

Pelletering av obarkad energived av tall, gran och björk vid BioStor, Skellefteå Kraft AB

**Torbjörn Lestander
Mehrddad Arshadi
Michael Finell
Robert Samuelsson
Mikael Thyrel
Henrik Sundström**

**Pelletsplattformen
BTK-Rapport 2010:3**

SLU

Biomassateknologi och Kemi (BTK)

Innehåll

Innehåll	2
Förord	3
Sammanfattning	4
1. Inledning	5
2. Metoder och material	5
2.1 Försöksuppläggning	5
2.2 NIR-instrumentering och fukthalt	6
2.3 Provtagning	6
2.3.1 Småprover	6
2.3.2 Storsäck	6
2.4 Responsvariabler	7
2.4 Processvariabler	7
3. Resultat och diskussion	8
3.1 Sönderdelning	8
3.2 Trädslagssammansättning	9
3.3 Fukthalt råspån	10
3.4 Fukthalt torkat spån	11
3.5 Torkning	11
3.6 Pelletpressar	12
3.7 Modellering av processen	12
3.8 Lagringsstudier av pellets	19
3.9 Fettsyror och hartssyror i pellets	19
3.10 Oxidation av fett- och hartssyror i pellets	19
3.11 Nyproducerade pellets samt lagrade pellets	19
3.12 Fukthalten i färsk pellets och lagrade pellets	21
3.13 Temperaturen i pelletsstackar	23
4. Slutsatser	25
5. Specifika rekommendationer	25

Förord

Industriförsöket vid Skellefteå Krafts fabrik BioStor i Storuman genomfördes 14-17 september 2009. BioStor är unik i avseendet att hela obarkade stammar av energived sönderdelas i dels en frekvensstyrd hugg för att uppnå viss bredd på vedflisen, dels en skivkvarn där flis sjuvas till spån med maximal bredd och höjd. För första gången användes färska stammar i syfte att studera möjligheten att minimera lagerhållningen av råvara och därmed minska kapitalbindningen. Bioenergikombinatet BioStor uppvisar även en synnerligen hög verkningsgrad – 98 % av värmeenergin används vid full drift på ett meningsfullt sätt enligt teoretiska beräkningar.

För genomförandet riktas ett varmt tack till BioStors personal och speciellt till de skiftlag som deltog i försöket samt till Henrik Sundström, Martin, Anders Ärlebrandt, Karl-Johan Gusenbauer och Jan Burvall, samtliga vid Skellefteå Kraft AB. Vi vill även tacka Carina Jonsson vid SLU BTK för hjälp med analyser.

Rapporten är författad av Torbjörn Lestander, Robert Samuelsson, Michael Finell, Mehrdad Arshadi, Mikael Thyrel och Henrik Sundström.

Umeå den 21 september 2009

Torbjörn Lestander
Docent, programdirektör för Pelletsplattformen

Sammanfattning

I detta försök har olika blandningar av obarkad stamved från gran, tall och björk testats för pelletstillverkning vid Skellefteå Kraft AB:s fabrik BioStor i Storuman. Hela stockar blandades i olika proportioner varefter materialen flisades, maldes och torkades och därefter pelleterades.

Processparametrarnas (råvarublandning och spånfukthalt) inverkan på pellets kvalitet (hållfasthet, bulkdensitet, pelletsfukthalt, fines och askhalt) studerades med hjälp av multipel linjär regression.

Försöket visade att det är möjligt att tillverka pellets av högsta klass om fukthalten på det torkade spånet ligger mellan 12 och 14 %. Andelen björk bör vara under 20 % och andelen gran bör vara mellan 50 och 75 %.

1. Inledning

Vintern 2008/2009 präglades av råvarubrist för pelletsindustrin på grund av den snabba nedgången av sågade trävaror till följd av ekonomisk turbulens på världens marknader. Detta har accentuerat den svenska pelletsindustrins behov av alternativa råvaror. BioStor är Skellefteå Krafts bioenergikombinat i Storuman, Västerbottens inland. Kombinatet producerar el, fjärrvärme och bränslepellets och baserar större delen av sitt råvarubehov på energived i form av obarkade stammar av tall, gran och lövträd (björk). Denna energived sönderdelas med huggar och sjukvarnar till lämplig partikelstorlek. Liksom i Skellefteå Krafts energikombinat i Hedensbyn, Skellefteå, används en del av ångan för att i en trycksatt tork torka råvaran till lämplig fukthalt. Efter torkning och sällning mals de finare partiklarna till träpulver som förbränns och genererar ånga medan de grövre partiklarna utgör pelletsråvara. För att minimera lagerhållningen av råvara och därmed minska kapitalbindningen bör nyligen avverkade stammar användas.

2. Metoder och material

2.1 Försöksuppläggning

Obarkade stammar av tall, gran och björk användes som råvara i försöket i en blandning med målet att uppnå 0, 33, 50 och 100 % av varje trädslag, se tabell 1. I det fall försöksledet var en blandning tillreddes den på ett tillredningsbord där stammar från aktuella trädslag lades upp med lastkran innan de fördes in i en tumlare. I denna tumlades 10-20 stammar under några minuter varvid en del bark lossnade och eventuella grenrester avlägsnades. Syftet var även att ta bort eventuell kontamination av jord, sand etc.

Tabell 1. Försöksdesign för variation av fukthalt efter tork och trädslag. Ursprungligen planerades fukthalten att varieras mellan 10 och 12 % men detta justerades till att variera mellan 11 och 14 % när det visade sig vara svårt att uppnå de ursprungliga fukthaltsmålen.

Exp nr.	Fukt, %	Korr fukt, %	Tall, %	Gran, %	Björk, %	Anm
1	12	14	0	100	0	
2	12	14	0	50	50	
3	12	14	0	0	100	
4	12	14	50	0	50	
5	12	14	50	50	0	
6	12	14	100	0	0	
7	11	12,5	33	33	33	Centrumpunkt
8	11	12,5	33	33	33	Centrumpunkt
9	10	11	100	0	0	
10	10	11	50	50	0	
11	10	11	0	100	0	
12	10	11	0	50	50	
13	10	11	0	0	100	
14	10	11	50	0	50	
15	11	12,5	33	33	33	Centrumpunkt
16	11	12,5	33	33	33	Centrumpunkt
17	11	12,5	33	33	33	Centrumpunkt

Stammarna fördes därefter över på ett transportband till en hugg där de flisades i stammens tangentiella och radiella plan. Matningshastigheten i stammens longitudinella riktning var inställd på 4,2 mm flisbredd. Flisen sönderdelades i en skjuvkvarn med 0,6 mm spaltöppning till spån. Förväntad maximal partikelstorlek var således 0,6×0,6×4,2 mm. Längden kan dock överstiga 4,2 mm i de fall matningshjulen inte har tillräcklig kontakt med stammar som då kan dras in snabbare i huggen. Detta kan inträffa för stammar med mindre diameter intill stammar med större diameter och i slutet av varje stam när de inte längre hålls fast av matningsrullarna.

Spånet transporterades på en gummimatta via en sikt till ett mellanlager som vid behov bevattnades med syftet att möjliggöra högre torktemperaturer än 150°C vid den lägre kapacitet som respektive försöksled nyttjade. Därefter matades spånet till en trycksatt (ca 0,3 MPa) tork (Skellefteå Kraft AB, Skellefteå) där spånet torkades under ca xx sekunder vid temperaturer mellan 153-171 °C.

Det torkade spånet pelleterades därefter i två pelletspressar (CPM) vars matriser hade en kanallängd av 85 mm och 8 mm i diameter. Producerad pellet kyldes i en bandkyl (Buhler) innan de via en skraptransportör fördes till ett pelletslager.

Industriförsöket vid Skellefteå Krafts fabrik BioStor i Storuman genomfördes 14-17 september 2009.

2.2 NIR-instrumentering och fukthalt

Två NIR-instrument användes för att i realtid bestämma fukthalt hos råspånet respektive det torkade spånet. Båda instrumenten var sekventiellt skannande (Foss NIR Systems, Höganäs) från 400 nm till 2498 nm och absorptionsvärdet registrerades varje jämn våglängd, dvs. varje spektrum bestod av 1050 våglängder. Den data som registrerades ca varannan minut var medeltal av 32 spektra. Tidigare kalibreringar presenterade fukthalt på skärmar i kontrollrummet via mjukvaran BoardModelTM (Casco Adhesives, Sundsvall).

2.3 Provtagning

Pelletprover togs från skraptransportörens intermittenta ström. Prover om ca 6 liter togs ut dels med hjälp av hink som placerades i centrum av pelletsströmmen ca 4-5 m nedanför skraptransportören, dels i storsäckar som med traktor lyftes upp varvid fallhöjden reducerades till ca 2-3 m.

2.3.1 Småprover

Prover om ca 2, 4 och 7 liter togs från materialströmmen av råspån, torkat spån respektive pellets med ca 10 minuters intervall. På grund av uppehåll i skjuvkvarnen kunde provtagningen fördröjas 5-10 minuter för alla provtagningspunkter. Totalt togs tre prover per experiment och provtagningsposition. Proverna hölls i en gastät plastpåse som tillslöts hermetiskt med hjälp av en plastsvets. Proverna förvarades i kyl (ca +4°C) fram till analys.

2.3.2 Storsäck

Prov av pellets motsvarande en fylld storsäck (ca 650 liter) samlades in och säckarna placerades i lagerutrymme under tak.

2.4 Responsvariabler

2.4.1 Fukthalt

Spånproverna torkades vid 105 °C och torrhalten bestämdes både på råspån och torkat spån. Fukthalten i råvara respektive kall pellets bestämdes enligt standard SS-EN 14774-2:2009

2.4.3 NIR-spektra

Spektra i det nära infraröda (NIR) våglängdsområdet (780-2500 nm) samlades on-line från två olika positioner i materialströmmen. Första instrumentet på linjen för råspån strax efter hugg och kvarn var av den äldre scannande typen (FOSS NIRsystems, Höganäs) som registrerade var 1,5 minut data med för varannan våglängd inom intervallet 400-2498 nm. Det andra instrumentet (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Tyskland, med en prob producerad av VTT, Espo, Finland) som hade en mer modern detektor var placerat strax efter torken. Detta instrument registrerade var 20:e sekund reflektansvärden för varje våglängd inom intervallet 898-1701 nm.

2.4.6 Askhalt

Askhalten i pellets bestämdes genom glödning i ugn vid 550 ± 10 °C i ett överskott av luftatmosfär enligt SS-EN 14775:2009.

2.4.8 Pellets kvalitet

De producerade pelletarna från varje försök analyserades med avseende på finmaterial (fines), bulkdensitet, hållfasthet och fukthalt. Ett medelvärde av tre provtagningar har används vid beräkningarna. Hållfasthet och bulkdensitet bestämdes med SIS-CEN/TS 15210-1:2006, respektive SIS-CEN/TS 15103:2006. Finfraktion bestämdes genom manuell sållning av pelletsen med ett 3,15 mm såll.

2.4.9 Halt av extraktivämnen, fett- och hartssyror samt vaxer

Extraktivämnen, fett- och hartssyror i pellets extraherades i två organiska lösningsmedel med hjälp av en Soxhlet apparat. Extraktet analyserades med avseende på halter av olika fett- och hartssyror i pellets med hjälp av en gaskromatograf kombinerad med en masspektrometer. Alla analyser genomfördes som dubbelprover.

2.4.10 Temperatur och luftfuktighet i storsäckslager

Temperaturen hos pellets i storsäckar. Dessa data insamlades under 4 veckor. Lagringslokalens lufttemperatur och luftfuktighet registrerades kontinuerligt varje timme under lagringsförsöket.

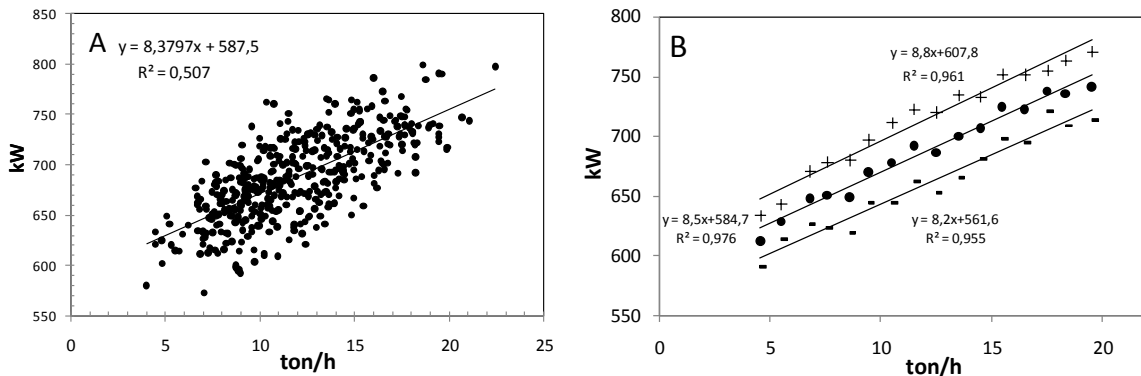
2.4 Processvariabler

Är-värden i form av medelvärden för 10-minutersintervall från ett antal processvariabler samlades in under de drygt 74 timmar som försöket varade. Motoreffekter (kW) i huggar, kvarnar och pelletspressar loggades av fabriken övervaknings- och styrsystem. I denna registrering ingick även temperatur (°C) hos rullar och inkommande spån i respektive pelletpress samt torkens temperatur.

3. Resultat och diskussion

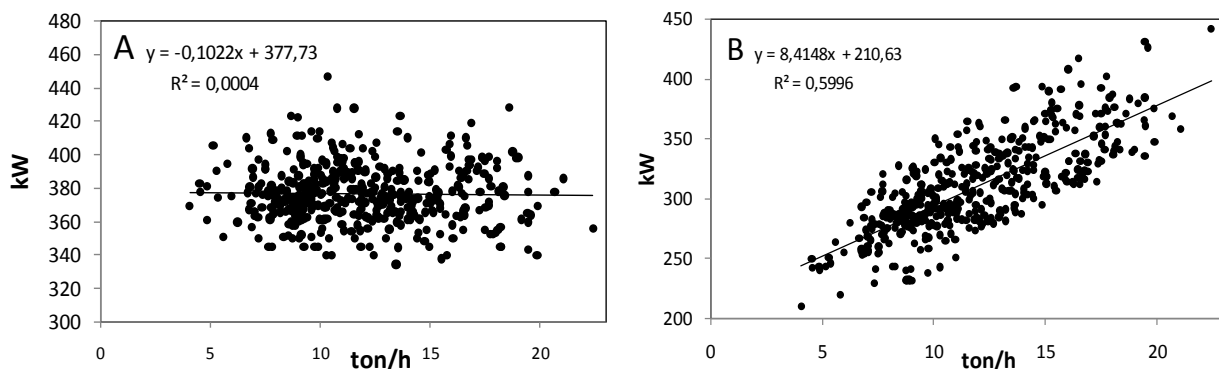
3.1 Sönderdelning

En linjär modell baserad på medelvärden för 10-minutersintervall av summerad motoreffekt vid sönderdelningen och producerad råvarumängd förklarade 50,7% av variationen under försöksperioden, se figur 1. Data inom intervallet 570-800 kW och 4-22 ton/h ingick i modellen. Försök att förskjuta tidsintervallen för respektive processvariabel gav lägre förklaringsgrad. Modellen antyder att ca 590 kW förbrukas vid tomgång och att det utöver detta åtgår 8,4 kW per ton att sönderdela trädstammar i hugg och kvarn till partiklar.

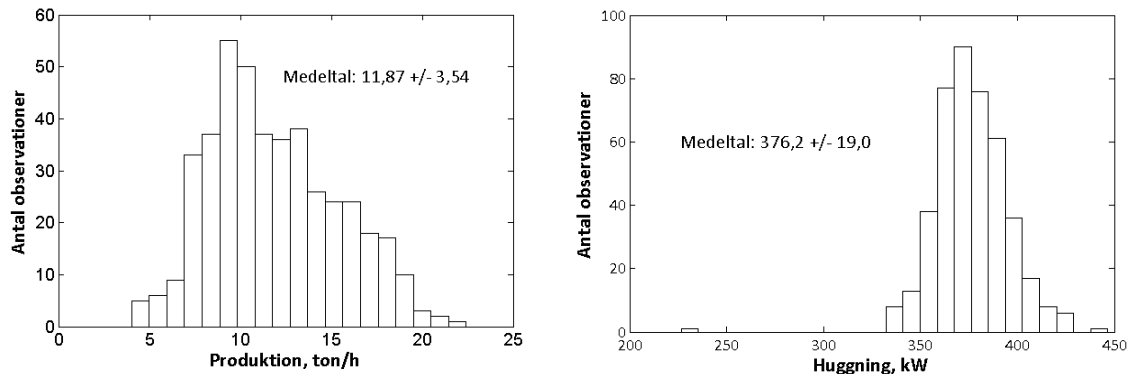


Figur 1. Samband mellan summerad motoreffekt (kW) vid sönderdelningen och producerad mängd råmaterial (ton/h). A: Enskilda observationer baserade på medeltal av 10-minutersintervall. B: Medeltal inom 1-tonnsintervall (•) och medeltal plus en standardavvikelse (+) samt minus en standardavvikelse (-).

Den höga tomgångseffekten visade sig bero på att huggens effekt registrerad som medeltal av 10-minutersintervall var linjärt oberoende av mängden flisat material i intervallet 4-23 ton per timme, se figur 2 A. Detta kan bero på dels att när försöket utfördes nyttjades enbart en mindre del av fabriken kapacitet, dels att variationer av mängden flisat material utjämnas fram till dess att flödesmätningen sker. Modellen indikerar att drygt 60% av effekten kan tillskrivas huggen.



Figur 2. Summerad motoreffekt uppdelad på hugg (A) och kvarn (B).



Figur 3.

Linjär modellering av kvarnens elförbrukning i form av medeltal per 10-minutersintervall och matchande intervall för medelproduktion av flis visade sig förklara ca 60 % av variationen, se figur 2 B. I medeltal förbrukade kvarnen 8,4 kWh per ton flis förutom tomgångsström (~210 kW) inom produktionsintervallet 4-23 ton per timme.

Producerad råvarumängd användes till såväl pulverförbränning för att generera turbinånga som produktion av pellets. Sannolikt finns det en stark korrelation mellan ingående råvarumängd och mängd pellets till lager, men någon sådan kunde inte detekteras under försökstiden baserade på medelvärden av 10- eller 30-minutersintervall, även om medeltalet för respektive material försköts i tiden över 0-5 timmar.

3.2 Trädslagssammansättning

Obarkade trädstammar lades kontinuerligt på ett tillredningsbord för att åstadkomma avsedd trädslagsblandning för varje försök. En viss kontroll av denna kunde göras genom att utifrån NIR-data skapa modeller att prediktera trädslagsblandningen under den tid provtagningen genomfördes. Tabell 2 visar att kontrollen utifrån spektrala data indikerar att detta lyckades väl med undantag för försök nr 2 där granandelen sannolikt var något för hög. I tabellen finns även negativa värden vilka bör sättas till noll, då det inte finns negativa andelar. I en vidareutveckling av att använda NIR-data för att skatta andelen av respektive trädslag kan summering av positiva värdena normeras till en relativ andel. På grund av bortfall av NIR-data kunde inte försök nr 11 predikteras.

Slutsatsen är att det går bra att styra trädslagssammansättning i den torkade spånen innan pelletering genom att med kran successivt lägga upp stammar i en blandning på ett tillredningsbord.

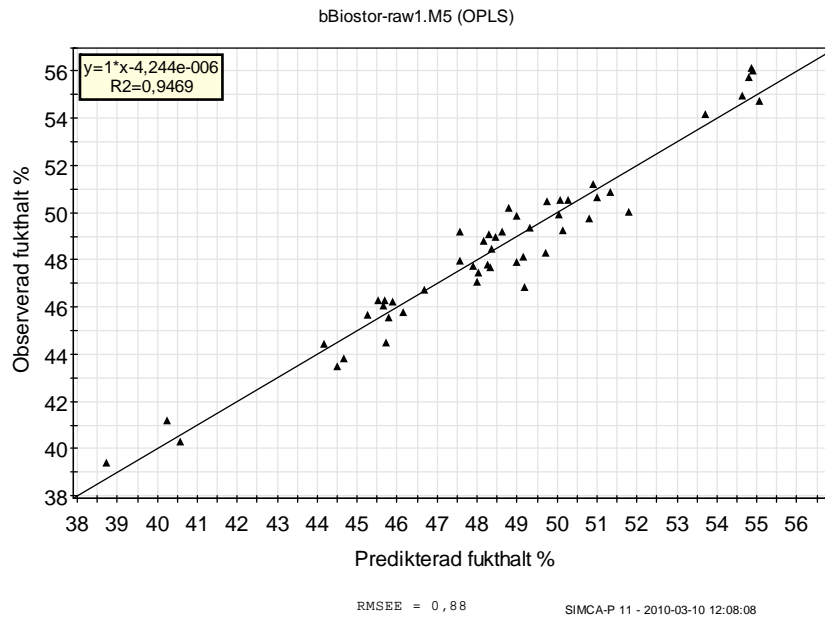
Tabell 2. Tabellen visar förväntad trädslagsblandning enligt försöksdesign och observerad blandning enligt NIR-data för respektive försök.

Exp.	Förväntad andel			Observerad andel enl. NIR			Standardavvikelse		
	SU	Tall	% Gran Björk	Tall	% Gran Björk	Tall	% Gran Björk	Tall	% Gran Björk
1	0	100	0	3	97	-1	5,3	3,1	3,2
2	0	50	50	-3	60	44	6,2	7,7	5,6
3	0	0	100	0	0	101	5,9	4,7	5,5
4	50	0	50	47	-7	50	7,4	5,7	9,7
5	50	50	0	48	54	4	8,0	7,0	3,9
6	100	0	0	100	3	-2	2,4	2,4	3,5
7	33,3	33,3	33,3	28	38	36	7,5	5,4	5,2
8	33,3	33,3	33,3	39	31	33	4,9	3,3	3,9
9	100	0	0	96	4	-1	3,0	1,7	2,8
11	0	100	0	-	-	-	-	-	-
12	0	50	50	0	47	48	5,3	2,5	5,4
13	0	0	100	-3	4	101	7,4	4,7	4,5
14	50	0	50	53	-1	52	4,2	2,0	4,6
15	33,3	33,3	33,3	29	33	34	7,0	3,8	5,3
16	33,3	33,3	33,3	32,6	29,8	34,2	8,4	5,0	5,4
17	33,3	33,3	33,3	36,0	30,5	34,2	3,4	2,4	2,8

3.3 Fukthalt råspån

I början av försöket framgick att blandningen mellan gran och björk (50:50) uppvisade låg fukthalt, den lägsta registrerade fukthalten (39,4-41,2 %). Eftersom även mängden material var begränsad blev det uppenbart att torktemperaturen i torken skulle komma farligt nära trippläge speciellt för försöksleden med 12 % i förväntad spånfukthalt innan press. För att undvika trippning byttes björken ut mot en färskare björk och samtidigt påbörjades en bevattning av sönderdelat material innan torkning. Därmed kunde torktemperaturen hållas över stipulerad minimigräns. Fukthalten i medeltal enligt en linjär modell baserad på förväntade andelar var 53,8, 46,1 och 47,9 % för tall, gran och björk med standardavvikelsen 2,04 %. (I det fall den första björkdelen medräknades i modellen blev motsvarande fukthalter 53,5, 45,8 och 46,4% samtidigt som standardavvikelsen ökade till 2.7 %.)

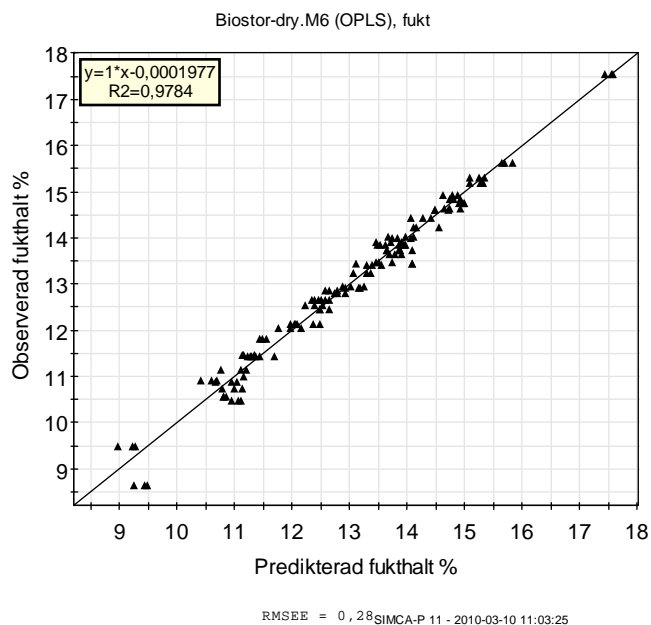
Figur 4 visar observerade och enligt NIR-baserad modell predikterade fukthalter för råspån. Modellen förklarade 94,9% av variationen i fukthalt och Q2-värdet var högt 0.925 vilket indikerar en utomordentligt bra modell för att prediktera fukthalt.



Figur 4.

3.4 Fukthalt torkat spån

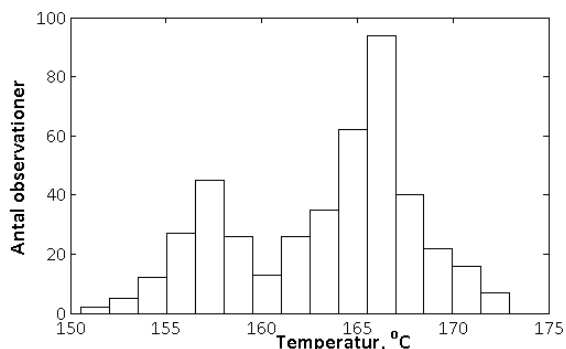
Liksom tidigare indikerar kalibreringar mellan NIR-spektra och fukthalt synnerligen god förmåga att prediktera fukthalt utifrån NIR-data. I intervallet 8,6-17,5% fukthalt är felet i kalibreringen 0,28%, se figur 5 Felet ökar om oberoende testset används och praktiska exempel indikerat att felet för torkat spån är ca 0,5% fukthalt.



Figur 5. Kalibreringsmodell för fukthalt i torkad spån.

3.5 Torkning

Av figur 6 framträder två tydliga underliggande fördelningar för att torka råvaran till avsedd fukthalt. Detta motsvarar försökets uppläggnig där de två huvudsakliga börvärdena var 10 % respektive 12 % fukthalt, se tabell 3.



Tabell 3. Torktemperatur vid tidpunkten för provtagning av torkat spån för respektive försök.

Börvärde fukthalt	Medeltal, °C	Standardavvikelse, °C
10%	166,0	3,7
11%	164,1	2,0
12%	158,1	3,2

Figur 6. Histogram över torktemperaturer (medeltal 10-minutersintervall) under den drygt 74 timmar långa försöksperioden.

Av försöksdata framgick även att försöket SU02, som var en 50-50 blandning av gran och björk, hade i samband med provtagningen den lägsta torktemperaturen mellan 153,4-154,6 °C. Detta var nära den lägsta möjliga torktemperaturen varför blandningar speciellt sådana där björk ingick bevattnades efter sönderdelning.

3.6 Pelletpressar

Spånen in till pelletspress 1 (PM1) var i snitt 12,1 °C varmare än den som gick in i press 4 (PM4). Detta var signifikanta skillnader eftersom standardavvikelsen var 3,7 °C. Naturligtvis måste eventuella fel på temperatursensorerna undersökas och om inga fel finns bör produktionsledningen undersöka om spåntransportören bör isoleras för att minska värmeförlusten. Uttagen effekt för PM4 var i medeltal 3,5 kW ($\pm 8,25$ kW) högre än för PM1.

Rulle 1 i PM1 var signifikant varmare ($14,2$ °C $\pm 5,5$ °C) än rulle 2, vilket kan tyda på olika spaltinställning. För PM4 var temperaturskillnaderna mellan rullarna inte signifikanta även om rulle 2 var något varmare än rulle 1 ($3,0$ °C $\pm 4,2$ °C). Medeltemperaturen för rullarna i PM4 var i snitt 1,9 °C högre än för PM1, men detta var ingen signifikant skillnad.

Den i medeltal högre motoreffekten och rulltemperaturen för PM4 kan indikera en effekt av signifikant lägre spåntemperatur.

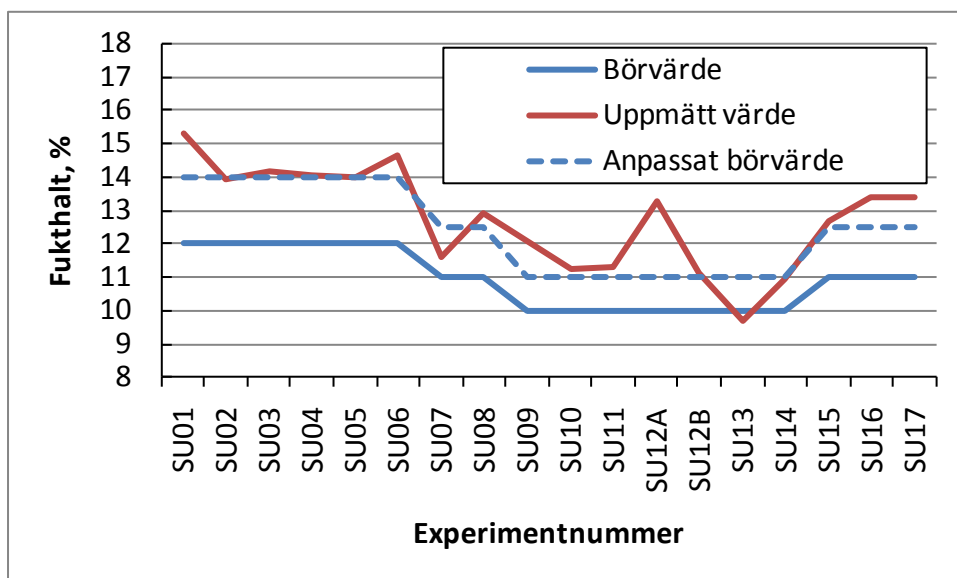
3.7 Modellering av processen

Försöket med olika trädslag och fukthalter på ingående material gjordes som en blandningsdesign med hjälp av programvaran MODDE 9.0.0.0. Andelen av de olika trädslagen varierade från 0 till 100 % och fukthalten på ingående material varierade mellan 10 och 12 %. Det visade sig vara svårt att hålla rätt fukthalt och de värden som finns i tabell 4 är de verkliga fukthalterna som erhöles vid försöken.

MLR-modellering användes för att relatera processvariablerna mot de uppmätta responserna (hållfasthet, bulkdensitet, fines, askhalt och fukthalt i pellets)

Tabell 4. Resultat från försöket. Den verkliga fukthalten skiljer sig ganska mycket från börvärdet i tabell 1. Pellets kvalitetsvärdena är medelvärden av tre mätningar.

Exp namn	Fukt %	Tall-andel	Gran-andel	Björk-andel	Bulkdens. kg/m ³	Hållfast. %	Pelletfukt. %	Fines %	Aska %
SU01	15.32	0	1	0	633.05	98.18	10.25	0.61	0.76
SU02	13.94	0	0.5	0.5	591.14	97.62	10.30	0.98	0.66
SU03	14.20	0	0	1	584.45	96.66	7.13	3.29	0.53
SU04	14.08	0.5	0	0.5	631.07	96.58	7.18	2.86	0.46
SU05	14.01	0.5	0.5	0	644.23	97.82	9.12	1.68	0.57
SU06	14.67	1	0	0	581.20	97.38	9.48	0.77	0.36
SU07	11.61	0.33	0.33	0.33	637.92	97.55	7.37	2.28	0.57
SU08	12.93	0.33	0.33	0.33	641.40	97.75	7.28	1.83	0.49
SU09	12.11	1	0	0	628.28	97.72	7.64	2.05	0.36
SU10	11.24	0.5	0.5	0	682.55	97.77	7.22	0.99	0.61
SU11	11.30	0	1	0	687.81	97.91	6.94	0.72	0.66
SU12A	13.27	0	0.5	0.5	649.30	97.25	10.02	1.08	0.66
SU12B	11.11	0	0.5	0.5	662.66	96.43	6.10	1.38	0.64
SU13	9.68	0	0	1	635.93	94.49	4.64	3.28	0.55
SU14	10.96	0.5	0	0.5	640.94	96.93	6.11	1.63	0.38
SU15	12.70	0.33	0.33	0.33	642.03	97.70	7.91	0.78	0.52
SU16	13.41	0.33	0.33	0.33	635.07	97.73	8.33	1.04	0.46
SU17	13.40	0.33	0.33	0.33	647.90	97.67	8.10	1.61	0.46



Figur 7. Börvärden för fukthalt jämfört med uppmätta värden. Börvärdet justerades uppåt (anpassat börvärde) efter att det visade sig svårt att uppnå de ursprungliga börvärdena.

Det var möjligt att göra hyggligt bra modeller för alla responser förutom andelen fines trots problemen med att reglera fukthalterna. Figur 8 visar modellens koefficienter och vilken inverkan de har på de uppmätta responserna.

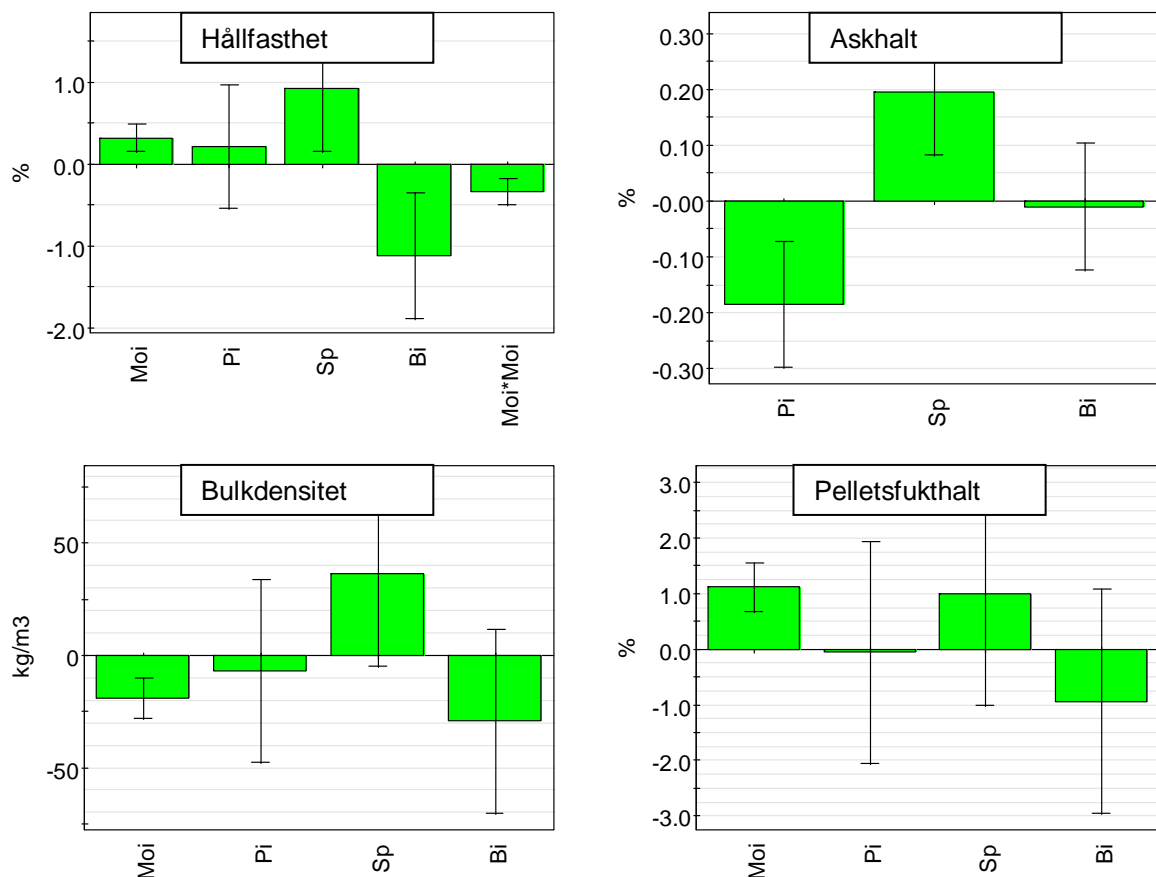
För hållfasthet så ger hög fukthalt och hög andel gran ökade värden medan hög andel björk och den kvadratiske termen fukt * fukt minskade värden på hållfastheten.

För bulkdensitet ger ökad fukthalt lägre värden.

För askhalten ger en högre andel gran högre askhalt och högre andel tall ger lägre askhalt

För pelletsfukthalt så är det den ingående fukthalten som är avgörande. Högre ingångsfukthalt ger högre fukthalt på producerade pellets.

Andelen fines gav inga signifikanta koefficienter så medelvärdet på 1.6 % är den bästa modellen. Andelen fines kan också ha blivit påverkad av den relativt hårdhänta insamlingsmetoden och är därför svår att modellera.

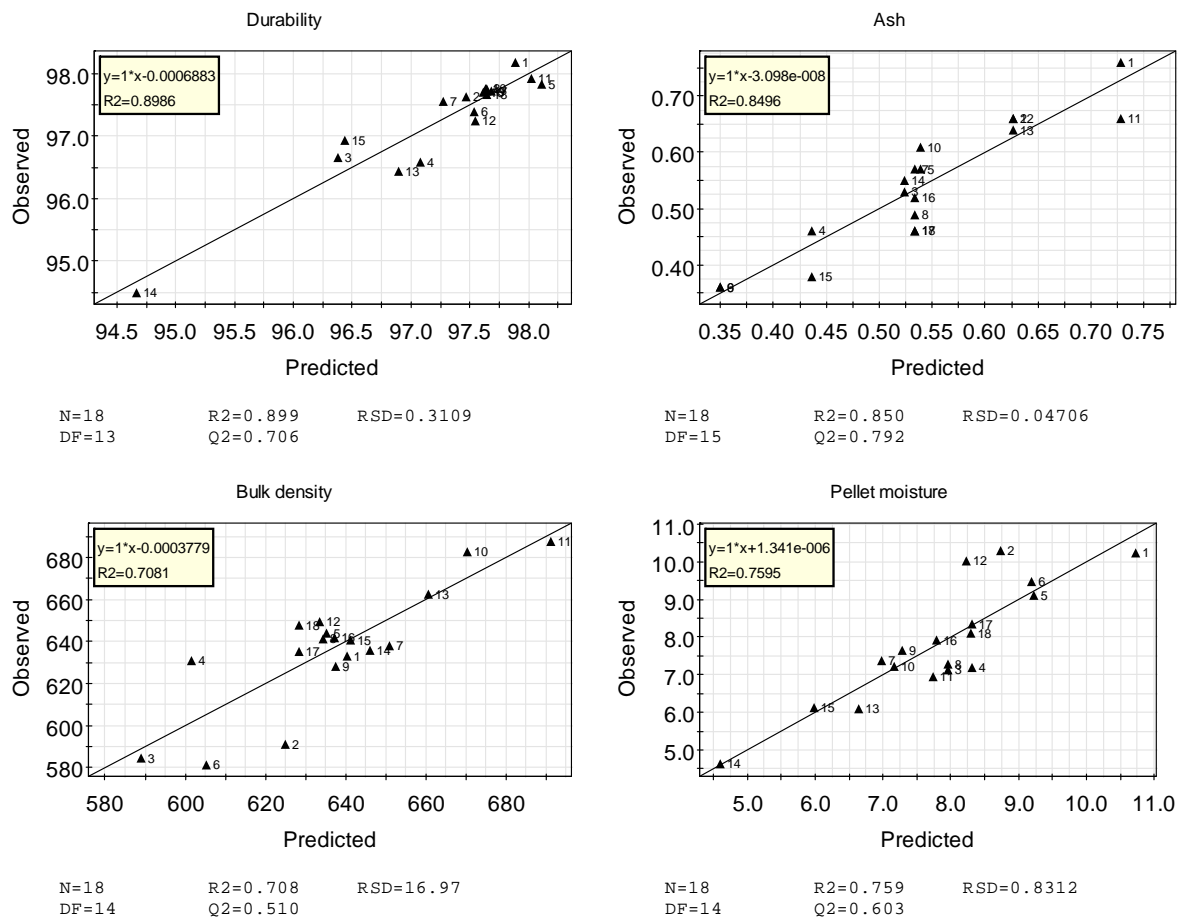


Figur 8. Modellens koefficienters inverkan på de uppmätta responserna, hållfasthet, askhalt, densitet och pelletsfukthalt. Ju större stapel desto större inverkan. Om felstapeln är större än koefficientstapeln så betyder det att koefficienten inte är signifikant. En stor felmarginal kan t.ex. bero på stor skillnad mellan upprepade försök (centrumpunkter).

Figur 9 visar den observerade responserna som en funktion av den modellerade. Ju tätare längs med linjen punkterna ligger desto bättre modell. R²-värdet visar hur bra modellen kan

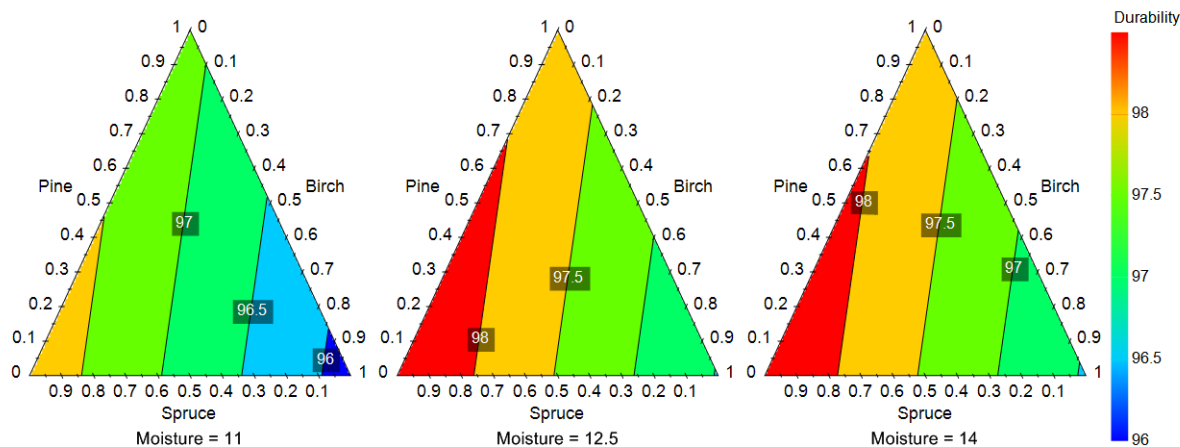
beskriva de uppmätta värdena. R^2 över 0,9 är mycket bra och R^2 över 0,7 är en hyggligt bra modell.

Q^2 -värdet visar hur bra modellen är att prediktera nya inställningar av processen. Q^2 -värdet bör ligga över 0,5 för att modellen ska vara bra på att prediktera nya inställningar. Figur 9 visar att modellerna för de olika responserna beskriver de uppmätta värdena mycket bra samt att det är möjligt att med god precision prediktera nya inställningar.

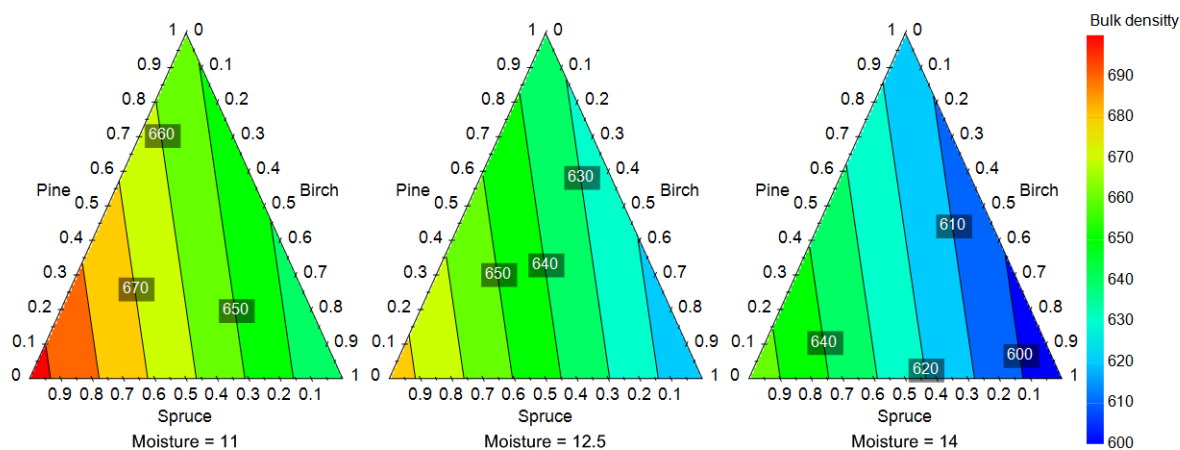


Figur 9. Observerade mot predikterade responsvärden för hållfasthet, askhalt, bulkdensitet, och pelletsfukthalt.

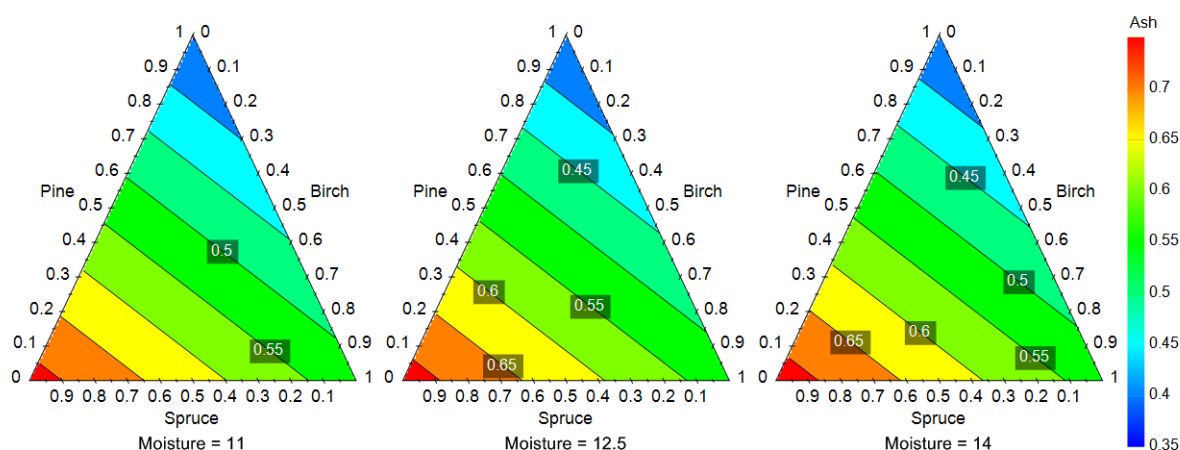
Figur 10a-d visar konturkurvor över hur de olika responserna förändras med olika råvarublandningar och fukthalter.



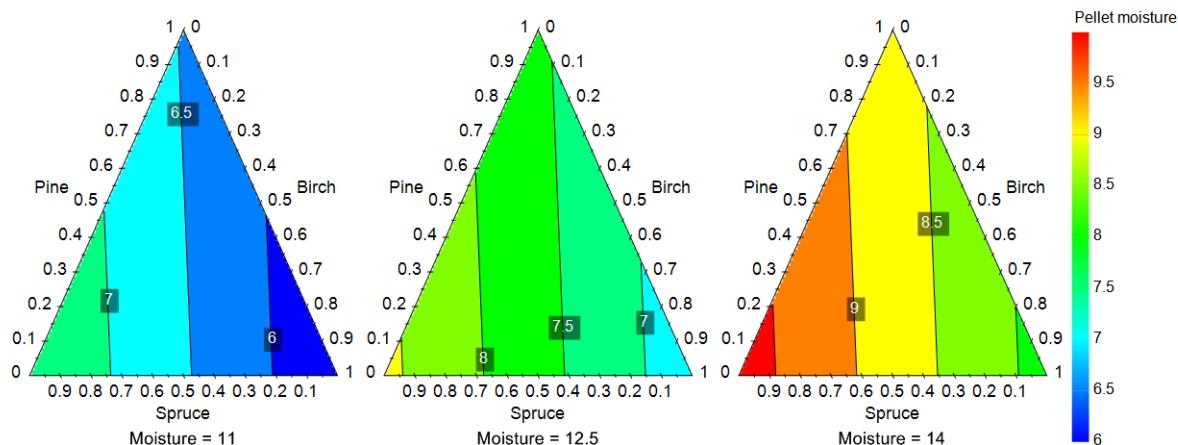
Figur 10a. Konturkurvor för hållfasthet vid olika råvarublandningar och fukthalter



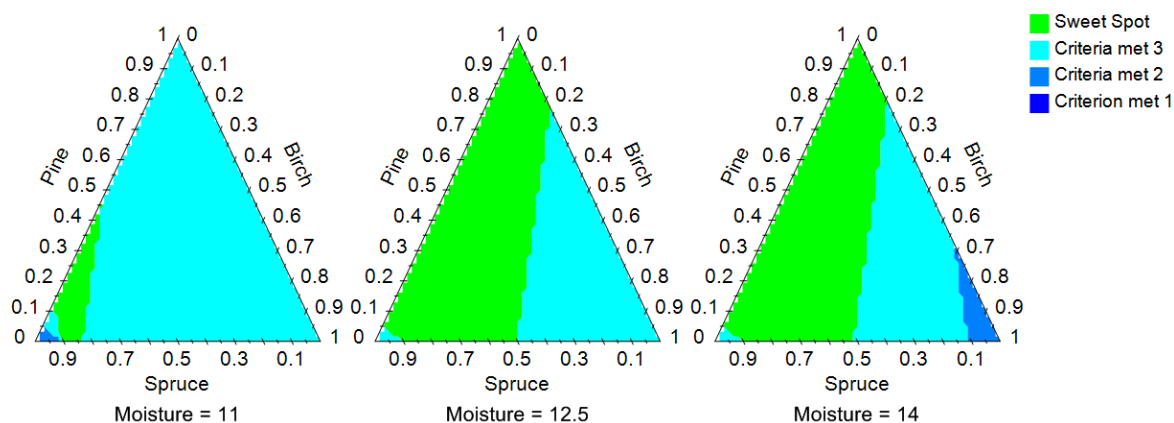
Figur 10b. Konturkurvor för bulkdensitet vid olika råvarublandningar och fukthalter



Figur 10c. Konturkurvor för askhalt vid olika råvarublandningar och fukthalter



Figur 10d. Konturkurvor för pelletsfukthalt vid olika råvarublandningar och fukthalter



Figur 11. "Sweet spot" där kraven för klass 1A-pellets uppfylls (gröna området). Observera att andelen fines inte ingår i denna prediktion.

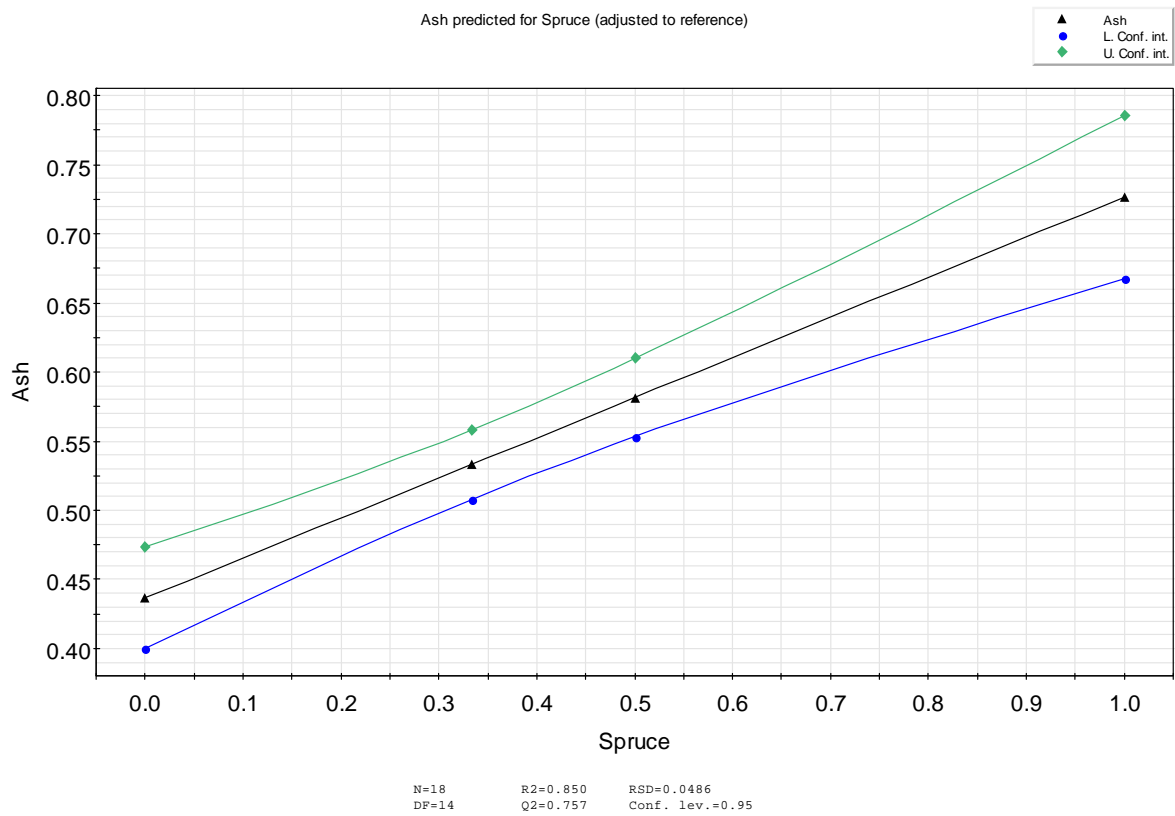
Figur 11 "Sweet spot" visar de områden (för råvarublandningar och fukthalter) där alla krav för pellets klass A1 uppfylls. Fukthalten på spånets är den absolut viktigaste parametern för alla kvalitetsparametrar förutom askhalt. För att uppnå högsta pelletsklassen så bör fukthalten på spånets ligga över 12 % men inte överstiga 14 %. Andelen gran i spånblendningen bör också vara mer än 50 % för att ge bästa möjliga pellets. Andelen björk bör däremot vara mindre än 20 % för högsta pelletskvalitet.

En faktor som kan vara begränsande för pelletskvalitet A1 är askhalten. Vi har därför tittat lite noggrannare på denna parameter. Figur 12 visar askhalten i pellets som funktion av andelen gran. Figuren visar också konfidensintervallen (95 %) för denna parameter. Då kravet på askhalt för klass A1-pellets ligger på max. 0,7 % så kan man ur diagrammet avläsa att den maximala granandelen i råvarumixen bör vara under 75 % för att med 95 %-ig sannolikhet inte ge en för hög askhalt.

Vår rekommendation blir då att andelen gran i råvarumixen bör vara högre än 50 % men mindre än 75 %. Partiell barkning av gran är därför också ett alternativ för att säkerställa en askhalt lägre än 0,7 % i det fall enbart energived av gran finns att tillgå som pelletråvara.

Investigation: Storman_3_species_inkl_ash (MLR)

Ash predicted for Spruce (adjusted to reference)



Figur 12. Prediktion inkl. konfidensintervall för aska som en funktion av andel gran

3.8 Lagringsstudier av pellets

Under försöket i Biostor producerades flera ton pellets för varje inställning. För att kunna följa upp lagringens effekt på kvaliteten av dessa pellets, lagrades ca 600 kg pellets från varje försök under tak på fabriken under totalt fem veckor. Efter en respektive fem veckor togs prover från respektive säck och analyserades med avseende på fukthalt, bulkdensitet, hållfasthet samt halten av fett- och hartssyror. Provtagning genomfördes för åtta lagrade pelletsprover, det vill säga försöksnummer 1, 3, 6, 7, 9, 11, 13, 17.

3.9 Fettsyror och hartssyror i pellets

Pellets gjorda av tall och gran innehåller flera olika fettsyror samt hartssyror (totalt ca 19 olika) med varierande sammansättning. Pellets gjorda av björk innehåller enbart fettsyror (totalt ca 9-10 olika) och inga hartssyror förekommer i dessa pellets av den naturliga skälen att björkved innehåller inga hartssyror. Fettsammansättningen i björk är inte heller det samma som för tall och gran.

3.10 Oxidation av fett- och hartssyror i pellets

Vid oxidativ nedbrytning omvandlas omättade fettsyror till aldehyder med varierande antal kolatomer. Vilka aldehyder som bildas beror på vilka fettsyror som ingår i pelletsråvaran. Dessa aldehyder kan i sin tur oxideras vidare till karboxylsyror, t.ex. hexanal till hexansyra. Somliga aldehyder som t.ex. hexanal och nonenal har en stickande lukt som kan verka irriterande. Oxidation av lipider i pellets kan initieras redan vid tillverkningen och fortsätta under lagringstiden med varierande hastighet beroende på variation i processparametrar vid tillverkning. Vid oxidativ fettnedbrytning genereras värme som i värsta fall kan förorsaka självantändning i pelletslager. Därför var det nödvändigt att analysera pelletsprover som var tillverkade vid denna studie för att kunna se om det skulle finnas några samband mellan råvaran, processparametrarna samt mängd fett- och hartssyror i respektive pellets.

3.11 Nyproducerade pellets samt lagrade pellets

Den totala mängden fett- och hartssyror i pellets direkt efter produktion (färska pellets) för alla 17 försöken samt lagrade efter en respektive fem veckor för 8 valda lagrade stackar visas i tabell 5. Pellets från alla försök lagrades i stora säckar (600 kg säckar) men totalt 8 utvalda säckar studerades systematisk under fem veckors lagring i lagringsutrymmet inomhus på fabriken. Provtagning skedde varje vecka för att kolla om det förekommer några förändringar i dessa pellets under lagringsförhållanden. Flera analyser genomfördes för dessa prover.

Tabell 5. Fett- och hartssyror och pellets fukthalt för färska samt lagrade pellets.

Försöksnummer	Fett- och hartssyror (mg/kg)	Fett- och hartssyror (mg/kg)	Fett- och hartssyror (mg/kg)	Pellets-fukthalt (%)	Pellets-fukthalt (%)	Pellets-fukthalt (%)
	Färsk pellets	1 vecka lagring	5 veckors lagring	Färsk pellets	1 veckors lagring	5 veckors lagring
1	2416	2159	2595	10,40	10,46	10,21
2	1640	-	-	10,09	-	-
3	1459	1216	1710	7,06	6,22	6,27
4	3221	-	-	6,84	-	-
5	6624	-	-	9,11	-	-
6	6370	7115	5432	9,45	9,01	8,84
7	4070	4422	3591	6,64	6,09	6,42
8	3667	-	-	7,35	-	-
9	6808	9004	5391	7,85	7,04	7,25
10	4237	-	-	7,17	-	-
11	2444	3491	2311	6,26	6,30	6,32
12	1659	-	-	5,36	-	-
13	1447	1287	1319	5,04	5,28	5,42
14	3430	-	-	5,94	-	-
15	3171	-	-	8,07	-	-
16	2676	-	-	7,51	-	-
17	3733	3949	3035	7,97	8,18	8,01

Av tabell 5 framgår att för färsk pellets är den totala halten av fett- och hartssyror högst i pelletsprov nummer 9 (6808 mg/kg eller 0,7 % i pellets) samt 6 (6370 mg/kg eller 0,6 % i pellets bestående av 100 % tallspån. Halterna av fett- och hartssyror i 100 % färsk ren tallspån är normalt max ca 1 %. Prov nummer 3 och 13 är gjorda av 100 % björk och har lägsta mängd fettsyror (1459 mg/kg respektive 1447 mg/kg).

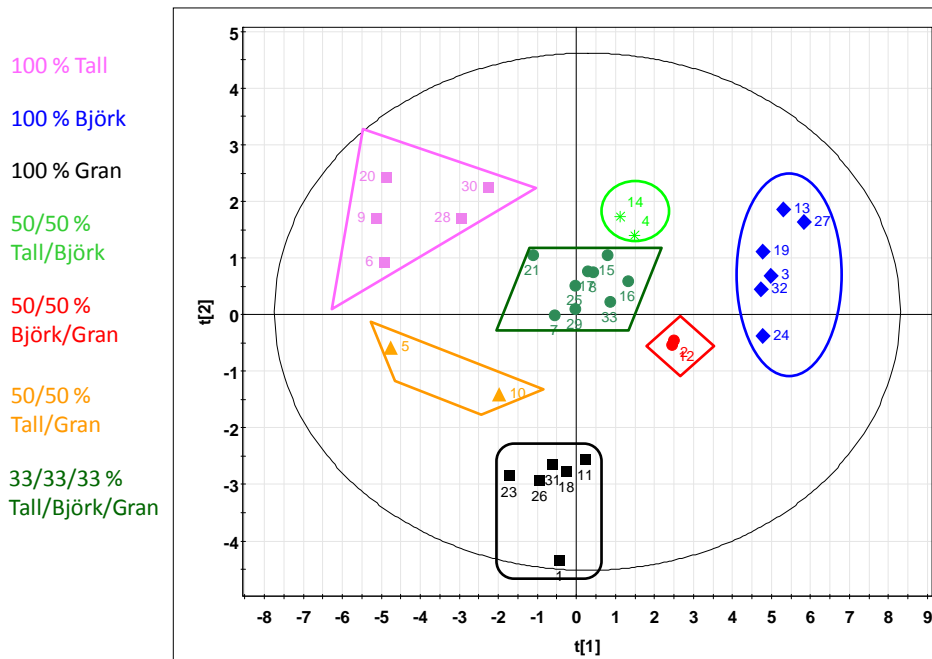
Inga hartssyror ska förekomma i dessa prover men resultaten visar att en viss mängd dehydroabietinsyra (ca 0,02 % och 0,01 %) som är den högsta förekommande hartssyran i tall och gran förekommer också i dessa prover. Allt tyder på att en viss kontamination av dessa prover sker under pelleteringsprocess mest sannolikt vid torkning av råvaran eftersom hartssyror brukar ha en längre uppehållstid vid torken och har tendens till att ansamlas och fastnar vid torkens inre väggar (yta) och oftast som fastbränd på olika ställen i torken.

Provnummer 1 och 11 är gjorda av 100 % gran och innehåller totalt 2416 respektive 2444 mg/kg (ca 0,2 %) fett- och hartssyror vilket är ett helt förväntat resultat.

Under lagring av pellets ändras inte totala mängden fett och hartssyror signifikant och kan inte några trender visas men om man studerar skillnaden mellan enskilda fett och hartssyror, så en viss obetydligt oxidation av fettsyror har förekommit i vissa fall. Detta är tvärt emot vad vi hade förväntat oss jämfört med tidigare försök genomförda på andra pelletfabriker. Det kan bero på att i Biostor råvaran flisades direkt och inte lagrade som sågspån som är fallet med andra pelletstillverkare. En del skillnaden kan också bero på olika processparametrar vid tillverkningen, t ex torktemperaturen, lagringsförhållanden. Lagringen i detta fall skedde i stora säckar inomhus och variationen i relativa luftens fukthalt och temperatur var inte så stor heller.

Figur 13 är baserad på data från enskilda fett- och hartssyror i respektive tillverkad pellets samt lagrade pellets och visar att de pelletsprover som består av 100 % tallspån ligger på

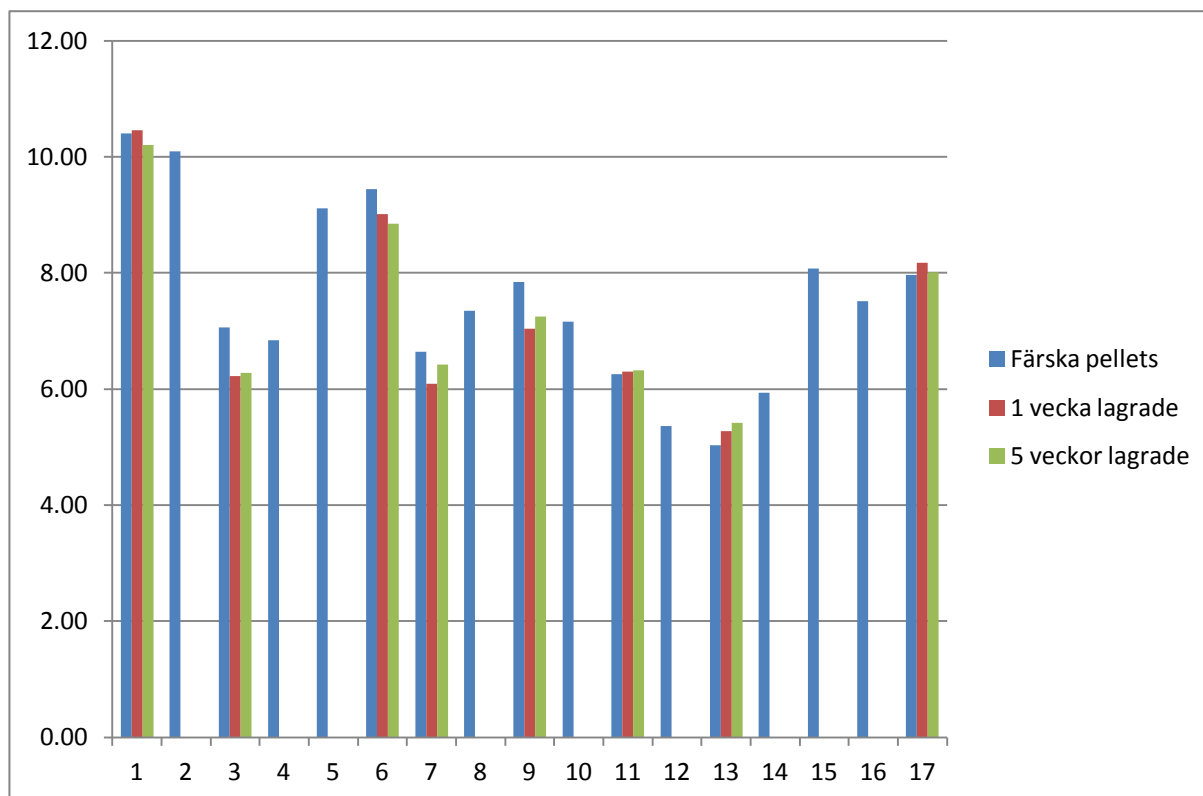
vänster sida av figuren och pellets gjorda av 100 % björk ligger på höger sidan av figuren och pellets gjorda av 100 % gran ligger på undersidan av figuren i mitten. Pelletsprover som är gjorda av blandningar av tall, gran och björk ligger mellan dessa prover och är helt logiskt. Med andra ord x-axeln visar variationen i fett- och hartssyror i respektive pelletsprov. Andelen fett- och hartssyror minskar från vänster till höger i bilden.



Figur 13. Visar hur olika prover separerar sig med avseende på fett- och hartssyra sammansättning. Mest fett- och hartssyror i prover som ligger på vänster sidan av figuren.

3.12 Fukthalten i färsk pellets och lagrade pellets

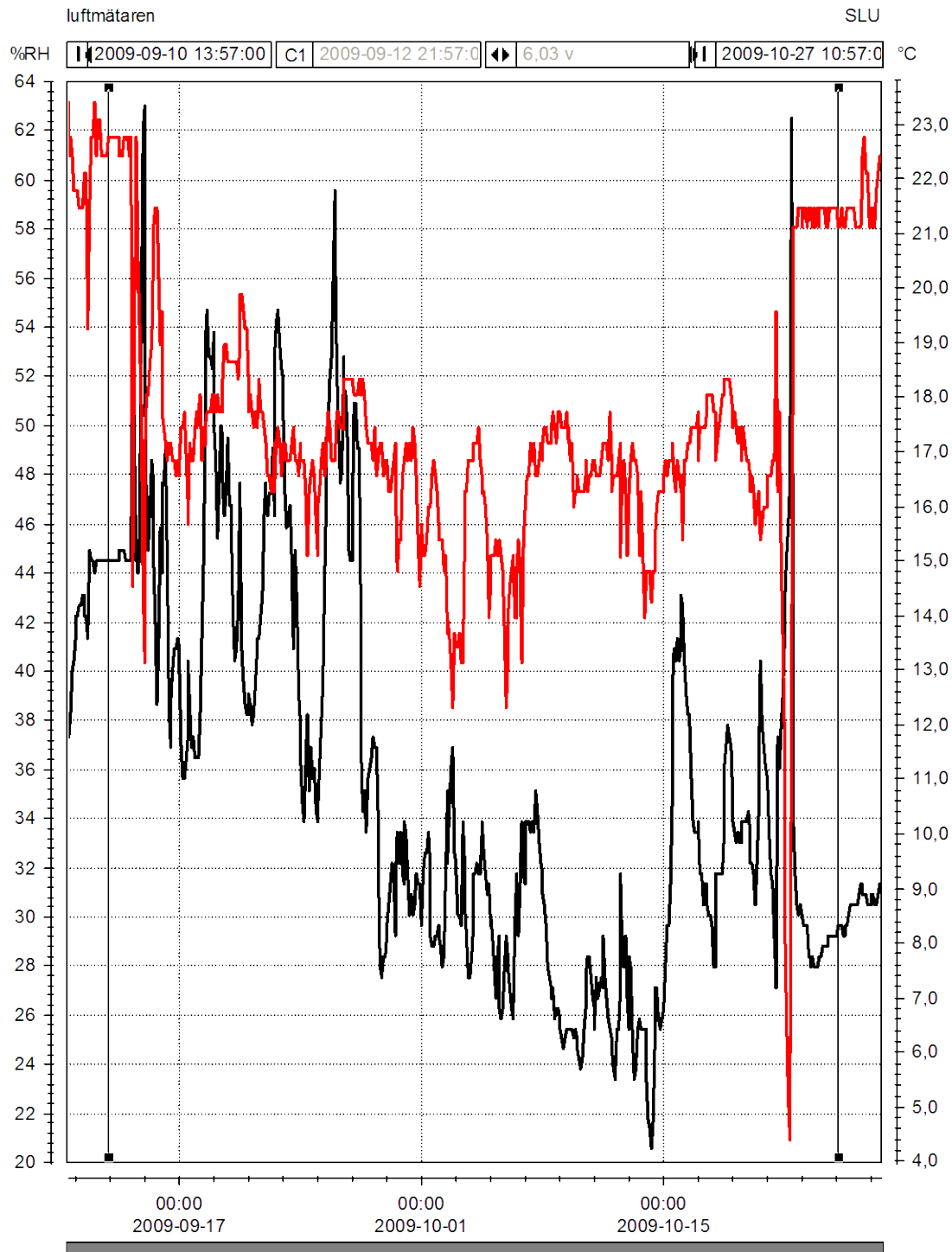
Fukthalten i färsk och lagrade pellets tillverkade av olika råvarusammansättningar efter en respektive fem veckor bestämdes för att utvärdera fuktupptag och temperaturstegring. Resultaten visas i figur 14.



Figur 14. Fukthalten (%) i nytillverkade samt lagrade pellets

Av figur 14 framgår att fukthalten i färsk pellets varierar mellan 5,0 och 10,4 %. Det förekommer inga större signifikanta fuktändringar under en och fem veckors lagring av dessa pellets i stora säckar. Det går inte att dra några slutsatser att det skulle förekommit fuktabsorption i dessa prover under lagringstiden.

Relativa humiditeten i lokalen varierade från 36 % till maximum 63 % under lagringstiden. Tidigare studier visar att då den relativa luftfuktigheten är högre än 45 % finns det risk för fuktabsorption. Temperaturen i lokalen varierade mellan 18 och 23 °C under lagringstiden. Sammanfattningsvis förekom ingen fukt absorption i dessa lagrade pelletssäckar.

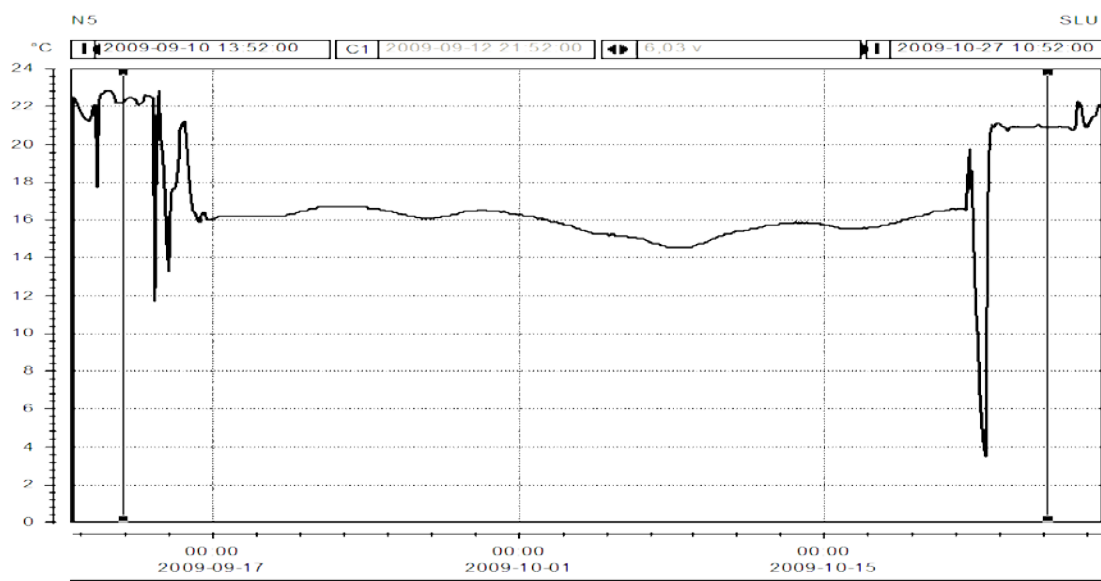


Figur 15.

3.13 Temperaturen i pelletsstackar

Temperaturändringen i alla pelletsstackar registrerades kontinuerligt under lagringstiden. Figur 15 visar hur temperaturen varierar i t ex prov La4 under lagring.

Den loggade temperaturen i storsäckarna uppvisade ingen nämnvärd värmestegring. Ett exempel ges i nedanstående figur där temperaturen under hela försöksperioden varierade mellan 15-17 °C.



Figur 16. Temperaturen i pellets för prov 9 under lagring.

Temperaturstegringen i pellets högarna är en indikation på oxidation av fett- och hartssyror. En granskning av resultaten från temperaturloggers visar att det inte förekommer temperaturstegring i samtliga lagrade pellets högar. Resultaten antyder att det inte förekom autooxidation i pellets stackarna under lagring.

4. Slutsatser

Den generella slutsatsen är att det är möjligt att producera bränslepellets med hög hållfasthet och bulkdensitet motsvarande klass 1A inom ett brett område av blandningar av obarkad energived från tall, gran och björk. Detta område tycks minska med minskad fukthalt i den sönderdelade och torkade råvarumixen innan pelletering. Resultatet pekar även på att askhalten i pellets är en kritisk variabel och att andelen obarkad gran måste begränsas för att inte överskrida satta gränsvärden.

5. Specifika rekommendationer

Den NIR-prob med inbyggd NIR-källa och detektor som användes för att registrera reflekterad NIR-strålning från sönderdelad och ännu fuktig råvara på transportband bör vridas 90°. Därmed uppnås fördelen att den reflekterande ytan från materialströmmen rör sig längs med transportbandet när materialmängden på bandet varierar och inte som nu tvärs transportbandets riktning. Den observation som gjordes var att vid den produktionskapacitet som fabriken kördes under försöket kom den reflekterande strålningen från en kant av materialströmmen och mycket nära transportörens gummimatta. Tilläggas bör att det i längden är ohållbart att tillåta den ström som smutsar ner NIR-probens fönster. Denna ström var så pass nedsmutsande att detektorns glas måste rengöras flera gånger per skift. Sådan rengöring var inte helt enkel att genomföra då man måste luta sig in mot bandtransportören och sträcka en arm över transportbandet samt torka detektorn glas.

Det är möjligt att tillverka pellets av högsta klass med de råvaror som är tillgängliga vid fabriken. Vi rekommenderar att man håller en spånfukthalt på mellan 12 och 14 % efter torken för att uppnå detta. Råvarublandningen bör bestå av maximalt 20 % björk och andelen gran bör ligga mellan 50 och som högst 75 %. Om en högre andel gran används så bör man överväga att barka gran partiellt eller helt.

Allt tyder på att det inte förekom några oxidationer av fett- och hartssyror i pellets under lagringen, det kan bero på att lagringsförhållanden var gynnsamma, t ex temperatur och luftfuktigheten i lagringslokalen var ganska stabila. Pellets lagrades under i små högar under tak. Björk innehåller små mängder fettsyror och borde vara bra råvara ur lagringssynpunkt.