

Blæstad

Joar Dørum Kleiva

Litteraturstudie
Tørrking av flis til biobrensel

Drying of wood chips to biofuel

Landbruksteknikk

2017

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage

JA NEI

Forord.

Dette har vært en oppgave som har avsluttet et treårig utdanningsløp, bachelor i landbruksteknikk ved høghskolen i Innlandet avd. Blæstad

Det har vært artig og holde på med denne oppgava og jeg har fått mye ny kunnskap om tørking av flis til biobrensel. Dette kan jeg ta med meg videre til hjemlig drift av flisfyrings anlegg. Jeg vil få takke alle som har hjulpet meg med å gjennomføre denne oppgava. Både ved besøk, samtaler over telefon, retting av oppgave og veiledning.

Takk til Lar Erik Ruud, Høghskolen i Innlandet avd. Blæstad, for god veiledning i oppgava.

Takk til Olve Sælie ved Innovasjon Norge, for statistikk og tips til oppgava.

Takk til Knut Erling Røhnebæk ved Norsk Landbruksrådgiving Innlandet, for gode og tips og

Takk til Gunnar Schmidt Energi- & teknikkrådgiver for gode svar.

Takk til Simen Gjølsljø, NIBIO; til Jon Asle og Atle Næss, entreprenør på Inderøy; til Dag Bekkedal, Nordiske Industrioivner og Arild Lindberget, Stora Enso Elverum, for flott samtale med gode tips og erfaringer.

Takk til Hans Morten Sandbæk, Løten/Elverum og Tim Knacksted for at jeg fikk komme på besøk for å se og høre deres erfaringer.

Og til slutt vil jeg takke familien for korrekturlesing, tips og støtte til å gjennomføre oppgava.

Joar Dørum Kleiva

Elverum, 30. mars 2017

Innhold

Innhold

FORORD	3
INNHold	4
NORSK SAMMENDRAG	5
ENGELSK SAMMENDRAG (ABSTRACT)	7
1. BAKGRUNN	9
1.1 PROBLEMSTILING	11
2. MATERIAL OG METODE	12
3. RESULTATER OG DISKUSJON	13
3.1 VIKTIGE EGNEKAPER VED FLIS.	13
3.2 TØRKING AV FLIS.	19
3.2.1 Lagerstabilitet til flis	19
3.2.2 Hogsten.	19
3.2.3 Naturlig tørking.....	20
3.2.4 Tørking av flis i haug	25
3.2.5 Kunstig tørking.....	27
3.2.6 Økonomi, utnyttelse av virke og logistikk.....	34
4. OVERORDNET DISKUSJON OG KONKLUSJON	36
5. KORTE ANBEFALINGER	39
5.1.1 Naturlig tørking.....	39
5.1.2 Kunstig tørking.....	39
6. REFERANSER	40

Norsk sammendrag

Biobrensel har vært en av de viktige grunner til at vi kunne overleve og er fortsatt den viktigste fornybare energiresursen vi har, nær 2/3 av klodens befolkning har biobrensel som eneste eller mest brukte energibærer. Men ved industrialiseringen og det store hamskiftet, ble det enklere å transportere kull i stedet for ved. Senere tok fyringsolje og elektrisk energi over oppvarmingen i norske hjem.

Den norske stat har satt som mål å øke bruken av bioenergi med 14 TWh innen 2020, det er også et politisk flertall for å forby fossiloppvarming innen 2020. For at dette skal kunne gjennomføres må også bonden ta sin del. Skogen er den største ressursen til biobrensel og biobrenselanlegg kan være en god løsning.

Det er mulig å søke økonomisk støtte via bioenergiprogrammet for landbruket. Her kan en søke støtte til varmeanlegg på egne eiendom eller varmesalgsløsninger. Her kan en også søke støtte til lager/tørkebygg, forprosjektering og kompetanse o.l.

Målet for dette litteraturstudiet har vært å undersøke løsninger for tørking av biobrensel på gårdsnivå; om det er nok å tørke virke naturlig i velte/lunne eller i haug, eller om en er avhengig av å tørke flisa kunstig for å oppnå best mulig virkningsgrad.

Det er noen viktige faktorer som er med på å bestemme om ett flisparti er bra. Fuktighet er den styrende faktoren, men brennverdi, askeinnhold og vekt/densitet er også faktorer som er viktige egenskaper. Fuktighet i biobrensel beregnes på fuktighetsinnholdet i prosent av total vekt (F_t). Trevirke er et hygroskopisk materiale som vil si at når det er omgitt av fuktig luft vil det oppta fuktighet, men om det er omgitt av tørr luft vil det avgi fuktighet, dette defineres som likevektsfuktighet og er et viktig begrep og har med seg ved tørking av biobrensel.

Tørking av flis kan gjøres enten i form av naturlig tørking, tørking i flishaug eller kunstig tørking. Naturlig tørking er den billigste måten, og ved å syrefelle virket vil vannet fordampe ut gjennom bladene. I løpet av sommeren vil fuktigheten kunne gå fra ca. 50% til 30-35% fuktighet. Før høstregnet bør velte dekkes med GROT-papp og man kan ved neste sommer ha kommet ned i 25-30 % fuktighet.

Tørking i flishaug kan også være en mulighet, men her kan energi og substans tapet være stort. I tillegg kan det være fare for arbeidsmiljø (sopp- og muggsporer) og/ eller selvantennelse.

De fleste gårdsanlegg har best virkningsgrad ved 20 % fukt, og eneste måten å få tørka flisa ned til 20 % er med kunstig tørking. Ved kunstig tørking er det mulig å bruke en universaltørke, og det finnes også mobilløsninger på markedet. I ei universaltørke er det mulig å lagre dobbelt så høyt sjikt med flis som med korn. For lufta er det enklere å komme gjennom et flis lag enn gjennom et korn lag. Flisstørrelsen og hvordan flisa har blitt lagt inn har virkning på hvor stort sjikt man kan tørke omgangen. Lengden på tørketida til flis er ikke like avgjørende som for korn. Den største utgiften er kostnaden til vifta, men har man et brensel med høy fuktighet og/eller naturlig tørking ikke lar seg gjennomføre, så er gevinsten ved kunstig tørking lønnsomt.

For beregning av tørke er det et mål å ha en minimum luftgjennomstrøm på 11-14 cm/s og så stort luft behov som vifta kan tåle. Det er også en fordel å forvarme lufta, enten ved et solfangersystem eller ved bruk av varmebatteri fra flisfyringsanlegget.

Naturligtørking av flis er en rimelig måte å tørke flis til biobrensel, men fuktighet kan være en krevende faktor. Eneste måten for å kunne oppnå best virkningsgrad på ovnen er ved kunstig tørking. Velger man å investere i et anlegg som kan fyre med råere flis er det mulig, ved god logistikk og planlegging at naturlig tørking vil være nok.

En kort anbefaling: Bruk vår- og sommermånedene, få velta/lunna opp fra bakken ved å legge stokker under, pass på å ha god luftgjennomstrømning og soleksponering og til slutt dekk til velta/lunna med GROT-papp før høstregnet og vinteren.

Engelsk sammendrag (abstract)

Biofuel have been one of the key reason for human living and it still the most important renewable energy resource, almost 2/3 of the planet's population has biofuel as the only or most use energy carrier. With industrialization and "the great transformation" (*det store hamskifte*) it became easier to transport coal instead of wood logs. Later took heating oil and electric energy over the heating in Norwegian homes.

The Norwegian government has set a target to increase use of bioenergy with 14 TWh in 2020. It is also a political majority to ban the heating with fossil fuels in 2020. For this to be implement, the farmer has to take his/her part. Wood is the greatest resource for biofuel, and wood chip heating plant seems to be a god solution.

It is possible to get financial support through the "Bioenergy program for the agricultural sector". Her you can apply financial support to construction of heating system on your own farm or heating for sale facility, it is possibility to apply financial support for storage/ drying buildings, pre-planning and expertise and etc.

The main goal for this review study was to investigate solutions for wood fuel drying on farm level; whether it is enough wit natural drying in piles or drying in comminute fuels or it depended on artificial drying to obtain the best efficiency.

There are some important factor in determining whether one bulk of woodchip is good. Moisture content is the most important factor, but calorific value, ash content and weight/density are also important factors. The moisture content in biofuel been calculate by water content in relation to the mass of fresh wood. Wood is a hygroscopic material it means when it surrounded by humid air the wood will absorb moisture, but if it's surrounded by dry air the wood will give off moisture, this is defined as the equilibrium moisture to have in mind for drying wood chips.

The drying of wood chip can be done naturally in piles, in comminute fuel or artificial. The naturally drying seems to be the cheapest solution, and in the "leaf season" the water will evaporate from the leaves. During the summer, the moisture content will be Abel to go from about 50 % to 30- 35 % moisture. Before the autumn rain, the piles should be covered with GROT-cardboard (*GROT-papp*) and in the end of next summer, it can reach 25-30 %.

Comminute fuel are also a solution for drying wood chip, but the energy and substance loss can be huge. In addition, there is a danger for working environment (fungus and mould) and/or self-ignition.

The best efficient for wood heating systems are with a moisture content of 20 %, the only way to get the wood chip to a moisture content of 20 % are with artificial drying. The drying of chips you can use a multipurpose dryer and it also mobile dryers. You can store the double of wood chip than grain in a multipurpose dryer. The air pass easier through wood chip than grain. The wood chip size and how the chip has been placed, have an effect on the height of storing chip. The length of drying time for wood chip drying is not as crucial for grain. The major cost for drying is the fan, if the moisture content is high and/ or the natural drying goes wrong, will the artificial drying be economic.

For calculating of the drying, the dimension is to have minimum airflow of 11 to 14 cm/s and the air the fan can tolerated. It is also advantageous to either preheat the air, by solar radiation system or by using heating coil from the heating system.

Natural drying seems to be the cheapest way to dry wood chip, but moisture content can be challenging. The only way to reach the best efficient of the heating system it's by artificial drying. If you chose to invest in an heating system that can use an higher moisture content, it is possible with good logistic and good planning, will natural drying be enough.

Recommendation: use the spring- and summer season, build a platform for the pile, be sure to have good airflow and sun exposure and finally cover the pile with GROT-cardboard before the autumn rain and winter snow.

1. Bakgrunn

Biobrensel har vært en av de viktige grunnene til at vi kunne overleve og er fortsatt den viktigste fornybare energiresursen vi har, nær 2/3 av klodens befolkning har biobrensel som eneste eller mest brukte energibærer (Hohle, 2001). Biobrenselet har gitt oss varme til både matlaging og for varme, et samlingspunkt og vært et viktig materiale for tidligere industri. Allerede i 1683 fikk Norge sin første «standard» for måling av ved, i storbyene skulle havnefogden ansette en favnsetter (Belbo & Gjølsjø, 2008), som også i dag går at som en enhet for ved, en favn ved. Men med den industriellerevolusjonen sin start i Storbritannia på slutten av 1700-tallet og starten av 1800-tallet (Bull & Tvedt, 2017), og som spredte seg til Norge på midten av 1800-tallet og med det også det store hamskifte (Gjerdåker, 2002). Da begynte folk i byene og fyre med kull, mye av grunnen lå i at det var enklere å frakte kull en ved.

Etter hvert ble det funnet olje og med det gass, samt at elkraft også tok tak i energi og oppvarming av norske hjem. Fortsatt er elektrisitet den viktigste oppvarmingskilden i form av ovner for norske hjem med 35 TWh, fyringsolje er på vei ned 4 TWh og kjeller med uprioritert kraft 2,5 TWh. For vedfyringer er det 7 TWh og for fjern varme 5 TWh (Norsk bioenergiforening, 2011). Det er et politiskflertall for å innføre forbud mot oljefyring i norske hjem innen 2020, og det er også forslag om forby olje fyring i bedrifter også. Norge har forpliktet seg til å redusere utslipp av klimagasser i 2030 med 40 prosent i forhold 1990 (Klima- og miljødepartementet, 2016). Med det målet om å forby oppvarming med fossilt brensel i alle bygg, noe som vil være et viktig bidrag i kutt i CO₂ utslipp. I TEK 10 «§ 9-10 utslippskrav til ved ovner» er det krav om at skal oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot forurensing, med utslipp av partikler (byggkvalitet, 2010). Samt §14 og15, er verdt å merke seg når det gjelder energi og oppvarming i bygninger.

Innen 2020 har det også bli satt et mål om øke bruk av bioenergi med 14 TWh. (Det kongelig miljøverndepartement, 2007). Dette er en viktig brikke for å gjennomføre et grønt skifte i Norge. For å gjennomføre dette er det viktig at den norske bonden også bidrar til dette skifte, med å kutte ut gass og fossilt brensel til oppvarming av fjøs og oppvarming av luft til tørking av planteprodukter. Den største kilden til bioenergi er skogen og det er et stort potensial til å utnytte mer virke en det gjøres i dag (Landbruks- og matdepartementet, 2016), (Fløystad, 2013) og i tillegg er skogen den viktig binder av CO₂ i Norge (Hagen, 2006).

Via bioenergiprogrammet som forvaltes av innovasjon Norge kan man søke tilskudd eller en kombinasjon av tilskudd og lån til bygging av anlegg til varme salg, gårdsvarmeanlegg, varmeanlegg for veksthus, biogassproduksjon og lager- og tørkeanlegg for brensel flis. Det gis også støtte til konsulent til forstudier, forprosjekt, utredning og kompetanse- og informasjonstiltak. (Innovasjon Norge, 2017). Tall fra 2016 viser at det har vært en nedgang i antall saker og støtte, men støtte til biogassanlegg, forprosjekt og forstudier har økt. Fra 2003-2016 har det blitt gitt støtte til totalt 2708 saker med en samlede energi produksjon på 0,383 TWh. Av disse tallene er det gitt støtte til; 991 gårdsvarmeanlegg for næring, 624 gårdsanlegg for bolig og 199 varmesalganlegg. Med beregnet energi til henholdsvis; 0,162 TWh, 0,027 TWh og 0,160 TWh. Det ble i 2016 gitt ut 57 millioner kroner i støtte, med 66 millioner i 2015 (Innovasjon Norge, 2017. Sæhli, O).

Biobrensel er brensel med utgangspunkt i biomasse, og kan være i form av fast eller flyttende. I Fast form er det ved, flis, halm og i tillegg foredla flis i form av pellets og briketter. Flyttende biobrensel er for eksempel bioolje, biodisel og etanol, samt biogass og hydrogen (Norsk Gartnerforbund [NGF], 2014). I denne oppgava blir fokuset på flis fra tre brensel og i all hoved sak skogsflis. Flis fra tre brensel kan også komme fra rivningsvirke og lignende, og biprodukt fra treindustri. Skogbrensel/flis kommer fra (Lehtikangas, 1999; NGF, 2014):

- Hogstavfall, også kalt GROT→grener, rot og topp.
- Heltre fra for eksempel åker- og vegkantrydding, avstandsregulering, tynning og i tillegg rydding av ny veg- og jernbanetraseer.
- Stammevirke i form av energivirke (tørt eller råte), slip, lauvtrevirke fra hogst som ikke blir solgt som ved og virke som er for stort for de fleste sagbruk.

For å få til en bedre utnyttelse av brenselet er det viktig å ha riktig brensel kvalitet og en av de viktigste faktoren for god kvalitet er fuktigheten i virket (Gjølsjø, 2007). For å få til det er det viktig å vite hvordan man skal lagre og tørke virket og med det kunne få til en bedre logistikk rundt biobrensel (Dalen, 2012) (Skog og landskap, 2012). Får vi til dette har vi et godt grunnlag for å kunne bygge videre på biobrensel produksjonen i Norge, og med det kunne gjennomføre målet om mer bruk av fornybar oppvarmings energi.

1.1 Problemstilling

Problemstillingen i dett litteraturstudie er å undersøke løsninger for tørking av biobrensel på gårdsnivå.

- Hvordan tørke flis, naturlig eller kunstig?
- Hva er det som påvirker naturlig tørking?
- Kunstigtørking; utforming, luftmengdebehov, varmluft eller kald luft, etc.?
- Logistikk og utnyttingsgrad av trevirket; som GROT, Åker kantrydding, kulturlandskap og rydding av nye og gamle vegstrekninger?
- Er det lønnsomt å tørke flis?

2. Material og metode

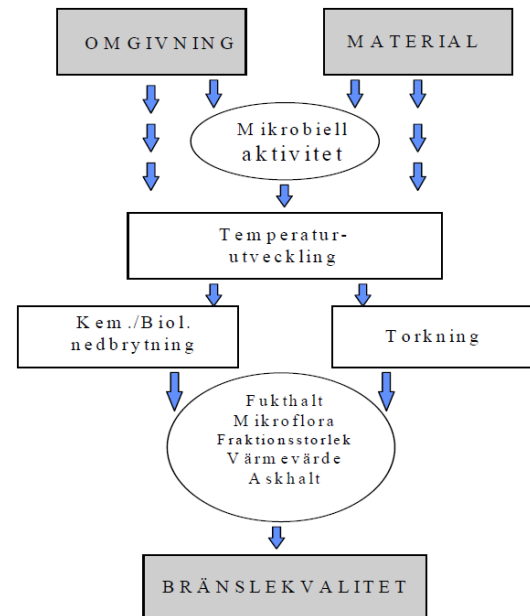
Denne oppgaven er et litteraturstudie som skal ta for seg tørking av flis til biobrensel/skogbrensel. Litteraturen til oppgaven er innhente via internett, bøker, tidsskrifter og samtaler med praktikere og organisasjoner som driver med bioenergi.

3. Resultater og diskusjon

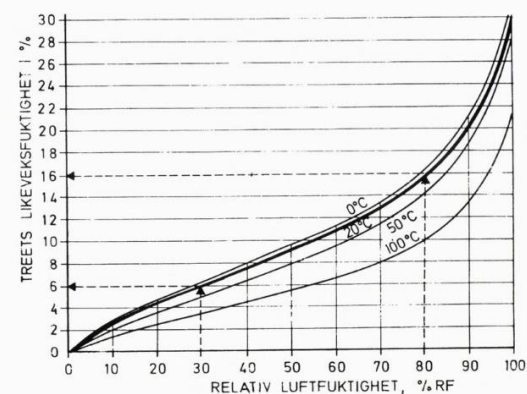
3.1 Viktige egenskaper ved flis.

For brensel flis er det noen viktige egenskaper; fuktighet, vekt og densitet, brennverdi og askeinnhold (Nordhagen & Gjølshjøl, 2013). I tillegg har flisstørrelse og energitetthet innvirkning på flisas egenskap. Hva som er et godt brensel kan være vanskelig å si, men noen variabler kan gjøres noe med og andre er gitt. Det er mulig å gjøre noe med fuktigheten, temperatur, mikroorganismer samt fraksjonen i flisa, og til en viss grad kan det gjøres noe med askeinnhold, brenn verdi og homogenitet (Lehtikangas, 1999).

Fuktighet i tre opptrer i forskjellige former, som bundet, fritt og kapillært vann. Trevirke er hygroskopisk materiale som vil si at når det er omgitt av fuktig luft vil det oppta fuktighet, men om det er omgitt av tørr luft vil det avgi fuktighet (Edwardsen & Ramstad, 2014, s. 91), (Norsk Treteknisk Institutt, 2009). Så i det treet blir felt vil man kutte den kontinuerlige vann og næringstransporten i treet det vil begynne å avgi fuktighet (Francescato, Antonini, & Bergomi, 2009), og så fort som mulig prøve oppnå likevekt med klimaet rundt seg, også kalt likevektsfuktighet (Lehtikangas, 1999). Likevektsfuktigheten avtar med stigende temperatur og fallende relativ luftfuktighet. Etter at den kontinuerlige vann og næringstransporten er brutt vil treet avgi det frie vannet som er i cellehullerommene. Når treet har kvittet seg med det frie vannet har man nådd fibermetningspunktet, som vil si det punktet der det frie vannet i cellene er borte, men ennå er celleveggene metta med vann (Edwardsen & Ramstad, 2014), (Norsk Treteknisk Institutt, 2009), (Codina & López, 2012). Når trevirket begynner å avgi det bundet vannet, vil trevirke begynne å krympe, dette kan en



Figur 1 Skjematisk fremstilling over faktorer som påvirker brensel kvaliteten. Hentet fra *Lagringshandbok för trädbränslen* P. Lehtikangas 1999.



Figur 2 Likevektsfuktighet i tre, variere noe med treslag og egenskaper men ikke mer enn at denne figuren kan brukes. Hentet fra *Treteknisk håndbok* Norsk treteknisk institutt 2009

legge merke til med å se at tømmeret begynner å sprekke i enden. Fibermetningspunktet er oppgitt til å være på 30 %, men det er litt variasjoner (Norsk Treteknisk Institutt, 2009).

Fuktighets innholdet i trær blir oppgitt med et prosent tall. Fuktighetsprosenten kan bli beregnet på to måter, og disse kan gi stort utslag. Den første måten er beregnet på fuktighetsinnholdet i prosent av total vekta (F_t), denne formen blir brukt i biobrensel sammenheng. Den andre måten er beregnet på fuktinnholdet av tørrvekt (F_0), denne formen blir brukt i treindustrien (Solli, 1980) (Krajnc, 2015), (Totlund, 2008) (Svanæs, 2002).

Formelen for beregning av de to måten er og et eksempel. Totalvekten var på 500 kg og tørrvekt på 250 kg.

$$F_t = \frac{\text{Råvekt} - \text{Tørrvekt}}{\text{Råvekt}} \times 100 \rightarrow 500 - 250 / 500 * 100 = 50\%$$

$$F_0 = \frac{\text{Råvekt} - \text{Tørrvekt}}{\text{Tørrvekt}} \times 100 \rightarrow 500 - 250 / 250 * 100 = 100\%$$

F_t %	15	20	25	30	35	40	45	50	60
F_0 %	18	25	33	43	54	67	82	100	150
F_0 %	15	20	30	40	50	65	80	100	150
F_t %	13.0	16.7	23.1	28.6	33.3	39.4	44.4	50.0	60.0

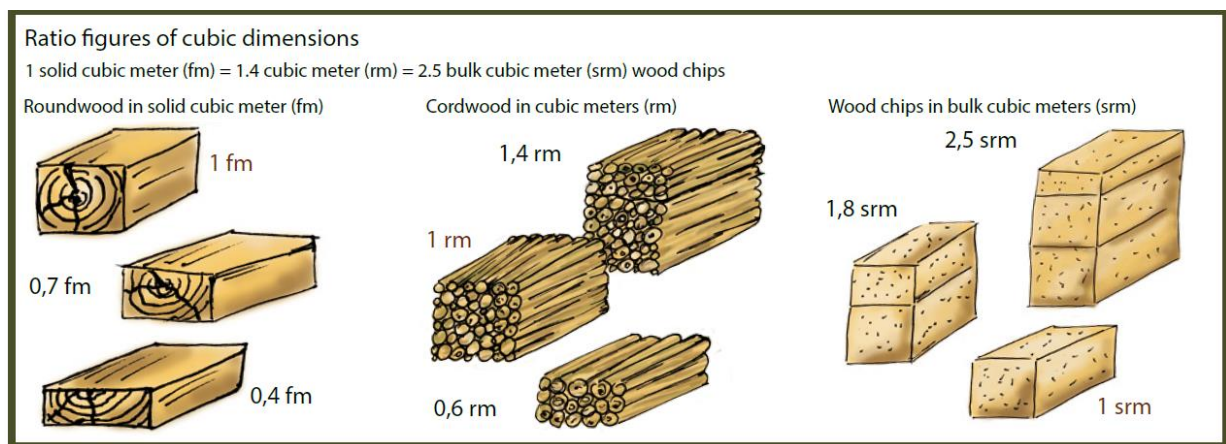
Tabell 1 Forskjellen mellom F_t og F_0 . Hentet fra *Wood fuels handbok*. <http://www.fao.org/3/a-i4441e.pdf> N. Krajnc (red). 2015 og *conversion tables* <http://www.biomassradecentre2.eu/available-literature/>

For å kunne beregne lager kapasitet, transport og tørking, må vi ha kjennskap til volum og densitet. For volum enheter for biobrensel er det viktig å kunne forskjellen på to kubikkmeter

enheter. Den første enheten er fast kubikkmeter (fm^3) og den andre enheten er løs kubikkmeter (lm^3). 1 Fm^3 er enn kubikkmeter med fast virke uten lufta rundt. 1 lm^3 en enn kubikkmeter med er det totale volumet med luft og fast masse.

For eksempel i en henger med flis; vil fm^3 bare være den faste massen, men oppgitt i lm^3 er det både den faste massen og lufta i hengeren.

I engelsk litteratur blir tømmer oppgitt i 1 solid cubic meter (fm), fast tømmer uten lufta rundt, jamfør en fm^3 i norske enheter. Ved eller virke som er kappet i gitt lengde (cordwood) blir oppgitt i cubic meters (rm), som er det totale volumet med fast og lufta rundt. For flis blir det oppgitt i bulkkubikkmeter (srm), som er det totale volumet av fastmasse og lufta rundt.



Figur 3 Omregning fra tømmer, via ved og til flis. Hentet fra *Quality fuels for everyone*, <http://www.biomassradecentre2.eu/Biomass-Trade-CentreII/>

Som tommelfingerregel kan man bruke samme omregning fra fastkubikkmeter og til løskubikkmeter som brukt i figuren (2.5). Med det må vi også introdusere to begrep til som sier noe om det samme, de to er fastmasseandel (FM) og fastmasseprosent (FM%). Begge begrepene beskriver forholdet mellom det faste- og det løse volumet. Fastmasseandel er den mengden av fastmasse, mens fastmasseprosent er uttrykk for prosent andel fastmasse (Hohle, 2001, s 87; Belbo & Gjølsjø, 2008).

Et eksempel:

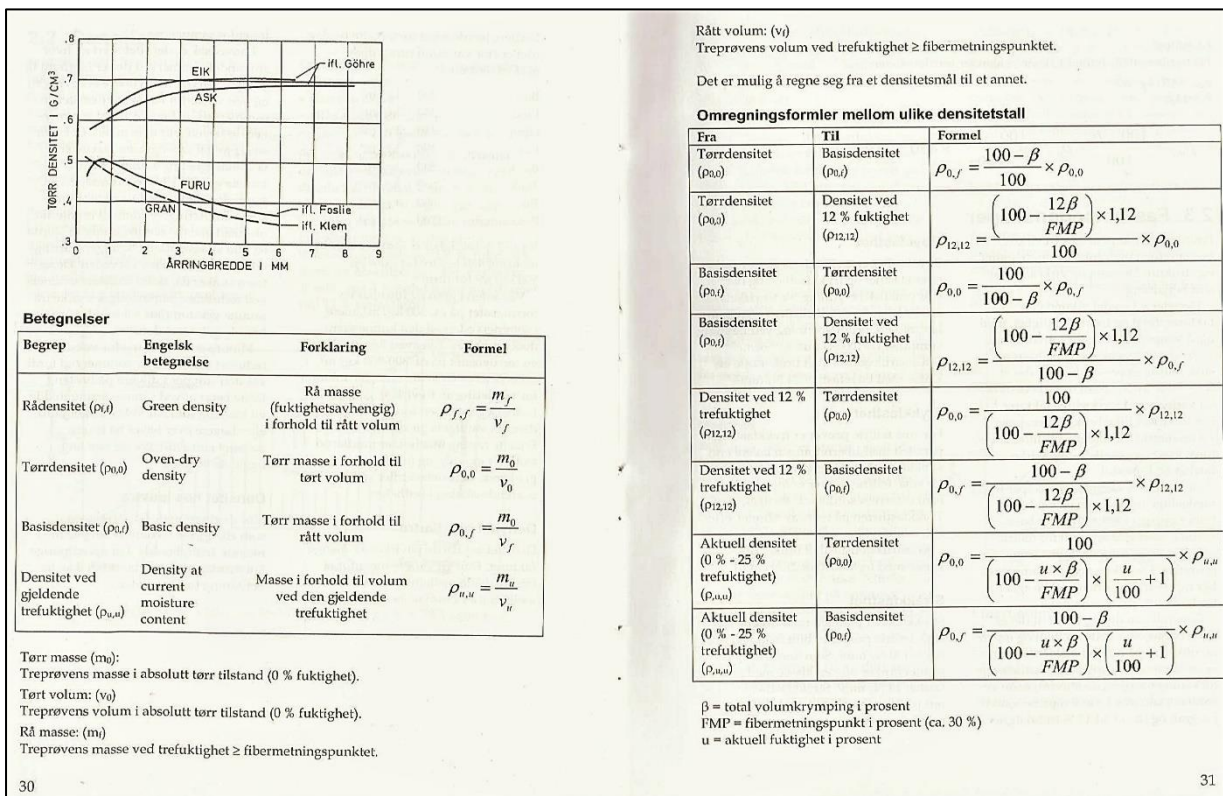
En gårdbruker har et årlig flis forbruk på 400 fm^3 , hvor mye er dette i lm^3 ? hva blir da fastmasse andel og fastmasseprosent?

$$400 \text{ fm}^3 * 2,5 = \underline{1000 \text{ lm}^3} \rightarrow 1000 \text{ lm}^3 / 2,5 = \underline{400 \text{ fm}^3}$$

Fastmasseandel er de talla som er gitt over, men fastmasseprosenten;

$$\text{FM}\% = \frac{\text{fm}^3}{\text{lm}^3} \times 100 = 400 \text{ fm}^3 / 1000 \text{ lm}^3 * 100 = \underline{40\%}$$

Densitet er forholdet mellom vekt og volum, noe som variere med forholdet mellom cellevegg og cellehulerom etter som celleveggen hos treslaga har tilnærmet lik densitet ved absolutt tørr tilstand, 1560 kg/m^3 (Norsk Treteknisk Institutt, 2009). I tillegg så vil trevirke ta til seg fuktighet og med det forandrer densiteten seg i treet, så for at densitet skal ha noe mening blir det brukt flere begrep for densitet i forhold til fuktigheten i flisa/tømmeret. (Svanæs, 2002), (Norsk Treteknisk Institutt, 2009) (Edwardsen & Ramstad, 2014).



Figur 4. Forklaringer og formler for beregning av forskjellige begrepene brukt om densitet for trær. Skannet fra boka; *Treteknisk håndbok* Norsk treteknisk institutt, 2009.

I tillegg til de nevnt i fig 4, blir det i bioenergi sammenheng benyttet bulkdensitet og råbulkdensitet (Svanæs, 2002). Bulkdensitet angis i kg per løs kubikkmeter, kg/lm^3 (Nordhagen & Gjølshjøl, 2013) og råbulkdensitet er forholde mellom rå vekt og rått løs volum. Råbulkdensitet kan også beregnes ved bruk av FM, basisdensitet (ρ_m) og fuktighet (Fr) (Svanæs, 2002), (Hohle, 2001).

$$\text{Bulkdensitet: } \rho_{\text{bulk}} \frac{m}{V_{\text{r\ddot{a}tt}}} = \text{kg}/\text{lm}^3$$

$$\text{Råbulkdensitet: } \rho_{\text{r\ddot{a}bulk}} \frac{FM * \rho_m}{1 - Fr} =$$

Bulkdensiteten vil variere mellom fast biobrensel, variasjonen har sammenheng med blant annet treslag, treslagets tetthet, flisstørrelse og fuktighet.

Brennverdi er det som sier noen om brenselets energiinnhold, det oppgis i MJ/kg, MW/tonn eller kWh/kg (Nordhagen & Gjølshjøl, 2013). I hoved sak består et tre av cellulose, hemicellulose og ligning. Mellom disse delene variere brennverdien, for eksempel, innad i ei bjørk har neveren (bark) en større brennverdi en stamme veden, ei krokete gran har høyere brennverdi enn ei rett gran og ligning har en høyere brennverdi en hemicellulose og cellulose. I tillegg gir det høyere brennverdi jo større bulkdensitet til treslaget (Svanæs, 2002). Brennverdi kan defineres på tre måter, den øvre brennverdi, nedre brennverdi og effektivbrennverdi (Belbo & Gjølshjøl, 2008).

Den øvre brennverdien gir uttrykk for den reelle energimengden som blir til varme ved fullstendig forbrenning av biomassen. Forbrenning av fast masse og vann, både det som kommer av selve treet og det vann som oppstår under forbrenning.

Den nedre brennverdi er øvre brennverdi minus vann som blir produsert når hydrogen og oksygen reagerer i forbrenningsprosessen, fordampingsvarme til damp. «*Forskjellen mellom øvre og nedre brennverdi er avhengig hydrogen innholdet i brenselet*» (Belbo & Gjølshjøl, 2008).

Men den som blir mest brukt som opplysning på biobrensel er effektivbrennverdi. Effektivbrennverdi er «*definert som nedrebrennverdi minus fordampingsvarmen som behøves for å tørke brenselet til 0 prosent fuktighet, og justert for askeinnholdet i brenselet*» (Belbo & Gjølshjøl, 2008). Effektivbrennverdi kan uttrykkes med likningen $He = 5,32 - 6,02 * Fr / 100$ (kWh/kg) (Hohle, 2001, s 85).

For eksempel et flis last med en fuktighet på 20 %:

$$5,32 - 6,02 * 0,20 \approx 4,2 \text{ kWh/kg.}$$

Askeinnhold er viktig når man skal utforme brenn kammer, rister og askesystem (NGF, 2014). Asken inneholder alle de uorganiske stoffene i planten og urenheter som blir med i flisa og eller i lasset, som for eksempel; stein, jord og grus. Hovedsakelig består asken av grunnstoffene aluminium, kalium, kalsium, magnesium, mangan, silisium og jern som ikke er brennbare (NGF, 2014; Belbo & Gjølshjøl, 2008; Strömberg & Svärd, 2012). Rent stammevirke har minst aske innhold 0,2-2 prosent av tørrvekt, mens GROT har et høyere innhold 1,3-4,7 prosent av tørr vekten (Nordhagen & Gjølshjøl, 2013; Belbo & Gjølshjøl 2008; Strömberg & Svärd, 2012).

Det er mange sammenhenger og egenskaper som er viktig for å kunne finne ut om flisa er godt egnet til fyringsformål, men det er to egenskaper til som ikke har blitt nevnt og det er flisstørrelse og energitetthet.

Flisstørrelsen gir oss et mål på om flisa kan brukes i anlegget og de fleste gårdsanlegg trenger en homogen flis, den optimale størrelsen er som en vanlig fyrstikkeske. For HDG ovner (100/150/180 kWh) er anbefalingen flis i størrelse G30 og fuktighet på 20 %, men kan også G50 og fukt opp til 40 % (HDG). For ETA-ovner (20-200 kWh) er matingskruen beregnet for å tåle G50 flis, men vil også her er effekten best ved flisfuktighet på 20 % (ETA Norge). Tallet etter G står for størrelsen til flisa gitt i millimeter. For å få til flis som er homogen nok og tillegg har den anbefalte størrelsen, er en avhengig av flishoggeren og den som styrer flishoggeren. Vi har i hoved sak to typer hoggere skive- og trommelhogger, i tillegg finnes det på markedet skrue- og hammerhogger. Skivehogger er typisk de minste hoggerne og tar mindre diameter, men det blir en ensartet flis av disse ettersom den roterende skive delen har samme angrepsvinkel på treet. Trommelhoggeren tar større diameter (Rena Forst sin hogger tar virke med diameter opp til 85 cm), for å få til en homogen flis er man avhengig av å bruke såld (Hohle, 2001, ss. 102-104; Solli, 1980, s. 67). Et flis parti med mye finstoff, som for eksempel nåler, støv og bark, kan gi en fyring med høyere brennverdi.

«Energitetthet kan brukes til å beregne brensellager og forsyningskjeden, men blir unøyaktig for prising av den enkelte leveransen» (Belbo & Gjølshjøl, 2008). Bjørk og furu blir sett på som bedre ved og flis en gran og gråor, men dette er målt ut fra volum. Grunnen ligger i at basisdensiteten til bjørk (500 kg/m^3) og furu (440 kg/m^3) og er høyere en gran (380 kg/m^3) og gråor (360 kg/m^3), noe som gjør at energitettheten er større. Energitetthet kan bli beregnet på

to måter enten med utgangspunkt i; bulkdensitet og fuktighet eller ved bruk av rådensitet eller basisdensitet, fuktinnhold og fastmasseprosent. Den siste måten blir mest brukt (Belbo & Gjølshjøl, 2008).

3.2 Tørking av flis.

3.2.1 Lagerstabilitet til flis

Tre er som andre planteprodukter Lagerstabil flis kan deles opp i tre hovedgrupper lagerstabil (<22 % fuktighet), flis som kan lagres i perioder innendørs (22-35 % fuktighet) og lagring i korte perioder innendørs (35-55 %) (Totlund, 2008). Skal man ha brensel flis til pyrolyseanlegg må fuktigheten være under 15 %. Tørker man flis ned til 15 % så vil flisa uansett trekke til seg fuktighet (Pers. Med Atle Næss; Grønlien, Fæste, & Tengedal, 1988), etter som trevirke vil prøve å oppnå likevektsfuktighet.

For at mikroorganismer skal kunne leve i flisa må dem ha tilgang på fukt, næring, oksygen og temperatur.

3.2.2 Hogsten.

Tradisjonelt har syrefeling vært en effektiv hogstform for å få en god start på den naturlige tørkingen av virket. Syrefeling vil si at man feller virket og lar det ligge u kvistet en vis tid før virket blir kjørt fram eller at det blir lagt i direkte i lunne. Det som skjer ved syrefelt virke, er at *gjennom bladene eller nålen foregår det transpirasjon helt til disse visner og uttørkingen stagnerer* (Johansson, 1979, s10). Hogger man virket på sen vinteren tidlig vår og legger det i lunne, kan man oppdage at treet vil sette blader, det fortsetter å vokse (Pers.med Simen Gjølshjøl). Fra gammelt av ble det ment at virket skulle hogges når løvet var som museører, men jo større bladene er jo mer vann blir trukket av treet, dette viser forøk utført av Nordhagen & Gjølshjøl og resultatene vil bli vist senere i teksten. I følge Filbakk, Høibø & Nurmi ble det funnet ut at bjørk har mindre vatten innhold når treet blir felt, rundt 50 %, men for selje og or var det en høyere vanninnhold ved ferskt felt virke rundt 55%. Når det kommer til naturlig tørking av disse treslagene så tørker selje og or mer de første dagene en bjørk. Dette kommer av at basisdensitet/ celletette til treslaget for or og selje er vannet letter bundet i cellene enn hos bjørka dette gjør at vannet trekkes fortere ut av virket. Det treslaget som går saktere å tørke

naturlig er furua. Sammenhengen er at cellene har lett for å trekke til seg veske og derfor er furu det treslaget som det går an å impregnere.

I boka «hel ved» av Lars Mytting, står det nevnt at hogsten bør skje om sen vinter eller tidlig vår, lenge før løvet spretter da har trevirket lavest fuktighet og den relativluftfuktigheten er lavest (Mytting, 2011, s. 40).

3.2.3 Naturlig tørking.

Den billigste måten og tørke virke til biobrensel på er ved naturlig tørking. Her utnytter vi effekten av sola, vinden og den mikrobielle aktiviteten som gjør at virke tørker. For å få en god effekt av naturlig tørking er det noen parameter som er vesentlig; hogst tidspunkt, hvor virke blir lagret, lengde på tørkeperioden og klimatiske forutsetninger. I tillegg kommer det spørsmålet om man skal dekke til lunna eller ikke. Til dekking av lunner/velter blir det brukt GROT-papp, men på mindre veltet kan det bli brukt plast/presenning. GROT-papp er en trykkfast og impregnert papp duk som stenger for snø, smeltevann og regn. Fordelen ved å bruke papp i stedet for presenning er at man kan flise opp pappen sammen med virke.

Det norske klimaet har store variasjon, fra tørt innlandsklima og til et fuktigere vestlandsklima. Naturlig tørking følger det klimatiske dataen ganske tett ifølge (Röser, et al., 2011). Det er gjennomført en del forsøk på naturlig tørking i Norge og på forskjellige steder i landet.

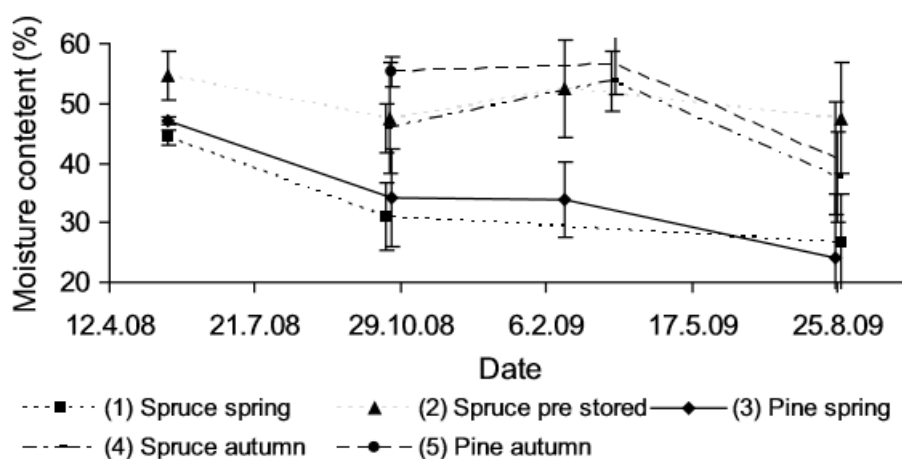
For eksempel i Filbakk (2013) sin doktorgradsavhandling ved universitet for miljø- og biovitenskap (nå Norges miljø- og biovitenskapelige universitet) «Fuels quality of forest biomass intended for chips and pellets: the influence of raw material characteristics, storage and handling.» (Filbakk, 2013) Ble det gjort to bakgrunns forsøk på naturlig tørking av biobrensel, den første serien ble gjennomført med heltrevirke av løvtrær på 3 forskjellige steder i landet. En velte med heltrevirke i Målselv (nord), en på Møre (vest) og den siste på Brandbu (øst). Parametere som ble undersøkt var klimatiske forhold, hogsttidspunkt, treslag plassering i velte og effekten av å dekke velte. Det andre forsøket ble gjort med tørking av GROT (grener og topper) fra gran og furu, dette forsøket fant sted på Braskereidfoss (Hedmark). Her ble det undersøkt påvirkning av hogsttidspunkt lagringsmetode, treslag og plassering i velte. I tillegg ble noe bunta og noe lå løst.

Resultatene som ble funnet i det første forsøket (gjennomført i 2007 og til 2008) viser at virke som ble hogd om våren tørker fortas den første måneden, for så å avta utover sommeren. Det ble hogd virke på Brandbu og Møre, men i Målselv var det ikke mulig å gjennomføre hogsten om våren. Grunnen kan ære at det ikke hadde kommet noe løv på treene og med det blir det ikke sammenlignbart for forsøket. Lunna var udekt gjennom våren og sommeren, og noen av velten ble dekket med GROT-papp i oktober. Da hadde virket tørket litt bedre på Brandbu (øst) enn på Møre (vest), ca. 3 %, begge plasser var fuktigheten kommet ned til rundt 37%. Virket som var på toppen i velta hadde tørket mest og i bunn var det minst, dette var signifikant for begge steder. Velta som hadde blitt dekt med GROT-papp ble ved flising i august året etter målt til ca 27% på Brandbu og under 25% på Møre eller sagt på annen måte så sank fuktigheten med 7-8 %. (Filbakk, Høibø, & Nurmi, 2009)

Det ble også hogd et parti om høsten for de tre stedene, noe ble dekket med GROT-papp og noe uten tildekking. Igjennom vinteren holdt fuktigheten seg stabilt i Målselv, på Brandbu steg fuktigheten til februar og fra der av avtok fuktigheten, og virket som ble hogd på Møre var det eneste stedt som tørket noe i løpet av vinteren. For virket som vart dekt ble så vidt litt tørrere ved slutten av sommeren 2008, 1,52 % (Filbakk, Høibø, & Nurmi, 2009).

Fuktigheten i GROT forsøket var lavest i midten av velta og høyere i de ytre laga og tørrstofftapet ble større jo tørrer GROTA ble og det ble funnet større tørrstofftap i bunta gran enn i bunta fur. Dette skyldes nok at nåler og grener datt av under tørking. I de lunnene der GROT hadde blitt bunta ble det funnet ut at det ikke var noe

signifikant forskjell på tørkingsgraden, men det synes at gran GROT har høyere fuktighet en furu, noe av forskjellen ble ment å være forskjell i tyngden. Hogsttidspunktet var en lunne høsten 2007 (pre-stored), våren 2008 og høsten 2008, og dekt med GROT-papp. I figur 5 er det visst fuktighetsforløpet i bunta- GROT. Gran hadde lavest utgangsfuktighet både hogd om våren og høsten, men for furu hogd om våren 08 hadde lavest fuktighet når forsøket ble avsluttet. Det ble ikke funnet noe signifikant forskjell mellom bunta og ikke bunta GROT i



Figur 5 Fuktighetsforløp i bunta GROT. Henta fra: «Modelling moisture content and dry matter loss during storage of logging residues for energy»

<http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2011.553199>

forsøket, men det var en fordel at GROTen var bunta under vinteren. For i de lunnen med løst material vil fuktigheten fra is og snø sett seg bedre, enn hos den bunta, det viktigste er at man får god luftgjennomstrømning så vannet blir transporter vekk (Filbakk T., Høibø, Dibdiakova, & Nurmi, 2011). Men for begge forsøkene ble det konkludert med at temperatur og nedbør var de to variablene som hadde mest å si for tørkingen.

I 2012 gjennomførte Nordhagen og Gjølsjø et tørkeforsøk i Aumdalen (Tynset) på heltretørking av bjørk, med syrefeling som metode for å redusere fuktighet og plassert i en heltrevelte. Virket vart hogd 24. mai og 19. juni 2012, i tillegg ble det hogd noe virke i februar/mars 2012 kalt ordinær hogst og som en kontroll for det syrefelte virke. Da virke ble hogd 24. mai hadde løvet blitt som museører, men 19.juni var løvet kommet fult ut. Det ordinært hogd virket hadde den lavest fuktigheten ved ferskt hogd virke, den høeste fuktigheten hadde det virke som ble hogd 19. juni. Men ved slutten 20. september hadde virke som ble hogd 19. juni den laveste fuktigheten (ca. 35 %), men for 29.mars og 24. mai var fuktigheten om lag lik (ca. 38 %). Det ble funnet ut at trevirket i bunnen av det som var hogd om vinteren ikke hadde tørket noe, og mest i midten av velta (Nordhagen & Gjølsjø, 2013).

I prosjektet «frå kratt til kroner», som varte fra 2005-2008. I dette prosjektet var målet å høste erfaringer med rydding av veg nær kulturlandskap og gjengroing av vegtraseer, med tanke på å utnytte virket til bioenergi formål. Prosjektet var drevet av Møre og Romsdal fylke ved landbruksavdelinga, men Skogselskapet i Møre og Romsdal som prosjekteier. (Totlund, 2008). I prosjektet ble det opprettet et tørkeforsøk i samarbeid med Skog og landskap, i Vanylven. Vanylven har et typisk kystklima med en normalnedbør på 2000 mm i året. Forsøket ble gjennomført på to steder Syvde og Lille Eide (Totlund, 2008).

Ved Syvde ble det hogd gråor og selje 10 mai og noe av velta ble dekket med GROT-papp den 5.oktober. I likhet med de forsøkene som er nevnt, så tørket også denne velta raskest den første måneden. Det ble målt for selje fuktighet på 33% den 15.juni. Ved 5. oktober var både gråor og selje på 36 % fuktighet, da ble den ene delen dekket. (Målingen viser nå vider selje) I løpet av vinteren så holdt den dekte delen seg ganske stabil, men for den udekte deler kom fuktigheten opp til 46 %. I slutten av forsøket 26.juni var fuktigheten i den udekte delen på 31 %, men for den dekte delen så hadde fuktigheten kommet ned på 23 %. En gevinst på ca. 10 % ved å dekke velta, etter at virket hadde ligget åpent i løpet av en vår og sommersesong. Hvis vi bruker formelen som er nevnt i det foregående kapittel for effektiv brennverdi

(regneeksempel 3), finner vi at effektivbrennverdi for dekt del på 3,9 kWh/kg og for udekt 3,4 kWh/kg. (Totlund, 2008)

På Lille Eidet ble det hogd gråor og bjørk i november og lagt i velte, der ene delen ble dekket med GROT-papp og den andre udekt. For både gråor og bjørk følges tørkeforløpet relativt likt gjennom tørkeperioden. Velta med bjørk hadde tørket ned 47 % og dekt ned til ca. 30 %. I gråor velte hadde fuktigheten gått fra ca. 53 % og til ca. 33 %. For begge treslag var det minimal forskjell mellom dekket og udekt velte, men det vises at den delen som udeket med papp har mer variasjoner i tørkeforløpet gjennom perioden, etter som det blir fuktet opp at av nedbøren.

Til nå har det vært forsøk der virket har vært syrefelt, dette viser seg å være en bra måte å starte tørking på. Men i dagens skogbruk blir mye av hogsten gjort med hogstmaskin og med det blir virket kvista, med mindre du har en god dialog med den som kjører hoggeren. Når virket blir kvista gjennom aggregatet så blir også barken rispa/ slindra litt samtidig, noe som gjør at rundtømmeret vil få en transpirasjon av fukt gjennom disse åpningene. Slindring av ved virket var en stund et kvalitetskrav, det skulle være to til fire slindringer (Mytting, 2011). I følge et forsøk gjennomført av Röser, et al i 2011, ble det observert at lauvtrær som hadde blitt slindra tørka mer effektivt og at den velte mista 30 g/kg vann mer enn trær som det ikke var gjort noe med (Röser, et al., 2011).

Samme forsøk ble det gjennomført naturlig tørking i tre forskjellige land Finland, Skottland og Italia, gjennom tørkesesongen hadde det kommet mer nedbør enn vanlig, og nedbør var også her en parameter som gjorde utslag. Og konklusjonen viser at I Italia hadde den beste tørken, men at Skottland og Finland også fikk bra resultater når det ble dekket.

Det er også som nevnt blitt sett på tørking av heltre fra lauvtrær, men i et forsøk gjennomført i Halden av Gjølsjø og Wilhelmsen i 2010 med lagring av skogsbrensel fra furu. Virket av rundtømmer furu ble hogd med hogstmaskin, kvista og kappet med et gjennomsnitt på 3 meters lengder. Det ble gjennomført på fire forskjellige steder i Halden. Tre av forsøkene var med vinterhogd virke, februar/mars og det siste var med furu hogd i juli. I tillegg var velten klosslagt/ krysslagt. Resultatene fra det vinterhogd virke så har Sandby en markant bedre tørk en de andre stedene. Mye av grunnen er lagringsplassens beliggenhet i forhold til vind og sol. I Tranvik var velte orientert med stokk enden øst –vest og lå på en skyggefull plass, i Bekemoen var velte orientert med stokk enden øst – vest og på en relativ åpen plass, men for

Sandby var velta orientert nord – sør og lå åpent til inntil en riksvei. Men virke hadde en start fuktighet for de tre stedene på gjennomsnitt 48% og ved slutten av forsøket lå gjennomsnitt fuktigheten for de tre stedene på ca 43 %. For den sommerhogde velta på Prestmoen var lagrings forholdene relativt åpent og med stokk enden orientert nordøst – sørvest. I forsøket med det sommerhogde virket vart det for få observasjoner til å sammenligne vinter- og sommerhogd furu. Det sommer hogde virket hadde en start fuktighet på 57 %, men virket tørka fort i sommer måneden og i oktober lå det på samme fuktighet som den vinterhogd furu (Gjølshjøl & Whilelmsen, 2010). Men dekker man til velta før høstregnet slår til og lar det tørke en sesong til vil man kunne få virke ned under 30 %.

Når det gjelder å tørke rundtømmer så kan man se på bilder av tømmer som skulle fløtes, her ble alt virke barka og krysslagt for tørking. Tørkingen var helt avgjørende for at tømmer skulle kunne flyte.

Det har bare blitt vist til noen forsøk, men de andre forsøka som har blitt lest gjennom under denne oppgav viser det samme, for eksempel forøk ut ført av (Nurmi & Hillebrand, 2007), (INTERNAL PROJECT INFORMATION NOTE 09/06 , 2006), (Johansson, 1979). At det å tørke flis virke naturlig er en gunstig løsning. De viktigste faktorene er relativluftfuktighet, luft temperatur og luftgjennomstrøm i velta. Flisvirket bør da lagres et sted som er godt eksponert for sol og godt ventilert. I følge Lehtikangas bør velten i de fuktigste områdene plasseres inntil skogkanten eller et sted som kan ta imot noe av nedbøren (Lehtikangas, 1999). I prosjektet «Frå kratt til kroner» blir det nevnt at velten bør opparbeides med et svakt overheng for at ikke nedbøren skal kunne renne langs velta og komme til den nedre delene av velta (Totlund, 2008). Det er også viktig å få velta opp fra bakken, enten ved at en legger store stokker under eller man kan krysslegg en flå, for så å legge virket i samme retning. For å få til en god luftgjennomstrøm i velten er det viktig å få litt luft mellom trærne. Noe som kommer naturlig med lagring av heltrevirke, men for rundtømmer og energivirke kan det hjelpe og kryss stable virke, det kreves litt mer arbeid, men effekten av å få vinden gjennom vil lønne seg. For å få en god gevinst med naturlig tørking bør virke lagres i minst tre måneder ifølge biofuel handbok (FAO), men helst lenger. Det kan også være bra å utnytte måneden april-juni da luftfuktigheten er lavest.

Det som kan være en negativ faktor med å lagre heltre velter av gran og furu er insektangrep, som gransnutebille, barkbille og margbore. I følge (Codina & López, 2012) bør ikke velter lagres i skogen lenger en to uker, men dette har ikke blitt nevnt som noe problem i Norge

(Pers. Med Simen Gjølshjøl). Før ble virke av gran som skulle lagres gjennom sommeren sprøyta for å unngå at insekter skulle klekkes. Så lenge et tre står så vil det klare å stenge ute de fleste mikroorganismer, men med engang treete er felt vil man gjøre om forsvarsmekanismen og sopper og bakterier begynne å bryte ned massen. For sopper som bryter ned heltre/rundtømmer deler man inn i råtesopper og fargesopper (Norsk treteknisk institutt, 1998). Soppene og bakteriene trives best ved temperaturer mellom 25-30 °C og fuktighet i virke på 30-60 %. (Codina & López, 2012)

3.2.4 Tørking av flis i haug

Flis kan også tørkes direkte i haug, og da er det noen hovedfaktorer som skal til, plantenes mikrobielle effekt, temperatur og omgivelsens klima (Codina & López, 2012). I en flis haug vil den indre delen tørke, men de ytre og øvre delen vil være rå (Pers. Med Simen Gjølshjøl, NIBIO; Arild Lindberget Stora Enso Elverum; Tim Knackstedt Rena Forst).

Ved lagring av flisa materialer er det en større mikrobiell aktivitet enn ved å lagre i heltre, derfor bør man holde virket så lenge som mulig i fast form. Men fordelen med å lagre flis er at man har forsyningssikkerhet og med det er en større fleksibilitet for uforutsette stopp i løpet av året, for eksempel blir det for kaldt til at man får flisa, flishoggeren er i ustand eller at en ikke får tak i virke. Og det kan brukes mer rasjonelt transportutstyr og med det en lavere transportkostnad. Ulemper ved lagring er en større risiko for substansstap og da også energitap, soppdannelse og med det arbeids miljøproblemer og risiko for selvantennelse (Hohle, 2001). I tillegg er man avhengig av å ha en plass så man unngår fremmedlegemer i flisa, det bør helst være betong eller asfalt.

I Norge regner man soppsporekonsentrasjoner over 3000 sporer pr. m³ luft (Grønlien, Fæste, & Tengedal, 1988).

Det ble gjennomført et forsøk på Gjøvik fra den 3. oktober til 3 desember 1977 av Gislerud, O & Grønlien, H. Her ble det opparbeidet en haug med flis på en asfaltert plass og med en høyde på ca. 3 m. I løpet av forøket var middeltemperaturen i oktober på +5,6 °C og november på +2 °C. I løpet av de to første ukene steg temperaturen til 60 °C for de indre deler av haugen, noe som holdt seg 2-3 uker før temperaturen falt ned på 20-30 °C. I bunn og ytterkant fulgte temperaturen mer omluft temperaturen. Konklusjonen ble at fuktigheten sank i de indre

delene, fra tørrstoff på 45 % (55 % fuktighet) ved oppstart til ca. 60 % (40 % fuktighet). Men det ble fuktigere for de ytre og øvre deler av haugen. Tørrstofftapet var størst for blader og nåler, og minst for hel ved (Gislerud & Grønlien, 1977).

Det ble også gjennomført forsøk med lagring i driftsbygning (1), betongsilo (2) og betongsilo med en 0,5 kW vifte som ventilerte de første 6 uken (3). Ved innlegging av flisa var fuktigheten på henholdsvis 39,42 og 40%, slutt fuktighet på 33, 27 og 28%. Temperaturen ble også her målt og i lager 1 kom temperaturen opp i 60 °C etter de første 2-3 ukene, men i lager 2-3 var temperaturen på rundt 40 °C. I lager 3 med vifte hold varmen seg stabil fram til vifta ble skrudd av og varmen steg fort opp til ca. 40 °C. For lager 1 ble det funnet mest sopp sporer og for lager 2 og 3 temmelig likt (Gislerud, Skog og energi- ved og flis, sluttrapport nr 515, 1984).

Temperaturøkningen skyldes som nevnt den mikrobielle aktiviteten, ved lagring av flis så vil temperaturen kunne stige til 60 °C i løpet av de første 2-3 ukene (Lehtikangas, 1999; Codina & López, 2012; forsøk nevnt over), og temperaturen opp til 60 °C kommer fra sopper og over dette kommer bakterienes aktivitet inn. Den optimale temperaturen for sopper og bakterier er ved 25-35 °C og en fuktig mellom 30-60 % (Codina & López, 2012).

Ett annet problem som kan oppstå ved lagring av flis er at den kan selvantenne. Grunne til selvantennelse kan komme av varmeproduksjonen til materialene og transporten av fuktighet, varme og oksygen i hauen. Den dårlige ledningsevnen i hauen gjør at fukt og varme ikke klarer å blande seg med lufta rundt seg. Varmen vil prøve å finne en vei ut, og i området mellom sammenpressa og løse materialer eller mellom flisfraksjone med forskjellig størrelse og eller fuktighet vil det oppstå en selvantennelse (Codina & López, 2012; Ferrero, Lohrer, Schmidt, Noll, & Malow, 2009). For å unngå faren med selvantennelse er det anbefalt og ikke lage flishauene større en 7 m (Hohle, 2001; Krajnc, 2015). I tillegg kan det være en fordel å opparbeide hauen slik at det er spiss topp, for å kunne utnytte skorsteineffekt (Pers.Med Arild Lindberget, Stora Enso. Dette blir gjort ved lageret i Elverum, og det gir best effekt der).

Lagring av flis foregår ved større terminaler og det er en fordel å ha tak over flisa. Men det kan være en billig løsning å sette opp et stolpehus med asfaltert gulv og med lette vegger som dekker såpass at ikke regn kan komme inn. Men i et lager bygge er det viktig med god lufting, for at fukt og sporer kan ventileres ut.

3.2.5 Kunstig tørking.

En del ovner krever tørrer flis en det som er mulig å oppnå ved naturlig tørking eller at man er avhengig av å flise rått eller ferskt virke, og med det få en dårligere forbrenning, dårligere brennverdi og ikke få fyr i fyrkjelen (per.med Dag Bekkedal). Andre grunder for å tørke flis kunstig kan være at man vil ha en lager stabil flis på 20 %, noe redusert flis forbruk. (Totlund, 2008)

Møter en på dette problemet så er det fortsatt mulighet til det, ved å tørke flis kunstig/mekanisk. Ved kunstig tørking blåser man luft med vifte/er som enten er kald luft eller forvarmet luft inn og igjennom flisa. Vi skiller mellom to type tørker; varmlufts tørker som enten kan være sats- eller kontinuerligtørker og kaldluftstørker som kan være binge-, universal- og silotørker (AB eller rund). På norske gårder er det bingetørke (Solli, 1980, s. 88) og universaltørke, som er de to typen som er det går an å tørke flis i. varmlufts tørkene er ikke beregnet for flis. Skal man få brukt ei binge tørke er man avhengig av at innmating og utmatings system er dimensjonert til å frakte flis. Så da står man at med universaltørka som det beste alternativet for tørking av flis.

Ei universal tørke har et kjørbart gulv, som enten består av prefererte stålplater over hele gulvet, eller støpte kanaler med prefererte stålplater over kanalene og det kan også være fiberduk mellom trelister. Den har en hoved kanal som det sitter enten en eller flere vifter og blåser luft inn i, vifta kan enten være en radial (også kalt sentrifugalvifte) eller aksial vifte (også kalt propelvifte). Det har stor betydning på tørkesjikt om det er aksial- eller radialvifte. Aksialvifta kan gi store luftmengder, men sliter mot stort mottrykk, radialvifta kan jobbe mot stort mottrykk, men gir mindre luft enn ei aksial vifte. Universaltørka har mange formål, den kan brukes til å tørke korn, høy, flis og mer. Da man ikke bruker tørka er det mulig å bruke den som et lager. Når man skal ha inn tørkematerialet så kjører man inn med henger eller lignende og tipper lasten. For å kunne få en mer effektiv tørking med kaldluftstørker så kan man forvarme lufta, dette kan gjøres med en gassbrenner, olje/dieselbrenner, el-kjel, vannbatteri fra fyrkjele eller solvarme. For å varme opp 1m^3 luft 1°C , trenger man 1,22 kJ (Schmidt, Grundregler for tørring og lagring af korn, 2017). En annen mulighet er å bruke overskuddsvarme fra vannkraftverk, industri eller lignende, noe som kan fungerte veldig bra. Nedover i Europa der flisfyring er litt lenger fram enn i Norge, bruker man overskuddsvarme fra industrien til å tørke flis. Det er gjort et forsøk av Nordhagen og Gjølsjø på å tørke flis med overskuddsvarme fra minikraftverk, dette blir presenter litt lenger ned

Av andre tørker på markedet til flis finnes det trommeltørker, belte tørker og feed and turn tørker, men disse er beregnet på større anlegg. I prosjektet *frå kratt til kroner* ble det sett på å tørke flis i storskala med bruk av spillvarme fra Hydro Aluminium Sunndal AS. Noe av varmen ble brukt til et fjernvarmeanlegg, men fortsatt spillvarme på 95°C. Det vart planlagt og bruke en belte tørk til dette formålet. Det vart beregnet å kunne tørke et årligforbruk på ca. 80 000 fm³ med furu, fra 55 % til 10% fuktighet (Totlund, 2008).

På markedet finnes det også mobile tørker som kan brukes for å tørke flis, den ene varianten som blir nevnte er containertørkesystem fra Tyske Lauber og den andre et tørkesystem fra svenske Akron.

Lauber L-ENZ er en container/hus som inneholder ei vifte, et varme anlegg som enten produsere varmen selv eller fra overskuddsvarme og et styringssystem, fra denne tørkedelen blir lufta transporter via fleksirør til tørkecontainer eller henger. Disse delen er bygd opp som vanlig plantørke. Med dette systemet kan en både tørke korn, flis og ved for eksempel. Containertørken kan enten være mobil eller en kan ha den stasjonert (Lauber drying technology, 2017). Den andre varianten som skal neves er Akron CDG, dette er en tørke som kan enten brukes som en satstørke eller kontinuerligtørke og kommer i to størrelser 16 eller 32 m³. tørka er bygd opp som en lang henger med prefererte stålplater i bunn, men det som gjør at den skiller seg ut er transportkjede. Flisa blir tippet i fram kant og transporter bakover, og lufta blåst gjennom (Akron, 2017).



Bilde 1 Akron CDG hentet fra hjemme side og Lauber L-ENZ hentet fra hjemmeside

Måten tørketiden blir innstilt på for de to typene er for:

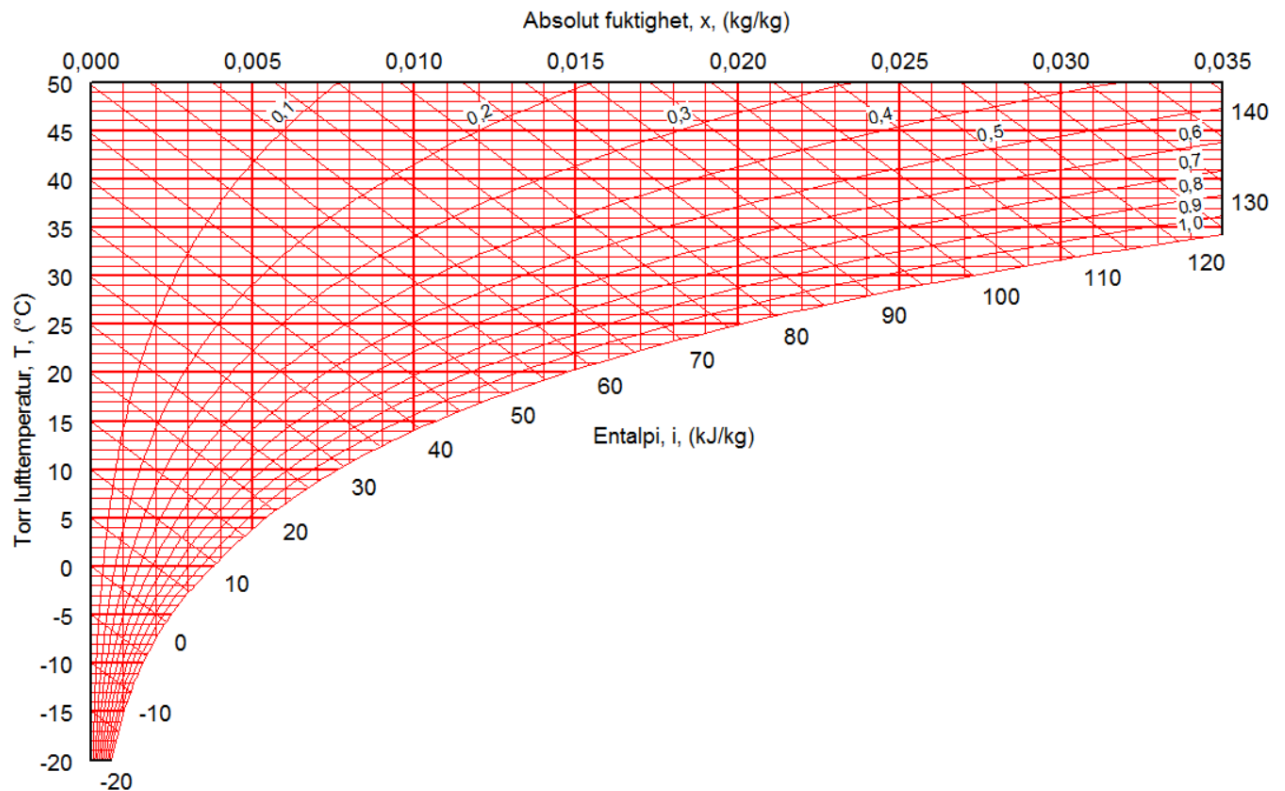
- Akron tørka; som satstørke er det ved vektcelle og som kontinuerligtørke er det utmattingshastigheten på transportbåndet.

-
- Lauber tørka kan man enten stille inn på tid eller man kan legge inn ønsket fuktighet for container/henger med flis.

Den største forskjellen på å tørketiden til korn og flis, er at for flistørking kan en godta at det tar noen dager og få tørka ned flispartiet enten det er på plantørke eller som mobil tørke. For korn er det mer avgjørende å få tørka det ned til lagerstabilfuktighet så fort som mulig. Så med en mobiltørke løsning er det mulig å ha en mer fleksibelløsning, du kan fylle lageret med flis og tørke et nytt lass samtidig som du fyrer opp den flisa i lageret. For Lauber L-ENZ er det som nevnt container til krokhenger eller lastebil og eller henger som blir kobla til tørke delen, med denne løsningen kan en fint kjøre til et flis lager i nærheten og hente flis. Men for Akron CDG tørka blir bare den største modellen levert med drag og hjul og for den minste som ekstra utstyr. I tillegg er Akron CD32 10,3 m lang og 3,3 m bred og med dårlig høyde til bakken. Så denne blir brukt på det stedet du trenger den og flis blir tippa oppi, enten med sjakt system henger eller laster. Så L-ENZ vil jeg men er en mer fleksibel løsning etter som man kan tørk korn i samme del, men du kan tørke andre ting i Akrontørka også, i tillegg virker tørketiden å være lik. Men har man ikke bruk for å tørke korn og vil bruke annet utstyr for å hente flis eller fliser direkte i tørke delen, så vil Akron tørka være en flott løsning.

Men skal man ha en god løsning så kan man gjøre som i forsøket «tørking av flis med overskuddsvarme fra vannkraftverk» her ble det brukt en vanlig container og en Traktor henger som var bygget som en plantørke, noe likt Lauber sin tørke del. Men i stedet for å kjøpe en ferdig lagd container kan man bruke den hengeren eller container man har fra før. Med å lage seg en plantørkedel som kan plasseres i hengeren eller container når man har bruk for å tørke flis. I ende karmen lager man seg en luke eller man kan bruke korn luka som finnes på noen typer, og kobler til en fleksislange/rør og ei vifte på 4-7,5 kW vil holde. Med dette hadde det også vært mulig å bruke overskuddsvarmen fra fyringsrommet. Ved å bruke henger/container som man somregel har selv, kan dette være en billig løsning.

Et godt verktøy for å kunne forstå effekten av oppvarming er et Mollierdiagram, det viser hvor mye et luftskifte tar med seg av energi og fuktighet. Mollierdiagram har fire parametere; relativluftfuktighet som desimaltall (RF%), absoluttfukt (kg/kg), luft temperatur (°C) og entalpi, varmemengde (kJ/kg). Mollierdiagram brukes til å dimensjonere tørker, ventilasjonsanlegg og varmeanlegg.



Figur 6 Mollierdiagram. Fra dataprogram Mollier sketcher 2.1b

Når vi skal dimensjonere tørker er det viktig med noen parametere som lufthastighet, mottrykk, luftbehov og med det hvor stort tørkesjikt en kan ha. Flis

I 2010 gjennomført skog og landskap (nå NIBIO) et forsøk som gikk på «*tørking av flis med overskuddsvarme fra vannkraftverk*», for å finne ut om det gikk an å bruke spillvarmen fra produksjonen til å tørke brenselflis. Dette forsøket ble gjennomført ved to vannkraftverk, et i Viksdal i Gaular kommune, Sogn og Fjordane og ved Kleive i Molde kommune, Møre og Romsdal. Tørkene som ble brukt til forsøket var en container og en traktorhenger, som vart bygg som en universaltørke/plantørke. Det ble brukt ei vifte på 4 kW til og blåse lufta fra kraftstasjonen og til tørka (henger og containeren). En container med flis som inneholdt 28 m^3 , ble flisa tørket ned fra 52 prosent til 7 prosent på under 3 dager. Med det økte den effektive brennverdien til lasset fra 15 314 kWh til 24 013 kWh. Til dette ble det brukt 270 kWh elektrisitet til vifta, eller 1,1 prosent av energien i flis lasset. (Nordhagen, 2010) (Bauman, 2017).

Det er gjort flere forsøk på å tørke flis i plantørke med solfangertak, et av disse forsøkene ble gjennomført på Sel i Gudbrandsdalen sommer 1988, 4-8 juli. (Grønlien, Fæste, & Tengesdal, 1988). Tørka hadde to tørkeavdelinger på 85 m^2 , og det satt to aksial vifter på 11 kW. Viftene

ga hver 55 000 m³/h mot et mottrykk på 200 Pa (20 mm VS), viftene var monter så man kunne bruke begge eller bare den ene vifta om gangen. Til tørke forsøket ble det brukt en avdeling og ei vifte. I forsøket ble det tørka 72 lm³, flisa bestod av bjørk, or, gran og furu. Flisa ble lagt inn med et lag på 80-90 cm tykt lag. I tørkeperioden ble det målt et mottrykk på ca. 150 Pa (15 mm VS) og en lufthastighet på 18 cm/s gjennom flissjiktet. Flisa hadde en gjennomsnittsfuktighet på 37,8 % når tørkingen startet og allerede etter ett døgn hadde bunnsjiktet nådd 14 %, men for midtsjikt og toppsjikt ubetydelig effekt. Andre døgn med tørking hadde midtsjiktet nådd 15% og ved avslutningen av forsøket etter 5 dager hadde middelfuktigheten nådd 13,7 %. Men det vart fortsatt registrert steder i toppsjiktet der fuktigheten var på 35 % (Grønlien, Fæste, & Tengesdal, 1988)

Hans Morten Sandbæk i Løten bygde seg et kombinert tørke og flis lager, der han fliser inn et årlig forbruk på ca. 400 fm³ til vintersesongen. Han har bygd tørka som en plan tørke med perforerte stålplater over hele, tillegg er flissiloens golv med samme stålplater. I høst måneden blir tørke delen brukt som buffer for korn og da lagres det sjikt mellom 1,20-1,80. Men da tørka blir fylt med flis er det en lagrings høyde på ca. 3-4 m og det blir kjørt tørka på høsten og så lenge det er behov, men i flis siloen blir tørka kjørt da det er fullt. Tørka en aksial vifte på 11 kWh og lufta blir forvarmet av et varmtvannsbatteri på 100 kWh. Grunnen til å tørke flis er å unngå driftsstans i form av at flisa fyser til is.

Et større lager og tørkeanlegg er å finne hos Atle og Jon Asle Næss på Inderøy, Nord-Trøndelag. Her ble det med støtte fra bioenergiprogrammet opparbeidet et kombiner lager og tørkebygg på ca. 2000 m². Fordelt på 2 tørkeenhet i midten av bygget á 6*20 m til sammen 240 m². Resten av bygget består av flis lager á 2 stk ca. 800 m². Bygget er sammenhengen åpent, men med 3 m høye betongvegger i tørke avdelingene. Tørka er bygget opp som plantørke med kanaler og perforerte rister over. I hovedkanalen sitter det to vifter på 15 kW (100 000 m³/h). Undertaket i bygget er kledd inn for å bruke solvarmen til tørka (solfanger system) og i tillegg sitter det et varme batteri fra flisfyrings anlegget på gården. På gode dager har det blitt målt en økning av tørkelufta på 50 °C og varme batteriet har en økning på 20°C. Med råer flis fyller dem 2,5 m, men med tørrer flis 3 m. dimensjonert for 800 m³ med flis, og med varme på 50 °C kan dem tørke flis ned til ca. 15 % i løpet av 1-3 dager. Det har ingen ting for seg å tørke flis til noe mer og det hadde nokk vært like bra om man får det ned til 20 %, men på grunn av at dem levere flis til et en ovn som trenger så tørr flis så blir det såpass. Men flis vil trekke til seg fuktighet så man havner på ca. 20 % uansett vis man tørker til 15 %. Den mest effektive måten å tørke på er å fylle opp tørka med flis og la det gå varmgang i flisa, for

så å ventilere bort varmen ved å kjøre tørka i noen timer. Da kan man bli kvitt mellom 7-10 % pr gang. Gjør man dette noen ganger så har man fått en billig måte å tørk kunstig (Kjent begrep innen korn og høy, at man magasinerer varme å ventilere bort når været lar seg gjøre det) (Pers. Med Jon Asle og Atle Næss).

I prosjektet «frå kratt til kroner» ble det i samarbeid med teknisk planlegging ved landbruksavdelingen i Møre og Romsdal fylke, sett nærmer på prosjektering og bruk av mindre tørkeanlegg. Etter som naturlig tørking vil følge omgivelsens klimavarianser tett, vil et tørke anlegg på Vestlandet være eneste løsning for å kunne få til tørr nok flis. Det ble sett på å bygge et kombinert tørke og lager, med en tørkeavdeling i midten av bygget på 105,6 m² og med lageravdeling for rå flis og tørr flis på vær sin side á 126 m². Tørkadelen ble planlagt som universaltørke med solfanger system, der taket og sør veggen av bygget skulle kles inn. I sørveggen ble også hovedkanalen tenkt, med 2 aksialvifter hver på 11 kW. Det ble planlagt et tørkesjikt med flis på 2 m (eller 3m lagringshøyde til høy) og med furu som utgangspunkt samt en fast masse prosent på 40 %, kunne man tørke 200 lm³ på et innlegg. Total kapasitet med 4 m lagringshøyde i rå- og tørrlagra samt 2 m med flis i tørka, skulle bygget kunne ha 1200 lm³ med brenselflis av furu. Mottrykk ved 2 m lagring høyde ble satt til 50 mm. VS og vifte kapasitet til 90 000 m³/h. Det ble beregnet at solfangersystemet kunne øke tørke lufta med 3°C, men et solfangersystem har stor variasjon. Er det en overskyda dag kan man kanskje få økning på 1°C, og på solrike dager 5-6 °C (Totlund, 2008).

Tabell 10. Beregna tørketid og strømforbruk ved tørking av skogsflis frå 40 % ned til 20 % fuktinnhald.

Tørkeanlegg	Tørketid, timer	Forbruk strøm, kWh	Merknad
Kaldluftstørke utan solfangaranlegg	163	3 585	Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	96	2 109	Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	74	1 630	Solrik og varm sommardag

Tabell 7. Strømkostnader knytt til tørking av skogsflis frå 40 % ned til 20 % fuktinnhald og tilbakebetalingstid for solfangaranlegg.

Tørkeanlegg	Tørkekostnad i kr per innlegg (200 lm ³)		Tilbakebetalingstid for solfangaranlegg, tal innlegg på tørka		Merknad
	1 kr/kWh	1,50 kr/kWh	1 kr/kWh	1,50 kr/kWh	
Kaldluftstørke utan solfangaranlegg	3585	5 378			Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	2109	3 163	51	34	Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	1630	2 444	38	26	Solrik og varm sommardag

Tabell 9. Beregna tørketid og strømforbruk ved tørking av skogsflis frå 50 % ned til 20 % fuktinnhald.

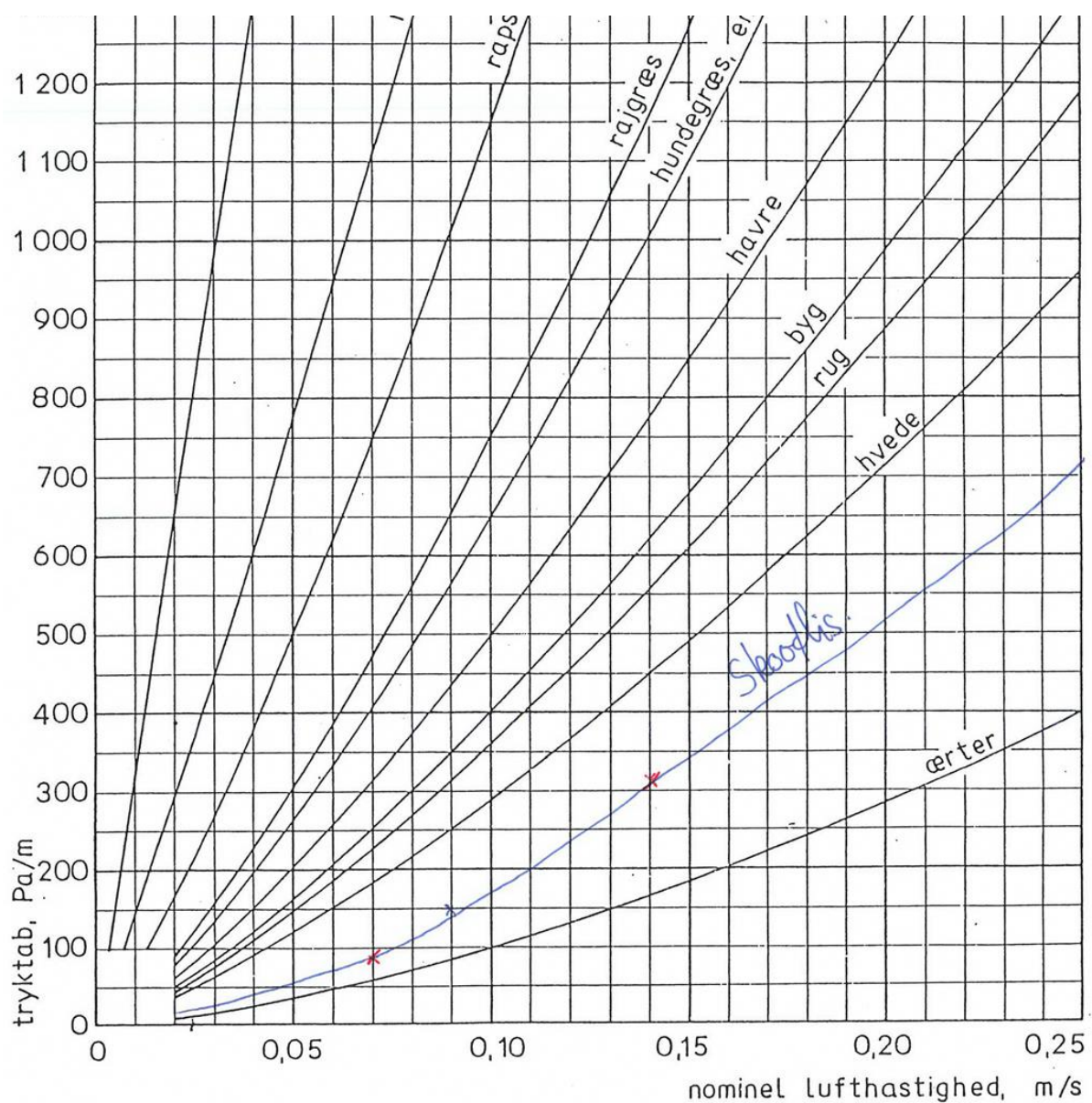
Tørkeanlegg	Tørketid timer	Forbruk strøm kWh	Merknad
Kaldluftstørke utan solfangaranlegg	293	6 453	Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	173	3 796	Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	133	2 933	Solrik og varm sommardag

Tabell 4. Strømkostnader knytt til tørking av skogsflis frå 50 % ned til 20 % fuktinnhald og tilbakebetalingstid for solfangaranlegg.

Tørkeanlegg	Strømkostnad i kr per innlegg (200 lm ³)		Tilbakebetalingstid for solfangaranlegg, tal innlegg på tørka		Merknad
	1 kr/kWh	1,50 kr/kWh	1 kr/kWh	1,50 kr/kWh	
Kaldluftstørke utan solfangaranlegg	6 453	9 680			Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	3 796	5 694	28	19	Vanleg sommardag
Kaldluftstørke med solfangaranlegg	2 933	4 400	21	14	Solrik og varm sommardag

Figur 7 Tørke tid og kostnader ved tørking av flis. Hentet fra "frå kratt til krone"

For å få til en god tørking bør man ha en nominell lufthastighet på minimum 11-14 cm/s (0,11-0,14 m/s) målt over flis sjiktet (Pers. Med Gunnar Schmidt, Energi og teknikkrådgiver ved Byggeri & teknik I/S, Danmark). Det er viktig med riktig luft gjennom strøm for å få til en effektiv tørking av materialet. Går luftstrømmen for fort vil ikke lufta kunne ta med seg fuktigheta. En praktisk måte å finne rett luftgjennomstrøm er å legge et a4- ark over sjiktet, blir det litt bevegelse i arket har man optimal luftgjennomstrøm. Det er mulig og tørke dobbelt så stort sjikt som korn (Totlund, 2008) (Grønlien, Fæste, & Tengesdal, 1988). I forsøket til (Johansson, 1979) fant han ut at lufta går enklere gjennom flis en for korn, med det kan man enten bruke mindre vifte eller man kan tørke større sjikt. Et annet aspekt er hvordan



Figur 8 diagram for gjennom blåsing av luft og mottrykk. Hentet fra *grundregler for tørking og lagring af korn* (tegnet av Gunnar Schmidt)

homogeniteten/flisstørelse og hvordan man opparbeider flisa. Er det mye finstoff og man jevner godt kan flis bli såpas kompakt at det blir tyngre å presse luft gjennom flissjiktet.

For å finne den totale luftmengde behovet ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ golv). Tabellen satt opp under viser luftbehov ved ei tørke på som nevnt i prosjektet «frå kratt til krone». Fra $\text{cm/s} \rightarrow \text{m/h}$ kan man regne om med faktoren 36.

Lufthastighet cm/s	Mottrykk, mm VS	Trykkfall kanal	Sum trykkfall	Lufthastighet m/h	Luftmengde behov 105,6m ²
11	20	-		369	38 966
12	25	-		432	45 619
14	32	-		504	53 222
20	53	-		720	76 032
23	60			828	87 437

Tabell 2 Beregning av luftbehov

3.2.6 Økonomi, utnyttelse av virke og logistikk.

Norske stat har satt som mål å øke bruken av biobrensel til 14 TWh innen 2020 (Det kongelig miljøverndepartement, 2007). Skogen er en den største kilden til biobrensel, men ved å utnytte alt virke kan vi nå dette målet om 14 TWh. I følge tall fra (Hohle, 2001) er det mulig å hente ut 7,4 TWh til som ikke er i bruk, hvis man utnytter lauvtrevirke (2,9 TWh) og rester fra bartrevirke som GROT, massevirke og tyningsvirke. For en bonde er det nok virke til å drive et flisfyringsanlegg, med å ta ut virke fra åkerkanter og rydding av beite. I følge (Norsk bioenergiforening, 2011) har vi mulighet til å ta ut 40 TWh/ år fra skogen, disse tallene kommer av at tilveksten er større en avvirkingen som gir et potensial på 29,4 TWh og i tillegg har dem lagt inn 15 % på økt veibygging som vil gi 11,1 TWh. Ved dagens vei bygging for eksempel ny riksvei 3/25 fra Grundset (Elverum) til Brenneriro (Løten) blir GROT og restvirke, flist rett til skogs/bakken og grunnen er at ikke Statens vegvesen ikke ser lønnsomheten i og ta ut eller legge til rette for filsing til terminal. Kunne man ha flisa virket i

en haug der dem som har fyringsanlegg kun komme og forsyne seg gratis, kunne det vert med på å få opp bruken.

Det blir fort mye transport med flisvirke. Skal man få til en god logistikk er det for heltrevirke mest økonomisk å transporter i container etter som det har en lav fastmasseprosent (Totlund, 2008) (Norsk bioenergiforening, 2011). For heltre er det en fordel å frakte i fast form og for GROT viser det seg å være rasjonelt og frakte bunta GROT i stedet for løst (Lehtikangas, 1999). Det er også en fordel å få tørka virket før man transporterer det til terminal eller silo/lager (Filbakk, 2013).

I master oppgaven til Fløystad gikk han gjennom kostnaden til dem som hadde fått støtte fra bioenergiprogrammet. For flisfyrings anlegg fant han en:

- Investeringskostnad på 8 588 kr/kWh, kapital kostnad på 48 øre/ kWh.
- Brensel kostnad på 21 øre/kWh.
- Vedlikehold og arbeidskostnad på 2 øre/kWh
- Kostnad på 57 øre/kWh

Med en elpris på 84 øre/kWh og fyringsolje på 117 øre/kWh, blir det fort lønnsomt å investere i fyringsanlegg. Han fant også ut at motivasjonen til investering lå i mindre energikostnad og bedre komfort (Fløystad, Biovarme for folk og dyr- kostnader og brukererfaringer fra eiere av mindre fyringsanlegg med flis, ved eller halm, 2013)

I følge NVE ligger prisen på skogsflis med fuktighet under 35 % på 21 øre/kWh og for over 35 % på 25 øre/kWh. Det interessante i denne boka er anleggskostnader som viser at biokjel som tåler fuktigflis har en gjennomsnitts investeringskostnad 1000 kr/kWh mer en tørr flis anlegg. Så er man i et område der faren for å måtte bruke kunstig tørking, kan det være lønnsomt å investere i et våtflisanlegg for å kunne klare seg med naturlig tørking. (Hofstad, 2011)

4. Overordnet Diskusjon og konklusjon

Naturlig tørking av flis er en rimelig metode for tørking av flis til brensel, men det er krevende å få ønsket kvalitet på flisa. Det er spesielt vanninnholdet som er vanskelig å kontrollere. Konsekvensen av dette er at brennverdien og dermed varmeutbyttet fra et flisfyringsanlegg ikke blir som forutsatt. Dette samsvarer med funn gjort av (Hohle, 2001). Fuktig flis kan også være vanskelig å lagre over tid rett og slett fordi den mikrobielle aktiviteten gjør av flisa råtner og fungerer teknisk dårlig i et komplisert fyringsanlegg. Derfor er det anbefalt og holde rundtømmer så lenge som mulig før det blir flisa (Krajnc, 2015; Totlund, 2008; Pers. Med Dag Bekkedal). Et annet problem med å lagre i flis hau er at temperaturen kan bli så høy og med litt dårlig opparbeiding av hauen, så kan det selv antent og det kan være så store konsentrasjone av sopper og mugg sporer (Codina & López, 2012).

For å få en god virkningsgrad på fliskjelen er det ønskelig å komme ned under 20 % vanninnhold (ETA Norge; HDG; Norsk bioenergiforening, 2011) og lagerstabil flis på under 22 %, noe som i praksis krever kunstig tørking. Fuktighets prosent i biobrensel blir gitt på forhold av rå vekt i motsetning til trelastindustrien som bruker forhold av tørr vekt.

Forsøk gjort på naturlig tørking viser at flisvirke vil tørke fortest de først 2- 3 ukene. En effektiv måte å få til en god tørk er å benytte seg av syrefelling (Johansson, 1979) og bladene bør få kommet ut (Nordhagen & Gjølshjøl, 2013). Virke kan tørke fra ferskt virke på 45-55 % og ned til 30-35 % i løpet av våren og sommeren. Ved å dekke velta/lunna om høste så er det mulig å oppnå en gevinst på 10 % i forhold til udekt. Ved Tørking i haug vil de indre delene av haugen bli tørr, men for de ytre delene være fuktig eller fuktigere samt at supstanstap og energi tap kan være stor (Gislerud & Grønlien, 1977) (Codina & López, 2012).

Så ensete mulighet for å sikre seg 22 % og 20 %er ved kunstig tørking. Det mens at man skal kunne lagre dobbelt så høyt tørke sjikt med flis som ved tørking av korn (Totlund, 2008) (Solli, Fyring med ved og brenselflis: for gårder og småhus, 1980), men når det er mulig å tørk flis på 4 m sjikt og bare så vidt 1,80 med korn i lager/tørka til Hans Morten Sandbæk så kan man spørre seg. Lufta går lettere gjennom flisa enn for korn ifølge forøket til Johansson, K 1979. Så faktorer som påvirker lagringa er; størrelsen på flisa (homogeniteten) består flisa av mye finstoff eller består den av store og ujevne fraksjoner for luft tar den enkleste vei. Den andre faktoren er hvordan man opparbeider materialene, har det blitt flist direkte inn, er det kjørt inn med henger/ container og er overflata tråkka eller jevna. Tørking i universaltørke er en god

mulighet. Investering i ei universal tørke kan i tillegg fordele kostnadene på flere bruksområder. En annen løsning er å bygg seg en plantørke ramme som man kan ha i en henger eller container, da kan man bruke overskudds varme fra fyrrom o.l eller man kan tørke med kaldluft. Man kan godta å ha lenger tørkeperiode på flis en for korn, da man helst bør få korn så lagerstabil så fort som mulig. Og når man ikke bruker tørkehenger til tørke kan man ta ut tørke delen og bruke henger/container til andre formål.

Uansett bør man ha en minimum luftstrøm over sjiktet på 11-14 cm/s og mate på så mye luft som vifta tåler.

Tørking av biobrensel følger de klimatiske forutsetningen (Röser, et al., 2011). Fuktighet i tre er fritt og bundet, og fibermetningspunktet ligger på fra 23- 35 % (Norsk Treteknisk Institutt, 2009). Det har vært ment at naturlig tørking kan bar skje ned til fibermetningspunktet, men dette er feil. Den viktige faktor/ begrep er likevektsfuktighet (Pers.Med Simen Gjølshøj; Codina & López, 2012; Lehtikangas, 1999). Trevirke er hygroskopisk materiale som vil si at når det er omgitt av fuktig luft vil det oppta fuktighet, men om det er omgitt av tørr luft vil det avgi fuktighet (Edvardsen & Ramstad, 2014, s. 91; Norsk Treteknisk Institutt, 2009). Så er det høy luftfuktighet og da lav relativluftfuktighet vil det avgi fukt og ved lav temperatur og høy relativluftfuktighet vil det trekke til seg. Det samme gjelder tørr flis også, tørker man flis ned til 15 % så trekker den til seg 2-5 %.

I Norge har vi et potensial til å ta ut 40 TWh ifølge (Norsk bioenergiforening, 2011) fordelt på mulig avvirkning og en ny vei bygging på 15 %. I tillegg er det nok virke langs åkerkanter, rydding av beite/kulturlandskap og vegkantrydding. Med dette er det god tilgang på råvarer. Men det som gjør at folk ikke ser gevinsten med biovarme er den lave strømprisen, men med en gjennomsnitts kostnad på 57 øre/kWh og for strøm 83 øre/kWh, så er det vanskelig å mene at det er ulønnsomt med å bygge flisfyringsanlegg (Fløystad, Biovarme for folk og dyr-kostnader og brukererfaringer fra eiere av mindre fyringsanlegg med flis, ved eller halm, 2013). En faktor som kan være er at man må ha tørr flis for best utnyttelse, men med en kostnad på 1000 kr/kWh for å invester i et våtfyringsanlegg så kan det nesten lønne seg. Da kan man fyre alt av virke, fersk eller bare naturlig tørket. Solenergi er i vinden om dagen både som solcellepanel og som solfangersystem, og dette kan også bli en konkurrent mot biobrensel. Men at det vil komme aggregat som kan bukes på dagens fyringsanlegg vil man nok se. Tanken slår en å prøve med en knottgenerator, men da er det fortsatt pyrolyse som driver motoren. Akkurat som strøm/ energi fyringsanlegget til Evenstad.

Så man må kunne godta at man ikke kan få en optimal fuktighet uten å tørke kunstig og må da regne med kostnaden til strøm, hvis man godtar å tørke flis kunstig. Eller så er det også viktig med god planlegging og logistikk. Man bør ligge på forskudd med hogst av flisvirket og man må passe på at det er mulig å komme til med flishogger/lastebil/ traktor henger.

5. Korte anbefalinger

5.1.1 Naturlig tørking

- Syrefelling gir en god start på naturlig tørking → best effekt ved fult lauv sett.
- Bruk vår og sommermåneden → kan nå fuktighet på 30-35 % i løpet sommeren.
- Dekk til velta/lunna på høsten → kan gi 10% mindre fuktighet.
- Plasser velta/lunna på et sted med god luft og sol tilgang.
- Få velta/lunna opp fra bakken ved å legge under rundtømmer, eller kryss-legg virke i bunn for å få velta/ lunna enda høyere over bakken.
- Lag velta/ lunna luftig → heltre blir nok ved å legge samme retning, men for heltre og energivirke kan det hjelpe å kryss-legge.
- Lag med svak overheng så ikke nedbør kan renne langs flisvirket.
- Tenk på videre logistikk/ filsing.
- Unngå urenheter som stein og jord.

5.1.2 Kunstig tørking.

- Luftgjennom strøm på 11-14 cm/s → ved å legge et a4 over tørkematerialet, er det så vidt bevegelse i arket kan man ha en optimal gjennomstrøm.
- Kan lagre dobbelt høyde av korn → kommer an på flisstørrelse og hvordan flisa er lagt inn. Lufta går letteste vei.
- Bruk helst varme fra solfangersystem, varmebatteri → men umoralsk å bruke gass eller olje for å tørke flis.
- Mulig og tørke flis med overskuddsvarme.
- Du kan godta at det tar litt lenger tid å tørke flis.
- Gevinst med høyere energitetthet, utnyttings grad på kjele og flisa, bedre forbrenning og lagerstabil flis.
- Men naturlig tørking bør gjennomføres, utgangsfuktighet til flisa har mye å si om videre tørking.

6. Referanser

- Akron. (2017, Mars 25). *flistork CDG*. Hentet fra akron: <http://akron.se/Uploads/Products/akronflistorkcd16-32.pdf>
- Bauman, C. (2017, Januar 23). *Varme fra vannkraft til tørking av flis*. Hentet fra Forskning.no: <http://forskning.no/skogbruk-alternativ-energi/2010/03/varme-fra-vannkraft-til-torking-av-flis>
- Belbo, H., & Gjølsjø, S. (2008). *Trevirke-Brennverdier og Energitetthet*. Ås: Norsk institutt for skog og landskap. Hentet fra http://www.skogoglandskap.no/filearchive/viten-01-08_trevirke_brennverdier.pdf
- Björheden, R., Grönlund, O., & Lundstöm, H. (2013). *Är det lönsamt att täcka groten?* Uppsala: Skogforsk.
- Bull, E., & Tvedt, K. A. (2017, Mars 17). *Den Industrielle Revolusjon*. Hentet fra Store norske leksikon: https://snl.no/den_industrielle_revolusjon
- byggkvlitet, D. f. (2010, mars 26). *byggeteknisk forskrift (TEK 10)* . Hentet fra dibk: <https://dibk.no/byggeregler/tek/2/9/9-10/>
- Codina, M., & López, I. (2012). *XI Drying of wood-forest chips*. Biomassradecenter 2. Hentet fra <http://www.biomassradecentre2.eu/wood-biomass-production/technical-backgrounds/>
- Dalen, L. S. (2012, Februar 20). *Så flisa fyker*. Hentet Februar 27, 2017 fra Forskning.no: <http://forskning.no/skog-skogbruk-alternativ-energi/2012/02/sa-flisa-fyker>
- Det kongelig miljøverndepartement. (2007). Norsk klimapolitikk. (*St.meld.nr.34 2006-2007*). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/c215be6cd2314c7b9b64755d629ae5ff/no/pdfs/stm200620070034000dddpdfs.pdf>
- Edvardsen, K. I., & Ramstad, T. Ø. (2014). *Trehus* (5. utg.). Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- ETA Norge. (u.d.). *ETA Hack 20-200 kW. Brosjyre*. Skotselv: ETA Norge AS.

-
- Ferrero, F., Lohrer, C., Schmidt, B. M., Noll, M., & Malow, M. (2009). *A mathematical model to predict the heating-up of large-scale wood piles*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 22, Issue 4 . Hentet fra <http://dx.doi.org.ezproxy.hihm.no/10.1016/j.jlp.2009.02.009>
- Filbakk, T. (2013). *Fuels quality of forest biomass intended for chips and pellets: the influence of raw material characteristics, storage and handling*. Doktorgradsavhandling, Universitetet for miljø- og biovitenskap . Hentet fra <http://statisk.umb.no/ina/forskning/drgrader/2012-Filbakk.pdf>
- Filbakk, T., Høibø, O. A., Dibdiakova, J., & Nurmi, J. (2011). *Modelling moisture content and dry matter loss during storage of logging residues for energy*. Scandinavian Journal of Forest Research, 26:3 . doi: 10.1080/02827581.2011.553199
- Filbakk, T., Høibø, O., & Nurmi, J. (2009). *Modelling natural drying efficiency in covered and uncovered piles of whole broadleaf trees for energy use*. Biomass and Bioenergy; Volum 35, Issue 1, January 2011. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.hihm.no/science/article/pii/S0961953410003259>
- Fladstad, O. (1977). *Tørke- og lageranlegg for korn på gårdene* (2.. utg.). Ås: Landbruksteknisk Institutt.
- Fløystad, K. G. (2013). *Biovarme for folk og dyr- kostnader og brukererfaringer fra eiere av mindre fyringsanlegg med flis, ved eller halm*. Universitetet for miljø- og biovitenskap, institutt for naturforvaltning . Ås: . Hentet fra <http://www.innovasjon Norge.no/globalassets/old/pagefiles/32368/masteroppgave-floystad-2013.pf.pdf>
- Fløystad, K. G., Halvoren, Ø., & Qvenlid, S. (2013). *Effektundersøkelse Bioenergiprogrammet for landbruket*. INNOVASJON NORGE. Hentet fra <http://www.innovasjon Norge.no/globalassets/old/pagefiles/28866/varmesalg-effektundersokelse.pdf>
- Francescato, V., Antonini, E., & Bergomi, L. Z. (2009). *Wood fuels handbook*. AIEL-Italian Agriforestry Energy Association. Hentet fra

http://www.biomassradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf_vsebine/literature/wood_fuels_handbook.pdf

Gislerud, O. (1984). *Skog og energi- ved og flis, sluttrapport nr 515*. Oslo: Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd.

Gislerud, O., & Grønlien, H. (1977). *Lagring av heltre flis*. Ås: Norsk institutt for skogforskning. Hentet fra <http://www.nb.no/nbsok/nb/1d0896c21cbd2b1768959a8ce3ae3bdb#3>

Gjerdåker, B. (2002). *1814-1920 Kontinuitet og modernitet: bind 3. Norges landbrukshistorie* (Vol. III). Det Norske Samlaget .

Gjølsjø, S. (2007). Riktig fuktighet i energivirke er god økonomi. (C. Baumann, Red.) *glimt* 03/07. Hentet fra http://www.skogoglandskap.no/filearchive/glimt_03_07_fuktighet_energivirke.pdf

Gjølsjø, S., & Whilelmsen, G. (2010). *Lagringsforsøk av skogbrensel - Halden*. Ås: Skog og landskap. Hentet fra http://www.skogoglandskap.no/filearchive/oppdragsrapport_11_10_lagring_av_skog_s Brensel_en_orienterende_undersokelse_i_halden_i_2009.pdf

Grønlien, H. H., Fæste, I., & Tengesdal, G. (1988). *Tørking av brenselflis i universaltørke med solfanger*. Ås: Skogforsk.

Hagen, A. (2006). *Tre som brensel i innlands- Norge*. Fylkesmannen i Hedmark. Hamar: Grønn varme fra hedmarkskogen. Hentet fra <http://www.gronnvarme.no/pdf-filer/Tre%20som%20brensel.pdf>

HDG. (u.d.). HDG Kompakt 100/150/180. *Brukermanual*. Massing, Tyskland: HDG Bavaria GmbH.

Hofstad, K. (Red.). (2011). *Kostnader ved produksjon av kraft og varme* . Oslo: Norges vassdrag og energidirektorat . Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/haandbok/2011/haandbok2011_01.pdf

Hohle, E. E. (Red.). (2001). *BIOENERGI miljø, teknikk og marked*. Brandbu: Energigården.

-
- Innovasjon Norge og NOBIO. (2006). *Gardsvarmeanlegg- en byggveileder*. Hentet fra <http://www.flisvarme.no/Tips/gardsvarme.pdf>
- Inovasjon Norge. (2017). Bioenergiprogrammet. Hentet fra <http://www.innovasjonnorge.no/no/finansiering/bioenergiprogrammet/>
- INTERNAL PROJECT INFORMATION NOTE 09/06 . (2006). *Small Roundwood – Pilot Drying Trials* . (P. Webster, Red.) Forest Research. Hentet fra [https://www.forestry.gov.uk/pdf/FR_BEC_Small_roundwood%E2%80%93pilot_drying_trials_IPIN_0906_2006.pdf/\\$FILE/FR_BEC_Small_roundwood%E2%80%93pilot_drying_trials_IPIN_0906_2006.pdf](https://www.forestry.gov.uk/pdf/FR_BEC_Small_roundwood%E2%80%93pilot_drying_trials_IPIN_0906_2006.pdf/$FILE/FR_BEC_Small_roundwood%E2%80%93pilot_drying_trials_IPIN_0906_2006.pdf)
- Johansson, K. J. (1979). *Tørking av bjørk til brenselsformål*. Ås: Norsk institutt for skogforskning. Hentet fra <http://www.nb.no/nbsok/nb/78ce2bc866c31d563d11a36aaa0dfe10?index=5#0>
- Klima- og miljødepartementet. (2016, 10 12). Foreslår forbud mot oljefyring fra 2020. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/foreslar-forbud-mot-oljefyring-fra-2020/id2515519/>
- Krajnc, N. (Red.). (2015). *Wood fuels handbook*. Pristina: Food and agriculture organization of the united nations (FAO). Hentet fra <http://www.fao.org/3/a-i4441e.pdf>
- Landbruks- og matdepartementet. (2016, April 29). Bioenergi. Oslo: Landbruk- og matdepartementet . Hentet Januar 30, 2017 fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/skogbruk/innsikt/bioenergi/id2001102/>
- Lauber drying technology. (2017, Mars 10). *Lauber-holztrockner*. Hentet fra L-ENZ Lauber dryer for bulk solids: http://www.lauber-holztrockner.de/tl_files/images/l-enz/downloads/L-ENZ_brochure_engl-2015-08.pdf
- Lehtikangas, P. (1999). *Lagringshandbok för trädbränslen*. SLU Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Mytting, L. (2011). *Hel ved, alt om hogging, stabling, og tørking-og vedfyringenssjel*. Oslo: Kagge forlag.

- Nordhagen, E. (2010). *Tørking av flis med overskuddsvarme fra vannkraftverk*. Glimt, skog og landskap.
- Nordhagen, E., & Gjølshjøl, S. (2013). *FLIS OG FLISEGENSKAPER, en undersøkelse av brenselflis i det norske flismarkedet*. Ås: Skog og landskap. Hentet fra http://www.skogoglandskap.no/filearchive/rapport_13_13_flis_og_flisegenskaper.pdf
- Nordhagen, E., & Gjølshjøl, S. (2013). *Heltretørking av Bjørk; syrefelling som metode for reduksjon av fuktighet i en heltrevelte av bjørk i Aumdalen, Tynset*. Ås: Skog og landskap. Hentet fra http://www.skogoglandskap.no/filearchive/oppdragsrapport_04_13_heltretorking_av_bjork.pdf
- Norsk bioenergiforening. (2011). *Veien til biovarme, Manual for produksjon av biovarme fra bionrensel* (2.. utg.). (A. K. Martinsen, & L. Granlund, Red.) Oslo: Norsk Bioenergiforening. Hentet fra http://nobio.no/upload_dir/pics/media/rapporter/veien-til-biovarme_hoyopploselig_1.pdf
- Norsk Gartnerforbund. (2014). *Biobrenslar*. Oslo: Norsk Gartnerforbund. Hentet fra <http://www.ngfenergi.no/sites/default/files/files/Temahefte%20Biobrenslar.pdf>
- Norsk Treteknisk Institutt. (2009). *Treteknisk Håndbok* (4. . utg.). Oslo: Treteknisk .
- Norsk treteknisk institutt. (1998). *Fokus på tre, Tømmervanning*. Oslo: Norsk treteknisk institutt. Hentet fra <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-16.pdf>
- Nurmi, J., & Hillebrand, K. (2007). *The characteristics of whole-tree fuel stocks from silvicultural cleanings and thinnings*. Biomass and Bioenergy, Volum 31, Issu 6, . Hentet fra <http://dx.doi.org.ezproxy.hihm.no/10.1016/j.biombioe.2007.01.010>
- Rapport fra skogsflisseminar på Energigården (September 19-20, 2007).
- Röser, D., Mola-Yudego, B., Sikanen, L., Prinz, R., Gritten, D., Emer, B., . . . Erkkilä, A. (2011). *Natural drying treatments during seasonal storage of wood for bioenergy in*

different European locations. Biomass and Bioenergy,35. Hentet fra <http://dx.doi.org.ezproxy.hihm.no/10.1016/j.biombioe.2011.07.011>

Schmidt, G. (2017). *Grundregler for tørring og lagring af korn*. Byggeri & Teknik I/S.

Schmidt, G. (u.d.). *Grundregler for tørring og lagring af korn*. Byggeri & teknik I/S.

Skog og landskap. (2012, Januar 27). *Riktig lagring gir god kvalitet på biobrensel*. (S. Gjølshjøl, Redaktør) Hentet Februar 27, 2017 fra Skog og landskap: http://www.skogoglandskap.no/nyheter/2012/riktig_lagring_gir_god_kvalitet_pa_biobrensel/newsitem

Solli, S. (1980). *Fyring med ved og brenselflis, for gårder og småhus*. Oslo: Landbruksforlaget

Solli, S. (Red.). (1980). *Fyring med ved og brenselflis: for gårder og småhus*. Oslo: Landbruksforlaget. Hentet fra <http://www.nb.no/nbsok/nb/11ce942591754056cc8b1ed826bd2f70?index=1#0>

Stömber, B., & Svärd, S. H. (2012). *Anlæggings- och Förbränningsteknik; Bränslehandboken 2012* (3.. utg.). Stockholm: Värmeforsk. Hentet fra <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/sokmotor/Rapport1234.pdf>

Svanæs, J. (Red.). (2002). *Bioenergi fra treindustrien*. Oslo: Norsk treteknisk institutt .

Totlund, K. K. (Red.). (2008). Frå kratt til kroner. *Prosjektrapport 2005-2008*. Molde: Skogselskapet i Møre og Romsdal, Møre og Romsdal Fylke landbruksavdelinga. Hentet fra https://www.fylkesmannen.no/PageFiles/836873/Fr%C3%A5%20kratt%20til%20kroner%202005%20-%202008%20_prosjektrapport.pdf

Vivestad, H. (2016). *Effekter av investering og drift av varmesalgсанlegg – sysselsetting, økonomi og klimagassreduksjon fra fossile kilder*. Masteroppgave, Norges miljø-og biovitenskapelige universitet, Institutt for Naturforvaltning, Ås. Hentet fra <http://www.innovasjon Norge.no/contentassets/e59c6b400fca4ae89836f80b3e6fe213/masteroppgave-2016-henriette-vivestad.pdf>