



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för skogens biomaterial och
teknologi

Kartläggning av varmgång i produktlager hos svenska pelletsproducenter

Survey of self-heating in product storage at Swedish pellet producers

David Eriksson

Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi 2020:2

Umeå 2020

Kartläggning av varmgång i produktlager hos svenska pelletsproducenter

Survey of self-heating in product storage at Swedish pellet producers

David Eriksson

Handledare: Michael Finell, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Examinator: Mehrdad Arshadi, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap, A2E - Skogens biomaterial och teknologi
Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Kurskod: EX0955
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2020
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien: 2020:2
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Enkät, intervju, pelletslager, pellets, varmgång, självuppvärmning, kartläggning

Sammanfattning

Biobränsle som energislag är heterogent till sin natur och har relativt låg energidensitet, vilka är två icke önskvärda egenskaper när det gäller energibärare. För att motverka detta kan materialet pelleteras. Pellets är en homogen produkt med kända och standardiserade egenskaper, väl lämpade för transport, hantering och förbränning i stora liksom små förbränningsanläggningar. Vid lagring av pellets uppstår dock processer som genererar värme samt giftiga och brandfarliga gaser.

Syftet med denna studie var att kartlägga hur Svenska pelletsproducenter hanterar råvara, processinställningar och lagring av pellets, med avseende på varmgång. Producenterna delades in i tre grupper, upplever inte varmgång I, upplever varmgång II och upplever varmgång som ett problem III. En kombinerad enkät och intervjustudie genomfördes, vilken innefattade 20 av Sveriges största pelletsanläggningar.

Resultatet visade att 70 % av anläggningarna upplevde varmgång i pelletslagern. Varav 57 % ansåg att det var ett problem med negativ inverkan på verksamheten. De högsta temperaturerna som registrerats i lagren varierade mellan grupperna II och III, där grupp III utmärkte sig med mätningar över 80 °C. Ingen anläggning i grupp II uppgav att temperaturer över 60 °C hade registrerats. För grupp III registrerade 75 % av anläggningarna temperaturer över 60 °C. Andelen tall hos anläggningar med varmgång var betydligt högre än för de som inte ansåg sig uppleva varmgång, och andelen kutterspån i råvaran var betydligt högre hos anläggningar utan varmgång. Anläggningar med varmgång använde sig av silos med större enskild kapacitet än de som inte upplevde varmgång.

Nyckelord: Enkät, intervju, pelletslager, pellets, varmgång, självuppvärmning, kartläggning

Abstract

Biofuel as an energy source is by nature heterogenic and has a low energy density. These are two properties that make them not suitable for an energy carrier. In order to counteract this, biomass can be pelletized. Pellet is a homogeneous product with known and standardized characteristics, well suited for handling, transportation and combustion in both large and small heating plants. Storing the product is initiating processes that generate heat, combustible and toxic gases.

The aim of this study was to map how Swedish pellet producers deal with raw material, process settings and storage, in the means of self-heating. The producers were divided in three groups does not observe self-heating I, observes self-heating II, thinks of self-heating as a problem III.

A questionnaire and interview was performed, and 20 of the largest pellet manufacturers in Sweden were included in the survey population.

The result showed that 70 % of the manufactures observed self-heating in their pellet storages. Among those 57 % considered the phenomena as a problem affecting their production. The highest recorded temperatures differed between the groups II and III, group III excelled in reaching temperatures over 80 °C. Temperatures over 60 °C were not recorded within group II, on the contrary 75 % of the manufactures in the group III recorded temperatures over 60 °C. The amount of pine at manufactures that observes self-heating were considerable higher, opposite to the ones not observing the phenomena. Likewise, the amount of wood shavings in the raw material composition were higher among manufactures not observing self-heating. As the group number increased the size of a single silo also increased, meaning self-heating were more common with larger silo size.

Nyckelord: Survey, interview, pellet storage, pellet, self-heating, charting

Förord

Examensarbetet har utförts vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi som en avslutande del i min examen från Jägmästarprogrammet, vid Sveriges Lantbruksuniversitet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Michael Finell för all den hjälp han bidragit med under arbetets gång. Jag vill även tacka de företag som bidragit med information och som gjort denna studie möjlig att genomföra.

Umeå, januari 2020

David Eriksson

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.1.1	Problemformulering	9
1.2	Syfte och frågeställning	9
1.2.1	Hypotes	9
1.3	Ämnesspecifik Litteratur	10
1.3.1	Standard för pelletsproduktion	10
1.3.2	Råvara till bränslepellets	11
1.3.3	Processteg och dess inverkan på pelletslagring	11
1.3.4	Lagring av råvara	12
1.3.5	Torkning	14
1.3.6	Malning av torrt material	16
1.3.7	Konditionering	17
1.3.8	Tillsatser	17
1.3.9	Pelletspress	18
1.3.10	Kylning	19
1.3.11	Sållning	20
1.3.12	Transport och lagring av pellets	20
1.4	Självpuppvärmning av organiskt material	22
1.4.1	Biologisk nedbrytning	22
1.4.2	Kemiska oxidationsprocesser	23
1.4.3	Fysikaliska reaktioner	23
1.5	Tidigare studier	24
1.6	Rekommendationer för att minska risken för varmgång	24
2	Material och metod	25
2.1	Val av metod	25
2.1.1	Intervju	25
2.1.2	Enkät	26
2.2	Avgränsningar	26
2.3	Utformning av enkät	26
2.4	Verkställande	27
2.4.1	Databearbetning	27
3	Resultat	28
3.1	Respondenter	28

3.2	Lagring av pellets	29
3.3	Råvara	34
3.4	Process	37
4	Diskussion	39
4.1	Resultat	39
4.1.1	Lagring	39
4.1.2	Råvara	41
4.1.3	Process	42
4.1.4	Övriga resultat	42
4.2	Styrkor och svagheter	43
4.2.1	Metod	43
4.3	Fortsatta studier	44
4.4	Slutsatser	45
	Referenslista	46
	Bilaga 1 - Följebrev	50
	Bilaga 2 - Enkät	51

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Biobränslen anses vara ett energislag med stor potential för att uppnå europeiska unionens högt uppsatta miljömål, så väl som enskilda nationella miljömålsättningar (Kaltschmitt & Weber, 2006).

Bioenergy Europe släpper årligen en rapport där de sammanställer biobränslemarknaden i Europa. År 2019 släpptes den första rapporten, som separat behandlar olika kärnområden inom biobränslemarknaden, där ibland bränslepellets (Calderón & Colla, 2019). I Sverige har marknaden för biobränslen som energibärare stadigt ökat från 1970-talet och ligger idag (2019) på 25 % av den tillförda energin, vilket motsvarar 143 Terawattimmar (TWh) av det totala tillskottet på 565 TWh. Från år 1997 till 2017 har den svenska bränslepelletsmarknaden vuxit från 2,6 TWh till 7,5 TWh och står därmed för 5 % av det totala tillskottet av bioenergi till den svenska marknaden (Energimyndigheten, 2019).

Den svenska produktionen av bränslepellets uppgick år 2018 till 1,8 miljoner ton bränslepellets, vilket innebar en ökning med 9,3 % från föregående år (Calderón & Colla, 2019; Pelletsförbundet, 2018b). En produktionsökning motsvarande ca 10 % var en gemensam trend för de fem största pelletsproducerande länderna i Europa (Calderón & Colla, 2019).

De negativa aspekterna biomassa har som energibärare, till skillnad från fossila råvaror som kol och olja är främst kopplat till dess låga energidensitet, höga fukthalt samt att det ofta är ett mycket heterogent material (Tumuluru *et al.*, 2011; Obernberger & Thek, 2010). För att frångå de negativa aspekterna hos biobränslen kan materialet pelleteras. Pelleteringsprocessen ger en produkt som har en jämn och låg fukthalt, ett högt energiinnehåll och standardiserade homogena dimensioner (Obernberger & Thek, 2010).

Den homogena kvalitén på pellets har bidragit till att produkten går att implementera i många olika typer av förbränningssystem. Allt ifrån enskilda mindre spisar till centrala värmesystem, industrikomplex samt storskaliga fjärrvärmeanläggningar (Obernberger & Thek, 2010).

Produktionen av homogena bränslepellets bidrar till utveckling av automatiserade värmepannor för mindre hushåll och kan på så sätt ersätta olje- och gasvärmare. Även stora förbränningsanläggningar har dragit nytta av standardiserad bränslepellets och kan använda produkten i vanligt förekommande kolbrännare. Genom att mala pellets till ett fint pulver kan det nyttjas på samma sätt som kol i stora förbränningsanläggningar (Obernberger & Thek, 2010). Marknaden för både de små, medelstora och stora förbränningsanläggningarna karakteriseras av stark tillväxt och stimulerar internationell handel med bränslepellets (Kaltschmitt & Weber, 2006).

Bränslepellets transporteras och lagras under långa perioder och i stora volymer (avsnitt 1.3.12). Processer som kan uppstå vid de här förhållandena initierar självuppvärmning (varmgång) i materialet, och kan leda till självantändning samt brand med öppen låga (avsnitt 1.4).

Hedlund, Astad & Nichols (2014) belyser vikten vid att sprida information om olyckor för att i framtiden minska riskerna vid pelletsanläggningar.

Kanadensiska försäkringsbolag hotar med att sluta tillhandahålla försäkringar för bränslepelletstillverkare. Givet att rutinerna för hantering av pellets inte ses över med avseende att förhindra riken för olyckor, ofta i form av bränder i pelletslager (Murray, 2010). Risken för olyckor är närvarande hos pelletstillverkare världen över och utan försäkring tappar pelletsproducenter möjligheten till att fortsätta sin verksamhet (Murray, 2010).

Lagring av pellets har vid flera tillfällen orsakat olyckor i Sverige, ofta med allvarliga bränder som följd (Erath, 2019; Vasell, 2019; Andersson, 2018; Gohde, 2018; Hanslep, Forell & Lindahl, 2018; Norström *et al.*, 2017; Nyhetsbyrån, 2016; Hedlund, Astad & Nichols, 2014; Modin, 2007). En av de större bränderna drabbade Härnösand år 2004, branden startade i en siloanläggning innehållande bränslepellets från BioNorr. Anläggningen bestod av 5 separata silos, varav tre hade en lagringskapacitet på 2700 m³ och resterande två 1350 m³ vardera. Innehållet vid olyckstillfället var för de stora 1800 ton och de små 900 ton. Omvandlat till m³ bör det motsvara ca 1750 m³ och 870 m³ vid ett omräkningstal på 0,65. Det gick inte heller att fastställa orsaken eller den kritiska utlösande faktorn till branden, det konstaterades däremot att en autooxidation skett (Källström, 2004).

En svensk pelletsfabrik förstördes helt under en brand år 2016. Anläggningen var försäkrad men den erhållna ersättningen uppnådde inte hälften av den kostnad som uppstod vid olyckan, trots att anläggningen tecknat försäkringsbolagets maxbelopp. Försäkringsbolagen riskerar att förlora stora summor på att försäkra pelletsföretag och hänvisar till antalet bränder (Haaker, 2018).

Att hitta försäkringsbolag som erbjuder tillfredställande försäkringslösningar för pelletsproducenter är svårt. Därför har Pelletsförbundet anlitat företaget Conexio AB¹ med avseende att hitta försäkringslösningar till sina medlemsföretag. Pelletsförbundet är en medlemsorganisation med avsikt att pellets alltid ska vara ett hållbart alternativ då framtida energilösningar diskuteras (Pelletsförbundet, 2019; Pelletsförbundet, 2018a).

1.1.1 Problemformulering

Lagring av pellets medför ekonomiska och personalrelaterade risker och för att minska dessa behövs mer kunskap om vad som orsakar varmgång hos pelletstillverkare.

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med studien var att kartlägga hur råvara, pelleteringsprocess och lagring av pellets varierar mellan Sveriges 20 största pelletsproducenterna, med avseende på varmgång. Några specifika frågeställningar var:

- Upplever svenska pelletsproducenter varmgång i sina pelletslager och anses det vara ett problem?
- Hur varmt blir det i pelletslagren hos anläggningar med varmgång, och när bör åtgärder sättas in?
- Hur skiljer sig parametrar relaterade till process, råvara och lagring av bränslepellets mellan producenter med varmgångsproblem, där varmgång förekommer men inte anses vara ett problem och de som anser sig inte uppleva varmgång?

1.2.1 Hypotes

- Anläggningar som lagrar råvaran i minst tre månader innan pelletering, upplever varmgång vid lagring av pellets i mindre omfattning, än anläggningar som inte lagrar råvaran innan pelletering.
- Anläggningar som huvudsakligen tillverkar pellets av tallspån upplever mer problem med varmgång i pelletslagren.

1. Företaget bedriver konsultverksamhet bland annat inriktat på försäkringar.

1.3 Ämnesspecifik Litteratur

1.3.1 Standard för pelletsproduktion

År 2011 presenterade García-Maraver, Popov & Zamorano (2011) en sammanställning av pelletsstandarder i Europa. Sammanställningen belyste att det i merparten av Europas länder finns få eller inga regleringar gällande tillverkning och kvalitet av pellets, i undantagsfall kunde produkten innefattas av några enstaka biomassalagar. Sverige, Tyskland och Österrike hade implementerat egna standarder för pelletsproduktion. En jämförelse mellan dessa standarder belyser vitala skillnader i kvalitetskrav och riktlinjer för processen.

García-Maraver, Popov & Zamorano (2011) lägger vikt vid utveckling av en gemensam europeisk standard, något som ska bidra till utveckling av pelleteringsprocesserna men även förbränningstekniken och på så sätt underlätta internationell handel.

År 2014 utvecklade EU en gemensam standard (Solid biofuels - Fuel specifications and Classes - Part 2: Graded wood pellets) (ISO 17225-2: 2014) för fasta biobränslen, den innefattade därmed också bränslepellets. Standarden implementerades som en nationell standard i november år 2014 (Swedish Institute for Standards, 2014).

Standarden definierar tre olika kvalitetsklasser: A1, A2 och B. Klasserna baseras på en rad parametrar vilka beskriver pelletens karaktäristik. Parametrar i standarden varierar beroende på konsumentens krav. Privata och kommersiella förbränningsanläggningar kräver ett högkvalitativt bränsle (Tabell 1) (Swedish Institute for Standards, 2014).

Tabell 1. Kvalitetsklasser enligt svensk standard SS-EN ISO 17225-2: 2014

Table 1. Quality classes according to Swedish standard SS-EN ISO 17225-2:2014

Klass	Enhet	A1	A2	B
Råvarans ursprung		Stamved Kemiskt obehandlade restprodukter från trä	Helträd utan rötter Stamved Avverkningsrester Kemiskt obehandlade restprodukter från ved	Skog, plantage och annan icke återvunnen ved Biprodukter ifrån träförädlingsindustrin Kemiskt obehandlat returträd
Bulkdensitet	Kg/m ³	≥ 600,0	≥ 600,0	≥ 600,0
Nettovärmevärde	MJ/Kg	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5
Mekanisk (MH) hållfasthet	% av vikt*	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5
Fukthalt	% av vikt*	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
Additiv	% av vikt*	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Finfraktion	% av vikt*	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Askhalt	% av torrsvikt	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0

*Anger procent av vikt vid tillfället då varan levereras till kund

Industriella kunder har ofta tillgång till avancerade styrsystem och utbildad personal, vilka kan kontrollera förbränningsprocessen noggrant. Därför varierar de kraven som listats ovan när det gäller kommersiella slutkunder (Tabell 2) (Swedish Institute for Standards, 2014).

Tabell 2. Kvalitetsklasser enligt svensk standard SS-EN ISO 17225-2: 2014

Table 2. Quality classes according to Swedish standard SS-EN ISO 17225-2:2014

Klass	Enhet	A1	A2	B
Mekanisk	% av vikt*	$97,5 \leq MH \leq 99,0$	$97,0 \leq MH \leq 99,0$	$96,5 \leq MH \leq 99,0$
Hållfasthet (MH)				
Additiv	% av vikt*	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$
Finfraktion	% av vikt*	$\leq 4,0$	$\leq 5,0$	$\leq 6,0$
Askhalt	% av torrsvikt	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3,0$

*Anger procent av vikt vid tillfället då varan levereras till kund

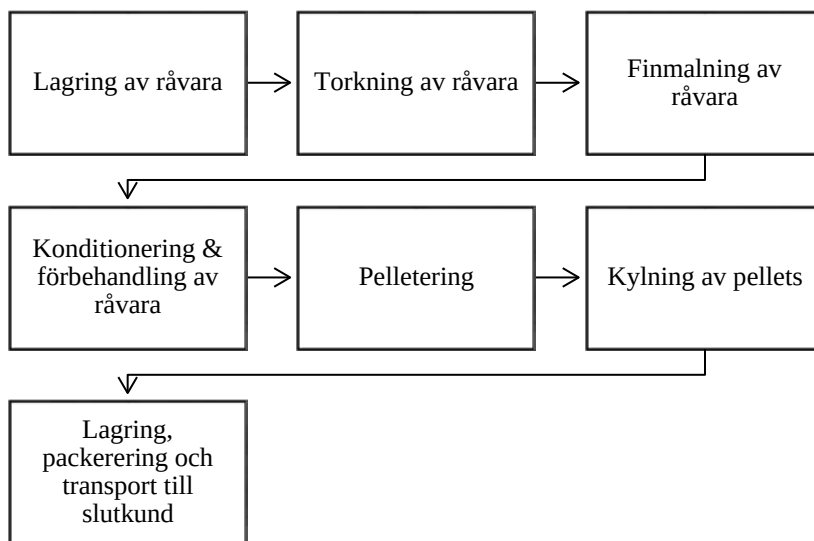
Enligt Duca *et al.* (2014) har implementering av den gemensamma standarden fungerat väl och konsumenter kan lita på att standarden efterföljs och att bränslepellets som köps på marknaden uppfyller kraven.

1.3.2 Råvara till bränslepellets

Råvaran för tillverkning av bränslepellets består i huvudsak av sågverksflis, sågspån och kutterspån, och sågspån representerar den absolut största volymen (Lestander, 2011; Näslund, Fjällström & Risberg, 2003). En fördel med att använda sågverksflis och kutterspån som råvara i pelletsproduktionen är den redan låga fukthalten i materialet, till skillnad från sågspån som behöver torkas kraftigt innan vidare processteg (Obernberger & Thek, 2010). Sågspån och kutterspån från både tall och gran är de absolut vanligaste råvarorna för pelletsproduktion hos svenska pelletstillverkare. Spånets låga densitet gör materialet lämpligt att pelletera (Arshadi *et al.*, 2008).

1.3.3 Processteg och dess inverkan på pelletslagring

Pelletstillverkning sker i huvudsak via fem till sju processteg. Processtegen varierar beroende på tillverkare men innefattar generellt (Figur 1) (Finell *et al.*, 2015; Obernberger & Thek, 2010; Kofman, 2007).



Figur 1. Processchema för pelletstillverkning.

Figure 1. Descriptive chart of the pelletizing process.

1.3.4 Lagring av råvara

Sågspån lagras ofta innan det fortsätter vidare i pelleteringsprocessen, detta för att uppnå s.k. spånmognad² (Figur 2). Spånet som lagras får enligt Jirjis (2006) en ökad energihalt genom mer lignin i förhållande till cellulosa och hemicellulosa, vilket i sin tur beror på att cellulosa och hemicellulosa bryts ner i större grad under lagringen.



Figur 2. Utomhuslagring av sågspån från gran. (Foto: David Eriksson)

Figure 2. Outdoor storage of sawdust (spruce). (Photo: David Eriksson)

1. Processer som sker vid lagring av spån och påverkar den kemiska sammansättningen av materialet.

Jirjis, Öhman & Vinterbäck (2006) menar även att lagring av sågspån innan sållning och finmalning påverkar pelletens hållfasthet positivt, genom att den ökar andelen lignin vilket agerar likt ett bindemedel i pelleteringsprocessen. Samuelsson *et al.* (2012) menar dock att den marginella ökningen av lignin som pelletsen erhåller efter lagring av råvaran, inte går att koppla till en ökad hållfastighet.

I en studie av Arshadi, Nilsson & Geladi (2007) konstaterades att sammansättningen av extraktivämnena i färskt sågspån av tall och gran påverkas av lagring. Under lagring sjönk extraktivämneshalten i båda trädslagen. Effekten sågs främst mellan lagringsvecka sex och tolv, innan dess var avgången låg. Nielsen *et al.* (2009) jämförde i en annan studie förändringar av extraktivämnena hos lagrat sågspån från barrträd och lövträd, extraktivämnena avlägsnades från veden med hjälp av aceton. Hos barrträd förmodas oxidation av extraktivämnena initieras under lagringen och katalyseras av en högre lagringstemperatur. Det ger i sin tur en råvara med låga halter av fettlösliga extraktivämnena. Studien kom fram till att det dock inte går att koppla lagring till förändring av extraktivämneshalten hos lövved.

I en studie av Bergström, Finell & Gref (2010) jämförs bränslepellets tillverkade av sågspån med och utan extraktivämnena. Resultatet visade att avlägsnande av extraktivämnena ur spånet genom lakning i aceton, ökade hållfasthet och densiteten på pelletsen. Vilket kan förklara varför pellets producerad från lagrat sågspån, karakteriseras av dessa förändringar i egenskaper.

Fettlösliga extraktivämnena förmodas hindra bindningar mellan partiklar i råmaterialet, något som förebyggs vid extraktion av ämnena, vilket även bekräftas av Whittaker & Shield (2017).

Det går inte att fastslå någon skillnad i fuktabsorption mellan bränslepellets tillverkade med, respektive utan extraktivämnena. Fuktabsorption förmodas påverkas av initial fukthalt och temperaturen i pelleteringssteget (Bergström, Finell & Gref, 2010).

Att lagring påverkar extraktivämneshalten påvisar även Samuelsson *et al.* (2012) i en studie där mängden extraktivämnena (lösliga i petroleumeter/acetonlösning) halveras efter 160 dagar av lagring. Effekterna av lagringen stämmer bra överens med de resultat som tidigare presenteras av Bergström, Finell & Gref (2010) och som rekommendation för att uppnå effekterna bör färskt spån lagras minst 120 dagar innan pelletering (Samuelsson *et al.*, 2012).

Lagrat sågspån ger även andra effekter relaterade till pelleteringssteget. Fettlösliga extraktivämnena agerar likt smörjmedel i pelletsdysorna³ och därmed minskar energiförbrukningen i pelletspressarna. Lagrat sågspån ger därmed en högre energi-

2. Cylindern i vilken materialet pressas för att skapa en pellets, dysorna är borrar genom pelleteringsmatrisen (Figur 3).

förbrukning än olagrat spån, vilket även medför en längre pelleteringstid och pelletspressens kapacitet minskar när man använder lagrat spån (Nielsen, Gardner & Felby, 2010).

1.3.5 Torkning

Pelleteringsprocessen och kvaliteten på produkten påverkas till stor del av det ingående materialets initiala fukthalt (FH). I regel har råmaterialet för pelletstillverkning en fukthalt omkring 30-60 %, beroende på skördetid och lagringstid (Fagernäs *et al.*, 2010). För att optimera den slutliga produkten bör därför fukthalten innan pressning vara noga avvägd, därför torkas råvaran innan nästa steg i processen. Torkningen utförs ofta innan finmalning, då ett blött material FH 30-60% kräver mer energi att finmala samt att sållen har en tendens att klibba igen (Obernberger & Thek, 2010; Ringman, 1995). Fukthalten är den variabel som primärt styr energiåtgången vid tillverkning och den slutliga bulkdensiteten på produkten (Samuelsson *et al.*, 2015).

Filbakk *et al.* (2011) visar samband mellan torkningstemperatur och kvalitativa egenskaper hos pelletsen. Pellets producerat av ett råmaterial som lagrats under kort tid och torkats under låga temperaturer ger en låg energiförbrukning, hög hållfasthet och låg densitet på produkten. Små förluster av extraktivämen förmodas vara anledningen till att pellets binder ihop bra samtidigt som det är smörjande. Motsvarande skapar en hög torkningstemperatur hög energiåtgång och högre densitet vilket troligen beror på större friktion i dysan (Filbakk *et al.*, 2011). Att torka råmaterialet till en fukthalt på ca 10 % innan pelletering är av stor vikt för processen och kvaliteten på pelletsen. För att åstadkomma detta finns ett antal torkningsmetoder, se avsnitt 1.3.5.1 till 1.3.5.3 (Obernberger & Thek, 2010).

Vid torkning av spån avgår terpenener och andra lättflyktiga ämnen. Avgången av ämnena är störst i början av torkningsprocessen och planar därefter ut med tiden. Avgången korrelerar med uppehållstiden i torken och ju längre torkningstid ju större avgång. Även temperaturen i torken påverkar avgången av lättflyktiga organiska ämnen (volatile organic compounds, VOC) och en hög temperatur ger upphov till större avgång och en snabbare avgångshastighet. Då fukthalten på materialet i torkarna sällan understiger 10 %, uppnår materialet inte vattnets kokpunkt och därför förmodas effekten av temperaturen vara liten i förhållande till uppehållstiden (Ståhl *et al.*, 2004). En låg avgång av VOC ger också upphov till en råvara med högre energiinnehåll och mindre farliga utsläpp vid torkningsprocessen (Ståhl *et al.*, 2004). De vanligaste torktyperna är trumtork, bandtork och överhettad ångtork (Obernberger & Thek, 2010).

Trumtork

I trumtorkarna kan både direkt och indirekt värme användas. Både trumtork och tubulärtork är två vanliga torkningsmetoder för pelletstillverkning (Obernberger & Thek, 2010).

Tubulärtorkar baseras på indirekt uppvärmning. Vilket betyder att värmemediet och materialet som ska torkas inte får kontakt i processen, materialet kan därför torkas varsamt under låga temperaturer, omkring 90 °C. Insidan av torken består av åtskilliga horisontellt liggande ledningar där torkningsmediet transporteras, torkningsmediet består av olja, vatten eller ånga och håller en temperatur omkring 150-210 °C. Vid torkens yttre mantel sitter matarblad som transporterar råvaran. Torken är enkel att operera, ofta automatiserad och de få rörliga delarna medför en låg underhållskostnad för maskinen (Obernberger & Thek, 2010). Låga torkningstemperaturen har även visat sig minska avgången av VOC (Filbakk *et al.*, 2011; Obernberger & Thek, 2010).

Ingångstemperaturen till en direktvärmande trumtork ligger mellan 300- och 600 °C beroende på konstruktion. Materialet som ska torkas transporteras genom torken via spiralformade blad monterade på trummans insida. Bladen mixar materialet då trumman roterar, vilket sker med enbart ett fåtal varv per minut. Den höga temperaturen i torken ger upphov till utsläpp av VOC, och kräver ett system för att rena utgående luft. Kondensering av fettsyror sker vid temperaturer över 100 °C och kan på sikt påverka torkutrustningen negativt. Det är även känt att VOC i kombination med omgivande kväveoxider (NO_x) och solljus kan ge upphov till marknära ozon, som är skadligt för människan (Fagnäs *et al.*, 2010; Obernberger & Thek, 2010). Vid användning av direktvärmande trumtorkar kan flygaska från förbränningsgasen ackumuleras i det torkade materialet och på så sätt öka askhalten hos slutkunden. Det resulterar ofta i ökad slaggbildning i förbränningskammaren (Öhman *et al.*, 2002).

Bandtork

Bandtorkar används för torkning av sågspån i pelleteringsprocessen och torkningsmediet kan angripa materialet både under- och ovanifrån (Fagnäs *et al.*, 2010). Beroende på modell varierar även temperaturen på ingående värmemedium från 90 till 110 °C och utgående temperatur 60 till 70 °C. De låga temperaturerna ger en mycket skonsam torkning av materialet samt resulterar i låga utsläpp av VOC vid torkning. Torkmetoden fungerar både med indirekt värme via värmeväxlare och med direkt värme. Mediet kommer alltid att vara i kontakt med torkmaterialet. Materialet matas in med ett jämnt flöde via en inmatningsskruv och den uppvärmda luften tvingas genom materialet vid torkningsprocessen. För att bibehålla god genomsläpplighet i bandet rengörs det kontinuerligt med hjälp av kompressorer (Obernberger & Thek, 2010).

Bandtorkar är tekniskt avancerade och går att helt automatisera vid torkning av biomassa. Ett problem som dock kan uppstå är bildandet av klumpar och en inhomogen fukthalt vilket är en risk då materialet inte blandas om under torkning. Bandtorkar är stora och relativt dyra i förhållande till trumtorkar. Detta kan däremot kompenseras genom att bandtorken är billig i drift då temperaturen vid torkning är förhållandevis låg (Obernberger & Thek, 2010).

Överhettad ångtork

Överhettade ångtorkar skapar ett torrt material under en mycket kort uppehållstid i torkanläggningen. I normalfallet används de för torkning av mindre fraktioner och passar väl till sågspån. Det har dock utvecklats torkar i Sverige som klarar fraktioner upp till 50 mm. Ångan cirkulerar i torken under ett tryck på 0,2-0,6 MPa. Lufttrycket transporterar pneumatiskt⁴ materialet genom torken. När torkningen är klar separeras det torra materialet via en ångcyklon och ångan recirkuleras till torken. Normala uppehållstider för materialet ligger på 10-30 sekunder för att åstadkomma en jämn fukthalt (Fagnäs *et al.*, 2010; Obernberger & Thek, 2010).

Skellefteå Kraft anskaffade två pneumatiska ångtorkar, en vid pelletsfabriken i Heddensbyn, Skellefteå år 1998 och en vid pelletsanläggningen i Storuman år 2008. Båda anläggningarna var integrerade i kraftvärmeverk och drivs av biobränslen (Fagnäs *et al.*, 2010). Anläggningen i Storuman lades ned 2012 (Segerstedt, 2012).

1.3.6 Malning av torrt material

Efter torkning av materialet mals det till en partikelstorlek som är anpassad för slutprodukten dimensioner, i normalfallet när 6 mm pellets tillverkas används ett såll som producerar fraktioner på < 4 mm. Emellertid är det inte bara pelletsdimensionerna, råmaterialet eller pressen som påverkar val av partikelstorlek. I stora förbränningsanläggningar som konverterats från koleldning mals pelletsen ner till ursprunglig partikelstorlek. Om denna inte är optimal kommer bränslet inte att förbrännas fullständigt och därmed ge upphov till energiförluster (Obernberger & Thek, 2010).

Ett annat argument för att mala ner råmaterialet till finare fraktioner är att det ger en högre bulkdensitet på det pelleterade materialet. Det finns dock indikationer som visar på att ett finare material ökar energiåtgången vid pelletering, vilket bör beaktas (Finell *et al.*, 2015). För att mala materialet använder dagens pelletsproducenter sig ofta av hammarkvarnar (Lehtikangas, 1999b). Hammarkvarnarna är ett våldsamt sätt för att bearbeta råmaterialet. Kvarnen består av fasta stålhammare eller slagor som finmaler materialet genom att splittra det med stor kraft. Hammaren slår partiklarna mot ett såll

1. Drivs av luft eller gas.

vars håldiameter avgör partikelstorleken. Denna malningsprocess lämnar dock inget utrymme för att påverka partiklarnas geometri (Tsoumis, 1991).

1.3.7 Konditionering

Vid konditionering innan pelleteringen tillsätts vattenånga eller vatten med avseende på att förbereda materialet för kommande steg i pelleteringsprocessen. Vid tillsats av ånga formas en kondensationshinna på ytan av materialet och som resultat av detta utjämnas fukthalten i materialet. För att ångkonditioneringen ska tränga in i materialet och för att det ska nå optimal fukthalt krävs en uppehållstid på omkring 10-20 minuter (Obernberger & Thek, 2010).

Ångbehandlingen påverkar även värmen på materialet och gör det möjligt att styra temperaturen, med avseende på att bäst passa ämnad pelleteringsutrustning (Obernberger & Thek, 2010). Enligt Tumuluru *et al.* (2011) är en råvarutemperatur omkring 120-130 °C ofta önskvärd för att mjuka upp ligninet och förbättra bindningarna i produkten innan det går in i pressarna. Även Wiegandt (2015) menar att högre temperatur och fukthalt på det ingående materialet ger en i slutändan hårdare pellets och därmed bättre kvalitet på produkten.

1.3.8 Tillsatser

För att ytterligare förbättra kvalitén på pelletsen kan additiv tillsättas. Additiv tillsatsen syftar till att öka den mekaniska hållfastheten, underlätta pelleteringsprocessen, minska energiåtgången, minska problem med återfuktning samt reducera utsläpp vid förbränning. De vanligast förekommande tillsatserna är stärkelse och lignin (Obernberger & Thek, 2010).

Stärkelse

Stärkelse tillsätts ofta för att förbättra den mekaniska hållfastheten. Stärkelsen är organisk och kommer vanligen ifrån majs, potatis eller råg och påverkar inte askhalten i pelletsen nämnvärt (Tarasov, Shahi & Leitch, 2013; Obernberger & Thek, 2010). För att stärkelsen ska verka på bästa sätt tillsätts den ofta i samband med ångkonditioneringen. Ångan mjukar upp stärkelsen och ger som resultat en hållbarare pellets (Tumuluru *et al.*, 2011).

För att tillverka oxiderad stärkelse tillsätts ett starkt oxidationsmedel, resultatet blir stärkelse som är limaktigt till sin karaktär och används därför ofta i limpreparat (Baumann & Conner, 1994). I en studie gjord av Ståhl *et al.* (2012) jämförs hållfasthet, energiåtgång och benägenhet till oxidation hos bränslepellets. Stärkelse i två former tillsattes, obehandlad respektive oxiderad stärkelse. I studien framgår att ox-

iderad stärkelse minskar energiåtgången vid pelletering mer än för obehandlad stärkelse, likaså ökar hållfastheten i högre grad för pellets med tillsats av oxiderad stärkelse. Vid lagring av den pelleterade produkten under sju månader kunde inte heller några försvagningar i hållfasthet eller ökad oxidationsbenägenhet urskiljas, varken för pellets med tillsats av vanlig eller modifierad (oxiderad) stärkelse.

Lignin

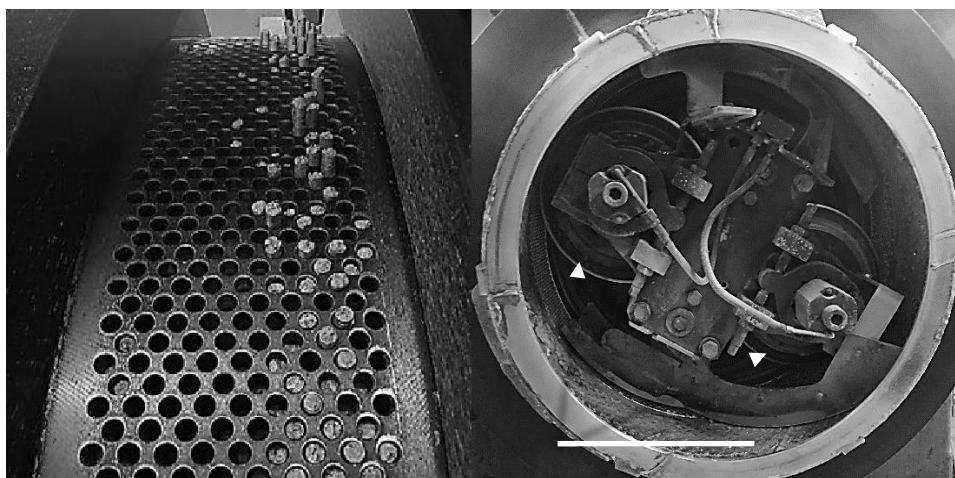
Obernberger & Thek (2010) menar att användandet av lignosulfonat är beprövat i Skandinavien och att det bevisligen ökar hållfastheten på pellets. Samuelsson *et al.* (2015) bekräftade det i en studie där lignosulfonat tillsattes i form av produkterna Lignobond och Pelltech (tillverkade av Borregaard). Resultatet visade att båda tillsatserna ökade hållfastheten på pelletsen, samtidigt som andelen finfraktion minskade. Även Berghel *et al.* (2013) rapporterar en ökad hållfastighet med tillsatt additiv av lignosulfonat. Det bekräftas även av Finell, Samuelsson & Arshadi (2018) som menar på att både stärkelse och lignin ger en hållfastare pellets. Lignosulfonat tillverkas nästintill exklusivt via avlut från sulfitmassaprocessen (Liedberg, 2017).

I en studie tillsattes additiv av sulfatlignin i pelleteringsprocessen, ligninet tillsattes i olika former, i lösning och som pulver. Tillsats av sulfatlignin i pulverform resulterade i en högre hållfasthet för den pelleterade produkten. Sulfatlignin tas fram ur svartlut och genom LignoBoost-processen, en process som utvecklats genom ett samarbete mellan Chalmers tekniska högskola och Innventia AB (Berghel *et al.*, 2011).

1.3.9 Pelletspress

En pelletspress består av en matris (en skiva eller cylinder av stål som pelleteringsdysorna borras in i). Materialet pressas sedan genom dysorna, vanligen med hjälp av två eller tre pressrullar (Figur 3). Den torkade och finmalda råvaran matas in i pressen. Rotationen av pressen och matrisen tvingar råvaran att passera genom dysorna som genom högt tryck komprimerar materialet till pellets. Pelletsen skärs sedan av vid önskad längd via en justerbar kniv. Densiteten av pelletsen beror på friktionskraften, längden, diametern av dysorna, rullarnas inställningar och råmaterialets egenskaper (Tumuluru *et al.*, 2011; Kofman, 2007; Lehtikangas, 1999b).

Huvudsakligen två presstyper dominerar marknaden, plan- och ringpress. Ringpress är den vanligaste tekniken för pelletering och består av ett par fixerade rullar som omges av en cylindrisk och roterande pelletsmatris (Figur 3). Materialet matas in från sidorna och pressas från insidan till utsidan av matrisen (Tumuluru *et al.*, 2011; Obernberger & Thek, 2010; Kofman, 2007).



Figur 3. Till vänster. Utsidan av en ringmatris, hålen i matrisen kallas för dysor. Till höger. Insidan av en ringmatris, pressrullarna är markerade med pilar. (Foto: David Eriksson)

Figure 3. Left photo. The outside of a ring die, the cylinders are called dies. Right photo. Ring die fitted with two press rolls, marked with arrows. (Photo: David Eriksson)

Vid pelletering av träråvara med en planmatris är matrisen fixerad. Istället är pressrullarna rörliga, vilket medför en stabilare konstruktion. Pressrullarna roterar på ovansidan av matrisen och knivarna justerar längden på pelletsen underifrån. Det finns både cylindriska och koniska pressrullar. Är rullarna cylindriska uppstår en hastighetsskillnad mellan den inre och yttre kontaktytan vilket ger nötning av råvaran. På grund av det kan en sådan maskinuppsättning hantera större variation i råvarans partikelstorlek. Inmatningen är simpel och pressen matas in ovanifrån (Näslund, Fjällström & Risberg, 2003)

1.3.10 Kylning

Genom både konditionering och från friktion vid pressningen av pellets produceras värme som absorberas av produkten. Efter pressning ligger pelletstemperaturen på omkring 80-130 °C. Det är anledningen till att produkten sedan måste kylas. Kylningen ökar hållfastheten och reducerar fukthalten med upp till 2 procentenheter (Obernberger & Thek, 2010). Kylningen sker ofta genom att kall och torr luft styrs genom pelletsbulken. För att göra detta finns olika system men de är alla baserade på samma princip (Obernberger & Thek, 2010; Näslund, Fjällström & Risberg, 2003). De varma och mjuka pelletsen blir hårdare vid kylning och fukthalten sjunker momentärt för att sedan stabilisera sig runt 8-10 % (Kofman, 2007). Ett exempel på kylningens betydelse visades vid ett pelletslagringsförsök där kylsystemet upphörde

att fungera tillfälligt. Pelletsen lagrades separat och efter ett dygn ökade temperaturen betydligt mer i högen där kylningen fallerat än motsvarande högar, där kylningen fungerade som den skulle. En väl fungerande kylning konstaterades mycket viktig för att minimera risken för varmgång (Finell *et al.*, 2018).

1.3.11 Sällning

Pellets bör hanteras försiktigt för att undvika skador på produkten, trots detta kan produkten utsättas för så många som tio fall från olika höjder, redan innan de når paketering eller transport. Denna hantering skapar mindre partiklar (fines). Innan paketering eller bulkleverans sällas pelletsen för fines. Partiklarna kan sedan återcirkuleras i processen och åter igen ges möjligheten till att bli pellets (Obernberger & Thek, 2010; Kofman, 2007). Fines kategoriseras som partiklar mindre än 3,15 mm. Pellets med en stor mängd av fines kommer att absorbera fukt lättare, vilket leder till ökad risk för varmgång (Obernberger & Thek, 2010).

I regel produceras också en hel del damm vid stegen finmalning, torkning, kylning och paketering. Närvaron av damm vid hantering och lagring betyder att det ständigt finns risk för explosioner och bränder, vilket i sin tur medför ett filtreringsbehov vid dessa stationer. Luften renas därför ofta med hjälp av en cyklon eller filteranordning (Obernberger & Thek, 2010).

1.3.12 Transport och lagring av pellets

Egenskaperna hos bränslepellets gör det möjligt att transportera produkten via många olika typer av transportmedel, vanligtvis sker transporterna i säckar packade på pall eller i bulk. Transporterna kan även ske via lastbil, container, tågtransport eller bulkfartyg beroende på kundens önskemål (Figur 4) (Obernberger & Thek, 2010).



Figur 4. Bränslepellets tankas i en lastbil via utlastningssilo. (Foto: David Eriksson)

Figure 4. Truck in the process of being loaded with fuel pellets from an intermediate silo storage. (Photo: David Eriksson)

Direkt efter tillverkning, efter transport, innan förbrukning och/eller leverans till kund kan pelletsen behöva lagras, lagringen i stor skala sker oftast i vertikalsilo och/eller i planlager (Figur 5) (Obernberger & Thek, 2010). När, var och hur lagringen kommer att ske måste beaktas givet ekonomiska aspekter. Behovet att lagra bränslepellets uppkommer främst på grund av en stor obalans mellan produktion och förbrukning av produkten. Det största behovet av förädlade träbränslen förekommer under de kalla vintermånaderna (Lehtikangas, 1999a).



Figur 5. Planlagertält för bränslepellets. (Foto: David Eriksson)

Figure 5. Fuel pellet in flat-storages. (Photo: David Eriksson)

Efter produktion lagars bränslepellets normalt i stora siloanläggningar, både i nybyggda anläggningar men även ombyggda spannmålssilos är vanliga lagringsutrymmen. Bränslepellets som produceras för export transporteras vanligtvis i stora bulkfartyg med kapacitet på upp till 50 000 ton dödvikt⁵. Under frakt ligger pelletsen i lufttäta pontoner för att vatten inte ska få möjligheten att tränga in och orsaka fuktadsorption och mikrobiell tillväxt (Obernberger & Thek, 2010). Vid lagringsförsök har det påvisats att pellets erhållit något högre hållfasthet efter lagring under två veckor eller mer (Finell *et al.*, 2018).

1.4 Självpuppvärmning av organiskt material

Vid lagring av biologiskt material, sågspån, träpellets m.m. kan självpuppvärmning i materialet triggas. Självpuppvärmning kan ske utifrån tre olika processer, biologisk nedbrytning av materialet, kemiska oxidationsprocesser, fysikaliska processer som fuktadsorption/absorption och fuktvandring och/eller en kombination av dessa. Processerna kan i slutändan leda till antändning och brand med öppen låga (Persson, 2013; Obernberger & Thek, 2010). Det finns i dagsläget ingen klar bild om vilka processer som skapar denna värmeutveckling hos pellets, men forskning tyder på att oxidation av organiska komponenter i veden är av stor vikt (Obernberger & Thek, 2010).

Självantändning uppstår generellt centralt och långt in i massan då pellets svaga värmeledningsförmåga bevarar hettan i bulken, det betyder i sin tur att en större lagrad volym ger ökad risk för varmgång och självantändning (Persson, 2013).

1.4.1 Biologisk nedbrytning

I material med en fukthalt på över 15-20 % är mikrobiell aktivitet ofta den främsta orsaken till varmgång, något som kan observeras i komposthögar. Denna process uppnår temperaturer på omkring 45-75 °C och därefter tar kemiska oxidationsprocesser över (Persson, 2013). Pelletens låga fukthalt och de höga temperaturerna vid torkning och pelletering gör dock den mikrobiella nedbrytningen begränsad, trots det registreras ofta temperaturökningar i nyligen producerad och lagrad pellets (Obernberger & Thek, 2010). Det stämmer även bra med andra studier som påtalar den steriliserande behandlingen i pelleteringsprocessen (Alakoski *et al.*, 2016; Persson, 2013).

1. Ett mått på fartygets lastförmåga inklusive last, bränsle, förråd, passagerare och besättning.

1.4.2 Kemiska oxidationsprocesser

Vid lagring av pellets räknas oxidationsprocesser som en av den främsta orsaken till värmeutveckling (Alakoski *et al.*, 2016; Persson, 2013; Arshadi & Gref, 2005). Oxidation av vedens organiska beståndsdelar startar normalt vid en temperatur från 40 °C och dominerar i sin helhet vid temperaturer över 50 °C. Kemisk oxidering av veden tar helt över processen vid temperaturer över 80-90 °C (Kubler 1987 se Larsson, 2017).

Det förefaller troligt att råvara och produktionsprocess har inflytande gällande den initiala temperaturökningen, genererad ifrån oxidation av organiska komponenter. Vid höga temperaturer står det däremot klart att oxidationsprocesser leder till ökad värmeutveckling, och beroende av vilken lagringsmetod som används kan de även leda till självantändning (Blomqvist & Persson, 2008; Van Hees & Blomqvist, 2006). Malningen av pelletsråvaran ger partiklarna stor specifik yta och kan initiera oxidationsprocesser vid rumstemperatur (Persson, 2013).

Studier visar på att råvara innehållande stora mängder omättade fettsyror ökar riskerna för oxidation vid låga temperaturer. Även om tall och gran innehåller samma typer av omättade fettsyror så är koncentrationen vitt skilda mellan trädslagen, där tallen utmärker sig med betydligt högre ämneskoncentrationer. För att komma runt detta kan tallspån lagras till spånmognad, då fettsyrorna bryts ner och kraftigt minskar. Det går även att anpassa torkningstemperaturerna för att minska mängden fettsyror i råvaran, och den slutliga pelletsprodukten (Arshadi & Gref, 2005).

1.4.3 Fysikaliska reaktioner

Pellets kan absorbera fukt från omgivande luft genom i huvudsak två exoterma processer, adsorption via kondensation på pelletens yta och absorption från ytan in i pelleten. Värmeutvecklingen vid absorption sker ifrån pelletens initiala fukthalt upp till fibermättnadspunkten och är betydligt lägre i förhållande till den som genereras vid adsorption. Fysikaliska reaktioner uppstår främst då pelleten håller en lägre temperatur än omgivande luft (Obernberger & Thek, 2010).

Värme som uppstår vid kondensation av vatten på pellets lagrad i silo, har potential att påverka temperaturökningen avsevärt. Vid förhållanden då den relativa luftfuktigheten varierar signifikant kan absorption av vatten förväntas påverka den initiala temperaturökningen i pelletsbulken (Nilsson *et al.*, 2019). Fuktutjämning har påtaglig inverkan på den initiala temperaturhöjningen i pelletslager. Fuktutjämningen uppkommer då pellets med olika fukthalt blandas och kallas även fuktvandring (Lestander, 2008).

Som tidigare nämnt är risken för varmgång i torra och kompakterade biobränslen generellt låg. Riskerna som eventuellt kan uppkomma är främst kopplade till brister

i lagringen som låter bränslet komma i kontakt med omgivande luft och risk för återfuktning, vilket kan ge upphov till mikrobiell nedbrytning och värmeutveckling (Blomqvist & Persson, 2003).

1.5 Tidigare studier

Larsson (2017) rapporterade att reaktivitet uppmätt med hjälp av mikrokalorimetri i pellets producerad från olika typer av råvara, skiljer sig. Pellets producerad från tall- och granråvara uppvisade signifikant högre reaktivitet än de resterande råvarorna i testet. Testen visade även att 100 % tall är betydligt mer reaktivt än 100 % gran, reaktiviteten kunde reduceras genom avlägsnande av fettsyror i råvaran.

Variation i förhållandet mellan råvarorna tall/gran (10-30 % tallandel) visade inte någon betydande inverkan på självuppvärmning i pelletshögar om 10 ton, även om uppmätt reaktivitet varierade mellan olika tall inblandning. Vad som verkade ha störst påverkan på risken för varmgång var fukthalten i pelletshögarna, en låg fukthalt resulterade i de högst uppnådda temperaturerna. Att producera pellets till en slutlig fukthalt på minst 8 % rekommenderades därför, med avseende på att minimera risken för varmgång och samtidigt behålla en godtagbar hållfasthet på produkten (Finell *et al.*, 2018).

Vid ett försök lagrades pellets i tio tons högar, några av högarna var koniskt formade och på andra hade toppen strukits av. Studien kom fram till att något högre temperaturer uppmättes i toppen på de konformade högarna, jämfört med de platta högarna (Finell *et al.*, 2018).

1.6 Rekommendationer för att minska risken för varmgång

För att minska riskerna vid lagring av bränslepellets kan tillverkarna med fördel se till att pelletsen uppnår en högre ålder vid lagringstillfället. Högre ålder på pelletsen minskar riskerna för varmgång och sänker även temperaturen på produkten innan den lagras. På grund av att risken för varmgång är proportionell till lagringssilos volym rekommenderas att fördela pelletsbulken över flera små silos (Guo, 2013). En viktig aspekt vid självuppvärmning är oxidation av fria omättade fettsyror, för att minska koncentrationen av ämnena kan råvaran behandlas vid höga temperaturer under en längre tid (Järvinen *et al.*, 2009).

Obernberger & Thek (2010) presenterar i ”The pellet Handbok” riktlinjer för lagring av bränslepellets, varav några listas nedan:

- Undvik att blanda pellets producerad med olika fukthalt i samma lagringsutrymme.
- Undvik att lagra pellets innehållande stora mängder fines.
- Övervaka temperaturförändringar och utsläpp av oxidationsgaser från anläggningen.

2 Material och metod

För att undersöka hur olika pelletstillverkare skiljer sig från varandra i process, råvara, lagring av pellets samt om de upplever varmgång vid lagring av nyproducerade pellets gjordes en enkätundersökning, tillsammans med en kompletterande strukturerad intervju.

2.1 Val av metod

För att få tillgång till kunskaper, tyckanden och tankar hos en population kan man använda sig av intervjuer eller enkäter. Intervju baseras på muntlig kommunikation, medan enkäter sker skriftligt. Enkät och intervjumetoder är olika sätt för att samla in data, metoderna har ökat i popularitet de senaste åren och används frekvent till examensarbeten (Ejvegård, 2009).

2.1.1 Intervju

Ofta bedrivs en intervju genom att intervjuaren frågar en respondent i taget, och endast sällan intervjuas flertalet personer samtidigt. Intervjuer är tidskrävande både i utförande och i den planering som föreligger intervjun. Vid en intervju besvaras ofta öppna frågor och arbetet med sammanställning är krävande (Ejvegård, 2009). En intervju kan även bedrivas med en tydlig styrning från intervjuaren, det kallas strukturerad intervju. Både frågor och svar är starkt styrda med avseende att svara på en viss frågeställning inom aktuellt fokusområde. Strukturerade intervjuer är lättare att jämföra och sammanställa än semi- och ostrukturerade (Trost, 2010).

2.1.2 Enkät

Enkätundersökningar inriktar sig på att studera åsikter hos enskilda personer, som sedan sammanförs och analyseras i grupp (Ejlertsson, 2014). Enkät är ett enkelt och billigt sätt att samla in data från flertalet personer, svaren är skriftliga och enklare att bearbeta än vid intervju. Genom att skicka ut formuläret i förväg får respondenten tid till att begrunda frågorna och kan på så sätt ge ett enklare svar till en något mer komplicerad fråga, vilket spara tid (Trost, 2007). Kvantitativa enkätstudier syftar till att i största mån skildra strukturer i det material som analyseras. Metoden bygger på standardiserade frågor, där även svaren är standardiserade. För att ge en bra studie bör därför personen vilken utformar enkäten vara insatt i ämnet, i annat fall kan både frågor och svara visa sig irrelevanta (Holme & Solvang, 1997).

Detta arbete genomfördes likt en kombinerad kvantitativ enkät och strukturerad intervjustudie, där respondenterna fick ange svaren till enkäten under en telefonintervju. Metoderna kombinerades för att jämföra konkreta processinställningar och värden från enkäten, med åsikter och tankar, vilka framkom under samtalen med respondenterna.

2.2 Avgränsningar

Den grupp av anläggningar som urvalen gjordes ifrån och som var själva målet för enkäten kallas för population (Ejlertsson, 2014). Populationen för detta arbete avgränsades till att beröra pelletsproducenter med produktionsanläggningar i Sverige, och med en träbaserad råvara från såg- och kutterspån. Torkning av råvaran borde främst ske vid samma anläggning där pelletsen produceras, det var däremot inget strikt krav. Populationen innefattade de 20 största producenterna rangordnade efter produktion år 2017. Populationen för enkäten innefattade anläggningar med en produktionskapacitet från 25 000 till över 100 000 ton.

Listan över produktionsanläggningar i Sverige sammanställs årligen av Bioenergitingidningen och låg till grund för urvalet (Haaker, 2019).

2.3 Utformning av enkät

Enkäten utformades med hjälp av material från ett tidigare påbörjat arbete inom projektet PELS (pelletsutveckling för att möta kommande produktkrav) vid SLU och RISE, arbetet avslutades inte. Det fanns däremot ett intresse av att fortsätta arbeta på projektet. Enkäten för detta arbete utformades därför med avseende på aspekter och frågeställningar som gick att finna i materialet från det tidigare påbör-

jade arbetet, tillsammans med kunskap från insamlad litteratur inom området. Frågornas fokuserade på processer och inställningar som i litteraturen anses påverka benägenhet för att varmgång ska initieras.

Varje år släpper Bioenergitidningen en lista på pelletstillverkare i Sverige, listan rankar tillverkarna efter producerad volym. För att erhålla kontaktuppgifter till anläggningarna användes en lista tillhandahållen från handledaren Michael Finell. En kompletterande sökning gjordes på företagens hemsidor, och/eller kontakt med växel för att få tag på personer med rätt kompetens för att besvara enkäten.

2.4 Verkställande

Inkluderat i enkäten fanns ett informationsblad som behandlar bakgrunden och syftet med studien med avseende på att ge respondenten en djupare förståelse om projektet innan besvarande av frågorna (Bilaga 1). Då respondenter var begränsade i antal, kontaktades de först via telefon för att berätta om projektet och upplägget för enkäten, fanns det intresse och möjlighet att delta skickades enkäten och följebrev ut via mejl. Stor vikt lades vid den personliga integriteten, samtliga anläggningars information kom att behandlas konfidentiellt, med syfte att förmedla tillit och öka svarsfrekvensen.

När hela populationen ingår i undersökningen kallas det för en totalundersökning (Ejlertsson, 2014). Respondenterna gavs cirka en vecka betänketid innan de ringdes upp och tid för intervju via telefon bokades. Under telefonmötet fylldes enkäten i och det fanns möjlighet att förklara oklarheter samt att anteckna åsikter och tyckanden kring frågorna. Enkäten genomfördes under hösten 2019. Den första telefonkontakten med företagen upprättades under vecka 40 för att sedan planera in telefonmöten från och med vecka 42. Vecka 49 var alla svar insamlade och ett tackkort skickades till respondenterna.

2.4.1 Databearbetning

En del av respondenterna svarade inte på alla frågor i och med att det ansågs vara för komplexa givet de svarsalternativ som tillhandahölls. De valde istället att kommentera frågorna under telefonintervjun och därmed förklara utförligare vad som ansågs vara relevanta svar. Svaren från enkäten analyserades i Excel och anläggningar som angett liknande kommentarer under samtalsintervjun sammanställdes för att sedan möjliggöra en vidare analys av materialet (avsnitt 3).

Då populationen för enkäten var under 40 individer var det inte relevant att utföra någon statistisk analys av resultatet. Motiveringen för detta var att om en respondent misstolkade en fråga, får det enskilda svaret en allt för stor vikt vid sammanställningen och resultatet blir i högre grad osäkert (Ejvegård, 2009).

3 Resultat

I Excel behandlades resultatet uppdelat på tre grupper I, II och III; grupperna baserades på fråga 9 & 11 i enkäten (Bilaga 2):

- I. Upplever inte varmgång.
- II. Upplever varmgång.
- III. Upplever varmgången som ett problem.

3.1 Respondenter

Enkäten skickades ut till totalt 20 pelletsanläggningar i Sverige, samtliga anläggningar svarade på enkäten (Tabell 3).

Tabell 3. Geografisk fördelning och svarsfrekvens för produktionsanläggningarna (n=20)

Table 3. Geographic distribution and response rate for the production facilities (n=20)

Geografisk fördelning	Antal utskick	Svar Antal	Svarsandel av utskick (%)
Norrland	6	6	100
Svealand	6	6	100
Götaland	8	8	100

Flera av anläggningarna tillverkade olika typer av förädlade biobränslen och i medeltal stod bränslepellets för 84 %, 99 % och 95 % av anläggningarnas totala volymproduktion givet ordningen grupp I, II och III. Produktfloran varierade för samtliga anläggningar (Tabell 4).

Tabell 4. Antal anläggningar med samma produktflora

Table 4. Number of facilities with the same product range

Produktutbud för anläggningarna	Enbart bränslepellets	Bränslepellets & träpulver	Bränslepellets & stallpellets	Bränslepellets, Pulver & stallpellets
Antal anläggningar	10	4	4	2

Tolv av anläggningarna tillverkade 8 mm pellets, två anläggningar producerade 6 mm pellets och sex anläggningar producerade båda pelletsdimensionerna.

Anläggningarna som ingick i studien producerade tillsammans 1,5 miljoner ton bränslepellets vilket motsvarade 84 % av Sveriges totala pelletsproduktion 2018.

3.2 Lagring av pellets

Av de totalt 20 tillfrågade anläggningarna svarade 70 % (n=14 av 20) att de upplever varmgång i sina pelletslager. Av dessa 14 ansåg 57 % (n=8 av 14) att varmgång var ett problem som påverkade verksamheten negativt, dessa åtta anläggningar representerade grupp III.

95 % (n=19 av 20) uppgav att de lagrar pellets under hela året. Anläggningen som inte lagrar under hela året höll inte lager under perioden januari-februari, de tillade även att efterfrågan är som störst under just den perioden.

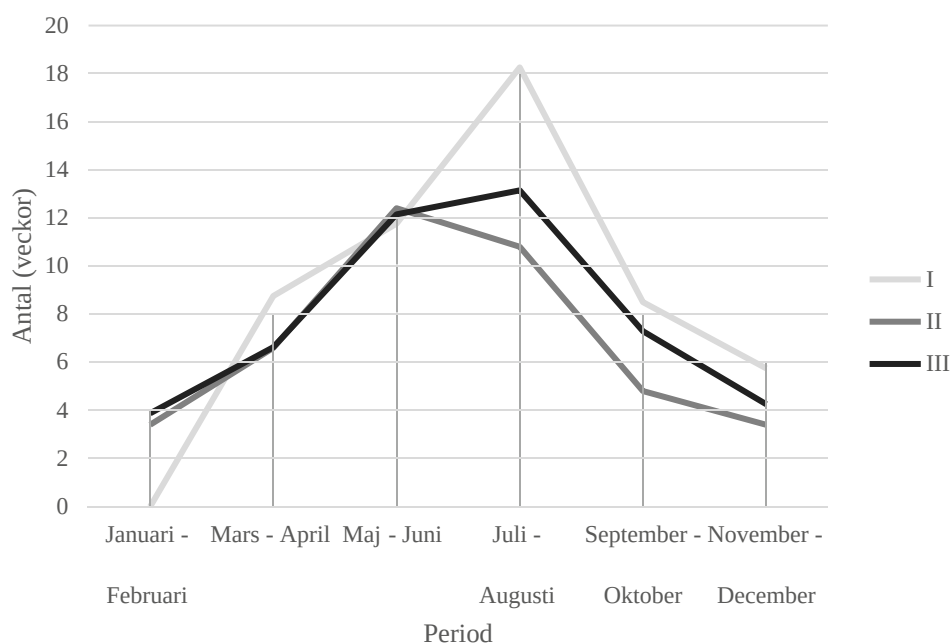
Lagring av pellets kunde göras med olika typer av lagerkombinationer och planlager var den vanligaste lagringstypen (Tabell 5).

Tabell 5. Typ av lagringsmetod och antal anläggningar med samma lagerlösning (n=20)

Table 5. Type of storage method and number of plants with the same storage solution (n=20)

Grupp	Silo (n)	Planlager (n)	Silo & planlager (n)	Säck & planlager (n)	Säck och silo (n)
I	1	3	0	1	1
II	1	2	3	0	0
III	0	4	1	2	1

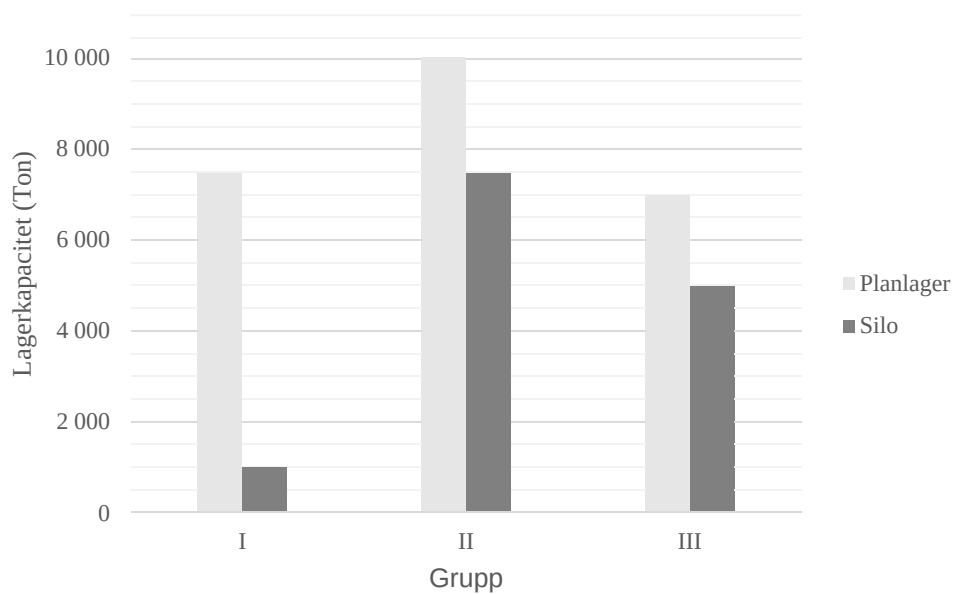
Lagringstiden för de tillfrågade anläggningarna varierade stort över produktions säsongen och respondenterna ansåg att det var svårt att ge en bild som stämmer bra överens med verkligheten. Generellt representerade sommarmånaderna den längsta lagringsperioden. Standardavvikelsen för respektive grupp I, II & III var 6, 4 & 4 veckor (Figur 6).



Figur 6. Medelvärde av längsta lagringstid för bränslepellets (n=18).

Figure 6. The mean of the longest storage time for fuel pellets (n=18).

Genomsnittliga lagringskapacitet för enskilda silos var större för grupp II och III jämfört med grupp I (Figur 7).



Figur 7. Genomsnittlig storlek på enskild planlager respektive vertikalsilo (n=20).

Figure 7. Average size of individual flat storage and/or silo (n=20).

Anläggningar som uppgav att lagring av pellets inte hade några positiva kvalitets-effekter på produkten lagrade till största del i säck och var till antalet två stycken. Silokapaciteten var 50 respektive 4 500 ton per silo för anläggningarna, medeltalet för storleken på samtliga silos i undersökningen var 4 700 ton. Kvalitetsförbättringar härrörde uteslutande hållfastheten på produkten (Tabell 6). En anläggning påtalade att det var en fin avvägning mellan bulkdensitet och hållfasthet för att leverera en bra produkt.

”Lagringen ger i huvudsak två effekter; lägre bulkdensitet och högre hållfasthet, det är ett tveeggatsvärd som kräver noga avvägning som produktionsparameter...”

Tabell 6. Respondenternas svar gällande om pellets kvalitén förbättras under lagring (n=20)

Table 6. Respondents' responses regarding pellet quality are improved during storage (n=20)

Grupp	Ja		Nej	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
I	4	67	2	33
II	6	100	0	0
III	8	100	0	0

Samtliga anläggningar som svarade ja, ansåg att kvalitet i detta fall infattade hållfasthet.

Två anläggningar kommenterade att de hade avfuktare till planlagren, varav en anläggning använde den frekvent (Tabell 7).

Tabell 7. Upplever ni kondens i lagren eller att pelletsen har möjlighet att återfuktas vid lagring (n=20)

Table 7. Do you experience condensation in the storages or that the pellets have the opportunity to be moisturized during storage (n=20)

Grupp	Ja		Nej	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
I	0	0	6	100
II	4	67	2	33
III	6	75	2	25

Två anläggningar i grupp I uppgav att de har uppmätt temperaturer under 40 °C och mellan 40-60 °C, de tillade även att mätningarna var till åren och det i dagsläget inte utförde kontinuerliga mätningar i lagren. En av dessa hade trots att de inte ansåg sig uppleva varmgång, observerat smulbildning av pellets i lagren. Något som kan ge en antydning om att varmgång pågår. De högst uppmätt temperaturerna observerades i grupp III (Tabell 8).

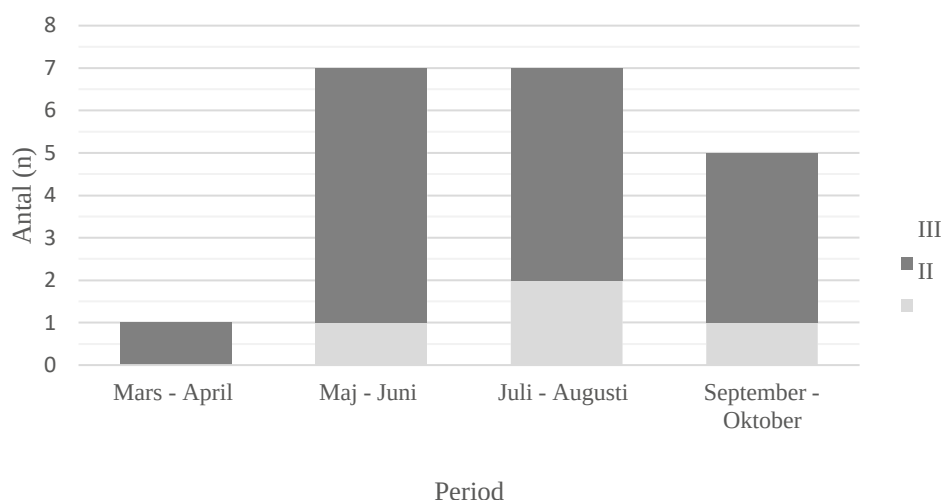
Tabell 8. Antal av anläggningar som uppmäter en viss högsta temperatur och hur stor andel som tillhör grupp II och III (n=13)

Table 8. Number of facilities that measure a certain maximum temperature and what proportion belong to group II and III (n=13)

Grupp	< 40 °C		40 – 60 °C		60 – 80 °C		> 80 °C	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
II	1	20	4	80	0	0	0	0
III	0	0	2	25	4	50	2	25

Benägenheten för varmgång varierade över året och var mest frekvent under sommaren och hösten (Figur 8). Det var även under den perioden som lagren var som mest fyllda, fyra anläggningar kommenterade även att kylningen var sämre under denna period. En anläggning ansåg att den lagrade råvaran minskade under den perioden och pellets tillverkades i större utsträckning av färskt spån.

En anläggning tillhörande grupp III hade installerat en avfuktare för att minska problematiken, de uppgav att problemen främst uppstod på hösten och då temperaturen skiljde mycket mellan natt och dag, vilket bildade kondens.



Figur 8. Svarsandel för grupp II och III, perioder där varmgång är som mest frekvent. En och samma anläggning kunde ange flera perioder (n=10 av 14).

Figure 8. Response rate for groups II and III, showing periods when self-heating is most frequent. One facility could specify several periods (n=10 of 14).

Två av sex anläggningar i grupp I delgav att mätningar kunde genomföras vid behov men att det inte varit aktuellt under de senaste åren (Tabell 9). Mätningar utfördes i både planlager och silo för grupp II och III. Mätinstrumenten varierade något mellan anläggningarna, generellt gällde temperatursensorer i silo och temperaturspjut samt värmekamera i planlager. Anläggningen i grupp II vilken uppgav att mätningar inte utfördes motiverade med att utrustningen fanns men inte användes.

Tabell 9. Respondenternas svar angående om temperaturen kontinuerligt mäts i lagren**Table 9.** Respondents' responses regarding whether the temperature is continuously measured in the storages

Grupp	Mäter		Mäter inte	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
I	0	0	6	100
II	6	83	1	17
III	8	100	0	0

Åtgärder som genomfördes då max tillåten temperatur överskreds varierade beroende på typ av lager. Vid lagring i vertikalsilo tillsattes ofta tömning, rundkörning och packning i säck, i planlagren valdes att dela bulken. En anläggning i grupp II hade ingen rutin för att minska värmeutvecklingen utan om det så krävdes gick brandlarmet, denna anläggning hade anpassat silon för att ta emot inert gas⁶. Ingen gräns för högsta tillåtna temperatur uppgavs för grupp I (Tabell 10).

Tabell 10. Antal anläggningar där en kritisk temperatur initierade motåtgärder samt medelvärdet för den temperaturen (n=19)**Table 10.** Number of facilities where a critical temperature initiated countermeasures as well as the average temperature for countermeasures (n=19)

Grupp	Ja		Nej		Temperatur (°C)
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)	
I	0	0	6	100	-
II	4	67	2	33	56
III	4	57	3	43	64

1. Ej reaktiv gas (ex. Argon eller Kväve) som används för att reducera mängden syre och därmed kväva elden.

För grupp III utförde 71 % (n=5 av 7) åtgärder mot varmgång i snitt 10 gånger vardera de senaste fem åren, jämt fördelat över tiden och därmed ungefär två gånger per år. Av de som upplevde varmgång som ett problem ajourhöll 43 % av de tillfrågade information om åtgärderna (Tabell 11).

”Åtgärder för att minska varmgång som rundkörning i silon är integrerat i lagringsanläggningen och den startas enkelt med en knapptryckning, det är en normal processåtgärd”

Tabell 11. Ajourhåller ni information om de åtgärder som utförs med avseende att reducera värmeutveckling (n=12)

Table 11. Is information collected from counter measurements taken during prevention of self-heating (n=12)

Grupp	Ja		Nej	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
II	2	40	3	60
III	3	43	4	57

Sex av anläggningarna tillverkade både 6- och 8 mm pellets, varav 2 uppgav att de upplevde 6 mm pelletsen som mer benägna att skapa varmgång i lagren. Anläggningarna ansåg att en trolig orsak till att produkterna oftare gav upphov till varmgång kunde bero på att det producerades i enskilda batcher och lagrades under en längre tid. De var ett volymmässigt litet sortiment och produktionen var ofta förlagd under sommarmånaderna.

3.3 Råvara

Träråvaran till samtliga produktionsanläggningar bestod av tall och gran. Den genomsnittliga råvarubasen för samtliga anläggningar motsvarades av en tallandel på 45 % (Tabell 12).

Tabell 12. Medelvärde, högsta respektive lägsta andel tall i råvaruanskaffningen (n=20)

Table 12. Mean, highest and lowest proportion of pine in the raw material procurement (n=20)

Grupp	Tall, medel (%)	Tall, max (%)	Tall, min (%)
I	30	70	0
II	36	80	0
III	63	95	20

30 % av samtliga anläggningar ansåg att råvarusammansättningen varierade över året (Tabell 13). Ingen anläggning ansåg däremot att årstidsvariation var något som påverkade råvarusammansättningen, istället var det tillgången från sågverken som var den styrande faktorn:

”Det blir vad det blir”

Tabell 13. Respondenternas svar angående om råvarusammansättningen varierar över året (n=20)
Table 13. Respondents' responses regarding if the raw material composition vary over the year (n=20)

Grupp	Ja		Nej	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
I	2	33	4	67
II	2	33	4	67
III	2	25	6	75

20 % av samtliga anläggningar tillsatte någon typ av additiv i pelletstillverkningen (Tabell 14). Additiven bestod av potatis-, vete- och majsstärkelse, varav samtliga anläggningar varierade mängden additiv beroende på pellets kvalitén, inom intervallet 0,1 till 0,5 %.

Tabell 14. Tillsätts någon typ av additiv vid tillverkning av bränslepellets (n=20)
Table 14. Is additive mixed in the fuel pellet raw material before pelletizing (n=20)

Grupp	Ja		Nej	
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
I	1	17	5	83
II	2	33	4	67
III	1	13	7	88

Lagringstiden för råvaran varierade till stor del över året, två anläggningar i grupp I jobbade med ett system där råvaran gick direkt in i produktion vid ankomst till anläggningen. Den genomsnittliga lagringstiden var trots detta längre i grupp I (Tabell 15).

Tabell 15. Genomsnittlig lagringstid för råvara samt om lagringstiden stämmer med önskad lagringstid (n=20)
Table 15. Average duration of raw material storage and if that time correspond to desired duration of storage (n=20)

Grupp	Genomsnittlig lagringstid	Stämmer med önskad lagringstid		Stämmer inte med önskad lagringstid	
	Veckor	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)
I	10 (40, 0)*	5	83	1	17
II	9 (60, 1)*	2	33	4	67
III	3 (8, 1)*	3	38	5	63

(*)Representerar längsta och kortaste lagringstid för råvaran i antal veckor.

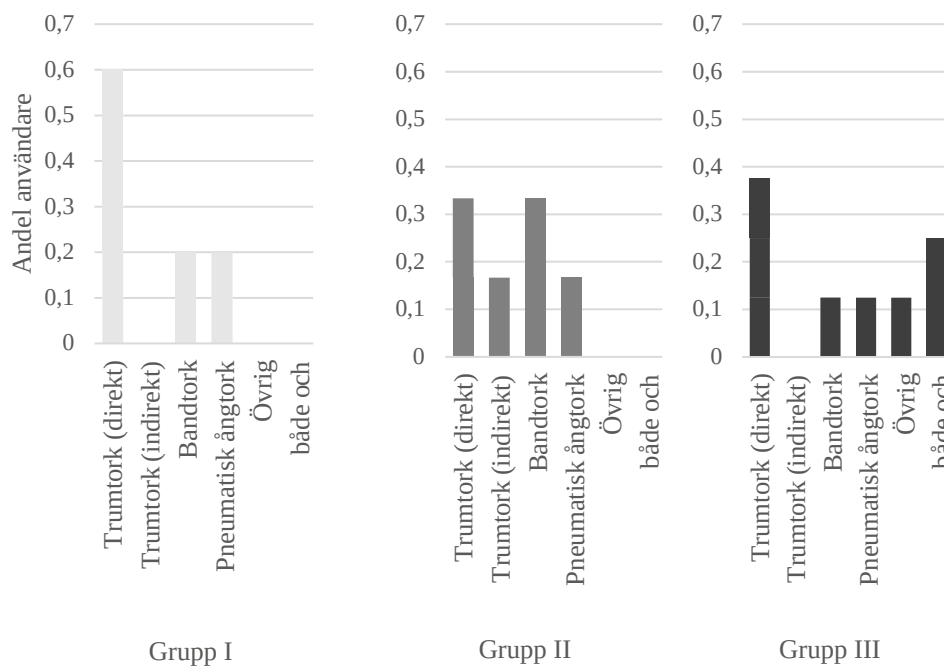
I genomsnitt härrör råvaran för tillverkning av bränslepellets från sågspån 84 %, kutterspån 14 % och torrflis 2 % (Tabell 16).

Tabell 16. Fördelning av råvarukälla (n=20)**Table 16.** Raw material procurement source (n=20)

Grupp	Sågs-spån (%)	Kutterspån (%)	Torrflis (%)
I	68 (81)*	31 (17)*	2
II	87	7	6
III	93	7	0

En av anläggningarna producerade pellets av enbart kutterspån. (*)representerar värden då anläggningen med enbart kutterspån var exkluderad.

Anläggningar i grupp I använde trumtork mer frekvent än anläggningar i grupp II & III (Figur 9).

**Figur 9.** Andelen användare av en viss torkningsmetod (n=20)**Figure 9.** The proportion of users of a particular drying method dryer (n=20)

95 % (n=19 av 20) av respondenterna torkade råvaran på anläggningen resterande köpte in redan torkad råvara i form av kutterspån.

Fukthalten efter torkningen varierade mellan 8 och 12 % med ett medel för grupp I på 10 % och 11 % för respektive grupp II och III.

3.4 Process

Den genomsnittliga presskanallängden för samtliga anläggningar var 57 mm för 6 mm pellets och 71 mm för 8 mm pellets (Tabell 17).

Tabell 17. Antalet anläggningar som producerar 6- respektive 8 mm pellets och medelvärdet av kanallängden
Table 17. Number of facilities that produces 6- and 8 mm pellets and their mean die channel length

Grupp	8 mm		6 mm	
	antal	Längd (mm)	antal	Längd (mm)
I	6	69	2	44
II	3	65	1	45
III	6	77	3	70

Antalet kan överstiga 20 då en anläggning kan producera båda dimensionerna

65 % av samtliga anläggningar använde ångkonditionering i pelleteringsprocessen (Tabell 18). Sällstorleken vid malning av torkad råvara minskade och temperaturen på spånet ökade från grupp I till grupp III. Andelen anläggningar där konditionering användes i processen var procentuellt högre i grupp II och III.

Tabell 18. Antal anläggningar som använder ångkonditionering i pelleteringsprocessen, medelvärdet av sällstorleken för respektive grupp samt den temperatur som pelletsen håller innan pelletering (n=20)
Table 18. Number of facilities that uses steam conditioning in the pelletizing process, average sieve size and the average raw material temperature before pelletizing (n=20)

Grupp	Konditionering				Sällstorlek (mm) [Sd]	Temperatur (°C) [Sd]
	Ja		Nej			
	Antal	Andel (%)	Antal	Andel (%)		
I	3	50	3	50	6,2 [1]	58 [27] 3*
II	5	83	1	17	5,9 [0]	62 [20] 3*
III	5	63	3	38	5,1 [2]	79 [16] 8*

Samtliga anläggningar svarade på konditionering och sällning. *antal svar, av totalt sex för grupp I sex för grupp II och åtta för grupp III.

Kylluften för samtliga anläggningar i grupp II och III bestod av friskluft hämtad direkt utifrån och därmed följde den normala årstidsvariationerna i lufttemperatur, luften avfuktades inte på någon av anläggningarna. Lika så erhöll pelletsen generellt en temperatur något över kylluften efter kylning. Samtliga anläggningar ansåg att kylningen blev lidande under de varmare sommarmånaderna då kylluften höll en högre initial temperatur.

För grupp I uppgav två anläggningar att pelletsen inte kom i kontakt med kylluft som kan vara fuktig, varav en anläggning främst hämtade luft till kylarna ifrån en uppvärmd industrilokal. Den andra hämtade uteslutande kylluften från en uppvärmd

lokal. En anläggning uppgav att de hade testat om det blev mindre varmgång då pellets kylde ner till en lägre temperatur, och under längre tid. Resultatet visade att kylningen enbart fördröjde värmeutvecklingen och löste därmed inte problemet, anläggningen återgick därefter till tidigare kylningsstrategi.

Parametrar som anläggningarna ansåg orsaka varmgång, oavsett om de upplevde varmgång eller inte var generellt sett:

- Att lagra pellets med olika fukthalter, vilket initierar fuktvandring.
- Producera pellets med en råvarubas som till större del består av tall, fettsyror bidrar till problemen och de finns i större utsträckning i tall.
- Fallerande kylning av pellets innan den lagras, det kan vara att utetemperaturerna inte ger tillfredställande kyla eller att något i anläggningen fallerar

4 Diskussion

4.1 Resultat

I studien uppgav 70 % av anläggningarna att de upplevde varmgång i sina pelletslager, varav 57 % upplevde varmgång som ett problem med negativ inverkan på verksamheten. Resultatet stämmer överens med att varmgång påverkar verksamheten för pelletstillverkare, något som har påtalats vid flera tillfällen (Haaker, 2018; Murray, 2010). De högsta temperaturerna som registrerats i lagren varierade mellan grupperna II och III, där grupp III utmärkte sig med mätningar över 80 °C. Ingen anläggning i grupp II uppgav att temperaturer över 60 °C hade registrerats. För grupp III registrerade 75 % av anläggningarna temperaturer över 60 °C.

4.1.1 Lagring

Resultatet visar att anläggningar i grupp II och III i snitt har större silolager och därmed kapacitet att lagra större volymer (7 100 och 4 800 ton) i ett och samma utrymme. Det stämmer överens med att större bulkvolym bidrar till en miljö där bulken isolerar, vilket gör att värmen stannar kvar en längre tid i pelletsbulken. Det gynnar temperaturutveckling och kan leda till självantändning, om syre tillåts komma åt det varma området, ofta centralt beläget i bulken (Persson, 2013). Intressant var att volymkapaciteten hos planlager inte alls verkar ha något samband med upplevd varmgång, trots att de stora massorna även här har isolerande egenskaper och gynnar varmgång, likt lagring i silo. Något som inte tas upp i studien är den aktuella volym som faktiskt lagras, hur massorna fördelats i bulken och hur ut och inmatning sker. Lagringsförsök har tidigare indikerat att pelletshögar med olika form genererar olika höga temperaturer (Finell *et al.*, 2018).

Samtliga anläggningar i grupp II och III ansåg att kvalitetsförbättringar uppnåddes vid lagring. Förbättringar som främst härrör pelletens hållfasthet, även detta bekräftas av litteraturen (Finell *et al.*, 2018). Hos grupp I ansåg endast 67 % att lagring gav kvalitetsförbättringar, något som eventuellt kan påverkas av hur lagringen är utformad. Två av anläggningarna i denna grupp uppgav att de lagrade stora volymer i säck och därmed inte i en stor gemensam bulkmassa. Lagren bestod ofta av 16 kilos säckar, vilka lagrades på pall. Enligt studien bör däremot någon typ av kvalitetsförändring ske även vid lagring i säck, troligtvis en ökning av hållfastheten. Varför anläggningarna inte angett kvalitetsförbättringar i enkäten kan bero på att mätningar av kvalitet sker mer sällan efter att pelletsen är säckad. Resonemanget är inte baserat på frågor från enkäten utan ett antagande.

Anläggningar som både lagrade i säck och silo, samt säck och planlager var representerade i både grupp I och III. Det kan bero på att även fast det lagrades i säck så var kapaciteten på silo eller planlager tillräckligt stor för att initiera varmgång.

Anläggningar i grupp II och III uppgav att pellets riskerade att återfuktas via kondens eller på annat sätt, det kan vara genom läckage i tak eller andra delar på lagringsutrymmet. Vatten har bevisats påverka risken för varmgång i pellets i flertalet tidigare studier och kan vara en initierande faktor för varmgång (Nilsson *et al.*, 2019; Lestander, 2008).

Varmgång ansågs ske som mest frekvent under sommaren och hösten. Det är även under denna period som pellets lagras under längst tid och lagren håller som mest volymer. Detta bör vara relevant gällande benägenheten för varmgång, då stora volymer som lagras i samma utrymme skapar förutsättningar för varmgång och brand (Persson, 2013). Merparten av de anläggningar som kommenterade uppgiften ansåg att under just denna period var det kylningen som fallerade, då kylluften i de allra flesta fall hämtades i form av friskluft. När kylluften hämtas som utomhusluft håller den rådande utetemperatur och påverkas då till stor del av årstiderna, varmare kylluft ger sämre kylning av pelletsen och ökar risken för varmgång. Att kylning är en viktig parameter för att minska risken för varmgång har tidigare påvisats av Finell *et al.* (2018) vid ett lagringsförsök med bränslepellets.

Det faktum att ingen i grupp I uppgav att de mäter temperaturer i lagren, kan till stor del påverka deras benägenhet för att ange förekomst av varmgång i enkäten. Varmgång kan däremot vara närvarande utan att de ger så pass stor påverkan att det bör övervakas. Vid anläggningar där varmgång förekommer, mäts däremot temperaturen nästan uteslutande. Det är dock enbart ca 50 % som uppger att det finns en kritisk temperatur då åtgärder måste sättas in. I Medeltal ligger denna temperatur på 56 °C för grupp II och 64 °C för grupp III.

Att endast 43 % av de som upplever varmgång ajourhåller information om när, var och hur åtgärder utförs stämmer bra överens med en tidigare studie. Där det under-

stryks att spridning och insamlande av information vid risk för fara sällan sammanställs och sprids mellan anläggningar (Hedlund, Astad & Nichols, 2014). Resultatet i denna rapport ger däremot bristfällig information gällande övrigt ajourhållande av data från processåtgärder eller dylikt. Att åtgärder som utförs för att minska riskerna vid varmgång inte ajourhålls säger inget om vad som faktiskt undersöks om en fullt utvecklad olycka sker.

4.1.2 Råvara

Likt tidigare studier av Larsson (2017); Arshadi & Gref (2005) påvisade även denna att andelen tall påverkar benägenheten för varmgång. Andelen tall ökade från grupp I till II och fördubblades i grupp III. Anmärkningsvärt var att två anläggningar i grupp III producerade pellets med en råvarubas bestående av stor andel gran, över 70 %. Råvarusammansättningen var i stort sätt stabil även om 30 % av samtliga anläggningar uppgav viss variation över året. Variationen var främst kopplad till tillgången på råvara i närområdet och hur sågverken styrde sin produktion.

I snitt använde 20 % av anläggningarna additiv i pelletstillverkningen. Inget tyder dock på att additiv påverkade frekvensen av varmgång i studien, något som stöds av en tidigare studie gällande tillsatser i pellets (Ståhl *et al.*, 2012).

Lagringstiden för råvaran tenderar att minska för de anläggningar som upplever varmgång och i snitt lagrar grupp II råvaran i nio veckor medan grupp III lagrar i tre veckor. Ingen av anläggningarna är därmed i närheten av en lagringstid på 120 dagar som rekommenderas för att uppnå spånmognad (Samuelsson *et al.*, 2012). Inte heller grupp I når spånmognad vid lagring, de är dock närmre tidsmässigt. Denna studie visar på att endast 33- respektive 38 % av de tillfrågade i grupp II och III är nöjda med lagringstiden och de övriga hade gärna önskat längre lagring. Lagringstiden för råvaran påverkades till stor del av tillgång på råvara och lagringskapacitet för anläggningen. Dessa parametrar är troligtvis svåra att styra för pelletsanläggningarna, då de är beroende av sågverken för leverans av råvara. Att utöka lagringskapaciteten för råvaran kräver stora markytor och kan vara både kostsamt och rent tekniskt problematiskt att genomföra.

Anläggningar vars råvarubas delvis härstammade ifrån kutterspån ansåg att varmgång inte förekom i lagren. Kutterspån torkas innan virket har sönderdelats och genomgår ett flertal processer på sågverket innan de till slut hamnar på en pelletsanläggning. Ledtiden från sågverk till pelletering är då längre och den sammanlagda tiden som torkad råvara blir även den längre. Hur denna torkningsprocess och ledtid påverkar sammansättningen av veden och benägenheten till oxidation är inte undersökt och bör studeras vidare.

Trumtork var något vanligare vid anläggningar som inte ansåg sig ha problem med varmgång, vad det beror på är oklart. En teori är dock att trumtorken ofta använder en högre arbetstemperatur och avgången av VOC och andra oxiderbara ämnen är högre. Då dessa ämnen avgår minskar också risken för att en oxidationsprocess skall initieras efter pelletering (Ståhl *et al.*, 2004).

4.1.3 Process

Resultatet av undersökningen tyder på att konditionering med ånga är vanligare i grupp II och III. Sällstorleken blir mindre med stigande gruppnummer, samt att temperaturen på materialet innan pelletering var högre med stigande gruppnummer. Om detta har betydelse för varmgång vid lagring av bränslepellets är oklart, det bör dock vara av intresse för framtida studier. Anläggningar i grupp I svarade att kylluften till viss del avfuktades innan den kom i kontakt med pelletsen, om detta påverkar benägenheten för varmgång är dock inte känt. Det är däremot påvisat att fukt kan påverka pellets benägenhet till varmgång (Obernberger & Thek, 2010; Blomqvist & Persson, 2003). Pellets som är varma vid kontakten med kylluften bör dock avge fukt istället för att absorbera. Detta på grund av att den initiala fukthalten sjunker under kylning (Obernberger & Thek, 2010).

4.1.4 Övriga resultat

Sammanställning av de öppna frågorna belyste att anläggningarna delar liknande åsikter som gängse litteratur och forskning inom området. Andelen tall, fallerande kylning, fuktvandring, adsorption och absorption är alla parametrar som kan påverka temperaturförändringar i pelletslager (Finell *et al.*, 2018; Larsson, 2017; Lestander, 2008; Arshadi & Gref, 2005).

Studien som grundar sig i att kartlägga problem med varmgång bör ha potential att ligga till grund för beslut, för inom vilka områden som framtida forskning bör inrikta sig på. Denna forskning kan medföra förändringar i hur råvara, process och pelletslagring hanteras av pelletsanläggningar, och följaktligen bidra till en bevarad konkurrensstark pelletsmarknad. Där den miljömässigt hållbara produkten kan fortsätta att tillverkas och lager även i framtiden kan försäkras till en rimlig kostnad.

Resultatet av denna rapport bekräftade tidigare studiers resultat som tyder på att råvarusammansättningen påverkar benägenheten för varmgång. Den belyser även problematik kring hur lång tid som råvara har möjlighet att lagras innan pelletering, något som kan vara ide att fortsätta studera i framtiden.

För att minska risken för varmgång bör anläggningar eventuellt implementera en strategi för att konsekvent lagra råvara till spånmognad.

Resultatet bekräftar delvis hypotes ett, om att lagring till spånmognad ger en mindre risk för varmgång. I snitt varade den längsta lagringstiden för råvara (grupp I) i 10 veckor, tiden räcker inte riktigt för att ge tillfredsställande spånmognad men var i närheten. En tydlig trend som kunde urskiljas var däremot att längre lagringstid av råvaran gav mindre varmgång i pelletslagren. Hypotes två kunde även den bekräftas av studien, andelen tall var betydligt högre hos anläggningar med varmgång och problem med varmgång. Det var dock en stor spridning inom grupperna och vidare undersökningar bör utföras.

4.2 Styrkor och svagheter

4.2.1 Metod

Enkäten utfördes likt en totalundersökning med 100 % svarsfrekvens och således har ingen bortfallsanalys utförts i samband med samanställningen. En anledning till att alla tillfrågade svarade på enkäten kan vara det faktum att den utfördes över telefon, och respondenten tillsammans med intervjuaren svarade på frågorna. Den direkta kommunikationen medgav att otydligheter kunde uppklaras under tiden enkäten besvarades. Då syftet var att jämföra hur olika parametrar för process, lagring och råvara varierade mellan anläggningarna, valdes fasta svarsalternativ i enkäten. Ett annat alternativ kunde vara att enbart använda sig av en intervju. Risken kunde då vara att en del parametrar som ansågs viktiga för arbetet lämnades utanför diskussionen och lades mindre vikt vid.

Respondenterna var eniga om att en del frågor kunde formulerats annorlunda för att bättre möta den problematik som härrör varmgång. Frågan gällande lagringstid för pellets ansågs svår att svara på, då det varierar kraftigt under året. Därför uppgav anläggningarna de kortaste och längsta lagringstiderna, för att ge en bättre bild av hur situationen såg ut. Likaså var frågan om hur lagringstiden varierar över säsongen svår att svara på. Där uppgavs istället den längsta lagringstiden per period. Många anläggningar uppgav att lagringstiderna ofta varierar kraftigt och därför är det svårt att ge ett bra medelvärde.

En fördel kunde ha varit att först ringa upp en slumpad anläggning i populationen. Detta för att ställa enkätfrågorna, lyssna på input och revidera efter vad som ansågs svårt att besvara och vilka frågor som kunde anses extra relevanta samt vilka som kunde exkluderas.

En annan svaghet med studien var att alla tillfrågade anläggningar inte svarade på samtliga frågor på enkäten, vilket gav ett visst internt bortfall per fråga. Frågor

som då lämnades blanka av vissa anläggningar ger en stor osäkerhet i sammanställningen, något som bör beaktas vid tolkning av resultatet. I studien borde pelletstillverkare som i större grad lagrar pellets i säck möjligtvis exkluderas, då de avviker ifrån källan till problemet, som i sin helhet är bulklager.

Frågorna i enkäten är inriktade på en verksamhet som hade stabila processinställningar över året, pelletsanläggningar förefaller variera en del parametrar i större utsträckning än förväntat. En svaghet som bör beaktas vid tolkandet av resultatet var de få antal respondenter som ingått i populationen, varje svar får en väldigt stor betydelse vid sammanställningen. Resultatet bör därför tolkas med stor försiktighet. För att motverka detta hade fler anläggningar kunna kontaktas, de hade dessvärre inneburit att mycket små anläggningar hade medverkat. Samtidigt omfattade studien totalt 84 % av den totala pelletsproduktionen i Sverige, och bör därmed vara relativt representativ för hur de större tillverkarna hanterar sin pelletsproduktion.

Referenserna som använts för att reda ut viktiga parametrar gällande varmgång och till litteraturstudien är till stor del vetenskapligt granskade. Enstaka examensarbeten har även använts, dock i mindre omfattning. Den stora andelen vetenskapliga källor bör påverka legitimiteten på rapporten i positiv riktning.

4.3 Fortsatta studier

Kutterspån, vilket torkades vid en annan anläggning stod för en betydligt större del av råvaran, gällande grupp I. Framtida undersökningar beträffande hur förbehandling och råvaruursprung påverkar pellets benägenhet för varmgång bör genomföras. Lika så antyder studien att trumtorkar är mer frekvent använda hos grupp I, som inte upplever varmgång. Framtida forskning angående hur torkningsmetoder påverkar pellets risk för varmgång vid lagring, bör undersökas. Det är redan idag känt att torkning vid olika temperatur och under olika lång tid påverkar utsläppen av VOC, samt innehållet av oxiderbara fettsyror i råvaran (Öhman *et al.*, 2002). Påverkas denna sammansättning kanske även benägenheten för varmgång kan förväntas påverkas, detta bör därför studeras vidare.

Resultatet av undersökningen tyder på att konditionering med ånga är vanligare i grupp II och III. Samt att sållstorleken i snitt blir mindre med stigande gruppnummer och att temperaturen på materialet innan pressning blir högre med stigande gruppnummer. Om detta påverkar benägenheten för varmgång vid lagring av pellets bör också undersökas.

4.4 Slutsatser

- 70 % av Sveriges största pelletsproducenter upplever varmgång i sina lager, varav 57 % anser det är ett problem önskvärt att förhindra. Anläggningarna delades in i tre grupper baserat på kriterierna, upplever inte varmgång grupp I, upplever varmgång grupp II och upplever varmgång som ett problem grupp III.
- Temperaturerna som registrerats i lagren var olika för grupperna II och III, där grupp III uppgav mätningar över 80 °C. Däremot uppgav ingen anläggning i grupp II att temperaturer över 60 °C hade uppmätts, för grupp III registrerade 75 % av anläggningarna temperaturer över 60 °C. 50 % av anläggningarna med varmgång uppgav att det fanns en kritisk temperatur då åtgärder bör sättas in. I Medeltal ligger temperaturen på 56 °C för grupp II och 64 °C för grupp III.
- Hur skiljer sig anläggningarna mellan varandra:
 - Slutsats baserad på lagring av pellets:

Anläggningarna i grupp II och III lagrar bränslepellets i betydligt större siloanläggningar än grupp I, lagring av stora volymer i samma utrymme kan leda till självuppvärmning. Kapaciteten för planlager var relativt lika för alla tre grupper, vilket antyder att lagring i silo medför andra lagringsförhållanden. Att lagra större volymer i säck tycks även de minska riskerna för varmgång. Ingen av anläggningarna i grupp I uppgav att de utförde kontinuerliga mätningar i sina lager, merparten av resterande grupper mäter temperaturen.
 - Slutsats baserad på råvara:

Andelen tall i råvarubasen var betydligt högre för grupp II och III. Lagringstiden tenderar att minska med stigande gruppnummer och ingen av anläggningarna lagrar till rekommenderad spånmognad. Anläggningar i grupp I införskaffade till större del råvara i form av kutterspån, det var en betydande skillnad ifrån övriga anläggningar.
 - Slutsats baserad på process:

Konditionering med ånga är vanligare i grupp II och III. Sällstorleken blir mindre med stigande gruppnummer, samt att temperaturen på materialet innan press är högre med stigande gruppnummer.

Referenslista

- Alakoski, E., Jämsén, M., Agar, D., Tampio, E. & Wihersaari, M. (2016). From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass – A short review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, ss. 376-383.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.021>
- Andersson, E. (2018). Brand i Ala sågverk – glöd i pelletslager. *Helahälsingland*, 2018-08-21. Tillgänglig: <https://www.helahalsingland.se/artikel/brand-i-ala-sagverk-glod-i-pellets-lager> [2019-12-11].
- Arshadi, M. & Gref, R. (2005). Emission of volatile organic compounds from softwood pellets during storage. *Forest Products Journal*, Vol. 55 (12), ss. 132-135.
- Arshadi, M., Gref, R., Geladi, P., Dahlqvist, S.-A. & Lestander, T. (2008). The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Processing Technology*, Vol. 89 (12), ss. 1442-1447.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.07.001>
- Arshadi, M., Nilsson, D. & Geladi, P. (2007). Monitoring Chemical Changes for Stored Sawdust from Pine and Spruce Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Visible-Near Infrared Spectroscopy, Vol. 15 (6), ss. 379-386. <https://doi.org/10.1255/jnirs.755>
- Baumann, M.G.D. & Conner, A.H. (1994). *Carbohydrate polymers as adhesives*. Handbook of Adhesive Technology. New York. Marcel Dekker Inc.
- Berghel, J., Frodeson, S., Granström, K., Renström, R., Ståhl, M., Nordgren, D. & Tomani, P. (2013). The effects of kraft lignin additives on wood fuel pellet quality, energy use and shelf life. *Fuel Processing Technology*, Vol. 112, ss. 64-69.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.02.011>
- Berghel, J., Frodeson, S., Granström, K., Renström, R. & Ståhl, M.J.I. (2011). *Tillsatser som kvalitetshöjare för pellets*. Gävleborg: (Projekt SWX-Energi. Rapport, nr 22) Tillgänglig: http://site.eventonline.se/ck_archive/106/files/Gamla_publicationer/SWX/22-Tillsatser_som_kvalitetshoejare_foer_pellets.pdf [2019-12-11].
- Bergström D., Finell, M. & Gref, R. (2010). Effects of Extractives on the Physical Characteristics of Scots Pine Sawdust Fuel Pellets *Forest Products Journal*, vol. 60, ss. 640–644.
DOI:10.13073/0015-7473-60.7.640
- Blomqvist, P., and Persson, B. (2003). *Spontaneous Ignition of Biofuels-A Literature Survey of Theoretical and Experimental Methods*, Borås: SP Swedish National Testing and Reserach Institute, (SP AR 2003:18).
- Blomqvist P., Persson, H. (2008). *Self-heating in storages of wood pellets*. In: *Proceedings of the world bioenergy conference and exhibition on biomass for energy*, Konferens. Jönköping, Sverige, Maj, ss 27–29
- Calderón, C. & Colla, M. (2019). *Report Pellet*. Bryssel: (European Pellet Council. Report pellet, 1). Tillgänglig: <https://epc.bioenergyeurope.org/bioenergy-europe-pellet-report-2019/>
- Duca, D., Riva, G., Foppa Pedretti, E. & Toscano, G. (2014). Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications. *Fuel*, vol. 135, ss. 9-14.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.042>
- Ejlertsson, G. (2005). *Enkäten i praktiken – En handbok i enkätmetodik*. 2. uppl. Lund. Studentlitteratur AB.

- Ejvegård, R. (2009). *Vetenskaplig metod*. 4. uppl. Lund: Studentlitteratur AB.
- Energimyndigheten (2019). *Energiläget i siffror*.
Tillgänglig:<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2019/Nu-finns-siffror-pa-energilaget-i-Sverige/> [2019-09-10].
- Erath, A. (2019). Glödbbrand i silo vid Ösby naturbruksgymnasium i Sala. *Svt Nyheter*, 2019-12-02.
Tillgänglig:<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vastmanland/glodbrand-i-silo-vid-osby-naturbruksgymnasium-i-sala> [2019-12-16].
- Fagernäs, L, Brammer, J, Wilén, C, Lauer, M & Verhoeff, F (2010), Drying of biomass for second generation synfuel production, *Biomass and Bioenergy*, vol. 34, no. 9, ss. 1267-1277.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.04.005>
- Filbakk T, Skjevraak G, Høibø O, Dibdiakova J, Jirjis R. (2011). The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. *Fuel Processing Technology*. Vol. 92. Ss 871-878.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.12.001>
- Finell, M., Arshadi, M., Jonsson, C., Segerström, M., Larsson, I., Pushp, M. & Lönnermark, A. (2018). *Varmgång, emissioner, reaktivitet och kvalitet vid lagring av pellets*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. (Institutionen för skogens biomaterial och teknologi Rapport, 2018:14).
- Finell, M., Kalén, G., Segerström, M. & Jonsson, C. (2015). *Sågspånets malningsgrad – inverkan på pellets-kvalitet*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. (Rapport, 2015:3).
- Finell, M., Samuelsson, R. & Arshadi, M. (2018). *Pelletplattformen II : slutrapport 2012-2016*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. (Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Rapport, 2018:21).
- García-Maraver, A., Popov, V. & Zamorano, M. (2011). A review of European standards for pellet quality. *Renewable Energy*, Vol. 36 (12), ss. 3537-3540.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.013>
- Gohde, H. (2018). Brand i pellets-lager på sågverk. *LandSkogsbruk*, 2018-12-03.
Tillgänglig:<https://www.landskogsbruk.se/skog/brand-i-pellets-lager-pa-sagverk/>
- Guo, W. (2013). *Self-heating and spontaneous combustion of wood pellets during storage*. Diss. Vancouver: University of British Columbia. DOI:10.14288/1.0073583
- Haaker, A. (2018). Allt svårare att försäkra pelletsfabriker. *Bioenergi tidningen*, 24 maj.
Tillgänglig:<https://bioenergitidningen.se/pellets/allt-svarare-att-forsakra-pelletsfabriker> [2019-12-12].
- Haaker, A. (2019). Pellets i Sverige 2019. *Bioenergi tidningen*.
Tillgänglig:<https://bioenergitidningen.se/pellets/allt-svarare-att-forsakra-pelletsfabriker> [2019-12-12].
- Hanslep, K., Forell, S. & Lindahl, F. (2018). Hela saneringen fick göras om efter ny brand i pellets-silo. *Nerikes Allehanda*, 5 Oktober. Tillgänglig:<https://www.na.se/artikel/hela-saneringen-fick-goras-om-efter-ny-brand-i-pelletssilo> [2019-12-12].
- Hedlund, F.H., Astad, J. & Nichols, J. (2014). Inherent hazards, poor reporting and limited learning in the solid biomass energy sector: A case study of a wheel loader igniting wood dust, leading to fatal explosion at wood pellet manufacturer. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 66, ss. 450-459. DOI:10.1016/j.biombioe.2014.03.039
- Holme, I. M., & Solvang, B. K. (1997). *Forskningsmetodik: om kvalitativa och kvantitativa metoder*. 2. uppl. Lund. Studentlitteratur AB.
- Swedish standards Institute (2014). Fasta biobränslen - Specifikationer och klassificering - Del 2: Träpellets (ISO 17225 2:2014)
- Jirjis, R., Öhman, M., Vintrebäck, J. (2006). *Pellets-kvalitet – påverkan av råvaruegenskaper och tillverkningsprocess*, Institutionen för bioenergi, Uppsala: Rapport 14, ISSN 1651-0720
- Jirjis, R. (2006). *Storskalig lagring av sågspån = Large scale storage of sawdust*. Uppsala: SLU Institutionen för bioenergi (Rapport 11).
- Järvinen, S & Lehtovaara, J & Pakkanen, H & Salo, M & Alén, R & Sirén, P. (2009). *Self-heating of wood pellets and possibilities for its control*. Jyväskylä. Conference. Jyväskylä 31 Augusti, 2009, Finland. DOI:10.13140/2.1.1201.0887
- Kaltschmitt, M. & Weber, M. (2006). Markets for solid biofuels within the EU-15. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 30 (11), ss. 897-907. DOI:10.1016/j.biombioe.2006.06.009

- Kofman, P.D. (2007). The production of wood pellets. *COFORD*. Vol 10
- Källström, K-Å. (2004). *Rapport Silobrand Härnösand 8-13 september*. Höga Kusten-Ådalen. (Rapport 2004:36) Tillgänglig:<https://rib.msb.se/Filer/pdf/20155.pdf> [2019-11-12].
- Larsson, I, Lönnemark, A, Blomqvist, P, Persson, H. Measurement of self-heating potential of biomass pellets with isothermal calorimetry. *Fire and Materials*. Vol. 41, ss. 1007-1015. <https://doi.org/10.1002/fam.2441>
- Lehtikangas, P., (1999a) *Lagringshandbok för trädbränslen*. 2. uppl. Institutionen för virkeslära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lehtikangas, P. (1999b). *Quality properties of fuel pellets from forest biomass*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Lestander, D. (2011). *Competition for forest fuels in Sweden exploring the possibilities of modeling forest fuel markets in a regional partial equilibrium framework..* Uppsala: (Institutionen för ekonomi. Rapport 677).
- Lestander, T. (2008). Water absorption thermodynamics in single wood pellets modelled by multivariate near-infrared spectroscopy. *Holzforschung*. Vol 62, ss. 429-434. <https://doi.org/10.1515/HF.2008.071>
- Liedberg, A. (2017). *lignin upgrade - new lignin qualities with Lignobost*. Inovativator's voice: valmet [Broschyr]. Tillgänglig:https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderweb/FilePreview?id=06958000002KYaQAAW&_ga=2.14746161.622496676.1578501816-477696759.1578501816 [2019-11-22]
- Modin, P. (2007). *Rapport - Brand i Lantmännens silo i Kristinehamn*. Kristinehamn: Bergslagens räddningstjänst. Tillgänglig:<https://rib.msb.se/Filer/pdf/26249.pdf> [2019-11-11]
- Murray, G. (2010). Prevent Fires, Explosions. *Canadian Biomass Magazine*.
- Nielsen, N., Nørgaard, L., Strobel, B. & Felby, C. (2009). Effect of storage on extractives from particle surfaces of softwood and hardwood raw materials for wood pellets. *European Journal of Wood and Wood Products*, Vol. 67 (1), ss. 19-26. DOI:10.1007/s00107-008-0250-8
- Nielsen, N.P.K., Gardner, D.J. & Felby, C. (2010). Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust. *Fuel*, Vol. 89 (1), ss. 94-98. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.06.025>
- Nilsson, C., Ramebäck, H., Hill, C. & Arshadi, M. (2019). Water up-take in fuel pellets studied by Dynamic Vapour Sorption (DVS) analysis and its potential role in self-heating during storage. *European Journal of Wood and Wood Products*, Vol. 77 (1), ss. 5-14. DOI:10.1007/s00107-018-1359-z
- Norström, J., Löfvenberg, J., Svedberg, F., Adolfsson, M. & Beiron, B. (2017). TV: Lantmännens silo brann: "Det här kan ta tid". *VLT*, 2017-08-17. Tillgänglig:<https://www.vlt.se/artikel/tv-lantmannens-silo-brann-det-har-kan-ta-tid> [2019-12-12].
- Nyhetsbyrån, T. (2016). Kraftid brand i pelletslager. *Norran*, 2016-06-04. Tillgänglig:<https://www.norran.se/nyheter/kraftig-brand-i-pellets-lager/> [2019-12-12].
- Näslund, M., Fjällström, T. & Risberg, S. (2003). *Teknik och råvaror för ökad produktion av bränslepellets*. Eskilstuna: Statens energimyndighet.
- Obernberger, I. & Thek, G. (2010). *The pellet handbook : the production and thermal utilization of pellets*. London; Earthscan.
- Pelletsförbundet Pelletsförbundet (2018a). *Försäkringslösning för producenter av pellets*. Tillgänglig:<http://pelletsforbundet.se/forsakringslosning-for-producenter-av-pellets/> [2019-12-16].
- Pelletsförbundet (2018b). *Leveransstatistik Sverigemarknaden 1997-2017* Tillgänglig:<http://pelletsforbundet.se/statistik/> [2019-11-01].
- Pelletsförbundet (2019) *Vision & Mission*. Tillgänglig:<http://pelletsforbundet.se/about-us/> [2019-12-16].
- Persson, H. (2013). *Silo fires: fire extinguishing and preventive and preparatory measures*. Karlstad: Swedish Civil Contingencies Agency (MSB). (Publ. MSB586). ISBN:978-91-7383-364-6
- Ringman, M. (1995). *Trädbränslesortiment definitioner och egenskaper*. (Fakta Skog Nr 5. SLU, Umeå). Tillgänglig:<https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forsknpopvet-dok/faktaskog/faktaskog95/4s95-05.pdf> [2019-12-16].

- Samuelsson, R., Finell, M., Arshadi, M., Hedman, B. & Subirana, J. (2015). *Inblandning av stärkelse och lignosulfonat i pellets vid Bioenergi i Luleå AB rapport från Pelletplattformen II*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (Rapport, 2014:29).
- Samuelsson, R., Larsson, S.H., Thyrel, M. & Lestander, T.A. (2012). Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied energy*, Vol. 99, ss. 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.004>
- Segerstedt, R. (2012). Ny pelletfabrik stänger. *LandSkogsbruk*, 2012-05-04. Tillgänglig: <https://www.landskogsbruk.se/skog/ny-pelletfabrik-stanger/> [2019-12-16].
- Ståhl, M., Berghel, J., Frodeson, S., Granström, K. & Renström, R. (2012). Effects on Pellet Properties and Energy Use When Starch Is Added in the Wood-Fuel Pelletizing Process. *Energy & Fuels*, Vol. 26 (3), ss. 1937-1945. <https://doi.org/10.1021/ef201968r>
- Ståhl, M., Granström, K., Berghel, J. & Renström, R. (2004). Industrial processes for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets. *Biomass and Bioenergy*, vol. 27 (6), ss. 621-628. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.019>
- Tarasov, D., Shahi, C. & Leitch, M. (2013). Effect of Additives on Wood Pellet Physical and Thermal Characteristics: A Review. *Hindawi: ISRN Forestry*, Vol 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/876939>
- Trost, J. (2007). *Enkätboken*. 3. uppl. Lund: Studentlitteratur AB.
- Trost, J. (2010). *Kvalitativa intervjuer*. 4. uppl. Lund: Studentlitteratur AB.
- Tsoumis, G. (1991). *Science and technology of wood : structure, properties, utilization*. New York: Chapman & Hall.
- Tumuluru, J.S., Wright, C.T., Hess, J.R. & Kenney, K.L. (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Vol. 5 (6), ss. 683-707 <https://doi.org/10.1002/bbb.324>
- Van Hees, P & Blomqvist, P (2006). *Spontaneous Ignition of Biofuels - An Experimental Investigation through Small and Large-Scale Tests*. Borås: Fire Technology. (SP Rapport 2006:41)
- Vasell, M. (2019). Brand i pelletsfabrik. *Göteborgs-Posten*, 2019-11-07. Tillgänglig: <https://www.gp.se/nyheter/v%C3%A4rlden/brand-i-pelletsfabrik-1.20067782> [2019-12-16].
- Whittaker, C. & Shield, I. (2017). Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 71, ss. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.119>
- Wiegandt, M. (2015). *Konditionering av sågspån vid tillverkning av pellets: Ersättning av överhettad ånga med förvärmning av sågspån med bibehållen pellets-kvalité*. Karlstad: Karlstads universitet
- Öhman, M., Nordin, A., Hedman, H. & Jirjis, R. (2002). Reasons for slagging during stemwood pellet combustion and some measures for prevention. *Biomass and Bioenergy*, Vol 26 (6), ss. 598-605. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.017>

Bilaga 1 - Följebrev

Hej.

Mitt namn är David Eriksson och jag studerar vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Jag läser mitt sista år på Jägmästarutbildningen och arbetar nu med mitt examensarbete. Syftet med arbetet är att kartlägga i vilken omfattning pelletsproducenter upplever problem med varmgång i pelletslager, med avseende på råvara, processteg och lagringssystem. **Jag skulle därför uppskatta om Ni ville hjälpa mig genom att svara på bifogad enkät.**

Upplägget bygger på att Ni får enkäten skickad till Er och under lugn och ro går igenom frågorna. Vi bokar sedan in ett möte där vi gemensamt fyller i enkäten och reder ut eventuella frågetecken. Detta ungefär en vecka efter utskick och efter överenskommen tid.

Ni är en av 20 pelletsproducenter i Sverige som blivit utvalda baserat på årlig pelletsproduktion.

Enkäten tar cirka 70 minuter att göra och är självklart frivillig att besvara. Väljer du att svara på enkäten så hoppas jag genom detta arbete kunna bidra med ny kunskap för att i framtiden minska riskerna vid lagring av pellets för både personal och materiel.

Den slutliga rapporten kommer givetvis att tillhandahållas via mail vid datum för publicering.

Samtliga svar kommer att behandlas konfidentiellt och enskilda svar kommer inte att kunna urskiljas, i den rapport som publiceras baserat på enkäterna. Kontaktinformationen kommer under inga omständigheter att lämnas ut utanför projektet.

Vid Frågor vänligen kontakta mig på AaaaXxxx@stud.slu.se eller 070-XXXXXXX

Tack på förhand.
Vänlig hälsning
David Eriksson

Jägmästarstudent
Sveriges Lantbruksuniversitet

Bilaga 2 - Enkät

Enkät till pelletstillverkare

Kontaktuppgifter/Information om företaget

Namn: _____

Position på företaget: _____

Tele. _____

E-post: _____

Företagsnamn: _____

Anläggning: _____

Datum: _____

Allmän information om företaget

1. **Pelletsproduktion** _____ ton/år.

2. **Certifierad pellets enligt (SS, EN, ISO, 17225-2, annat?):** _____

3. **Vilka produkter tillverkas på anläggningen och andel av total produktion?**

 Bränslepellets ☐ _ _ _ % Briketter ☐ _____ %

 Stallpellets ☐ _ _ _ % Pulver ☐ _____ %

 Annat ☐ _____ %.

4. **Vilken pelletsstorlek tillverkas:** 8 mm. ☐ 6 mm. ☐

5. **Övriga tillägg** _____

Lagring av pellets

6. **Lagrar ni pellets under hela året?** Ja ☐ / Nej ☐

a. Om nej, under vilka perioder:

januari - februari ☐ mars - april ☐

maj - juni ☐ juli - augusti ☐

september - oktober ☐ november - december ☐

7. **Hur lagras pelletsen?**

a. Vertikalsilo ☐ Planlager ☐ Övrigt ☐ _ _ _ _ _

b. Lagringstid innan leverans? _____ Veckor.

c. Hur stor lagringskapacitet har anläggningen? _____ ton ☐ / m³ ☐ samt kapacitet på enskilda lager? _ _ _ _ _

d. Upplever ni kvalitetsförbättringar vid lagring? Ja ☐ / Nej ☐

e. Upplever ni problem med kondens och/eller att pelletsen har möjlig het att återfuktas vid lagring på anläggningen? Ja ☐ / Nej ☐

8. **Varierar lagringstiden av pellets över säsong?** Ja ☐ / Nej ☐

a. Om ja, när lagras pellets och under vilka tider?

januari - februari Lagringstid _____ Veckor

mars - april Lagringstid _____ Veckor

maj - juni Lagringstid _____ Veckor

juli - augusti Lagringstid _____ Veckor

september – oktober Lagringstid _____ Veckor

november – december Lagringstid _____ Veckor

9. **Uppstår varmgång i era pelletslager?** Ja ☐ / Nej ☐

a. Om ja, hur varmt blir det?

< 40°C ☐ 40-60°C ☐ 60-80°C ☐ > 80°C ☐

b. Om ja, vilka perioder är varmgång som mest frekvent?

januari - februari ☐ mars - april ☐

maj - juni ☐ juli - augusti ☐

september – oktober ☐ november – december ☐

c. Om ja, hur övervakar ni temperaturen i lagren?

d. Om ja, vid vilken temperatur tillsätter ni åtgärder? _____ °C.

e. Om ja, vilka åtgärder (Tömning, Kylning etc.) utför ni vid varmgång?

- f. Om ja, ajourhålls information om åtgärder utförda vid varmgång? Ja ☐ / Nej ☐
-
- g. Om ja, hur ofta under de senaste 5 åren har åtgärder krävts för att minimera varmgång?
-
- 10. Om ja på föregående fråga, upplever ni att det är skillnad i benägenhet för varmgång gällande 6 mm & 8 mm pellets?**
- Ja ☐ / Nej ☐ / Producerar bara en sort ☐
- a. Om ja, större benägenhet för: 6 mm ☐ / 8 mm ☐
- b. Om ja, på vilket sätt? -----
- 11. Upplever ni varmgång i pelletslagren som ett problem?** Ja ☐ / Nej ☐
- 12. Upplever ni problem med varmgång i andra produkter:** Ja ☐ / Nej ☐
- a. Om ja, vilken/vilka produkter:
- Briketter ☐ Stallpellets ☐ Pulver ☐ Annat ☐ -----
- 13. Övriga tillägg angående lagring** -----

Råvara

14. **Generell råvarumix:** Tall_ _ _ % Gran ____ %

a. Varierar sammansättningen under året? Ja ☐ / Nej ☐

b. Om ja, när & hur?

januari - februari Tall_ _ _ % Gran ____ %

mars - april Tall_ _ _ % Gran ____ %

maj - juni Tall_ _ _ % Gran ____ %

juli - augusti Tall_ _ _ % Gran ____ %

september – oktober Tall_ _ _ % Gran ____ %

november – december Tall_ _ _ % Gran ____ %

15. **Tillsätts additiv (Stärkelse eller annat)?** Ja ☐ / Nej ☐

a. Om ja, vilken typ används? _ _ _ _ _

b. Om ja, hur många procent tillsätts? _____ %

c. Om ja, var i processen tillsätts det? _ _ _ _ _

d. Om ja, justeras additivtillsatsen beroende på pelletens kvalitet? Ja ☐ / Nej ☐

16. **Varierar additiv tillsatsen över året?** Ja ☐ / Nej ☐

a. Om ja, vid vilka perioder:

januari - februari Tillsatt ämne _____. Andel tillsatt _____ %

mars - april Tillsatt ämne _____. Andel tillsatt _____ %

maj - juni Tillsatt ämne _____. Andel tillsatt _____ %

juli - augusti Tillsatt ämne _____. Andel tillsatt _____ %

september – oktober Tillsatt ämne _____. Andel tillsatt _____ %

november – december Tillsatt ämne _____. Andel tillsatt _____ %

17. **Lagringstid för råvaran innan materialet går in i processen** _____ veckor.

a. Stämmer det med önskad lagringstid: Ja ☐ / Nej ☐

b. Om nej, vad är orsaken till att ni inte uppnår önskad tid? _____

18. **Blandas färskt och lagrat spån?** Ja ☐ / Nej ☐

19. **Källa till råvara:**

Sågspån _____%

Kutterspån _____ %

Torrflis _____%

Grot _____ %

Energived _____%

Annat? _____ %

20. Vilken typ av tork används?

Trumtork ☐

Bandtork ☐

Överhettad ångtork ☐ Övrigt ☐ _ _ _ _ _

a. Viken temperatur håller torkmediet i torkningsprocessen? _____ °C.

b. Hur produceras värmen till torken? _ _ _ _ _

c. Hur sker torkningen? Direkt värme ☐ Indirekt värme ☐

d. Tork mediets sammansättning (rökgas, ånga, friskluft... etc.)?

_ _ _ _ _

e. Fukthalt på råvara före _ _ _ _ % & efter _____ % tork.

21. Övriga tillägg angående råvaran _ _ _ _ _

Process

22. Vilken typ av kvarn används för malning av torrt material? _ _ _ _

a. Sällstorlek för kvarnen? _____.

23. Används konditionering (ångtillsats) före pelletering? Ja ☐ / Nej ☐

24. Vilken presstyp och märke används? _ _ _ _ _

25. Vilken pelletskanallängd använder ni för:

6 mm _ _ _ _ cm 8 mm _____ cm

26. Vilken temperatur på materialet önskas innan pressning? _____ °C.

27. Kylning av pellets efter pressning:

a. Kommer pelletsen i direktkontakt med fuktig kylluft? Ja ☐ / Nej ☐

b. Vilken temperatur håller kylluften? _____ °C.

c. Temperatur på pellets före _ _ _ _ °C & efter _____ °C kyl.

d. Önskad fukthalt på levererad produkt _____ %.

28. Övriga tillägg angående processen _ _ _ _ _

29. Öppna frågor:

- a. När anser ni att pelletsen är leveransklar (hur lång lagring vill ni ha)?

- b. Finns det något ni kan koppla till problem med varmgång självantändning (Maskiner, kylning, kondens, Etc.)?

Tack för Din medverkan i denna studie!

Med vänlig hälsning,
Student: David Eriksson
Handledare: Michael Finell