraksjonsfordeling se vedlegg 4. For mer informasjon om de ulike brenselsegenskapene se vedlegg 5.

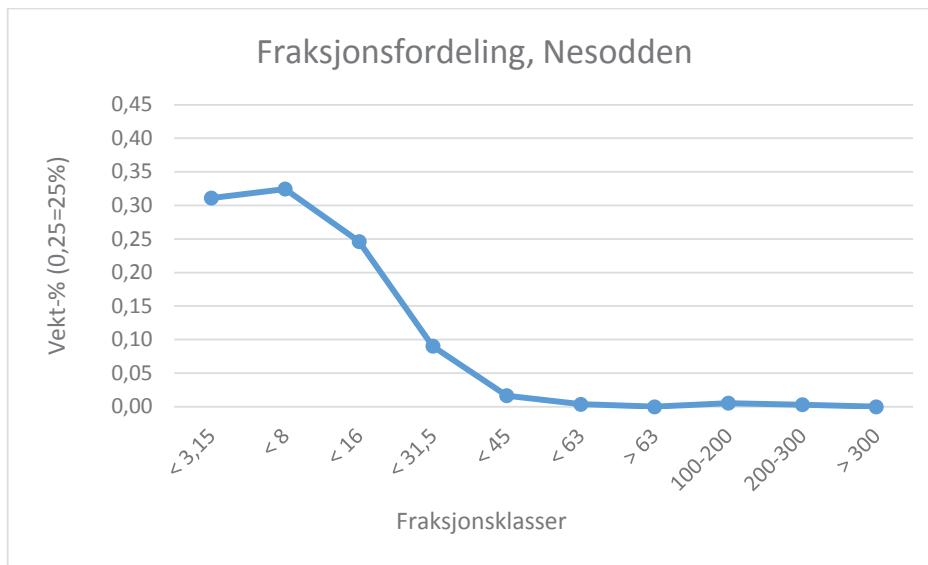
4.3.1 Fraksjonsfordeling

Figurene 36-40 viser grafer fra hvert prøvested med fordeling av størrelsen på fraksjonene.



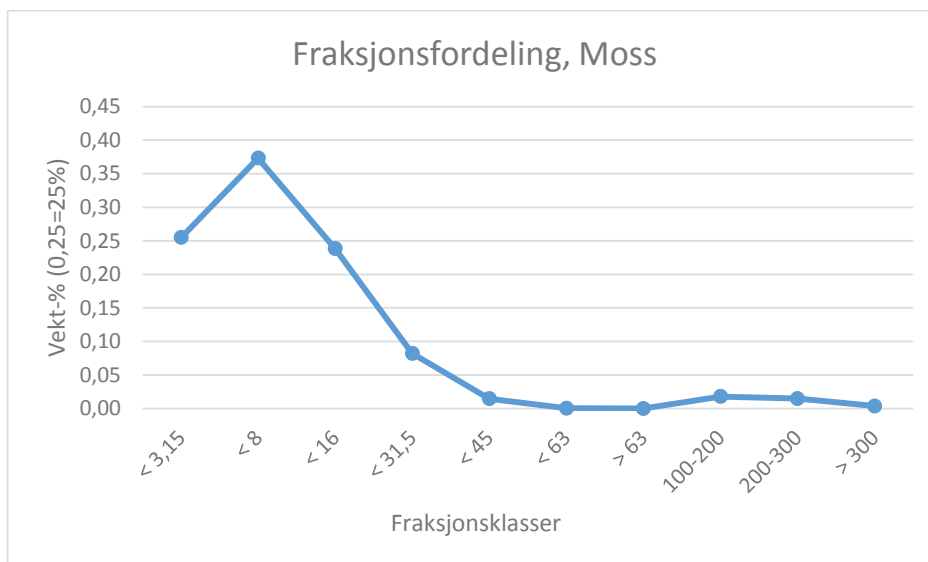
Figur 36: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for AB-flisen.

Prøvene fra AB har relativt lite finstoff (med størrelse under 3,15 mm), men en stor andel av vekten fordelt på fraksjonene 3,15 mm til <16 mm. Med andre ord ligger hovedfraksjonen fordelt på de små fraksjonene. De større fraksjonene utgjør nesten ingenting av vekten.



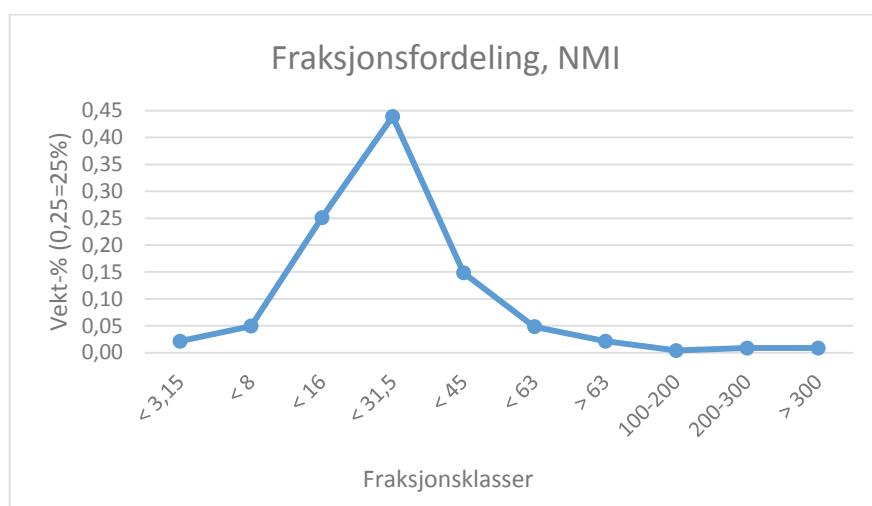
Figur 37: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for flisen fra Nesodden.

Prøvene fra Nesodden har mye finstoff og en stor andel av vekten er fordelt på fraksjonene 3,15 mm til <16 mm. Hovedfraksjonen ligger altså fordelt på de små fraksjonene. De større fraksjonene utgjør nesten ingenting av vekten.



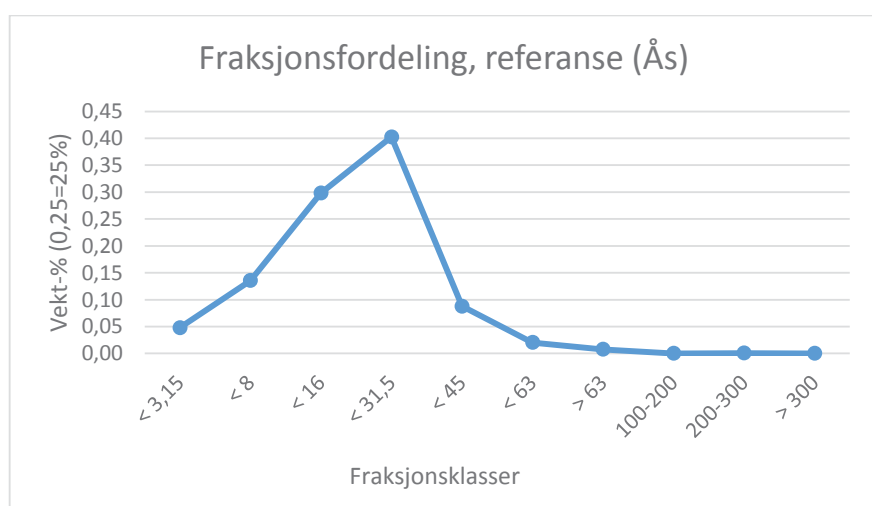
Figur 38: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for Moss-flisen.

Prøvene fra Moss (figur 38 på forrige side) har også relativt mye finstoff og en stor andel av vekten er fordelt på fraksjonene 3,15 mm til <16 mm. Med andre ord ligger hovedfraksjonen fordelt på de små fraksjonene. De større fraksjonene utgjør også her nesten ingenting av vekten, men det er litt større vektandeler på stikkerne sammenlignet med flisen fra de to foregående prøvestedene.



Figur 39: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for NMI-flisen.

Prøvene fra NMI har veldig lite finstoff og en stor andel av vekten er fordelt på fraksjonene 8 mm til < 45 mm. Hovedfraksjonen ligger fordelt på de mellomstore fraksjonene. De større fraksjonene utgjør en liten andel av vekten.



Figur 40: Fordeling av fraksjoner etter vekt-%, for referanseflisen.



Referanseprøvene fra Ås har også lite finstoff og den største andelen av vekten er fordelt på fraksjonene 8 mm til <31,5 mm. Hovedfraksjonen er altså fordelt på de mellomstore fraksjonene. De større fraksjonene utgjør nesten ingenting av vekten.

Tabell 1 og 2 viser hvilken fraksjonsklasse flisen fra de ulike prøvestedene vil falle under etter standarden ISO 17225-1:2014. Alle prøvene fra hageavfall dekker kravene stilt til de nedenforgitte klassene bortsett fra på ett punkt. Flisen fra alle prøvestedene hadde for lange stikkere. Det var kun referanseflisen som ikke hadde stikkere. For mer informasjon om gjeldende standard se vedlegg 5, kapittel 9.5.4.8:

Tabell 1: Fraksjonsklasser som flisen fra de ulike prøvestedene faller under, samt kravliste til hver klasse. Tallene for vekt-% er oppgitt i andel av 1 (0,78 = 78%). Klassifiseringen følger standarden (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

	AB		Moss		Nesodden	
	Klasse:	P16	Klasse:	P16	Klasse:	P31
	Krav:	Vekt- %:	Krav:	Vekt- %:	Krav:	Vekt- %:
Hovedfraksjon:	3,15 mm < P < 16 mm	0,78	3,15 mm < P < 16 mm	0,61	3,15 mm < P < 16 mm	0,66
Grovfraksjon:	< 6% over 31,5 mm	0,01	< 6% over 31,5 mm	0,05	< 6% over 45 mm	0,01
Finfraksjon:	F15	0,11	F30	0,25	F30+	0,31
Stikkere:	Maks lengde: 150 mm	5 stk <	Maks lengde: 150 mm	9 stk <	Maks lengde = 200 mm	4 stk <

Tabell 2: Fraksjonsklasser som flisen fra de ulike prøvestedene faller under, samt kravliste til hver klasse. Tallene for vekt-% er oppgitt i andel av 1 (0,78 = 78%). Klassifiseringen følger standarden (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

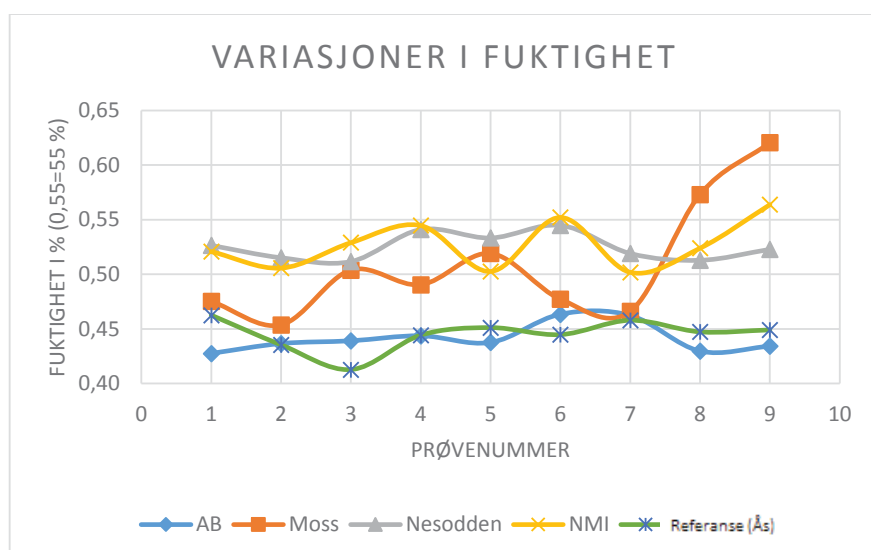
	NMI		Referanse (Ås)	
	Klasse:	P45	Klasse:	P31
	Krav:	Vekt-%:	Krav:	Vekt-%:
Hovedfraksjon:	3,15 mm < P < 45 mm	0,89	3,15 mm < P < 31,5 mm	0,84
Grovfraksjon:	< 10% over 63 mm	0,04	< 6% over 45 mm	0,03
Finfraksjon:	F5	0,02	F5	0,05
Stikkere:	Maks lengde: 350 mm	3 stk	Maks lengde = 200 mm	0

Hovedfraksjonene er på mellom 61 og 89 % sammenlignet med referanseflisen som har en hovedfraksjon på 84 %. Alle grovfraksjonene til de ulike prøvene av hageavfall er små, mens finfraksjonene er veldig store (bortsett fra prøvene fra NMI).

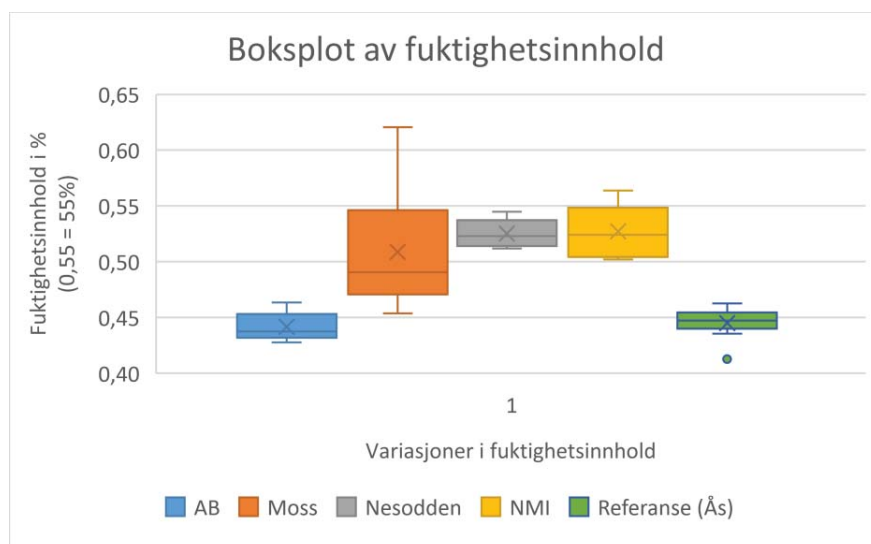


4.3.2 Fuktighet

Figur 41 viser variasjonen i fuktighet for alle prøvene fra de ulike prøvestedene. Størst variasjon er det for prøvene fra Moss- som har mellom 45 og 62 % fuktighet. Minst variasjon er det for prøvene fra Nesodden. Prøven herfra med minste fuktighet var målt til 51 % fuktighet, mens prøven med størst fruktighet var målt til 54 % fuktighet. Variasjonen mellom prøvestedene var også stor. Prøven med minst fuktighet kom fra Ås og var på 41 % fuktighet. Prøven med størst fuktighet var fra Moss med 62 % fuktighet.



Figur 41: Variasjon er i fuktighet- i %, for flis fra de ulike prøvestedene.



Figur 42: Boksplot av fuktighet i %. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av referanseprøvene er en utligger.

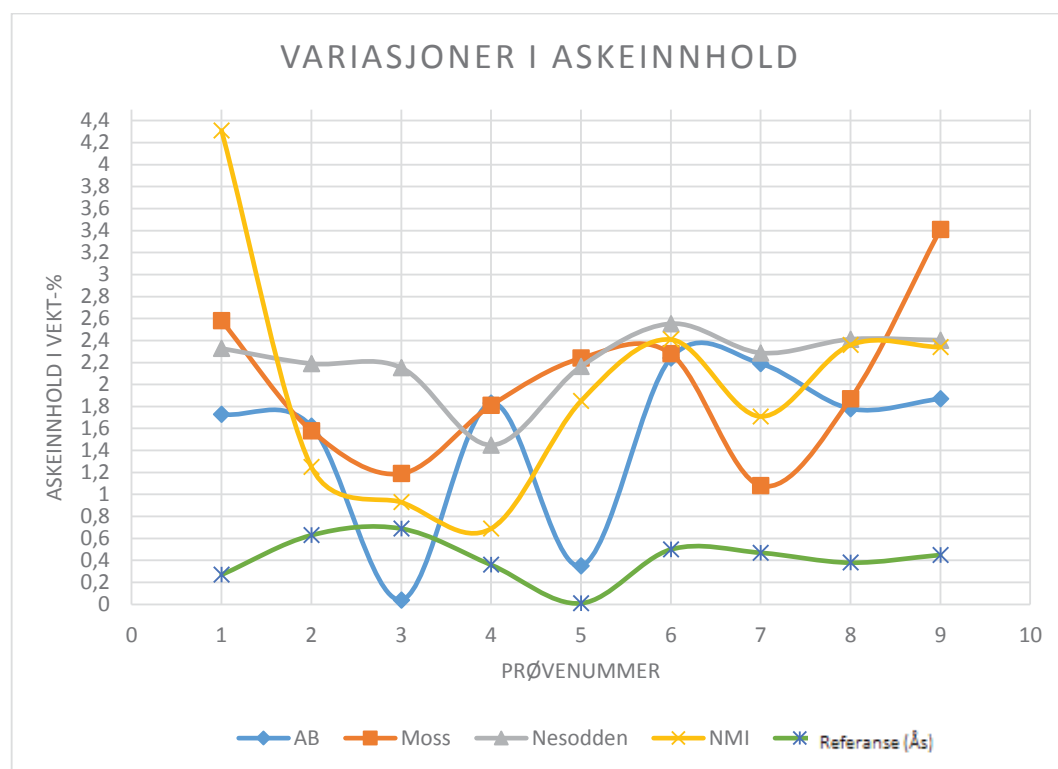
Flisen fra de ulike prøvestedene falt inn under følgende fuktighetsklasser (for mer informasjon om gjeldende standard, se vedlegg 5, kapittel 9.5.4.6):

Tabell 3: Tabell over fuktighetsklassene flisen til de ulike prøvestedene faller inn under. Klassifisering er gjort etter prøvn med størst fuktighet for hvert prøvested. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

Fuktighetsklasse:				
AB	Moss	Nesodden	NMI	Referanse (Ås)
≤ 50%	≤ 65%	≤ 55%	≤ 60%	≤ 50%
Etter standardene: ISO 181341-1 og ISO 18134-2				

4.3.3 Askeinnhold

Det var forventet at hageavfall skulle ha stor andel aske fordi det inneholder en stor andel bar og greiner (for informasjon om askeinnhold, se vedlegg 5, kap. 9.5.4.7). Variasjonen i askeinnhold kan ses i figur 43.



Figur 43: Variasjon i askeinnhold (i % av tørrvekt) mellom alle prøvene til hvert prøvested.

Det var stor variasjon i askeinnholdet for alle prøvestedene. Størst var den for prøvene fra NMI, og minst for prøvene til referanseflisen (Ås). Prøven fra NMI med minst askeinnhold var målt til 0,69 % aske. Prøven med størst askeinnhold var målt til 4,31% aske. For referanseflisen var prøven med minst

askeinnhold målt til 0,01 % aske, mens prøven med størst askeinnhold var målt til 0,69 % aske.

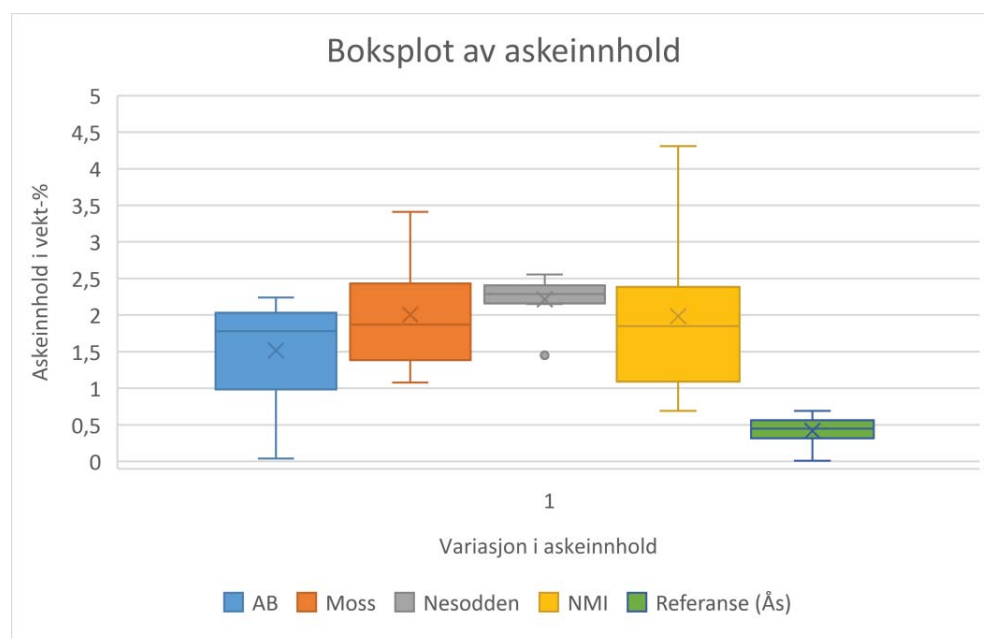
Variasjonen i askeinnhold mellom prøvestedene var veldig stor. På sitt største var den på mellom 0,01 % aske målt på en prøve fra referanseflisen (Ås) og 4,31 % aske målt på en prøve fra NMI.

Askeinnholdet kunne vært større, spesielt for prøvene fra NMI. Disse prøvene inneholdt nemlig mye stein, grus og andre forurensninger som måtte fjernes for hånd før oppkverning og videre behandling for prøvetaking av askeinnhold. Tallene fra NMI er derfor ufullstendige.

Flisen fra de ulike prøvestedene faller inn under følgende standarder for aske (for mer informasjon om gjeldende standard, se vedlegg 5, kapittel 9.5.4.7):

Tabell 4: Tabell over askeklassene flisen til de ulike prøvestedene faller inn under. Klassifiseringen er gjort etter største prøve. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

Askeklasse:				
AB	Moss	Nesodden	NMI	Referanse (Ås)
≤ 3%	≤ 5%	≤ 3%	≤ 5%	≤ 0,7%
Etter standard: ISO 18122				

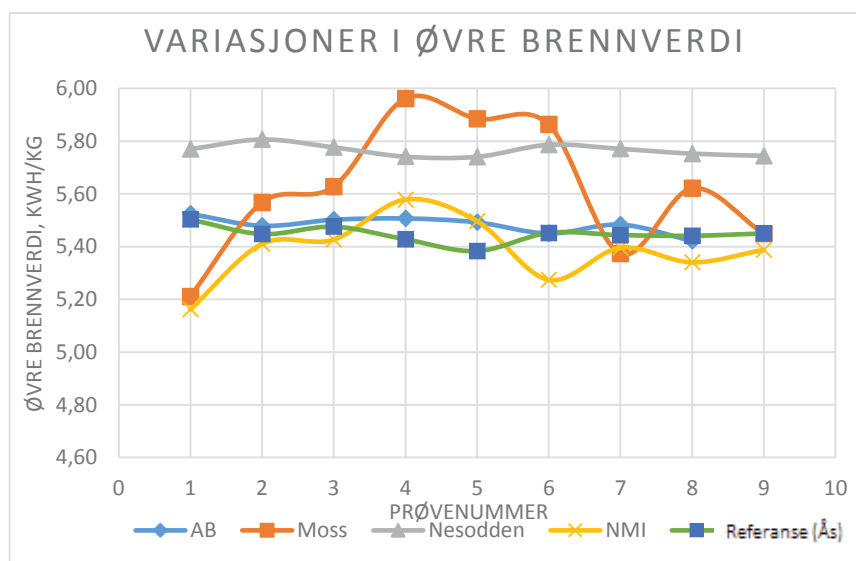


Figur 44: Boksplot av askeinnhold i % av tørrvekt. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av Nesodden-prøvene er en utligger.

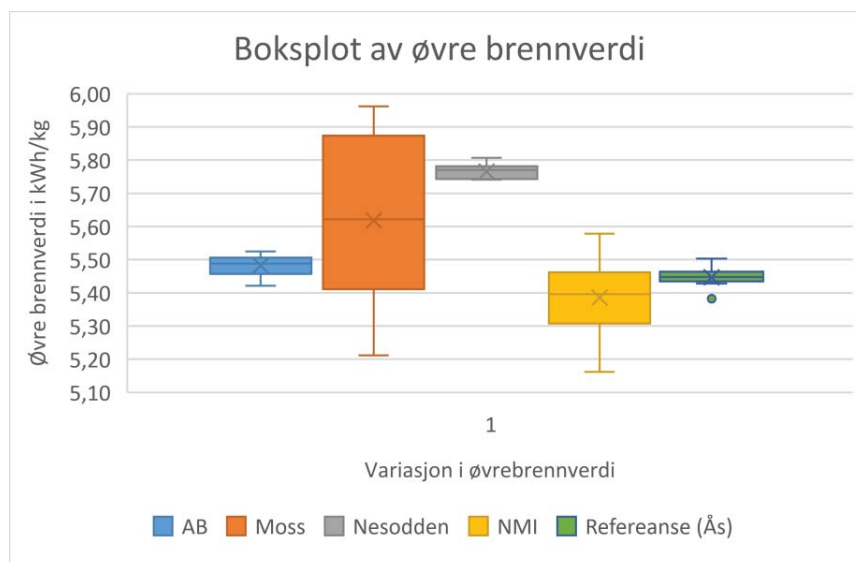
4.3.4 Brennverdier:

4.3.4.1 Øvre brennverdi

Figur 45 viser variasjonen i øvre brennverdi. Variasjonen var størst for Moss-prøvene og minst for Nesodden-prøvene. For Moss-prøvene var den største øvre brennverdi målt til 5,96 kWh/kg og minste øvre brennverdi målt til 5,21 kWh/kg. For Nesodden-prøvene var største øvre brennverdi målt til 5,81 kWh/kg og minste øvre brennverdi målt til 5,74 kWh/kg. Variasjonen var også stor blant prøvene fra NMI, men ellers små for de andre prøvesamlingene.



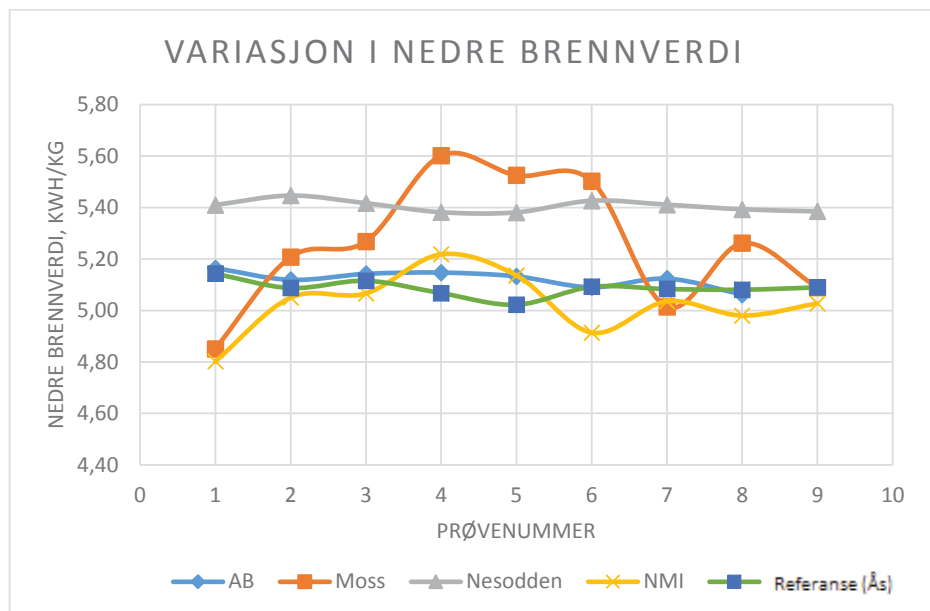
Figur 45: Variasjon i øvre brennverdi (kWh/kg) vist etter prøvenummer for hvert prøvested.



Figur 46: Boksplot av øvre brennverdi i kWh/kg. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestreke angir øvre og nedre verdi. Merk: en av referanseprøvene er en utligger.

4.3.4.2 Nedre brennverdi

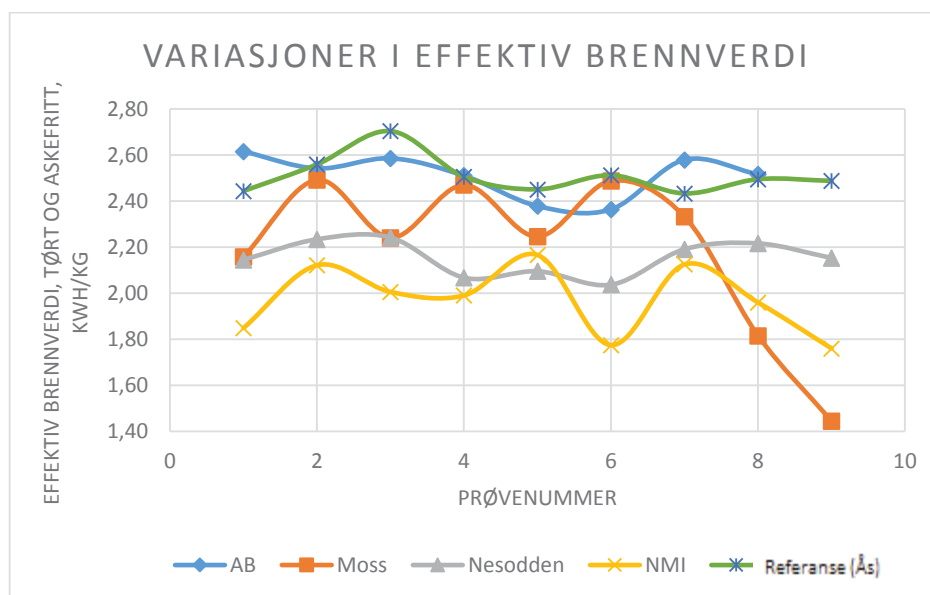
Figur 47: som for øvre brennverdi, men 0,36 kWh/kg lavere (for forklaring se kapittel 9.5.4.4.2):



Figur 47: Variasjon i nedre brennverdi (kWh/kg) vist etter prøvenummer for hvert prøvested.

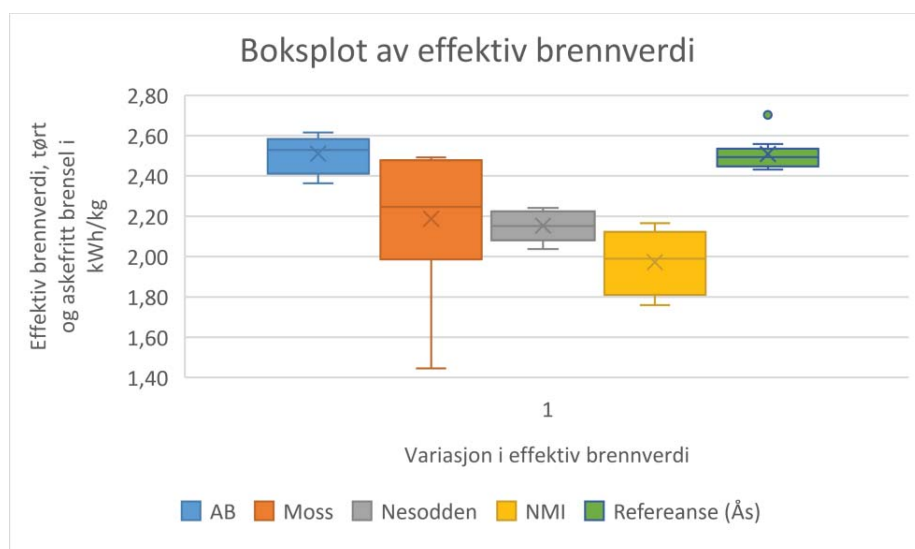
4.3.4.3 Effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel

Variasjonen i effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel (heretter kalt effektiv brennverdi) kan ses i figur 48, under:



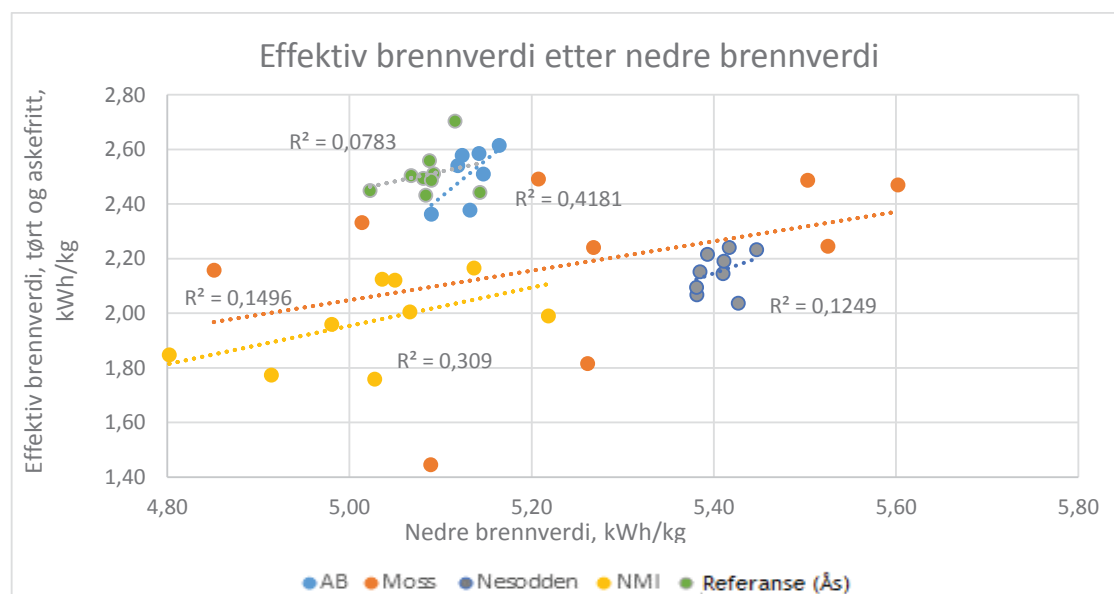
Figur 48: Variasjon i effektiv brennverdi (kWh/kg) vist etter prøvenummer for hvert prøvested.

Det er Moss-prøvene som har størst variasjon i effektiv brennverdi; mellom 1,44 kWh/kg og 2,49 kWh/kg. Prøvene fra Nesodden har minst variasjon; mellom 2,44 kWh/kg og 2,7 kWh/kg. Figur 49 viser et boks-plot med tilhørende standardavvik for hvert prøveområde. Tar man ikke med utliggeren tilhørende referanseprøvene er det disse som har minst variasjon; mellom 2,45 kWh/kg og 2,56 kWh/kg.



Figur 49: Boksplot av effektiv brennverdi i kWh/kg. X angir gjennomsnittsverdi, horisontal strek angir medianen, firkantene viser hvor vekten av prøvene ligger og endestrekene angir øvre og nedre verdi. Merk: en av referanseprøvene er en utligger.

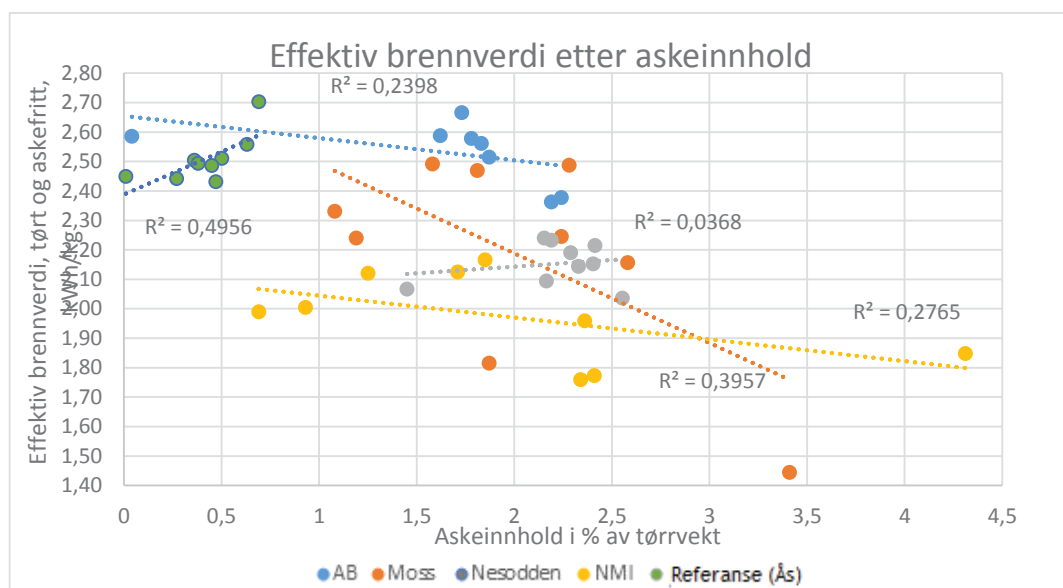
Effektiv brennverdi er regnet ut fra nedre brennverdi, fuktighet og askeinnhold. Det forventes derfor at disse faktorene skal ha noe å si for effektiv brennverdi. Resultatene for dette ses i figurene 50, 51 og 52.



Figur 50: Effektiv brennverdi (kWh/kg) etter nedre brennverdi (kWh/kg). Korrelasjonskoeffisienten R² beskriver hvor god korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og nedre brennverdi er. Trendlinjene viser hvilken vei trenden går.

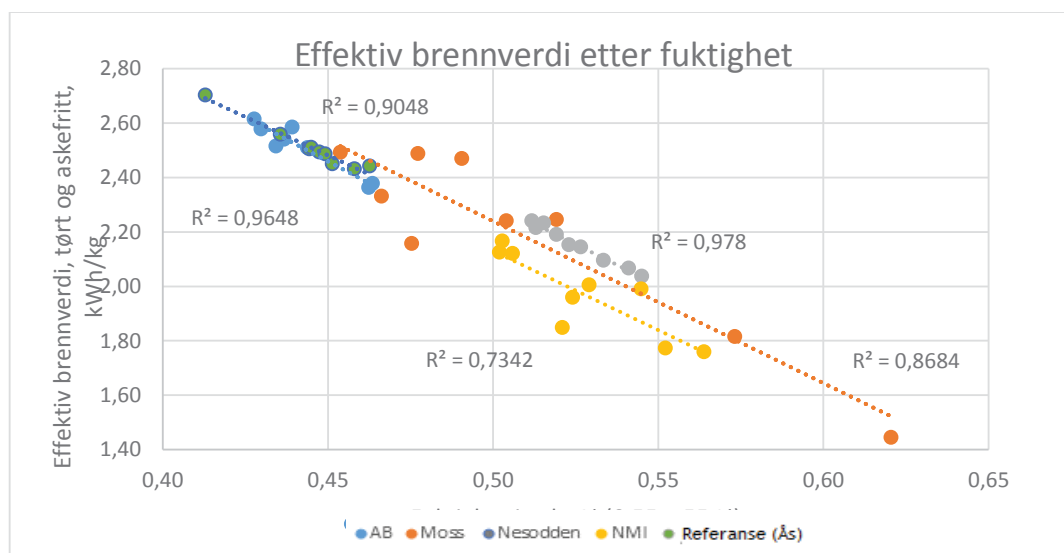


Som figur 50 viser, vil en økning i nedre brennverdi gi en økning i effektiv brennverdi. Tallene er veldig usikre på grunn av lav R^2 og lav korrelasjon mellom effektiv brennverdi og nedre brennverdi.



Figur 51: Effektiv brennverdi (kWh/kg) etter askeinnhold i %. Korrelasjonskoeffisienten R^2 beskriver hvor god korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og askeinnhold er. Trendlinjene viser hvilken vei trenden går.

Det var forventet at en økt mengde aske skulle gi lavere effektiv brennverdi fordi en større andel aske gir mindre andel brennbart stoff. I figur 51 viser to av prøvesamlingene en trend for økende effektiv brennverdi med økende askeinnhold- stikk i strid med denne antagelsen. Korrelasjonskoeffisientene til tallene er også lave, så tallene er uansett usikre.



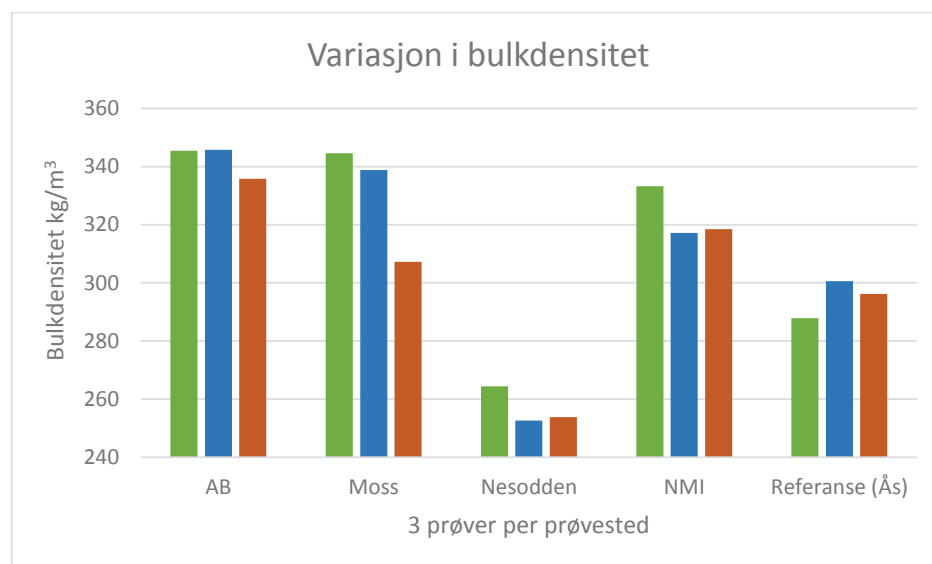
Figur 52: Effektiv brennverdi etter fuktighet (kWh/kg). Korrelasjonskoeffisienten R^2 beskriver hvor god korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og fuktighet er. Trendlinjene viser hvilken vei trenden går.

Figur 52 på forrige side viser som forventet at fuktigheten har stor effekt på effektiv brennverdi. Korrelasjonskoeffisientene (R^2) er høye og trendene er sterke: økt fuktighet gir altså lavere effektiv brennverdi.

4.3.5 Bulkdensitet

Bulkdensiteten variere relativt lite innad for prøvestedene. Den største variasjonen er å finne blant prøvene fra Moss. Her er variasjonen på 37 kg/m^3 . Variasjonen er minst mellom AB-prøvene. Her er variasjonen på 10 kg/m^3 . Mellom prøvestedene er variasjonen stor. Den største variasjonen er på 93 kg/m^3 og er mellom en prøve fra Nesodden (254 kg/m^3) og en prøve fra AB (346 kg/m^3).

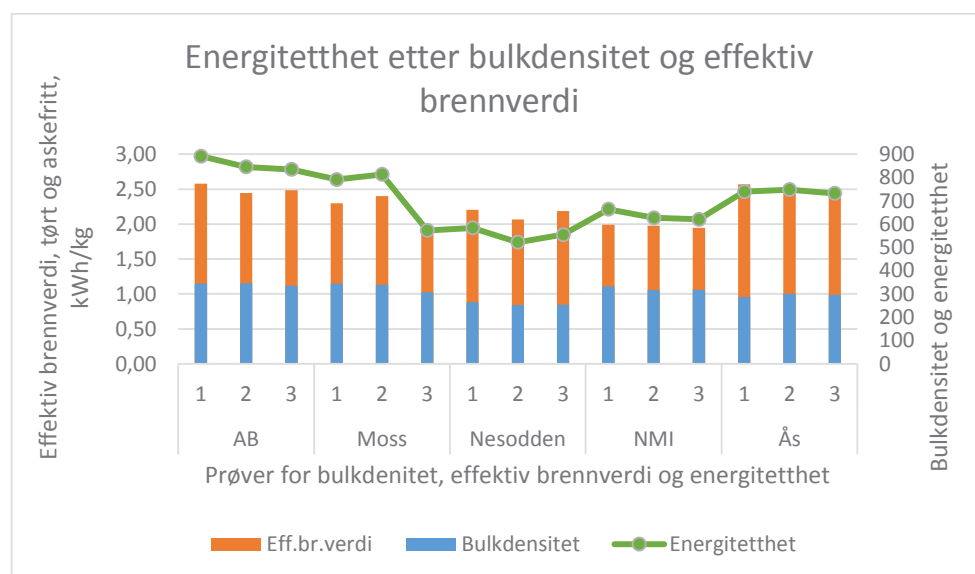
Alle bulkdensiteter er under 400 kg/m^3 og volum er begrensende faktor i regneeksemplene som blir presentert i lønnsomhetskapitlet fra side 63. For hver økning i bulkdensitet frem til 400 kg/m^3 vil transporten av energi (kWh) per lass øke. Variasjonene i bulkdensitet har dermed direkte effekt på hvor mange kWh som transporteres på hvert lass og dermed hvor dyr transporten blir. For mer informasjon om dette se vedlegg 5, kapittel 9.5.4.3.



Figur 53: Variasjon i bulkdensitet (kg/m^3) mellom prøvestedene og innad for hvert prøvested.

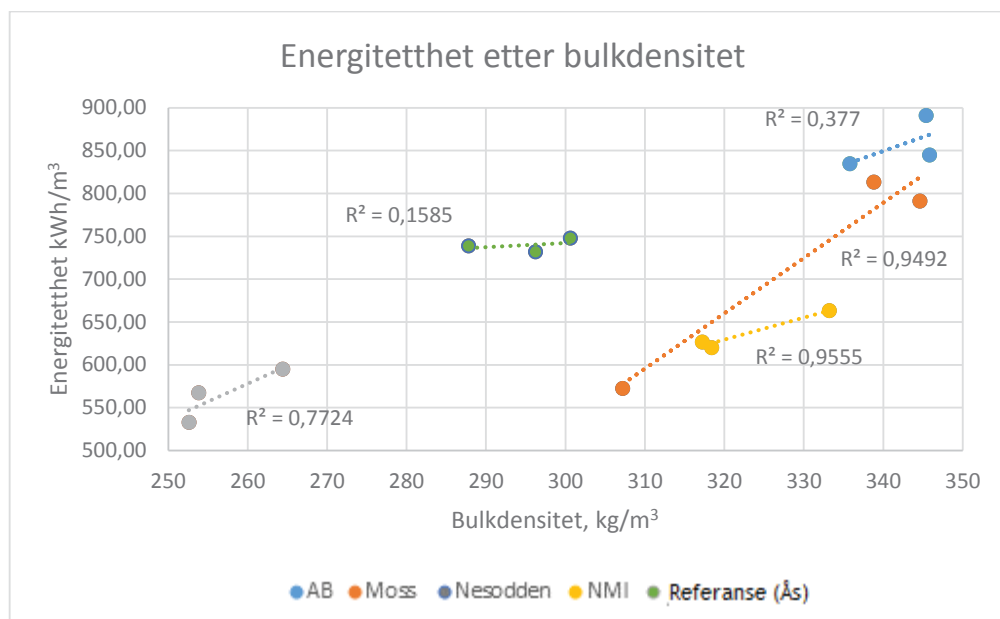
4.3.6 Energitetthet

Energitettheten til prøvene varierer ganske mye. Mellom prøvene varierer energitettheten mellom 522 (Nesodden) og 891 kWh/m³ (AB). Dette er en forskjell på 369 kWh/m³. Til og med mellom prøvene fra samme sted er det tidvis stor variasjon. Moss-prøvene varierer mest og har en forskjell fra minste til største energitetthet på 241 kWh/m³. Variasjonen i prøvene til referanseflisen er til sammenligning kun på 16 kWh/m³.



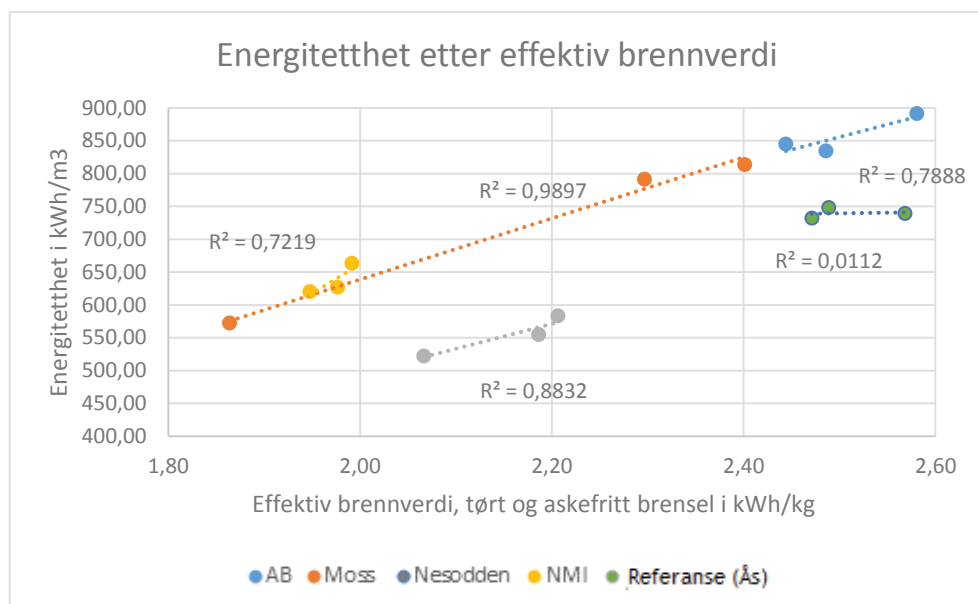
Figur 54: Energitetthet (kWh/m³) etter bulkdensitet (kg/m³) og effektiv brennverdi (kWh/kg) for 3 prøver per prøvested.

Energitettheten = bulkdensitet (kg/m³) * effektiv brennverdi (kWh/kg). Det var derfor forventet at bulkdensiteten skulle ha mye å si for energitettheten. I figur 55 ser man at dette som regel er riktig. Alle trendlinjene viser at en økt bulkdensitet gir en økt energitetthet. Korrelasjonen mellom bulkdensitet og energitetthet er høy for tre av prøvestedene, mens den er veldig lav for Ås og AB-prøvene. Utvalget er lite og resultatene kan indikere at det er behov for flere prøver for å kunne si noe sikkert.



Figur 55: Energitetthet (kWh/m³) etter bulkdensitet (kg/m³). Korrelasjonskoeffisient R^2 angir hvor stor korrelasjonen er mellom energitetthet og bulkdensitet. Trendlinjen viser en økende trend.

Det var forventet at effektiv brennverdi skulle gi utslag i energitettheten. Dette stemmer bra for alle prøvene av hageavfall, se figur 56. Men for referanseflisen, Ås, er korrelasjonen veldig lav. Utvalget er som nevnt lite, og flere prøver vil trolig gi sikrere tall med høyere korrelasjon.



Figur 56: Energitetthet (kWh/m³) etter effektiv brennverdi (kWh/kg). Korrelasjonskoeffisient R^2 angir hvor stor korrelasjonen er mellom energitetthet og effektiv brennverdi. Trendlinjen viser en økende trend.

4.4 Lønnsomhet

Utrekningene i dette kapitlet er basert på gjennomsnittstall for energitetthet, transportkostnader, kostnader knyttet til askehåndtering og gjennomsnittlige priser for brensel. Driftsstanser osv. er ikke tatt med i disse betraktningene nettopp fordi det i intervjudelen kom frem at lønnsomheten er avhengig av At driftsstanser ikke skjer.

4.4.1 Forutsetninger valgt i regneeksempel for lønnsomhet.

I intervjudelen kom det frem at en leverandør av hageavfall må betale 4000 kr/lass på 30 m³ for å bli kvitt hageavfallet sitt. Prisen antas derfor å være 133 kr/m³ for hageavfall levert til gjenvinningsstasjon:

Tabell 5: Kostnad for å levere hageavfall til gjenvinningsstasjon i kr/m³.

Kostnad for leverandører:	
Kostnad for å levere flis til gjenvinningsstasjon:	
4000 kr/30 m ³ =	133,33 kr/m ³

Det kom også frem i intervjudelen at et fjernvarmeanlegg må betale mellom 25-30000 kr/kontainer for deponering av aske. En kontainer har et volum på 10 m³ og veier mellom 5,5 og 8 tonn. En kostnad for deponering av aske ble derfor satt til 27500 kr for en kontainer på 6,75 tonn. Prisen for askedeponering ble dermed 4,07 kr/kg:

Tabell 6: Kostnad for å deponere aske i kr/kg.

Kostnad for fjernvarmeanlegg	
Kostnader for askehåndtering:	
27500 for 10 m ³ /6750 kg =	4,07 Kr/kg



4.4.2 Utregning av fjernvarmeanleggs merkostnad ved å bruke hageavfall grunnet større askeandel som må deponeres:

Det er utregnet en merkostnad for askehåndtering på mellom 1 og 2 øre/kWh eller 9,03-10,5 kr/m³.

Tabell 7: Utregning av merkostnad for askehåndtering.

	Energi- tetthet, gj.snitt, kWh/m ³ :	Aske i % av tørrvekt, gj.snitt :	Tørr- densitet gj.snitt, kg/m ³ :	Kg aske/ m ³ :	Kostnad aske- håndterin g kr/m ³ :	Mer- kostnader av å bruke hageavfall, kr/m ³ :	Merkostnad av å bruke hageavfall, kr/kWh:
AB	857	1,52	191	2,90	11,81	9,03	0,01
Moss	726	2,00	163	3,26	13,29	10,50	0,01
Nesodd en	553	2,22	122	2,70	11,01	8,23	0,01
NMI	637	1,98	153	3,03	12,34	9,56	0,02
Ref (Ås)	740	0,42	164	0,68	2,78	0,00	0,00

Forklaring til tabell 7: Flis fra AB har en gjennomsnittlig energitetthet på 857 kWh/m³. I vedlegg 3 ser man at bulkdensiteten, altså vekten av fuktig flis levert fjernvarmeanlegget er på 342 kg/m³. Denne flisen har en tørrdensitet på 191 kg/m³. Med et askeinnhold på 1,52 % vil en m³ AB-flis bestå av 2,9 kg aske/m³. I forhold til referanseflisen (Ås-flis) gir dette en merkostnad av askedeponering på 9,03 kr/m³ eller 1 øre/kWh.

4.4.3 Utregning av leverandørs sparte kostnader ved å levere hageavfall gratis til fjernvarmeanlegg, samt betaler for transport og fjernvarmeanleggenes merkostnad av større askedeponering:

Med utgangspunkt i informasjon fra intervjudelen om kostnader for å levere hageavfall til gjenvinningsstasjoner (4000 kr/lass på 30 m³), er det utregnet en kostnadsbesparelse for leverandører. Denne kostnadsbesparelsen er på mellom 6277 og 6414 kr/lass på 60 m³ når leverandøren betaler for transport på 53 km og for fjernvarmeanleggets merkostnad knyttet til askehåndtering. Leverandører kan i dette eksempelet levere 60 m³ hageavfall til et fjernvarmeanlegg så langt som mellom 358 og 364 km unna uten at kostnadene øker.



Tabell 8: Utregning av leverandørs sparte kostnader for 60 m³ levert 53 km unna.

	Diff. leverandørs kost. og fj.anleggets økt kost. for å bruke hageavfall, kr/m ³ :	Maks transportavstand i km for lastebil med 60 m ³ :	Maks transportavstand i km, for lastebil med 80 m ³ :	Kost. Spart for leverandør, 60 m ³ transportert 53 km:	Kost. spart for leverandør, 80 m ³ transportert 53 km:
AB	124	362	483	6366	8852
Moss	123	358	477	6277	8734
Nesodden	125	364	486	6414	8916
NMI	124	360	480	6334	8810

Forklaring til tabell 8: Der hvor AB ville måtte betale 8000 for å levere 60 m³ flis til gjenvinningsstasjon vil de kunne frakte 60 m³ til et fjernvarmeanlegg 362 km unna, uten at kostnadene øker. Sett at AB leverer til anlegget i Ås (distanse satt til 53 km) vil de kunne spare kostnader tilsvarende 6366 kr/lass på 60 m³. Dette er når leverandør godtar å betale fjernvarmeanlegget for merkostnaden de får av større askedeposering. Transportkostnaden er satt til 20,61 kr/km, tatt fra (Vennesland et al. 2013).

4.4.4 Utregning av leverandørs vilje til å betale for å få levere hageavfall til fjernvarmeanlegg i kr/kWh, -når leverandør betaler transport og for fjernvarmeanleggets økte kostnader knyttet til askehåndtering:

Leverandører som ellers må betale for deponering av flis kan være villig til å betale mellom 12 og 19 øre/kWh for å få levere hageavfall til fjernvarmeanlegg. Dette er det maksimale de kan betale uten at det blir dyrere å levere flis til fjernvarmeanlegg enn å deponere flisen.

Tabell 9: Utregning av leverandørs betalingsvilje for å få lov til å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg.

	Energitetthet, gj.snitt, kWh/m ³ :	Diff. leverandørs kost. og fj.anleggets økt kost. for å bruke hageavfall, kr/kWh:	Transportkostnader for 60 m ³ over 53 km i kr/kWh:	Hva leverandør kan max betale for å få levere hageavfall til fj.anlegg, kr/kWh:
AB	857	0,15	0,02	0,12
Moss	726	0,17	0,03	0,14
Nesodden	553	0,23	0,03	0,19
NMI	637	0,19	0,03	0,17



Forklaring til tabell 9: Differansen mellom leverandørs kostnader og fjernvarmeanleggets økte kostnader var på 124 kr/m³ for AB i eksemplet over. Dette tilsvarer 15 øre/kWh. Minus transportkostnader på 2 øre/kWh (utregnet fra 20,61 kr/km for 60 m³) kan leverandøren maks betale 12 øre/kWh for å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg uten å få økte kostnader.

4.4.5 Utregning av leverandørs mulige maksimumsinntekter av å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg:

Leverandører kan for 60 m³ flis som er levert 53 km unna maksimalt oppnå en inntekt mellom 4058 og 7107 kr. Med sparte kostnader knyttet til deponering av flisen blir den totale profitten mellom 12058 og 15107 kr.

Tabell 10: Utregning av maksimumsinntekt for leverandør, for 60 m³ levert 53 km unna.

	Merkostnad av å bruke hageavfall, kr/kWh:	Antatt makspris fj.anlegg ønsker å gi, kr/kWh:	Inntekt, kr/m ³	Inntekt pr. lass (60 m ³)	Inntekter minus transportkost. 60 m ³ over 53 km	Inntekter pluss sparte kost. (8000 kr/60 m ³)
AB	0,01	0,16	137	8200	7107	15107
Moss	0,01	0,16	113	6773	5680	13680
Nesodden	0,01	0,16	86	5151	4058	12058
NMI	0,02	0,15	99	5923	4830	12830

Forklaring til tabell 10: Med en merkostnad for askedeponering satt til 1-2 øre/kWh og en antatt GROT-pris på 17 øre/kWh levert til anlegget antas det at leverandørene av hageavfall kan oppnå en makspris på 15-16 øre/kWh. Prisen på GROT er hentet fra rapporten «Veien til biovarme» (Kjølstad 2011). For AB gir dette en inntekt på 8200 per lass på 60 m³. Trekker man fra transportkostnaden og legger til sparte kostnader på 8000 kr/lass på 60 m³ vil den totale inntekten for leverandør AB komme på 15107 kr.

Leverandører kan oppnå en inntekt på mellom 12 og 14 øre/kWh. Transportavstanden flisen kan fraktes over blir da maks 250-398 km.



Tabell 11: Utregning av maksimumsprisen leverandør kan oppnå i kr/kWh for hageavfall levert 53 km unna.

	Merkostnad Av å bruke hageavfall, kr/kWh:	Antatt maks- pris fj.anlegg ønsker å gi, kr/kWh:	Transportkostnader for 60 m ³ over 53 km i kr/kWh:	Pris minus transport 53 km, kr/kWh:	Maks transportavstand ved denne prisen:
AB	0,01	0,16	0,02	0,14	398
Moss	0,01	0,16	0,03	0,13	329
Nesod den	0,01	0,16	0,03	0,12	250
NMI	0,02	0,15	0,03	0,13	287

Forklaring til tabell 11: Hvis leverandør får GROTpris for sitt hageavfall og man trekker fra den økte kostnaden for større askedeposering vil inntekten være mellom 12 og 14 øre/kWh for brenselet.

4.4.6 Utregning av leverandørs mulige inntekter av å levere hageavfall til fjernvarmeanlegg etter en mer realistisk pris:

Det antas at det er realistisk at leverandører kan oppnå en inntekt mellom 1483 og 3007 kr for 60 m³ flis som er levert 53 km unna. Med sparte kostnader knyttet til deponering av flisen blir den totale profitten mellom 9483 og 11007 kr.

Tabell 12: Utregning av antatt realistisk inntekt leverandør kan oppnå for 60 m³ hageavfall levert 53 km unna.

	Merkostnad av å bruke hageavfall, kr/kWh:	Antatt pris fj.anlegg ønsker å gi, kr/kWh:	Inntekt, kr/m ³	Inntekt pr. lass (60 m ³)	Inntekter minus transportkost. 60 m ³ over 53 km	Inntekter pluss sparte kost. (8000 kr/60 m ³)
AB	0,01	0,08	68	4100	3007	11007
Moss	0,01	0,08	56	3386	2294	10294
Nesod den	0,01	0,08	43	2575	1483	9483
NMI	0,02	0,08	49	2961	1869	9869

Forklaring til tabell 12: Som i eksempelet i tabell 11, men med en halvering av pris i forhold til antatt makspris. Prisen på 8 øre/kWh er valgt for å reflektere en lavere brenselkvalitet enn for GROT-flis.

Med en antagelse om at en mer realistisk pris på brenselet tilsvarer 8 øre/kWh vil leverandører kunne få mellom 4 og 6 øre/kWh for flis levert 53 km unna. Den maksimale transportavstanden blir da mellom 125 og 199 km.

Tabell 13: Utregning av antatt realistisk pris leverandør kan oppnå i kr/kWh for hageavfall levert 53 km unna.

	Merkostnad av å bruke hageavfall, kr/kWh:	Antatt pris fj.anlegg ønsker å gi, kr/kWh:	Transportkostnader for 60 m ³ over 53 km i kr/kWh:	Pris minus transport 53 km, kr/kWh:	Maks transport-avstand ved denne prisen:
AB	0,01	0,08	0,02	0,06	199
Moss	0,01	0,08	0,03	0,05	164
Nesodden	0,01	0,08	0,03	0,04	125
NMI	0,02	0,08	0,03	0,05	144

Forklaring til tabell 13: Dersom hageavfall får halvparten av GROTpris- på grunn av at hageavfall har dårligere kvalitet, vil inntekten være mellom 4 og 6 øre/kWh for brenselet.

4.4.7 Utregning av fjernvarmeanleggs sparte kostnader ved å bruke hageavfall:

Det er utregnet en kostnadsbesparelse for fjernvarmeprodusenter på mellom 9 og 13 øre/kWh ved en antatt realistisk pris på hageavfall satt til 8 øre/kWh.

Tabell 14: Utregning av fjernvarmeprodusentens sparte kostnader av å bruke hageavfall.

	Fjernvarmeprodusentens sparte kostnader ved å bruke hageavfall, kr/kWh:	
Antatt pris på hageavfall, kr/kWh:	0,08	0
Pris på GROT, kr/kWh:	0,17	0,09
Pris på heltreflis, kr/kWh:	0,19	0,11
Stammevedflis (over 35 % fukt), kr/kWh:	0,21	0,13

Forklaring til tabell 14: Det antas at det er realistisk med en pris på 0,08 kr/kWh for hageavfall i dag, fordi kvaliteten er lavere enn for annet brensel. Dette gir en besparelse mellom 9 og 13 øre/kWh sammenlignet med flis fra GROT, heltre og stammeved. Priser er hentet fra rapporten «Veien til biovarme», (Kjølstad 2011). Prisene for hageavfall vil også kunne øke når kvaliteten på brenselet øker.



Når leverandørene er villige til å betale for å få levere hageavfall til fjernvarmeanleggene istedenfor å deponere flisen hos en gjenvinningsstasjon, vil fjernvarmeprodusenters besparelser kunne stige til mellom 29 og 40 øre/kWh, sammenlignet med ordinære brensler.

Tabell 15: Utrekning av fjernvarmeprodusentens sparte kostnader av å bruke hageavfall når leverandør aksepterer å betale for å få levere.

		Fjernvarmeprodusentens sparte kostnader ved å bruke hageavfall, kr/kWh:
Hva leverandøren AB maks kan betale	0,12	0
Pris på GROT, kr/kWh:	0,17	0,29
Pris på heltreflis, kr/kWh:	0,19	0,31
Stammevedflis (over 35 % fukt), kr/kWh:	0,21	0,33
Hva leverandøren Nesodden maks kan betale:	0,19	0
Pris på GROT, kr/kWh:	0,17	0,36
Pris på heltreflis, kr/kWh:	0,19	0,38
Stammevedflis (over 35 % fukt), kr/kWh:	0,21	0,40

Forklaring til tabell 15: Hvis fjernvarmeprodusenten tar betalt for å ta imot hageavfall og den maksimale prisen leverandøren kan betale ligger mellom 12 og 19 øre/kWh vil fjernvarmeprodusenten kunne spare mellom 29 og 40 øre/kWh ved å bruke hageavfall sammenlignet med prisene på GROT, heltre og stammeved. Tallene 12 og 19 øre/kWh er hentet fra utregningene i del 4. og er eksempler på det leverandørene AB og Nesodden maksimalt kan betale for å få levere hageavfall til fjernvarmeanleggene.



4.4.8 Oppsummering

4.4.8.1 *Lønnsomhet for leverandører*

For leverandører som har en kostnad knyttet til deponering av flis vil disse kunne være villig til å betale for å få levere hageavfall. Prisen de da vil være villig til å betale vil maks være mellom 12 og 19 øre/kWh. Evt. transportere flisen mellom 477 og 486 km og levere flisen gratis.

Leverandører som ikke har noen kostnad knyttet til det å kvitte seg med hageavfall antas å kunne tjene mellom 1483 og 3007 kr/lass på 60 m³ levert til fjernvarmeanlegget forutsatt at prisen er satt til halvparten av GROT-pris og merkostnader for askehåndtering er trukket fra. Dette tilsvarer mellom 4 og 6 øre/kWh. Transportavstanden man kan frakte flisen blir da maksimalt 250-398 km.

Med en antatt makspris regnet ut fra GROT-pris minus merkostnaden med askehåndtering kan leverandører tjene mellom 4058 og 7107 kr/lass på 60 m³ levert fjernvarmeanlegg. Dette tilsvarer mellom 12 og 14 øre/kWh. Den maksimale transportavstanden blir da mellom 125 og 199 km.

I eksempelet hvor leverandører har en kostnad knyttet til levering av hageavfall til gjenvinningsstasjon er det regnet ut en total gevinst på mellom 12058 og 15107 kr/lass når leverandør oppnår makspris på hageavfallet. I scenarioet hvor prisen på hageavfall er satt til halvparten av prisen på GROT vil dette falle til mellom 9483 og 11007 kr/lass.

4.4.8.2 *Lønnsomhet for fjernvarmeprodusenter ved bruk av hageavfall i fjernvarmeanlegg*

Som det kommer frem i intervjudelen vil bruk av hageavfall som brensel ikke være lønnsomt for fjernvarmeprodusenter dersom det forårsaker driftsstanser. Sett at leverandørene klarer å øke kvaliteten av brenselet ved å fjerne forurensninger og bedre flisfraksjonene- slik at de ikke skaper blokkeringer, vil bruk av hageavfall som brensel kunne gi en kostnadsbesparelse på mellom 9 og 13 øre/kWh, sammenlignet med bruk av flis fra GROT, stammeved og heltre.

Dersom fjernvarmeprodusenten blir betalt av leverandøren for å ta imot hageavfall vil kostnadsbesparelsen kunne komme på mellom 29 og 40 øre/kWh.



5 Diskusjon

5.1 Flisegenskaper

5.1.1 Uttak av flis

Utvalget av flis begrenset seg av praktiske årsaker; kandidaten samlet inn flis vinteren 2016 og det er da lite hageavfall hos de ulike gjennvinningsstasjonene/aktørene. Hageavfall kommer først på våren når alle hageeiere og profesjonelle aktører begynner å rydde i hagene sine, under kraftlinjene, langs veiene etc. Det var heller ikke alle som hadde mulighet til å gjøre en avtale om henting av flis.

Hageavfall er ikke lett å definere. Hva som kan defineres som hageavfall spenner vidt og kandidaten har derfor akseptert enhver flis som ble kalt hageavfall. Om begrepet er for dekkende eller misforstått av aktører er likevel interessant med tanke på at dette er en kartelggingsstudie.

Flisen kandidaten har gjort forsøk på er ikke nødvendigvis representativ for hageavfallet som var tilgjengelig hos de ulike aktørene. Kandidaten har kun fått tilgang på flis som allerede var laget og det var mange ulike planter som ennå ikke var oppkvernet, og som derfor ikke inngår i analysen.

5.1.2 Fraksjonsfordeling

Ifølge kandidatens funn kan hageavfall falle inn under de ulike flisklassene etter gjeldene standard. Grunnen til at det ikke gjør det er antallet og størrelsen på stikkere. Disse stikkene kan skape blokkeringer og driftsstanser. Med bedre sortering og flising vil hageavfall kunne omsettes som annen flis etter samme krav i standardene.

Hvilken standard flisen faktisk faller inn under vil nok variere med hageavfall nettopp fordi hageavfall består av så mange ulike planter. Faktorer som påvirker fraksjonsfordelingen er blant annet hvilke planter som flises, om det består av greiner, bar eller stubber, etc. Det er derfor lite trolig at en leverandør av hageavfall vil klare å holde kun en standard. Isåfall må nok til en større behandling av flisen.

Flisen fra hageavfall falt inn under klasser over og under referanseflisen. Hageavfallet har større hovedfraksjon enn tre av fire hageavfallsprøver. Den har også større grovfraksjon, og- sammenlignet med flisen fra hageavfall, mye mindre finstoff.



Studien til Rackl & Günthner 2016 viste at en større andel finstoff kan forhindre blokkeringer når fraksjonene i utgangspunktet er for store (Rackl & Günthner 2016). Andelen finstoff er for 3 av 4 prøver veldig høyt. Muligens har andelen finstoff da positiv effekt på bruken.

Under soldingen av prøvene gikk en del masse bort i tap. Dette var finstoff, og finfraksjonen skulle derfor vært større. Tapet er ikke stort og andelen finfraksjon vil derfor påvirkes minimalt. Tap av finstoff når kandidaten fjernet flisen fra tørken, samt fra deleren kan også ha inntruffet. Kandidaten kan ikke redegjøre for eventuelle tap her og kanskje ville dette tapet gitt utslag i andelen finfraksjon.

Kandidaten har kun utført 3 prøver av fraksjonsfordeling av flisen fra hvert prøvested. For å unngå dette usikkerhetsmomentet burde et større uttak vært gjennomført.

5.1.3 Bulkdensitet

Kandidaten fant at bulkdensiteten til hageavfall lå mellom 254 kg/m^3 og 346 kg/m^3 . Dette stemmer godt med funnene til Nordhagen og Gjølshjøl i rapporten "Flis og flisegenskaper" (Nordhagen & Gjølshjøl 2013). De så på flisegenskapene til grot, heltre, stammeved, stubbe, bark og bakhon. Her lå bulkdensiteten på mellom 251 kg/m^3 (stammeved) og 433 kg/m^3 (bark).

Kandidaten kan ha vært selektiv i hvor han tok spadetakene i flishaugene og unngått toppene med hensyn til HMS. Uttaket kan dermed være selektivt. Under bulkdensitetsprøvene hendte det at det snødde. Vekten av spannet har mest sannsynlig blitt påvirket. Kandidaten har måttet benytte seg av flere ulike vekter og det kan derfor hende det finnes avvik kandidaten ikke er klar over. Vekten har måttet stå på hardt og flatt underlag, noe ble improvisert med å bruke en koffert. Dette kan muligens ha gitt utslag i vekten. Kandidaten har veid hvert spann før og etter hver prøve for å unngå at eventuelle rester i spannet skal påvirke vekten.

Variasjonen mellom prøvene for hvert prøvested er veldig liten. Likevel burde kanskje flere uttak være gjennomført for å få sikrere tall.



5.1.4 Fuktighet

Generelt var det mye større variasjon i fuktighet for hageavfallet enn for referanseflisen. Fuktigheten til hageavfallet er også ganske høy. Dette vil senke den effektive brennverdien, og gjøre hageavfallet dårlig egnet til lagring, men det vil være positivt med tanke på røykgasskondenseringen. Stor variasjon i fuktighet gir stor variasjon i effektiv brennverdi og i energitettheten. Hageavfall vil derfor ha større variasjon i transportkostnader enn vanlig flis. Hovedtyngden i variasjonen ligger mellom 43 og 55 % fukt. Med en optimal fuktighet på 50-55 % antas det derfor at variasjonen i fuktighet ikke er negativ.

Istedenfor å frakte posene til laben på Nibio før veiing burde posene blitt veid nøyaktig ute i felt, på en nøyaktig vekt. Frakt fra leverandører til Nibio kan ha gitt utslag i førvekten. Ifølge standarden mister man betydelig fuktighet i et vanlig romklima iløpet av kun få minutter (NS-EN-14774-2: 2009). Prøvene skulle derfor ha vært forseglet i lufttette bokser frem til veiing.

I tillegg kan vekten på de ulike posene kan ha variert. Vekten på en tørr pose ble i utregningene satt til 37 g og vekten til en våt pose satt til 40 g.

De ulike prøvene faller inn under klasser fra standarden, men på grunn av enkeltprøver blir fuktighetsklassen større enn hva den ville blitt for middelveiden.

5.1.5 Askeinnhold

Sammenlignet med referanseflisen er askeinnholdet i hageavfall mye større. Det er også større variasjonen i askeinnhold. Størst variasjon var det i prøvene fra NMI. Dette var forventet da disse prøvene inneholdt mye jord. Prøvene fra NMI måtte behandles annerledes enn de andre prøvene på grunn av jordinnholdet. Oppkverningen av prøvene måtte blant annet skje i en kompostkvern og noe av jorden kan ha gått tapt her. Askeinnholdet kan dermed være enda høyere. Videre inneholdt disse prøvene en del plast og stein, noe som også vil øke askeinnholdet. Forurensningene måtte fjernes for å kunne bearbeide flisen og er ikke tatt med i betraktningene i denne studien.

Det er relativt store kostnader knyttet til askehåndtering. At askeinnholdet i hageavfallet er så stort er derfor negativt med tanke på bruk som brensel. Det er ikke lov til å tilbakeføre aske til skogen i dag, selv



om dette har mange fordeler. Dette gjøres i Sverige og Finland og dersom det skulle bli lov i Norge i fremtiden, vil dette være enda en grunn til å ta i bruk hageavfall (Hanssen et al. 2014).

De ulike prøvene faller inn under klasser fra standarden, men på grunn av enkeltprøver blir askeklassen større enn hva den ville blitt for middelverdien.

5.1.6 Brennverdier

5.1.6.1 Øvre og nedre brennverdi

Prøvene fra flis som har vært kompostert (fra NMI) måtte kjøres gjennom en kompostkvern (lånt av Ås økolag) grunnet for mye jord i prøvene. Jord i prøvene tærer på knivene i kvernen og det ble derfor brukt en egen kvern lånt på forsøksgården på Vollebekk. Kompostkvernen var ikke mulig å rengjøre like lett som det andre utstyret. Her har prøvene mest sannsynlig forurenses hverandre, og gammelt hageavfall kan også ha vært med i den videre bearbeidingen. Kandidaten vurderer det likevel slik at andelen av forurensning er for liten i vektprosent til å kunne påvirke prøvene til bombekalorimeteret og for askeinnhold nevneverdig.

Variasjonen i øvre og nedre brennverdi for hageavfall var både stor og liten. Den var liten for AB-prøvene og Nesodden-prøvene, men stor for prøvene fra Moss og NMI. Referanseflisen hadde også lite variasjon. Variasjonen kan muligens forklares med at prøvene fra Nesodden og AB var mer homogene, de bestod hovedsaklig av trær og bar. Prøvene fra NMI og Moss bestod av veldig mange ulike vekster kandidaten ikke har kartlagt. Sammenlignet med referanseflisen fra Ås har flisen fra hageavfall mye større variasjon.

Hvilke planter hageavfall består av burde kartlegges for å kunne si noe om hvordan variasjonen i brennverdier vil se ut. Ulike planter har ulik mengde lagret energi (se vedlegg 5). Resultatene i denne studien gir en indikasjon på at øvre og nedre brennverdi vil variere mye og dette vil gi utslag på transportkostnader og lønnsomhet. Det var tatt 8-9 prøver av brennverdier og tallene forventes å være sikre.

5.1.6.2 Effektiv brennverdi

Den effektive brennverdien regnes ut fra nedre brennverdi, fuktighet og askeinnhold. Med flere påvirkningsfaktorer var det forventet at variasjonen her ville være større enn for øvre/nedre brennverdi.



Forventningene ble stort sett innfridd. Variasjonen var likevel ikke like godt forklart av alle faktorene. Det var liten korrelasjon mellom askeinnhold og effektiv brennverdi. To av prøvene økte til og med i effektiv brennverdi når askeinnholdet økte.

Videre forventet kaniddaten at nedre brennverdi ville ha mye å si for den effektive brennverdien, nettopp fordi nedre brennverdi er en direkte måleenhet av energiinnhold. Her også var korrelasjonen veldig lav, men trendene pekte i alle fall i samme retning.

Fuktighet forklarte variasjonen i effektiv brennverdi best! Her var det sterke trender og høy korrelasjon. Hageavfall har stor fuktighet og det er kanskje derfor at den prosentmessig har så mye å si for den effektive brennverdien.

Den effektive brennverdien for hageavfall hadde større variasjon enn referanseflisen. Dette kommer nok av at referanseflisen inneholder mindre fuktighet og mindre variasjon i fuktighet enn flisen fra hageavfall.

Den effektive brennverdien ville muligens være høyere for NMI-prøvene da disse inneholdt plastforurensninger. Plasten ble fjernet før flising av prøvene og inngikk ikke i bombekalormeterprøvene.

Effektiv brennverdi legges til grunn for pris av brensel. Men siden hageavfall har så stor fuktighet og fjernvarmeanleggene kan nyttiggjøre dette i røykgasskondensering er energiverdien større enn effektiv brennverdi indikerer.

5.1.7 Energitetthet

Energitettheten varierer ganske mye. Variasjonen er ikke stor innad i prøvene, men mellom prøvene. Det var forventet at bulkdensiteten skulle gi utslag i energitetthet og korrelasjonen var noenlunde høy for 3 av prøvene. Korrelasjonen mellom prøvene til referanseflisen og AB var veldig lav. Grunnen til dette er uvisst. Muligens er utvalget på kun 3 uttak for lite.

Korrelasjonen mellom effektiv brennverdi og hageavfall var også høy for hageavfallet, men veldig lav for referanseflisen. Igjen kan dette skyldes et for lite utvalg. Hvor stor energitettheten er vil påvirke



transportkostnadene og lønnsomheten til leverandørene. Det er derfor viktig å ha sikre tall på dette området.

Energitettheten består av bulkdensitet og effektiv brennverdi. Effektiv brennverdi består igjen av nedre brennverdi, askeinnhold og fuktighet. Bulkdensiteten er påvirket av fuktighetsinnhold og fraksjonsfordeling. Energitettheten er dermed en kompleks størrelse og det er derfor vanskelig å si hva som gir utslag i verdiene.

5.1.8 Læringseffekt

Utstyret brukt til å undersøke hageavfallets ulike brenselsegenskaper har tatt tid å lære seg å bruke. Dette har gitt en læringseffekt som slår dårlig ut på de første prøvene og bra ut på de siste prøvene. Kandidaten burde derfor hatt opplæring i bruk av utstyret først. Dette var det ikke tid til og forhåpentligvis gir læringseffekten minimalt utslag i resultatene.

5.2 Tilgjengelighet

Tilgjengeligheten av hageavfall varierer gjennom året. Hageavfall er av natur mest tilgjengelig om vår og sommer, siden det er på denne tiden at hageeiere begynner å stelle hagene sine. Det er en utfordring at hageavfall har størst tilgjengelighet når behovet er minst. Når været er varmt er det stort sett kun behov for tappevann hos kundene. Behovet for brensel er størst når det er kaldt, og det er liten produksjon av hageavfall på vinteren siden det ikke er vanlig å stelle hagene sine på denne årstiden. Den høye fuktigheten til hageavfallet gjør det dårlig egnet til lagring over lengre tid (fra sommer til vinter). Det spørs om hageavfall vil egne seg som brensel nettopp fordi tilgjengelighet og etterspørsel krasjer så voldsomt.

Denne situasjonen med ulikt tidspunkt for etterspørsel og tilbud vil nok ikke forandres. Skulle det bli aktuelt å lagre flis fra hageavfall må denne nødvendigvis tørkes. Da går man glipp av effekten til røykgasskondenseringen, men får større effektiv brennverdi. Videre må annet fuktig virke blandes inn med hageavfallet for at flisen ikke er for tørr for biokjelen. Eventuelt må man skifte biokjel.

De to leverandørene kandidaten har snakket med kan i dag levere mellom 30 og 240 m³ i uken. Når fjernvarmeanlegget behøver opp til 3-400 m³ i døgnet på de kaldeste vinterdagene vil ikke en bedrift



alene kunne tilby nok hageavfall. Studiene fra Århus (Boldrin & Christensen 2010), Kina (Shi et al. 2013) og Nederland (Voinov et al. 2015) indikerer likevel at hageavfall er tilgjengelig i store mengder og kanskje trengs det bare noen få leverandører som spesialiserer seg på innsamling av hageavfall for at potensialet for tilbudet skal bli fullt realisert.

Når fjernvarmeanleggene må forholde seg til et stort antall leverandører for å få dekket sitt brenselbehov kan det fort bli mye arbeid og dyrt å forhandle med alle sammen. De store endringene i priser og i tilgjengelighet av brensel gjennom året gir utfordringer knyttet til en sikker tilgang på brensel. Hageavfall som brensel vil mest sannsynlig gjøre disse utfordringene enda større.

Som det kom frem i intervjudelen har hageavfallet hatt så store avvik i noen tilfeller at leveransene ble stoppet. Dette vil også påvirke hvor sikker tilgangen til brenselet er. Fjernvarmeanleggene må vite at de har nok brensel til enhver tid.

5.3 Utfordringer og optimalisering av driften

Biobrenseler kan ha stor variasjon i brenselsegenskapene (se vedlegg 5 kapiteel 9.5.1). Hageavfall har veldig store variasjoner. Med for store fraksjoner eller andre avvik har leveransene som nevnt tidligere blitt stoppet. For at hageavfall skal kunne brukes som brensel må en bedre sortering iverksettes og forurensninger som plastikk og stein/grus må fjernes for godt. En bedre avklaring mellom leverandørs og fjernvarmeprodusentens forventninger må også oppnås.

En annen forutsetning for å bruke hageavfall er røykgasskondensering. Den gir mulighet til å utnytte den store fuktigheten i brenselet. Hageavfallet har vist seg å ha en fuktighet på mellom 44 og 62 %. Det ble oppgitt at den optimale fuktigheten i røykgasskondenseringen var et sted mellom 50-55 %. Selv om hageavfall svinger ganske mye i fuktighet vil man kunne bruke skruene innmatingssystemet til å blande flis av ulik fuktighet til en mer optimal blanding. Man vil heller ikke ha for fuktig flis med tanke på biokjelen og NOx-utslipp. Derfor er hageavfall fint å bruke sammen med annen, mer tørrere flis.

5.4 Lønnsomhet

Man kan forvente økte kostnader med tanke på økt askehåndtering. Trolig er dette også den største kostnaden knyttet til bruken av hageavfall som brensel, dersom man ser bort fra driftsstanser forårsaket



av forurensninger i brenselet eller for store fraksjoner. I alle utregningene i denne oppgaven forutsettes det at de økte kostnadene knyttet til askehåndtering betales av leverandøren. Beregningene viser at leverandører kan betale opp til 19 øre/kWh for å levere hageavfall.

For at tilgangen av hageavfall skal øke er det likevel mest trolig at leverandører må få betalt for ressursen. Beregningene gjort viser at fjernvarmeprodusenter fortsatt kan ha store kostnadsbesparelser ved bruk av hageavfall, sammenlignet med andre brenslers. Disse besparelsene vil ligge på mellom 9 og 13 øre/kWh når det tilbys en pris for hageavfall på 8 øre/kWh. Det er også trolig at prisen som gis i dag vil kunne øke dersom leverandørene klarer å bedre kvaliteten av brenselet. Dersom kvaliteten øker vil det bli mer attraktivt å bruke hageavfall som brensel. Det kan skje en god økning i pris samtidig som fjernvarmeprodusenter sparer penger sammenlignet med bruk av andre brenslers.

Fjernvarmeprodusentene betaler også for den effektive brennverdien til brenselet, men med stor fuktighet er denne lav, samtidig som fuktigheten gir stor effekt i røykgasskondenseringen. Fjernvarmeprodusentene vil derfor kunne få mer for pengene enn de faktisk betaler for.

Tall for brenselspriser er hentet fra NOBIO sin rapport "Veien til Biovarme" (Kjølstad 2011) og er derfor noen år gamle. I energirapporten for mai, 2016 oppgis prisen for stammevedflis med fuktighet over 35 % til 18,5 øre/kWh (Tekniske-nyheter-DA 2016). Pris for stammevedflis med fuktighet over 35 % har i beregningene vært satt til 21 øre/kWh, 2,5 øre/kWh høyere enn dagens priser. Beregningene i oppgaven er derfor sannsynligvis for optimistiske.

5.5 Forbedring av oppgaven

Denne studien har kun sett på et lite utvalg flis av hageavfall. For å bedre studien burde man tatt prøver fra flere steder og flere prøver fra hvert sted gjennom året. Slik ville man bedre oppdage variasjoner som ikke er fanget opp i denne studien. Studien kunne også prøvd å avdekke hvor stor den totale tilgangen på hageavfall er.

Hvilke fliskuttere som er brukt, når flisen er kuttet opp og annen behandling av flisen burde også vært kartlagt. Studien burde inneholdt en bedre beskrivelse av forurensninger og hva disse vil si for bruken av hageavfall. Utregninger for total aske (inkudert stein og grus) burde inngått.



Studien burde inneholdt en grundig analyse av hvilke planter hageavfallet består av, samt en analyse av grunnstoffer som blir igjen i asken. Slik ville man kunne si noe om hvor sannsynlig det vil være at bunnaske fra hageavfall kan tilbakeføres til skogen i fremtiden. Dette vil påvirke lønnsomheten når man må deponere mindre aske.

6 Konklusjon

Utvalget av hageavfall brukt til analyser av brenselsegenskaper i denne studien var ganske lite. Det burde være tatt utvalg året gjennom og fra flere prøvesteder for å forbedre kartleggingen av variasjoner. Et større utvalg av referanseflis vil også gi en mer nøyaktig sammenligning med vanlig flis. Prøvene gir likevel sterke indikasjoner på at hageavfall har større variasjoner i brenselsegenskaper enn vanlig flis.

Askeinnholdet i hageavfall er større og varierer mer enn for vanlig flis. Flisen har større fuktighet med større variasjoner. Den effektive brennverdien varierer mer og har en tendens til å være lavere sammenlignet med vanlig flis. Fraksjonsfordelingen varierer mellom de ulike prøvestedene, men lite innad for hvert enkelt prøvested. Fraksjonsfordelingen er relativt lik fraksjonsfordelingen til vanlig flis. Tallene for bulkdensitet og energitetthet er usikre på grunn av få prøver, men tallene gir indikasjoner på at hageavfall har større variasjon i bulkdensitet og omtrent lik variasjon i energitetthet som referanseflisen.

Hageavfall kan følge krav satt i gjeldene standarder, men stor variasjon i egenskaper vil gjøre det vanskelig å oppnå samme klasse for det forskjellige hageavfallet.

Brenselsegenskapene til hageavfall vil mest sannsynlig gi økte kostnader knyttet til askehåndtering og transport. Likevel vil den høye fuktigheten gjøre det attraktivt med tanke på større effekt fra røykgasskonsenseringen. Dersom leverandører av hageavfall kan akseptere en lavere pris for hageavfall på grunn av lavere kvalitet vil hageavfall etterhvert kunne bli lønnsomt med tid for begge parter.

Hageavfall er trolig en tilgjengelig ressurs. Det trengs aktører som kan ta ansvar for innsamlingen slik at fjernvarmeprodusenter slipper å inngå for mange avtaler om brenselsforsyning. En større kartleggingsstudie er nødvendig for å avgjøre tilgjengeligheten av hageavfall.

Det er tydelig at hageavfall har potensial som brensel, men at det tar tid å utvikle denne ressursen til den oppnår tilfredsstillende kvalitet. Fjernvarmeprodusenter og leverandører av hageavfall bør avklare forventningene de har til behandling av hageavfall som brenselsressurs. Hageavfall bør utvikles som brenselsressurs.



7 Videre forskning

Videre forskning bør fokusere på askeegenskapene til brenselet. Vi må vite mer om hvilke grunnstoffer de inneholder og om asken muligens burde tilbakeføres i skogen. Videre burde man se på utslippene fra å brenne hageavfall og vurdere om disse er bedre eller værre enn for vanlig flis. Andre miljøpåvirkninger bør også kartlegges i tillegg til alternativer for lagring av hageavfall.



8 Kildehenvisninger:

- Arodudu, O., Voinov, A. & van Duren, I. (2013). Assessing bioenergy potential in rural areas—a NEG-EROEI approach. *biomass and bioenergy*, 58: 350-364.
- Avner, T. (2014). *Alt som kan lages av olje, kan lages av tre*: Aftenposten. Tilgjengelig fra: <http://www.aftenposten.no/fakta/innsikt/-Alt-som-kan-lages-av-olje-kan-lages-av-tre-7710231.html> (lest 29.04.2016).
- Boldrin, A. & Christensen, T. H. (2010). Seasonal generation and composition of garden waste in Aarhus (Denmark). *Waste management*, 30 (4): 551-557.
- COP21. (2016). *Record: 177 parties signed the Paris Agreement*: United Nations Conference on Climate Change. Tilgjengelig fra: <http://www.cop21.gouv.fr/en/a-record-over-160-countries-expected-to-sign-the-paris-agreement-in-new-york-on-22-april-2016/> (lest 28.04.2016).
- Dilallo, M. (2014). *The world has 53.3 years of oil left*: USA Today. Tilgjengelig fra: <http://www.usatoday.com/story/money/business/2014/06/28/the-world-has-533-years-of-oil-left/11528999/> (lest 27.04.2016).
- Eisentraut, A. & Brown, A. (2014). *Heating without global warming -Market developments and policy considerations for renewable heat*: International Energy Agency. Tilgjengelig fra: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/FeaturedInsight_HeatingWithoutGlobalWarming_FINAL.pdf (lest 29.04.2016).
- Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. (2013). *Raven biology of plants* W. H. Freeman and company.
- Filbakk, T. (2012). *Fuel quality of forest biomass intended for chips and pellets: The influence of raw material characteristics, storage and handling*. Phd thesis: NMBU, Department of ecology and natural resource management. 93 s.
- Filbakk, T., H., H. P. & Gjølshj, S. (2014). *Trevirkets brennverdi* Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2011/Brennverdi_trevirke/newsitem (lest 02.05.2016).
- FN-sambandet. (2016). *Dette er Paris-avtalen*: FN-sambandet. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Klimaforhandlinger/Dette-er-Paris-avtalen> (lest 28.04.2016).
- Grønlund, A. (2011). *Skogen binder stadig mer karbon* Nibio. Tilgjengelig fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/forside/nyhet?p_document_id=83925 (lest 29.04.2016).
- Hanssen, K. H., Clarke, N. & Dibdiakova, J. (2014). Tilbakeføring av treaske tilskog. *Rapport fra Skog og landskap*, 2014:09. 26 s.
- Hohle, E. E. (2005). *Bioenergi -Miljø, teknikk og marked*: Energigården.
- Holme, I. M. (1998). *Metodevalg og metodebruk* Tano. 334 s.
- Høibø, O. (2013). *Forelesning om oppbygging og egenskaper til biobrensler* (01.2013).
- IEA. (2014). *World energy outlook 2014, factsheet -Power and renewables*: International Energy Agency.
- IEA. (2015a). *Key world energy statistics*: International energy agency. Tilgjengelig fra: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf (lest 28.04.2016).
- IEA. (2015b). *World energy outlook 2015, factsheet -global energy trends to 2040* International Energy Agency. Tilgjengelig fra: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo/website/2015/WEO2015_Factsheets.pdf (lest 28.04.2016).
- IEA. (2015c). *World energy outlook 2015, factsheet -The energy sector and climate change in the run-up to COP21*: International Energy Agency. Tilgjengelig fra: http://www.iea.org/media/news/2015/press/151110_WEO_Factsheet_EnergyAndClimate.pdf (lest 28.04.2016).
- IEA. (2016a). *About bioenergy*: International Energy Agency. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/>.
- IEA. (2016b). *About renewable energy*: International Energy Agency. Tilgjengelig fra: <http://www.iea.org/topics/renewables/> (lest 28.04.2016).
- Kjølstad, C. (2011). *Veien til biovarme -Manual for produksjon av biovarme fra biobrensler*: Nobio. Tilgjengelig fra: http://www.innovasjon Norge.no/PageFiles/466096/Veien%20til%20Biovarme_h%C3%B8yoppl%C3%B8selig_1.pdf (lest 29.04.2016).
- Kucera, B. (1998). *Treets oppbygning og vedanatomi*: Norsk institutt for skogforskning.
- Londo, H. M. (2002). *Energy farming in multiple land use -An opportunity for energy crop introduction in the Netherlands*: Utrecht University. Tilgjengelig fra: <http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/754/full.pdf?sequence=1> (lest 02.05.2016).
- Melbye, A. M., Rørstad, P. K. & Killingland, M. (2014). *Bioenergi i Norge*: Rambøll. Tilgjengelig fra: http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2014/rapport2014_41.pdf (lest 29.04.2016).
- Militz, H. (2015). *Forelesning om densitet og porøsitet* (01.2015).
- Miljødirektoratet. (2016). *Karbondioksid fossilt (CO₂ (F))* Miljødirektoratet Tilgjengelig fra: <http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Karbondioksid-fossilt?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=180&SectorID=90> (lest 29.04.2016).
- Nibio. (2016). *Tilvekst*: Nibio. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/temaer/tilvekst/subject_view (lest 29.04.2016).
- Nordhagen, E. & Gjølshj, S. (2013). *Flis og flisegenskaper -En undersøkelse av brenselflis i det norske flismarkedet. Rapport fra Skog og landskap*, 2013:13. 31 s.



- Norge, I. (2016). *Bioøkonomi*: Innovasjon Norge. Tilgjengelig fra: http://www.innovasjon norge.no/no/energi-og-miljo/biookonomi/#.Vzc4iuRZB_8 (lest 29.04.2016).
- NS-EN-14774-2: (2009). *Fast biobrensel -Bestemmelse av fukttinnhold, tørkemetode i ovn. Del 2. Totalt fukttinnhold, forenklet metode*: Standard Norge. 7 s.
- NS-EN-14775: (2009). *Fast biobrensel -Bestemmelse av askeinnhold*: Standard Norge. 8 s.
- NS-EN-14918: (2009). *Fast biobrensel -Bestemmelse av brennverdi*: Standard Norge. 64 s.
- NS-EN-15149-1: (2010). *Fast biobrensel -Bestemmelse av partikkelstørrelsefordeling. Del 1: Oscillerende siktmetode med bruk av silåpninger på 1 mm og over*: Standard Norge. 13 s.
- NS-EN-ISO-17225-1: (2014). *Fast biobrensel -Spesifikasjoner og klasser for brensel. Del 1: Generelle krav*: Standard Norge. 56 s.
- NS-EN-ISO-17828: (2015). *Fast biobrensel - Bestemmelse av romdensitet (ISO 17828:2015)* Standard Norge. 20 s.
- Rackl, M. & Günthner, W. A. (2016). Experimental investigation on the influence of different grades of wood chips on screw feeding performance. *Biomass and Bioenergy*, 88: 106-115.
- Regjeringen. (2016). *Norge vil raskt ratifisere klimaavtalen fra Paris*: Statsministerens kontor Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norge-vil-raskt-ratifisere-klimaavtalen-fra-paris/id2482881/> (lest 28.04.2016).
- Shi, Y., Ge, Y., Chang, J., Shao, H. & Tang, Y. (2013). Garden waste biomass for renewable and sustainable energy production in China: potential, challenges and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 432-437.
- SSB. (2014). *Fjernvarme og fjernkjøling i Norge -Utvikling i sentrale størrelser*: Statistisk sentral byrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/184839?ts=1475e7199a8> (lest 28.04.2016).
- SSB. (2015a). *Produksjon og forbruk av energi, energibalanse, 2013-2014, endelige tall*: Statistisk sentral byrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse/aar-endelige/2015-10-08> (lest 28.04.2016).
- SSB. (2015b). *Skogavvirkning for salg, 2014, endelige tall*: Statistisk sentral byrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav/aar-endelige> (lest 29.04.2016).
- Szwarc, K. (2016). *Intervju om fjernvarme* (21.04.2016).
- Tekniske-nyheter-DA. (2016). *Energirapporten. Årgang 13 Nummer 16*. 13 s.
- USEPA. (1994). *Composting yard trimmings and municipal solid waste*: United states environmental protection agency Tilgjengelig fra: [https://yosemite1.epa.gov/ee/epa/ria.nsf/vwAN/cytmsw.pdf/\\$file/cytmsw.pdf](https://yosemite1.epa.gov/ee/epa/ria.nsf/vwAN/cytmsw.pdf/$file/cytmsw.pdf) (lest 29.04.2016).
- Vennesland, B., Hohle, A. E., Kjøstelsen, L. & Gobakken, L. R. (2013). Prosjektrapport klimatre -Energiforbruk og kostnader, skog og bioenergi. *Rapport fra Skog og landskap*, 2013:14. 70 s.
- Voinov, A., Arodudu, O., van Duren, I., Morales, J. & Qin, L. (2015). Estimating the potential of roadside vegetation for bioenergy production. *Journal of Cleaner Production*, 102: 213-225.
- Øvrebø, O. A. (2016). *Ni EU-land – og Norge – har klart fornybarmålet for 2020*: Energi og klima. Tilgjengelig fra: <http://energiogklima.no/nyhet/aktuell-grafikk/ni-eu-land-og-norge-har-klart-fornybarmålet-2020/> (lest 28.04.2016).

9 Vedlegg

Vedlegg 1 HMS i forsøksarbeidet.....	s. 85
Vedlegg 2 Formler.....	s. 87
Vedlegg 3 Nøkkeltall for flisegenskaper.....	s. 89
Vedlegg 4 Gjennomsnittlig fraksjonsfordeling.....	s. 92
Vedlegg 5 Beskrivelser av brenselsegenskaper og standardisering av disse.....	s. 93
Vedlegg 6 Eksempler på fraksjoner.....	s. 103



9.1 Vedlegg 1, HMS i forsøksarbeidet

9.1.1 Prøvetaking av flis

Spadestikkene skal helst være fra flere steder i flishaugene. Her det viktig å passe på når man spar flisen at man ikke får haugen over seg, eller at man utløser et ras når man står oppe i haugen. Flishaugene var opptil 4 meter høye og fall herfra kan være veldig farlig. Pass også på føttene når du dunker bøtten i bakken tre ganger. Bruk om nødvendig vernesko.

9.1.2 Fuktprøver

Fuktprøvene legges som nevnt i varmeskap og det er viktig å være klar over brannfaren. Bruk et standard skap med temperaturer satt etter (NS-EN-14774-2: 2009) på 105 ± 2 grader.

9.1.3 Solding

Under soldingen må man ha på seg hørselvern når man er i nærheten. Hold også avstand fra maskinen da mutterne kan løsne og stengene kan slå ut til siden. Dette skjedde ved en anledning og kan forårsake farlige situasjoner.

9.1.4 Oppkverning av flisen



Figur 57: Hørselvern, vernebriller, ansiktsmaske og spade til bruk under kverning (fotografi: kandidaten).

Ved oppkverning av flisen er det viktig at man bruker godkjent verneutstyr; støvmaske, hørselvern og vernebriller. Pass også på å skru ordentlig igjen mellom hver gang man åpner kvernen for å rense den. Kvernen har bevegelige deler som kan forårsake stor skade. Flisen kan også hoppe ut av kvernen og treffe øynene, og maskinen støver fælt. Bruk derfor maske.

9.1.5 Bruk av bombekalorimeteret

Bombekalorimeteret vil under hver test lage en lyd rett før eksplosjonen. Hold derfor minst en meters avstand. Dette i tilfellet noe skulle gå galt/utstyret ikke er ordentlig lukket, etc. Ellers gjelder også de generelle vernereglene for arbeid i lab.



9.2 Vedlegg 2, Formler

Formelsamlingen nedenfor er hentet fra rapporten: «Flis og flisegenskaper- en undersøkelse av brenselflis i det norske flisemarkedet» (Nordhagen & Gjølsvik 2013).

9.2.1 Bestemmelse av bulkdensitet

$$BD = \frac{(M2 - M1)}{V}$$

BD = bulkdensitet (kg/lm³) målt på fuktig brensel

$M1$ = massen av tomt spann i kg

$M2$ = massen av fult spann i kg

V = volum av beholder i m³

9.2.2 Bestemmelse av fuktighet

$$Fr = \frac{(Råvekt - Tørrvekt)}{Råvekt} \times 100$$

Fr = fuktighet som % av totalvekt

9.2.3 Bestemmelse av bulkdensitet for absolutt tørr flis

$$BD, tørr = BD \times \frac{100 - Fr}{100}$$

$BD, tørr$ = bulkdensitet for tørr flis

9.2.4 Bestemmelse av askeinnhold som % av tørrvekt

$$A = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} \times 100 \times \frac{100}{100 - Fr.p}$$

$M1$ = massen i g, tom beholder

$M2$ = massen i g, beholder med prøve

$M3$ = massen i g, beholder og aske

$M4$ = fuktigheten til prøven



9.2.5 Bestemmelse av nedre brennverdi for tørr flis

$$N.b. = \emptyset.b. - 0,36 \text{ kWh/kg.}$$

N.b. = nedre brennverdi for tørt brensel.

∅.b. = øvre brennverdi for tørt brensel.

9.2.6 Bestemmelse av effektiv brennverdi for fuktig flis

$$Eff.b. = N.b. \times \frac{100 - Fr}{100} - 0,67861 \times Fr$$

Eff.b. = effektiv brennverdi i kWh/kg for fuktig brensel.

N.b. = nedre brennverdi i kWh/kg for tørt brensel.

9.2.7 Bestemmelse av effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel

$$Eff.b. = \frac{N.b. \times (100 - A)}{100} \times \frac{100 - Fr}{100} - 0,67861 \times Fr$$

N.b. er nedre brennverdi i kWh/kg for tørt brensel

A er askeinnhold i % av tørrvekt

9.2.8 Bestemmelse av energitettheten ved aktuell fuktighet

$$E.tett. = Eff.b. \times BD$$

E.tett. er energitettheten i kWh/m³ til fuktig brensel.



9.3 Vedlegg 3, Nøkkeltall for flisegenskaper

Tabell 16: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.

AB	Gj.snitt:	Sd	Median	Min	Max	n
Øvre brennverdi	5,48	0,03	5,49	5,42	5,52	8
Nedre brennverdi	5,12	0,03	5,13	5,06	5,16	8
Effektiv brennverdi	2,56	0,09	2,58	2,42	2,67	8
Effektiv brennverdi (askefritt og tørt brensel)	2,51	0,09	2,53	2,36	2,61	8
Aske %	1,52	0,78	1,78	0,35	2,24	9
Fuktighet %	44	1	44	43	46	9
Bulkdensitet	342	6	345	336	346	3
Tørrdensitet	191	4	191	187	195	3
Energitetthet	857	30	845	835	891	3

Tabell 17: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.

Moss	Gj.snitt:	Sd	Median	Min	Max	n
Øvre brennverdi	5,62	0,25	5,62	5,21	5,96	9
Nedre brennverdi	5,26	0,25	5,26	4,85	5,60	9
Effektiv brennverdi	2,24	0,35	2,30	1,51	2,55	9
Effektiv brennverdi (askefritt og tørt brensel)	2,19	0,35	2,25	1,44	2,49	9
Aske %	2,00	0,32	1,87	1,08	3,41	9
Fuktighet %	51	5	49	45	62	9
Bulkdensitet	257	6	339	307	345	3
Tørrdensitet	122	6	171	137	180	3
Energitetthet	553	31	791	573	813	3



Tabell 18: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.

Nesodden	Gj.snitt:	Sd	Median	Min	Max	n
Øvre brennverdi	5,77	0,02	5,77	5,74	5,81	9
Nedre brennverdi	5,41	0,02	5,41	5,38	5,45	9
Effektiv brennverdi	2,21	0,08	2,21	2,10	2,30	9
Effektiv brennverdi (askefritt og tørt brensel)	2,15	0,07	2,15	2,07	2,24	9
Aske %	2,22	0,32	2,29	2,10	2,55	9
Fuktighet %	53	1	52	51	54	9
Bulkdensitet	257	6	254	253	264	3
Tørrdensitet	122	6	122	116	127	3
Energitetthet	553	31	555	522	583	3

Tabell 19: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.

NMI	Gj.snitt:	Sd	Median	Min	Max	n
Øvre brennverdi	5,39	0,12	5,40	5,16	5,58	9
Nedre brennverdi	5,03	0,12	5,04	4,80	5,22	9
Effektiv brennverdi	2,02	0,14	2,02	1,81	2,03	9
Effektiv brennverdi (askefritt og tørt brensel)	1,97	0,15	1,99	1,76	2,12	9
Aske %	1,98	1,08	1,85	0,69	4,31	9
Fuktighet %	53	2	52	50	56	9
Bulkdensitet	323	9	318	317	333	3
Tørrdensitet	153	7	150	148	160	3
Energitetthet	637	23	627	620	664	3

Tabell 20: Nøkkeltall for flisegenskaper- fra n antall prøver.

Referanse (Ås)	Gj.snitt:	Sd	Median	Min	Max	n
Øvre brennverdi	5,45	0,03	5,45	5,38	5,50	9
Nedre brennverdi	5,09	0,03	5,09	5,02	5,14	9
Effektiv brennverdi	2,52	0,09	2,50	2,45	2,72	9
Effektiv brennverdi (askefritt og tørt brensel)	2,51	0,08	2,49	2,43	2,70	9
Aske %	0,42	0,20	0,45	0,01	0,69	9
Fuktighet %	45	1	45	41	46	9
Bulkdensitet	295	7	296	288	301	3
Tørrdensitet	164	2	162	162	166	3
Energitetthet	740	8	739	732	748	3

9.4 Vedlegg 4, Gjennomsnittlig fraksjonsfordeling

Tabell 21: Gj.snittlig fraksjonsfordeling for flis fra de ulike prøvestedene. Antall stikkere (fra 100 mm til >300 mm) er oppgitt i parentes før tallet for vektprosent. Tap er differansen mellom vekt før- og etter solding, altså masse som forsvant under solding:

	AB		Nesodden		Moss	
	Gj.vekt:	Gj.andel:	Gj.vekt:	Gj.andel:	Gj.vekt:	Gj.andel:
Vekt Før:	3566,50	1,01	2012,67	1,00	3324,67	1,01
< 3,15	386,00	0,11	622,00	0,31	843,17	0,25
< 8	1451,00	0,41	651,00	0,32	1230,17	0,37
< 16	1325,33	0,37	493,50	0,25	784,00	0,24
< 31,5	325,00	0,09	181,17	0,09	263,00	0,08
< 45	28,50	0,01	32,67	0,02	46,50	0,01
< 63	1,83	0,00	7,50	0,00	1,83	0,00
> 63	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100-200	(9) 18,33	0,01	(7) 10,83	0,01	(7) 60,83	0,02
200-300	(1) 0,50	0,00	(3) 6,00	0,00	(4) 47,50	0,01
> 300	(1) 1,17	0,00	0,00	0,00	(1) 12,50	0,00
Totalvekt etter:	3543,17	1,00	2004,67	1,00	3289,50	1,00
Tap:	23,33		8,00		35,17	

Tabell 22: Gj.snittlig fraksjonsfordeling for flis fra de ulike prøvestedene. Antall stikkere (fra 100 mm til >300 mm) er oppgitt i parentes før tallet for vektprosent. Tap er differansen mellom vekt før- og etter solding, altså masse som forsvant under solding:

	NMI		Referanse (Ås)	
	Gj.vekt:	Gj.andel:	Gj.vekt:	Gj.andel:
Vekt Før:	2642,50	1,01	3727,33	1,00
< 3,15	55,00	0,02	177,33	0,05
< 8	128,00	0,05	504,50	0,14
< 16	656,67	0,25	1109,17	0,30
< 31,5	1155,50	0,44	1499,67	0,40
< 45	391,83	0,15	326,83	0,09
< 63	126,50	0,05	75,33	0,02
> 63	58,83	0,02	28,67	0,01
100-200	(1) 11,00	0,00	0,00	0,00
200-300	(2) 19,83	0,01	2,83	0,00
> 300	(3) 25,67	0,01	0,00	0,00
Totalvekt etter:	2628,83	1,00	3724,33	1,00
Tap:	13,67		3,00	

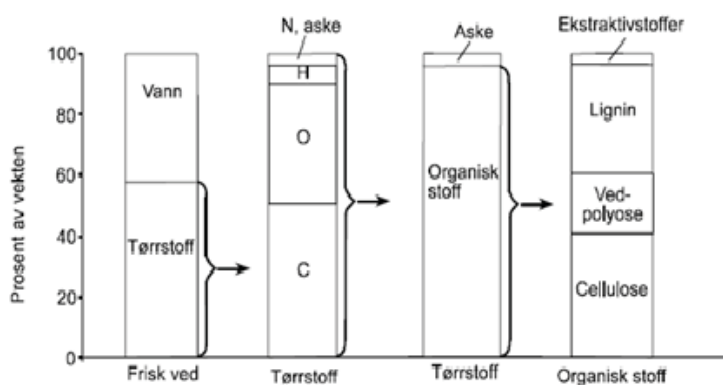
9.5 Vedlegg 5, Beskrivelse av brenselsegenskaper og standardisering av disse

9.5.1 Flisegenskaper som er viktig for brensel

I dette kapitlet presenteres de viktigste egenskapene for flis når det skal brukes som brensel. Flis kan ha stor variasjon av komposisjon, energiinnhold, fuktighet og askeinnhold. Med variasjoner i brenselsegenskaper vil fyringsprosessen bli mer komplisert. Hvilken flis som er optimal kommer an på fjernvarmeanlegget og dets spesifikasjoner (Nordhagen & Gjølshjøl 2013). Det er derfor utviklet standarder for å gjøre handel med flis lettere (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

9.5.2 Kjemisk sammensetning av vedmasse

Trær og vedmasse består i gjennomsnitt av 49,5 % karbon (C), 44,2 % oksygen (O), 6,3 % hydrogen (H) og 0,1 % Nitrogen (Kucera 1998). Askeinnholdet (uorganiske stoffer) er på ca. 0,1-1 %. Omtrent alle grunnelementer er å finne i vedmasse som sporstoffer (Hohle 2005). Biomasse er kjemisk lagret energi som er oppstått fra omformet solenergi gjennom fotosyntesen (Evert & Eichhorn 2013). Det er denne energien vi nyttiggjør oss når vi brenner biomasse (Hohle 2005).



Figur 58: Kjemisk sammensetning av ved, Kilde:(Høibø 2013).

Vedmasse består av tre hovedkomponenter; cellulose, hemicellulose og lignin. Cellulosen og hemicellulosen er som armeringsjern eller skjelettet til cellene mens ligninet fungerer som sement eller bindemiddel og binder det hele sammen. Treet består også av stoffer som kvae, harpiks mm. kalt ekstraktivstoffer (Kucera 1998).

9.5.3 Forbrenningsprosesser

Definisjon: "En forbrenning er når brennbare stoffer reagerer med oksygen ved høye temperaturer, og hvor det blir avgitt varme" (Hohle 2005).

For å skape en forbrenningsprosess trenger vi altså brennbart stoff, oksygen og en tennkilde.

Det brennbare stoffet må inneholde grunnstoffer som reagerer med oksygen (O) og avgir varme:

hydrogen (H), karbon (C) eller svovel (S). Ved en ideell forbrenning skjer følgende kjemiske reaksjoner (Hohle 2005).



9.5.4 Energiinnholdet i treet

9.5.4.1 Energitetthet

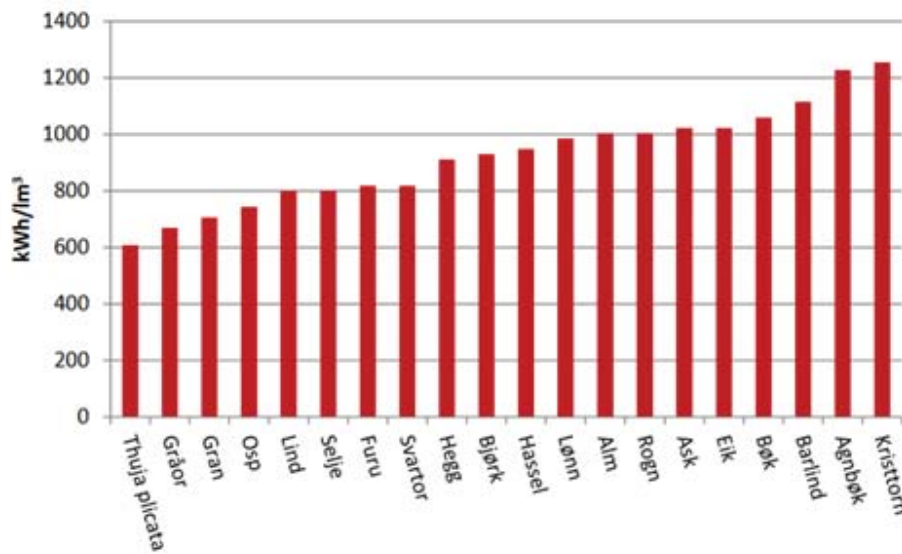
Når fjernvarmeanlegg kjøper flis betaler de for energiinnholdet i flisen. Hvor energitett et brensel er vil dermed direkte påvirke lønnsomheten og kostnader for transport og lagring. Hvor energitett hageavfall er i forhold til annet brensel vil derfor påvirke hvor attraktivt det er som brensel (Szwarc 2016).

Densiteten til treet, eller tettheten til veden er med på å bestemme hvor mye kjemisk energi som er lagret. Noen trær bruker lang tid på å vokse og har derfor små årringer, det betyr at hulrommene mellom cellene er mye mindre enn for trær som vokser raskere og har større årringer. Det gjør at de er mindre porøse og har større densitet- de er tettere (Hohle 2005).

Densiteten varierer mellom treslag, for eks. er basisdensiteten til Eik 550 kg/fm³, mens den for gran er 405 kg/fm³. Basisdensitet er tørrvekten delt på rått volum, altså hvor mye tørr masse det er per volum fuktig virke (Hohle 2005).

Hadde det ikke vært noe hulrom i veden, ville treet veie ca. 1500 kg/fm³. Dette gjelder alle treslag, og variasjonen er liten. Vedmassens substans veier altså 1500 kg/fm³ (Militz 2015). Hvor mye kjemisk energi som er lagret i veden er direkte knyttet til vedsubstansen, og trær med høy densitet er dermed mer energitette (Hohle 2005). Energitettheten kan defineres som energiinnhold per volumenhet (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).





Figur 59: Antall kWh/m³ for ulike treslag med 30 % fukt og fastmasseprosent på 38 %. Verdiene er regnet ut fra gjennomsnittlige basisdensitetet. Kilde: (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).

Energitettheten til flisen eller innholdet av energi i kWh/m³ avhenger også av fuktigheten, basisdensiteten og fastmasseprosenten. Energitettheten kan estimeres når man kjenner til bulkdensiteten til flisen og flisens effektive brennverdi (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).

9.5.4.2 Fastmasseprosent

Hvis en fm³ gran veier 400 kg, vil en m³ flis av denne granen- med samme fuktighet, veie mye mindre. Dette er på grunn av at flis tar mye mer plass enn når treet er helt. Som en tommefingerregel kan man anta at 1 fm³ vil få 2,5 ganger større volum etter flising. Altså vil 1 fm³ bli til 2,5 lm³. 1 lm³ av gran med basisdensitet 400 kg/m³ vil veie 160 kg. Fastmasseprosenten er da 40 % (Hohle 2005).

9.5.4.3 Bulkdensitet

Bulkdensitet er den rå vekten til en lm³, altså vekten til 1 lm³ fuktig flis (Nordhagen & Gjølshjøl 2013). Energitettheten, eller hvor mye energi man får transportert avhenger av bulkdensiteten. Hvor dyr transporten blir og hvor mye leverandørene får betalt for brenselet kommer altså an på bulkdensiteten.

I dag er maksvekten til vogntog satt til 50 t. Maks volum vil variere med 80-110 m³ per vogntog på grunn av ulike lengdebegrensninger på vogntogene (Vennesland et al. 2013). Hvis en containerbil veier 26 tonn



vil bilen kunne ta med seg et lass på 24 tonn. Er bulkdensiteten til flisen fra hageavfallet lavere enn ca. 218 kg/m^3 vil volumet da være begrensende faktor for en «walking floor» bil med transportvolum på 110 m^3 . Er vekten 220 kg/m^3 kan man ikke fylle opp hele volumet og vekten blir begrensende faktor. Tar en kontainerbil med seg 60 m^3 vil volumet være begrensende faktor ved bulkdensiteter lavere enn 400 kg/m^3 . Ved bulkdensiteter over 400 kg/m^3 vil vekt være begrensende faktor.

9.5.4.4 Brennverdier

Brennverdien (hvor mye varmeenergi som kan skapes ved forbrenning) til et brennstoff er avhengig av innholdet av karbon og hydrogen, og øker proporsjonalt med mengden av disse (Hohle 2005). Figuren nedenfor viser brennverdien til de ulike hovedbestanddelene i treet:

cellulose	Hemicellulose	Lignin	Ekstraktiver
4,8 - 5,1 kWh/kg	5 kWh/kg	7,1 kWh/ kg	9,9 - 10,6 kWh/kg

Figur 60: Brennverdi for de ulike hovedbestanddelene i treet. Kilde:(Høibø 2013).

Brennverdien til veden avhenger altså av mengden karbon (C) og hydrogen (H), og dette avhenger igjen av mengden av de ulike hovedbestanddelene cellulose, hemicellulose og lignin. Som et gjennomsnitt kan man regne energien som er lagret i veden til å være $5,68 \text{ kWh/kg}$ (Høibø 2013). Brennverdi oppgis i MJ/kg eller kWh/kg (Nordhagen & Gjølsljø 2013)

9.5.4.4.1 Øvre brennverdi

Øvre brennverdi forteller oss hva den totale energien i brenselet er. Alle forbrenningsproduktene blir tilbakeført til temperaturen før forbrenningen. Vann som er kjemisk eller fysisk bundet til veden vil friggi den energi brukt til å fordampe dette, når dampen kondenserer og oppnår romtemperatur. Øvre brennverdi er dermed uavhengig av fukt og hydrogeninnhold i veden (Filbakk 2012).

Noen anlegg, inkludert de anleggene denne oppgaven har vært i kontakt med, har installert røykgasskonsensering. Det vil si at energi som går tapt i at vann fordamper blir gjenvunnet når varm gass



fra forbrenningen kondenserer og avgir mye av denne tapte varmen. Effekten på røykgasskondenseringen i anleggene er på 30 % (Szwarc 2016).

Hvor stor den øvre brennverdien er i hageavfall sammenlignet med annet brensel vil sammen med askeinnhold og fuktighet bestemme hvor stor den effektive brennverdien er. Den effektive brennverdien vil igjen sammen med bulkdensiteten påvirke hvor stor energitettheten er.

9.5.4.4.2 Nedre brennverdi

Helt tørt brensel består av ca. 6 % hydrogen som blir til vann under forbrenningen. Nedre brennverdi er korrigert for varmen som går tapt når dette vannet fordampes. Nedre brennverdi for ved med 6 % hydrogen er øvre brennverdi minus 0,36 KWh/kg tørrstoff (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).

9.5.4.4.3 Effektiv brennverdi

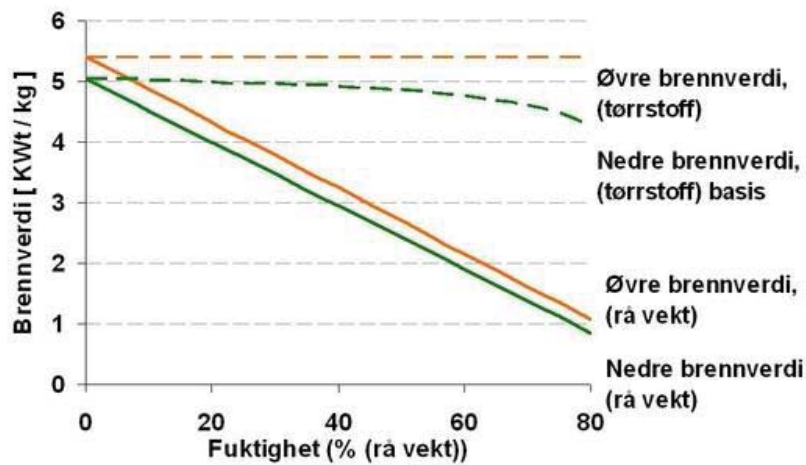
Effektiv brennverdi er øvre brennverdi korrigert for den energien som går med på å fordampe hydrogenet som er kjemisk bundet i veden, samt vannet som er fysisk bundet i veden. Effektiv brennverdi er da energien som er igjen når veden er tørr og fri for hydrogen (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).

9.5.4.5 Effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel

Effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt brensel er den effektive brennverdien korrigert for askeinnholdet i veden. Effektiv brennverdi for absolutt tørt og askefritt er den laveste brennverdien og den brennverdien som blir brukt av de fleste fjernvarmeanlegg, nettopp fordi disse ikke har røykgasskondensering. Dersom anleggene har røykgasskondensering slik som anleggene i denne oppgaven, kan virkningsgraden til anlegget overstige 100 % (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).



9.5.4.6 Fuktighet



Figur 61: Brennverdi ved ulike fuktigheter. Kilde: (Filbakk et al. 2014).

Når treet er ferskt består omtrent 50 % av treet totalvekt av vann (Hohle 2005). Som figur 61 viser synker brennverdien når fuktigheten øker. Fuktigheten øker også vekten på flisen og kan påvirke transportkostnadene (Vennesland et al. 2013). Har fjernvarmeanleggene røykgasskondensering vil en høy fuktighet være fordelaktig og nødvendig (Nordhagen & Gjølshjøl 2013). Fuktighet er også viktig for lagring, da fuktighet over 30 % kan føre til nedbrytning av flisen. Varmen som da oppstår skaper også fare for selvantennning (Nordhagen & Gjølshjøl 2013).

Hvor fuktig hageavfallet er kan påvirke hvor attraktivt det er. Nettopp fordi hageavfall har så stor fuktighet i seg vil det være fordelaktig å bruke dette når anleggene har installert røykgasskondensering. Fjernvarmeanleggene kan da betale mindre for brenselet på grunn av lavere energitetthet, mens mye av den energien som går tapt på grunn av fuktigheten gjenvinnes i røykgasskondenseringen og anlegget får mer energi ut (Szwarc 2016).

Det er utviklet standarder for fuktighet på flis som omsettes (NS-EN-ISO-17225-1: 2014). Tabellen på neste side viser de ulike fuktighetsklassene ifølge standardene ISO 181341-1 og ISO 18134-2 (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

Tabell 23: Krav til maksimum fuktighet etter standardene ISO 181341-1 og ISO 18134-2. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

Fuktighet (Moisture, M) vekt-% som levert, (ISO 181341-1, ISO 18134-2)		
M10	≤	10 %
M15	≤	15 %
M20	≤	20 %
M25	≤	25 %
M30	≤	30 %
M35	≤	35 %
M40	≤	40 %
M45	≤	45 %
M50	≤	50 %
M55	≤	55 %
M55+	>	55 % *
* Maksverdi skal uttrykkes		

9.5.4.7 Askeinnhold

Tilnærmet alle kjente grunnstoff er å finne som spormengder i trær (Hohle 2005). Asken som oppstår når vi brenner ved, består av de uorganiske stoffene som finnes i planten og som ikke kan forbrennes. De vanligste stoffene i asken er svovel, kalium, magnesium og fosfor. Sammensetningen og mengden av aske har mye å si for hvor godt egnet biobrenselet er. Et høyt innhold av kalium vil for eksempel senke askesmeltepunktet og det vil dannes slagg. Dette kan være problematisk for biokjelen. Slagget kan for eks. sette seg fast og forstyrre utmatingen av aske (Szwarc 2016). Asken inneholder også mye næringsstoffer som potensielt kan tilbakeføres til skogen. I forbrenningsanlegg produseres 2 typer askeflyveaske og bunnaske. Av disse inneholder flyveasken mer tungmetaller som gjør den vanskeligere å tilbakeføre til skogen (Hohle 2005).

Tabell 24: Askeinnhold i % av trærts ulike bestanddeler (Hohle 2005):

	Bjørk:	Furu:	Gran:
Stammeved	0,4	0,4	0,5
Bark	2,2	2,6	3,2
Greiner	1,2	1	1,9
Bar og lauv	5,5	2,4	5,1

Tabell 24 viser at askeinnholdet varierer veldig innad mellom trær. Askeinnholdet er størst i bar og lauv, greiner og bark. Det er forventet at hageavfall vil bestå av en større andel greiner, bark og bar/lauv, nettopp fordi hageavfall kommer fra oppsamling av lauv/blader, beskjæringer av trær osv. (Hohle 2005).



Med en større andel greiner, bar og bark enn andre brensel har hageavfall et høyere askeinnhold. Askeinnholdet vil senke den effektive brennverdien, samt gjøre det dyrere å håndtere asken da den må deponeres (Szwarc 2016).

Tabellen nedenfor viser de ulike askeklassene ifølge standarden ISO 18122 (NS-EN-ISO-17225-1: 2014)

Tabell 25: Krav til maksimum askeinnhold etter standarden ISO 18122. Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014):

Aske, A i vekt-% på tørr basis, (ISO 18122)		
A 0,5	≤	0,5 %
A 0,7	≤	0,7 %
A 1,0	≤	1,0 %
A 1,5	≤	1,5 %
A 2,0	≤	2,0 %
A 3,0	≤	3,0 %
A 5,0	≤	5,0 %
A 7,0	≤	7,0 %
A 10,0	≤	10,0 %
A 10,0+	>	10,0 % *
* Maksverdi skal uttrykkes		

9.5.4.8 Flisstørrelse

Ulike anlegg kan håndtere ulike fraksjonsstørrelser på flisen. Hvordan flisfraksjonen ser ut avhenger av typen flishugger, dens kniver og sold, samt hvilket råstoff flisen består av. Finstoffet består av blader og bar, bark og små flispartikler. Er fraksjonene for store kan dette skape blokkeringer i fjernvarmeanleggenes innmatingsystemer (Nordhagen & Gjølshø 2013). Hvor godt egnet hageavfall er som brensel kommer an på fraksjonene av flisen og om den kan møte standardene som er satt. For stor variasjon i komposisjon vil gjøre det vanskelig for fjernvarmeanleggene å bruke hageavfall som brensel (Szwarc 2016).

Det er utviklet en standard for fraksjonsstørrelser til flis som omsettes (NS-EN-ISO-17225-1: 2014). Se tabell 26 på neste side:



Tabell 26: Spesifiseringer av fraksjoner for flisklasser (P), samt klassifisering for finstoffinnhold (F). Kilde: (NS-EN-ISO-17225-1: 2014):

Hovedfraksjon: minst 60 % av vekten, i mm:			Grovfraksjon: maks I vekt-% (lengde av partikler, i mm):	Maks lengde på partikler, i mm:	Maks tverrsnitt på grovfraksjonen i cm ² :
P16S	3,15 mm	< P ≤ 16 mm	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 45 mm	≤ 2 cm ²
P16	3,15 mm	< P ≤ 16 mm	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 150 mm	
P31S	3,15 mm	31,5 < P ≤ mm	≤ 6 % > 45 mm	≤ 150 mm	≤ 4 cm ²
P31	3,15 mm	31,5 < P ≤ mm	≤ 6 % > 45 mm	≤ 200 mm	
P45S	3,15 mm	< P ≤ 45 mm	≤ 10 % > 63 mm	≤ 200 mm	≤ 6 cm ²
P45	3,15 mm	< P ≤ 45 mm	≤ 10 % > 63 mm	≤ 350 mm	
P63	3,15 mm	< P ≤ 63 mm	≤ 10 % > 100 mm	≤ 350 mm	
P100	3,15 mm	100 < P ≤ mm	≤ 10 % > 150 mm	≤ 350 mm	
P200	3,15 mm	200 < P ≤ mm	≤ 10 % > 250 mm	≤ 400 mm	
P300	3,15 mm	300 < P ≤ mm	≤ 10 % > Skal spesifiseres	≤ Skal spesifiseres	
Finfraksjon, F (< 3,15 mm vekt-%), ISO 17827-1					
F05	≤ 5 %				
F10	≤ 10 %				
F15	≤ 15 %				
F20	≤ 20 %				
F25	≤ 25 %				
F30	≤ 30 %				
F30+	> 30 (maksverdi skal uttrykkes)				

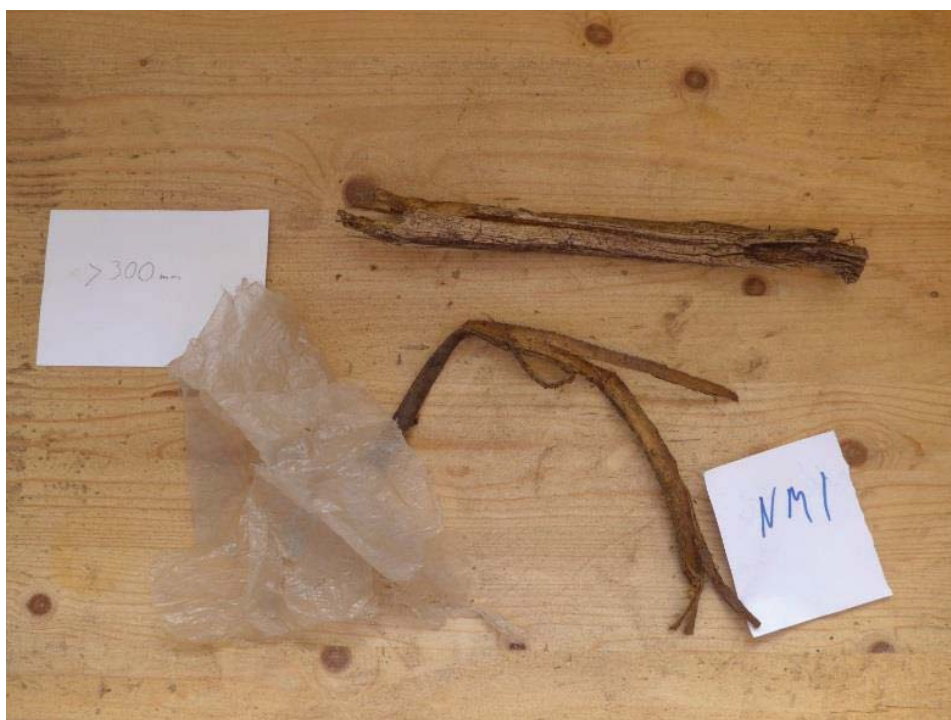
Et eksempel på en flisklasse i standarden er P45. 60 % av vekten må være av en størrelse mellom 3,15 mm og 45 mm. Mindre enn 10 % kan da være av en grovere fraksjon, altså over 63 mm, og den lengste lengden på stikkere (lange partikler som ikke er ordentlig fliset opp) kan være maks 350 mm. Maks tverrsnitt på grovfraksjonen er 6 cm². I tillegg vil flisen ha et F-tall som sier noe om hvor stor andelen finfraksjonen kan være.

Hvis brenselet inneholder stein eller grus må vekt-% av dette tas med som supplement til askeberegningene. Det er fordi stein og grus vil gi et betydlig bidrag til askeproduksjonen. Askeinnholdet til selve flisen er ikke en god nok indikator for seg selv under disse forholdene. Grus og stein som er mindre enn 3,15-fraksjonen blir med i askeberegningen av selve flisen (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).

«P» beskriver dimensjonene på partiklene som går gjennom den relaterte soldstørrelsen. S'en" står for flis til bruk i små anlegg. Lengde og tverrsnitt behøver bare å noteres for partikler funnet i den grove fraksjonen (NS-EN-ISO-17225-1: 2014).



9.6 Vedlegg 6, Eksempler på fraksjoner



Figur 62: Eksempel på fraksjonen >300 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 63: Eksempel på fraksjonen 200-300 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 64: Eksempel på fraksjonen 100-200 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 65: Eksempel på fraksjonen 100 - 63 mm (fotografi: kandidaten).



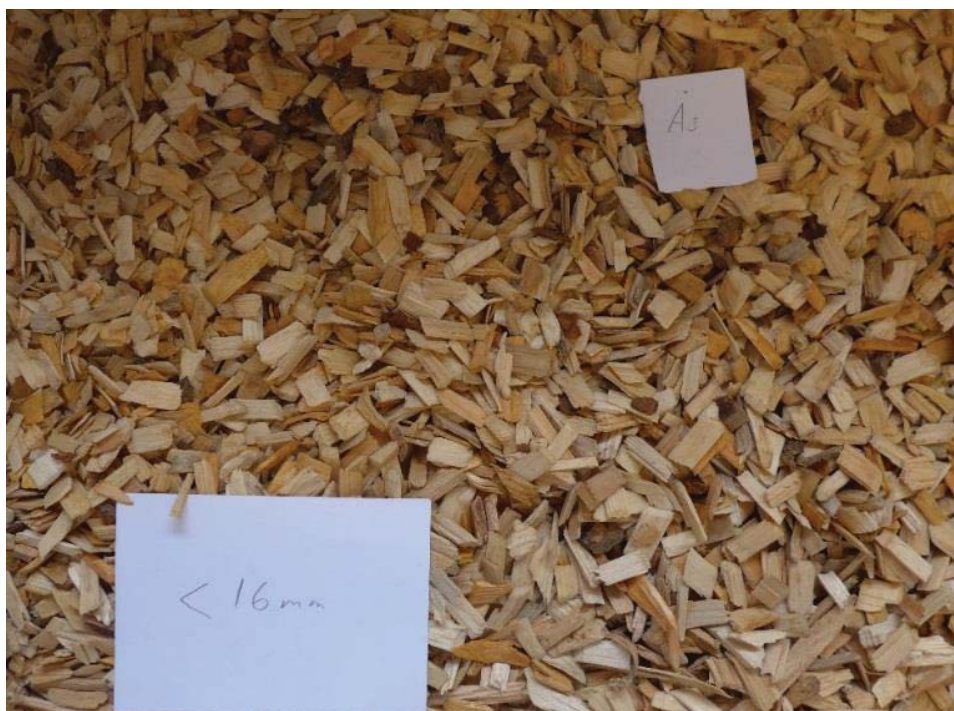
Figur 67: Eksempel på fraksjonen 63 - 45 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 66: Eksempel på fraksjonen 45 - 31,5 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 68: Eksempel på fraksjonen 31,5 - 16 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 69: Eksempel på fraksjonen 16 – 8 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 70: Eksempel på fraksjonen 8 – 3,15 mm (fotografi: kandidaten).



Figur 71: Eksempel på fraksjonen < 3,15 mm (fotografi: kandidaten).



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway