

Smulåterföring – inverkan på pellets kvaliteten

– Fullskaleförsök vid Bioenergi Luleå AB

Fines recirculation – influence on pellet quality
– Full scale trial at Bioenergi Luleå AB

Pelletplattformen II



**Michael Finell, Björn Hedman, Carina Jonsson och
Robert Samuelsson**

Arbetsrapport 25 2015

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Smulåterföring – inverkan på pellets kvalitet

– Fullskaleförsök vid Bioenergi Luleå AB

Fines recirculation – influence on pellet quality
– Full scale trial at Bioenergi Luleå AB

Pelletplattformen II

**Michael Finell, Björn Hedman, Carina Jonsson och
Robert Samuelsson**

Nyckelord: Bioenergi pellets, Processparametrar, Pellets kvalitet, Experimentell design

Arbetsrapport 25 2015
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2015
Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	5
Material och metoder.....	6
Råvara.....	6
Utrustning.....	6
Provtagning.....	6
Analyser.....	6
Experimentell design.....	7
Resultat och diskussion	8
Råvaruvariation	8
Torrhaltsstyrning	9
Produktionsmätningar.....	10
Avvikelser.....	10
MLR-modellering.....	11
Koefficienter.....	12
Huvudeffekter.....	14
Inverkan av torrhalt	14
Inverkan av matning (produktion).....	15
Inverkan av smulåterföring.....	17
Samverkans effekter	17
Interaktion mellan torrhalt och matning (produktion).....	17
Interaktion mellan torrhalt och smulåterföring.....	18
Prediktioner	19
Möjliga felkällor	22
Slutsatser.....	23
Referenser.....	24

Förord

Detta försök genomfördes och finansierades inom ramen för Pelletplattformen II, ett industriforskningsprogram i samarbete mellan den svenska pelletsindustrin och institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Finansiärer var energimyndigheten, Pelletsförbundet och SLU.

Bioenergi Luleå AB ställde upp med sin fabrik (kapacitet 105 000 ton pellets/år), allt spånmaterial till försöket och med personal och utrustning vid genomförandet. Försöken genomfördes under tiden 18-20 maj samt 27-29 maj 2015.

Vi vill rikta ett stort tack till produktionschef Conny Holmberg vid Bioenergi i Luleå AB som aktivt deltog i alla diskussioner, informerade personalen i tidigt stadium och möjliggjorde genomförandet av försöket. Stort tack också till all personal vid Luleås pelletsfabrik för det stora engagemanget och tålamodet ni visade vid genomförandet. Tack även till Benny Jansson på BTC/SLU för hjälp med pelletsanalyser.

Umeå den 2015-11-20

Michael Finell

Sammanfattning

I detta försök har inverkan av smulåterföring på process produktkvalitet studerats vid pelletstillverkning i full skala hos Bioenergi i Luleå AB. I processen återförs normalt det smul som avskiljs direkt efter kylning av produkten till torrmaterialsilon innan pressarna. I denna undersökning har vi studerat hur processen och pellets kvaliteten förändras om man istället för att återföra smul helt tar bort det smul som bildas.

Inom försöket undersöktes också inverkan av råvarans torrhalt och matning av spån till pressen (produktionshastighet) på process och pellets kvaliteten.

Försöken visade att smulåterföringen har en signifikant inverkan på hur mycket finfraktion som bildas vid pelletstillverkningen, på pelletarnas hållfasthet samt på strömstyrkan (och energiåtgången) för pelletspressarna. Skillnaderna i hållfasthet och strömstyrka var dock små. Utan smulåterföring minskade andelen bildad finfraktion vid pressningen med i medeltal 14 %.

Råvarans torrhalt och matningen till pressarna hade i många fall större inverkan än smulåterföringen och dessa parametrar var av signifikant betydelse för alla undersökta egenskaper.

Inledning

Pelletsindustrin är hela tiden i behov av effektiviseringar för att upprätthålla sin konkurrenskraft, vilket oftast görs genom förbättringar i pelletskvaliteten och samtidigt minskningar av produktionskostnaderna. Viktiga poster i dessa kostnader är energiåtgången vid pressningen samt hur mycket finfraktion (smul) som bildas vid pressningen. Denna finfraktion är ett mått på effektiviteten hos processen.

Vid normal pelletsproduktion har man en återcirkulation av den finfraktion som sållas bort efter kylning av pelletarna. Andelen finfraktion beror på flera faktorer; råvaran, torrhalten vid pressning, hur mycket material som matas till pressarna, utrustningens kondition m.m. Andelen finfraktion kan variera från omkring 1 % när processen går bra upp till omkring 10 % när processen går dåligt.

I detta fall fanns möjligheten att avskilja finfraktionen och sälja denna till en kund. Huvudsyftet med försöket var att undersöka om det är skillnader i process och pelletskvalitet när man kör med smulåterföring respektive utan smulåterföring. Då både råvarans torrhalt och matningen till pressarna har varierats systematiskt så är det även möjligt att studera inverkan av dessa processvariabler på pelletskvaliteten.

Tidigare försök hos Skellefteå Kraft AB [1] visade inte på någon skillnad mellan körstrategierna. Hos Skellefteå Kraft AB testades enbart smulåterföring av/på. I detta fall har dock både torrhalt på råvaran och matning till pressarna systematiskt varierats. Försöket utan smulåterföring startade också ca ett dygn innan provtagningarna för att säkerställa att inget gammalt finmaterial cirkulerade i systemet.

Material och metoder

Råvara

Råvarureceptet som användes vid försöket var följande:

Hälften färskt tallspån och den andra hälften en blandning av 1/3 renserispån (s.k. Finnspån), 1/3 lagrat tallspån och 1/3 färskt tallspån. Spånet torkades till tre olika torrhalter; låg (90 %), medel (91 %) och hög (92 %) innan pressning.

Utrustning

Pelleteringsförsöken och provtagningen gjordes på pelletpressen P400 (Bühler RWPR – 900) försedd med en matris med presslängden 85 mm. Under försöket varierades matningen till pressen på tre olika nivåer; låg 28 % (2,6 ton/h), medel 38 % (3,5 ton/h) och hög 48 % (4,4 ton/h) av maximal matning. Vid pressningen konditionerades det ingående materialet med ånga till en temperatur av 85 °C. De övriga tre pressarna matades med samma råvara men matningen till dessa pressar justerades för att hålla konstant nivå i silon med torkat material. Den högsta tillåtna strömmen över P400 begränsades till 430 A (för försöken utan smulåterföring, LUS, höjdes begränsningen till 440 A).

Provtagning

Prover av torkat, malt spån togs vid torrmaterialsilon ”plan 5” för varje försöksserie (ca 1 L). Provtagning på malt och konditionerat spån direkt före pressen (ca 1 L) skedde tre gånger för varje försök samtidigt som prover av varm pellets togs ut (ca 10 kg) ut direkt efter press P400. I samband med provtagning av spån och pellets så avlästes också ström (A) och produktion (ton/h) från kontrollpanelen. Pelletsen fick därefter svalna på presenning i presshallen. Varje prov förseglades i gastät plastpåse med dubbel svetsfog. Proverna från alla försök transporterades till SLU och förvarades i rumstemperatur fram till analys.

Efter provtagning av pellets för analys gjordes också en provtagning av pellets för mätning av produktion. Under 30 sekunder samlades allt material som producerades på pressen i en presenning för efterföljande vägning. Denna procedur upprepades två gånger för varje inställning.

Analyser

De malda och konditionerade spånproverna som togs ut vid pressen analyserades med avseende på fukthalt. Spånproverna som togs ut innan pressen på plan 5 analyserades också med avseende på askhalt och extraktivämnehalt för att få ett mått på variationen i råvaran. Följande metoder användes:

- Torrhalt SS-EN 14774-2:2009
- Askhalt SS-EN 14775:2009
- Extraktivämnehalten bestämdes genom extraktion i Soxhletutrustning (BÜCHI) med en blandning av acetonitril och aceton (9:1) i 12 cyklar.

För de insamlade pelletsproverna analyserades följande kvalitetsegenskaper:

- Hållfasthet enligt SS-EN 15210-1:2010
- Bulkdensitet enligt SS-EN 15103:2010
- Fukthalt på pellets SS-EN 14774-2:2009
- Finfraktion bestämdes genom manuell sällning av pelletsen på ett 3,15 mm säll.

Experimentell design

En full faktoriell design på tre nivåer för de kvantitativa variablerna fukthalt och matning till pressen användes för försöken med smulåterföring (LMS) och försöken utan smulåterföring (LUS). En D-optimal design användes för att analysera alla försök tillsammans. I detta fall behandlades smulåterföring som en kvalitativ variabel på två nivåer (med smulåterföring - utan smulåterföring). Tabell 1 och tabell 2 visar de experimentella designerna som användes.

För analys av data och för att koppla de varierade faktorerna (torrhalt, matning och smulåterföring) till responserna (uppmätta pellets-kvalitetsegenskaper) vid pelleteringsförsöken användes programvaran MODDE 10.1.0 Multipel linjär regression (MLR) användes i samtliga fall.

Tabell 1. Experimentell design för försöken med smulåterföring (LMS står för Luleå Med Smulåterföring)

Exp nr	Torrhalt	Torrhalt (%)	Belastning	Matning (%)	Anm
LMS01	Låg	90	hög	48	x3
LMS02	Låg	90	medel	38	x3
LMS03	Låg	90	låg	28	x3
LMS04	Medel	91	hög	48	x3
LMS05	Medel	91	medel	38	x3
LMS06	Medel	91	låg	28	x3
LMS07	Hög	92	hög	48	x3
LMS08	Hög	92	medel	38	x3
LMS09	Hög	92	låg	28	x3
LMS10	Medel	91	hög	48	x3
LMS11	Medel	91	medel	38	x3
LMS12	Medel	91	låg	28	x3

Tabell 2. Experimentell design för försöken utan smulåterföring (LUS står för Luleå Utan Smulåterföring)

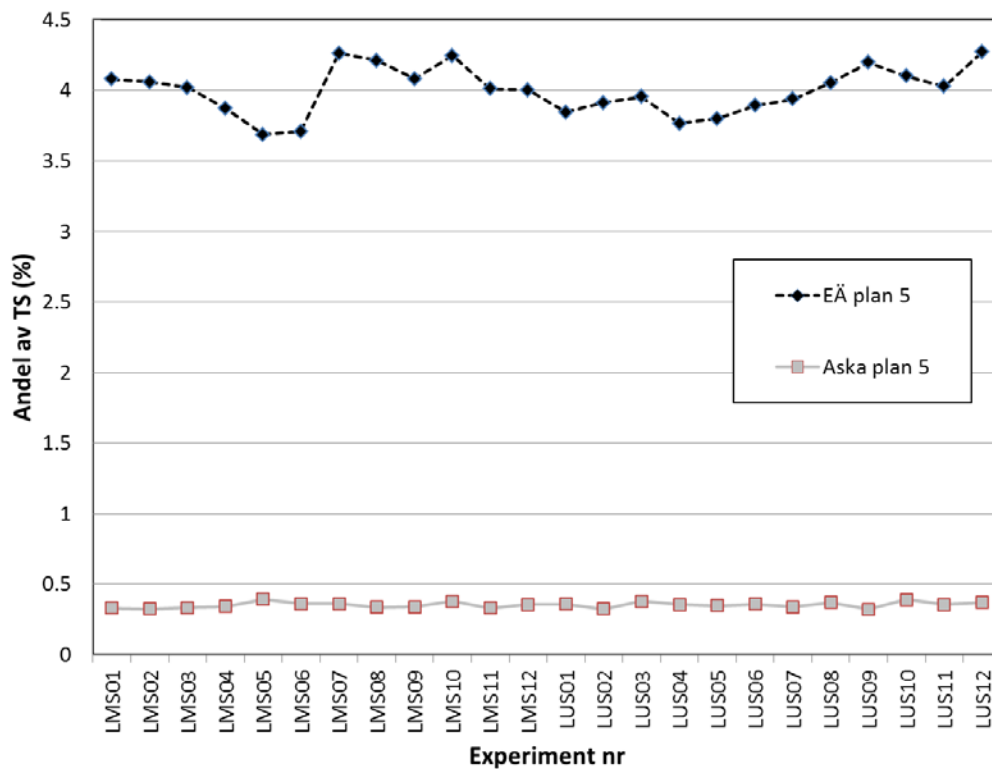
Exp nr	Torrhalt	Torrhalt (%)	Belastning	Matning (%)	Anm
LUS01	Låg	90	hög	48	x3
LUS02	Låg	90	medel	38	x3
LUS03	Låg	90	låg	28	x3
LUS04	Medel	91	hög	48	x3
LUS05	Medel	91	medel	38	x3
LUS06	Medel	91	låg	28	x3
LUS07	Hög	92	hög	48	x3
LUS08	Hög	92	medel	38	x3
LUS09	Hög	92	låg	28	x3
LUS10	Medel	91	hög	48	x3
LUS11	Medel	91	medel	38	x3
LUS12	Medel	91	låg	28	x3

Resultat och diskussion

I denna del presenteras och diskuteras resultaten från de analyser som gjorts på råvaran samt produktionsmätningar. Resultaten från MLR-analysen visar hur processvariablerna påverkar process och pellets kvaliteten.

Råvaruvariation

Figur 1 visar hur extraktivämnehaltens och askhalten varierade vid de olika provtagningstillfällena. Varje punkt är ett medelvärde av två mätningar. I medeltal låg askhalten på 0,35 % och varierade mellan 0,32 % och 0,39 %. Extraktivämnehaltens hade ett medelvärde på 4,4 % och har varierat mellan 4,1 % och 4,7 %.



Figur 1. Extraktivämnehaltens och askhaltens variation under försöket

Variationen i askhalt ($\pm 11,4$ %) torde inte ha haft någon större inverkan på de uppmätta pelletsegenskaperna. Det är dock oklart om variationen i extraktivämnehalt ($\pm 6,8$ %) har haft någon påverkan på pelletsegenskaperna. En hög extraktivämnehalt har i andra försök påverkat pellets kvaliteten negativt [2, 3].

Tabell 3 och tabell 4 visar t-test för skillnader i extraktivämnehalt och askhalt mellan försöken med smulåterföring (LMS) och försöken utan smulåterföring (LUS). Testen visar att nollhypotesen, d.v.s. att det inte är någon skillnad mellan LMS och LUS, kan behållas då det beräknade värdet på t (t Stat) är lägre än de kritiska t-värdena för både extraktivämnehalt och askhalt.

Detta visar att råvaran är något så när konstant över hela försöksperioden (eller att variationen är lika stor inom LMS och LUS) åtminstone med avseende på extraktivämnehalt och askhalt.

Tabell 3. *t*-test, skillnad i extraktivämnehalt mellan LMS och LUS

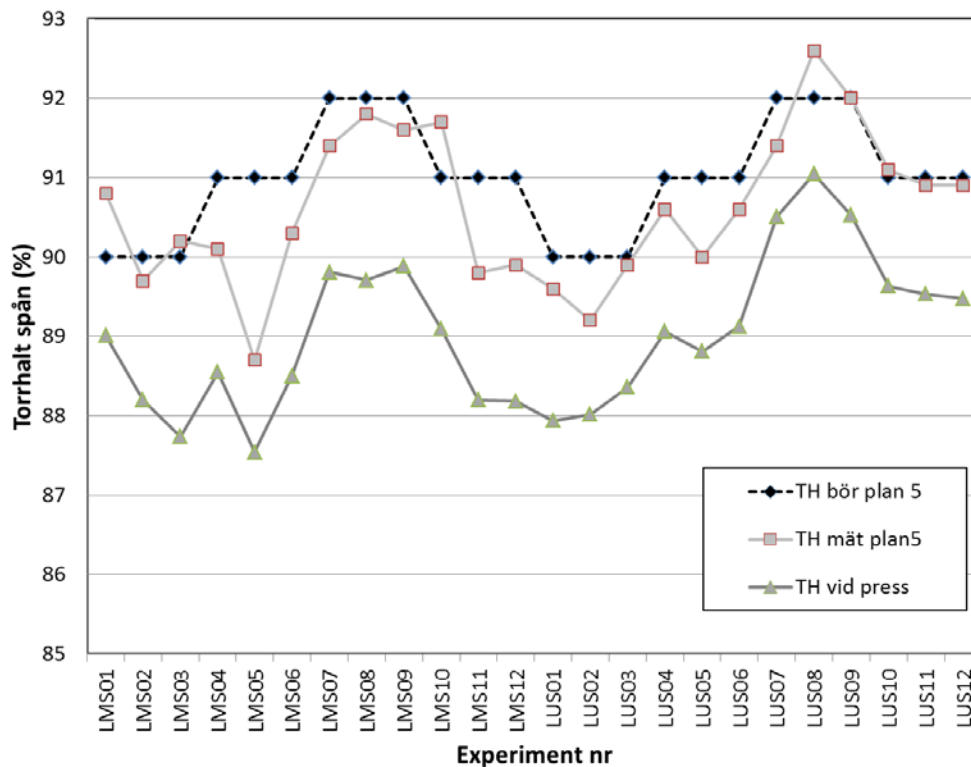
	LMS	LUS
Medel	4.44	4.39
Varians	0.030	0.023
Observationer	12	12
t Stat	0.843	
P(T<=t) ensidig	0.204	
t Kritisk ensidig	1.717	
P(T<=t) tvåsidig	0.408	
t Kritisk tvåsidig	2.074	

Tabell 4. *t*-test, skillnad i askhalt mellan LMS och LUS

	LMS	LUS
Medel	0.35	0.36
Varians	0.00046	0.00040
Observationer	12	12
t Stat	-0.802	
P(T<=t) ensidig	0.216	
t Kritisk ensidig	1.717	
P(T<=t) tvåsidig	0.431	
t Kritisk tvåsidig	2.074	

Torrhaltsstyrning

Figur 2 visar hur väl vi lyckades reglera torrhalten på spånet efter torkning och innan pressarna samt vid pressen P400. Den streckade svarta linjen visar börvärdet, det vill säga det värde på torrhalten som vi försökte uppnå innan pressarna (plan 5). Den gråa heldragna linjen med kvadratiska brytpunkter visar den uppmätta torrhalten (plan 5). Till en viss del följer den uppmätta torrhalten börvärdet men ganska stora skillnader kan detekteras. Den uppmätta torrhalten varierade mellan 88,7 % och 92,6 %. Den heldragna gråa linjen med trianglar som brytpunkter visar den uppmätta torrhalten vid pressen P400. I detta fall har ånga blivit tillsatt och här varierar torrhalten mellan 87,5 % och 91,0 %. I medeltal ligger torrhalten uppmätt vid pressen 1,6 %-enheter lägre än torrhalten uppmätt före pressarna (före ångbehandling, plan 5). Torrhalten uppmätt vid pressen är det värde som har använts vid modelleringen av processvariablernas inverkan på process och pellets kvalitet.



Figur 2. Börvärden och uppmätta värden på torrhalt vid olika provtagningspositioner

Produktionsmätningar

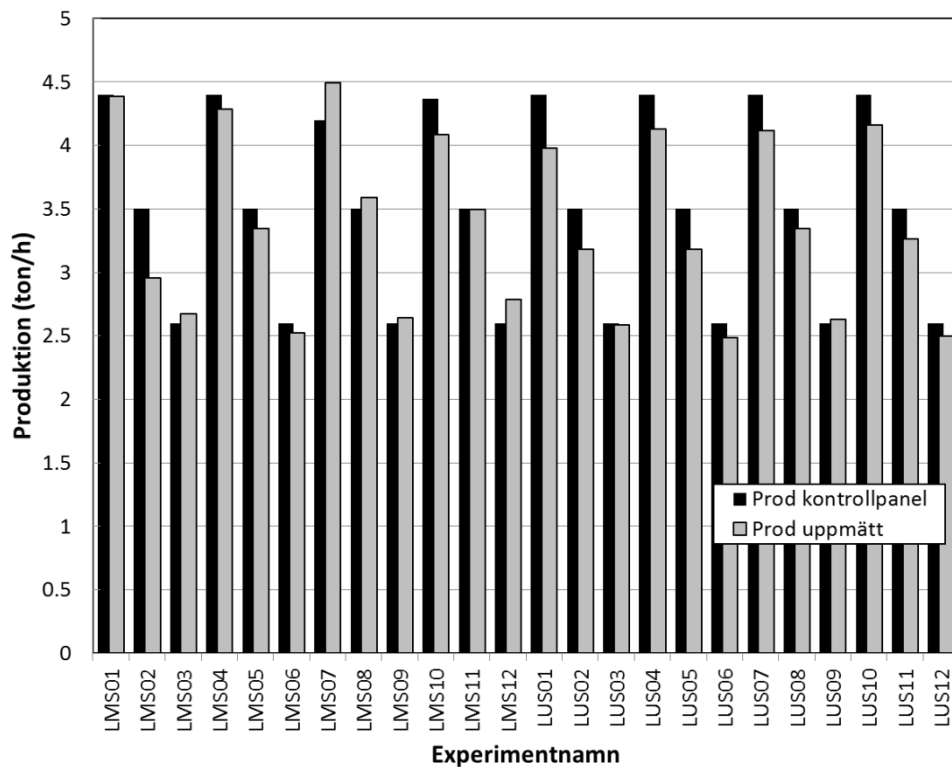
Figur 3 visar hur den från kontrollpanelen avlästa produktionen och den uppmätta produktionen skiljer sig mellan de olika försöken. De svarta staplarna visar värdena som avlästes från kontrollpanelen och de gråa staplarna visar uppmätta värden på produktionen.

I tabell 5 har ett t-test för parvisa differenser mellan avläst och uppmätt produktion utförts. Testet visar att nollhypotesen, d.v.s. att det inte är någon skillnad mellan avläst och uppmätt produktion, bör förkastas då det beräknade värdet på t (t Stat) är högre än de kritiska t-värdena. Detta betyder att det finns en liten men signifikant skillnad mellan avläst och uppmätt pelletsproduktion. I detta fall visar den avlästa produktionen ett något högre värde än den uppmätta.

Avvikelser

Under försöken med smulåterföring på (LMS) så inträffade en del avvikelser som kan ha påverkat resultaten. Vid försöken LMS04 och LMS07 stoppades produktionen under en kort tid p.g.a. gnistor i kvarnen. Vid försök LMS06 stoppades pressen P400 helt under ett par timmar p.g.a. gnistor i pressen.

Vid experiment LMS07 och LMS10 så gick pressningen så tungt att strömgränsen på 430A uppnåddes och maskinen automatiskt begränsade produktionen.



Figur 3. Jämförelse mellan produktion avläst på kontrollpanelen och uppmätt produktion

Tabell 5. t-test för parvisa differenser mellan produktion avläst på kontrollpanelen och uppmätt produktion

	Prod. kontrollpanel	Prod. uppmätt
Medel	3.49	3.37
Varians	0.547	0.472
Observationer	24	24
t Stat	3.043	
P(T<=t) ensidig	0.003	
t Kritisk ensidig	1.714	
P(T<=t) tvåsidig	0.006	
t Kritisk tvåsidig	2.069	

MLR-modellering

Multipel linjär regression (MLR) användes för att koppla de varierade faktorerna (torrhalt, matning och smulåterföring) till responserna (uppmätta pellets-kvalitetsegenskaper och ström över pressen) vid pelleteringsförsöken. Följande förkortningar har använts för faktorerna: Torrhalt-TH, Matning-Mat och Smulåterföring-Smu (ON/OFF).

Tabell 6 visar en sammanställning över hur väl modelleringen lyckades. R^2 beskriver hur väl modellen passar uppmätta data och Q^2 beskriver hur bra modellen är att prediktera nya data. R^2 och Q^2 kan variera mellan 0 och 1 och ju

närmare 1 desto bättre modell. I detta fall kan vi konstatera att utmärkta modeller erhöles för responserna ”motorström” och ”pelletsfukthalt”. Modellen för bulkdensitet är också mycket bra. Modellen för finfraktion är ganska bra och kan till en viss del prediktera nya data. Modellen för hållfasthet är dock mycket svag och kan inte användas för att prediktera nya data utan ger bara en uppfattning om vilka koefficienter som har signifikans för egenskapen.

För experiment nr. LUS03B saknades värde på finfraktion p.g.a. en miss vid analystillfället. För experiment nr. LMS07B saknas värde på pelletsfukthalt av samma orsak. Värden på finfraktion och motorström uteslöts också ur modelleringen för experiment nr. LMS10A och LMS10B då dessa var så avvikande att de inte passade in i modellen. Detta kan bero på att icke representativa prov/värden erhöles vid provtagningen/avläsningen då pelletpressen vid detta tillfälle gick så tungt att strömgränsen på 430A uppnåddes och maskinen automatiskt begränsade produktionen.

Tabell 6. Sammanställning av MLR-modellering

Egenskap	R^2	Q^2
Bulkdensitet	0.84	0.82
Finfraktion	0.60	0.54
Hållfasthet	0.29	0.21
Pelletfukthalt	0.96	0.95
Motorström	0.98	0.98

Tabell 7 visar hur mycket de uppmätta parametrarna har varierat under försöket. Generellt så är en stor variation bra med avseende på modellering men det finns undantag. T.ex. finfraktionen har varierat $\pm 44.4\%$ men ger en sämre modell än bulkdensitet som bara varierat $\pm 4.04\%$. Detta beror på att variationen inte är systematisk och kan inte kopplas till de faktorer som varierats under försöket (fukthalt, matning och smulåterföring).

Tabell 7. Sammanställning över variationen i de uppmätta parametrarna

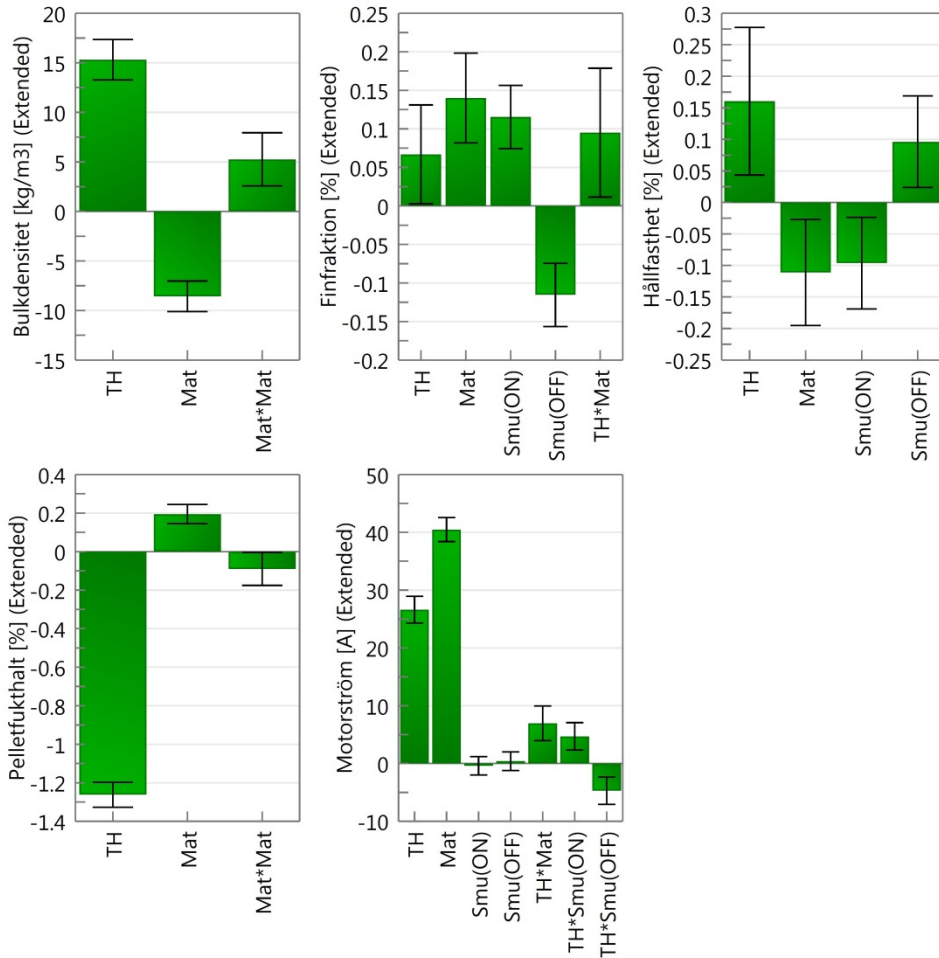
Uppmätt parameter	Medel	Min	Max	Rel. %
Bulkdensitet, kg/m^3	671	644	698	± 4.04
Finfraktion, %	1.76	0.68*	2.53	± 44.4
Hållfasthet, %	96.3	95.7	97.0	± 0.72
Pelletfukthalt, %	6.35	4.51	8.00	± 26.1
Motorström, A	357	294	430	± 20.5

*Detta värde togs inte med i modelleringen p.g.a. ”outlierbeteende”

Koefficienter

I figur 4 visas hur de olika faktorerna och kombinationer av dessa påverkar de uppmätta egenskaperna (responserna). Dessa koefficienter används vid den matematiska modelleringen för att koppla faktorer mot responser.

Från figur 4 kan man utläsa att smulåterföring på/av påverkar responserna finfraktion, hållfasthet och motorström. Tittar man mer i detalj på figuren så kan man utläsa följande för de studerade responserna:



Figur 4. Koefficienternas inverkan på de uppmätta egenskaperna.

Bulkdensitet: Här ser man att torrhalten på materialet har den största inverkan på denna egenskap. Högre torrhalt ger högre bulkdensitet. Matningen har motsatt effekt, d.v.s. högre matning (produktion) ger lägre bulkdensitet. Den kvadratiska termen matning x matning motverkar dock detta en aning.

Finfraktion: Störst inverkan på denna egenskap har smulåterföringen. Utan smulåterföring minskar andelen finmaterial. Matningen (produktionen) påverkar finfraktionsandelen genom att mer finfraktion bildas vid högre matning (produktion). Interaktionstermen torrhalt x matning ger en ökad andel finfraktion. Ökad torrhalt på materialet ökar också andelen finfraktion som bildas.

Hållfasthet: Även för denna egenskap har smulåterföringen störst betydelse. Ingen smulåterföring ger högre hållfasthet. Högre torrhalt ger i detta fall också högre hållfasthet (vilket är tvärt emot det förväntade). Högre matning (produktion) minskar hållfastheten. Man bör dock beakta att modellen för egenskapen hållfasthet är mycket svag och trots att signifikanta koefficienter erhålls så bör man vara försiktig med att dra några slutsatser.

Pelletfukthalt: Här har som förväntat torrhalten på materialet den största inverkan på denna egenskap. En låg torrhalt ger en hög pelletfukthalt. Matningen (produktionen) påverkar också pelletfukthalten genom att en högre matning (produktion) ger något högre pelletfukthalt. Den kvadratiske termen av matning (produktion) motverkar dock detta något.

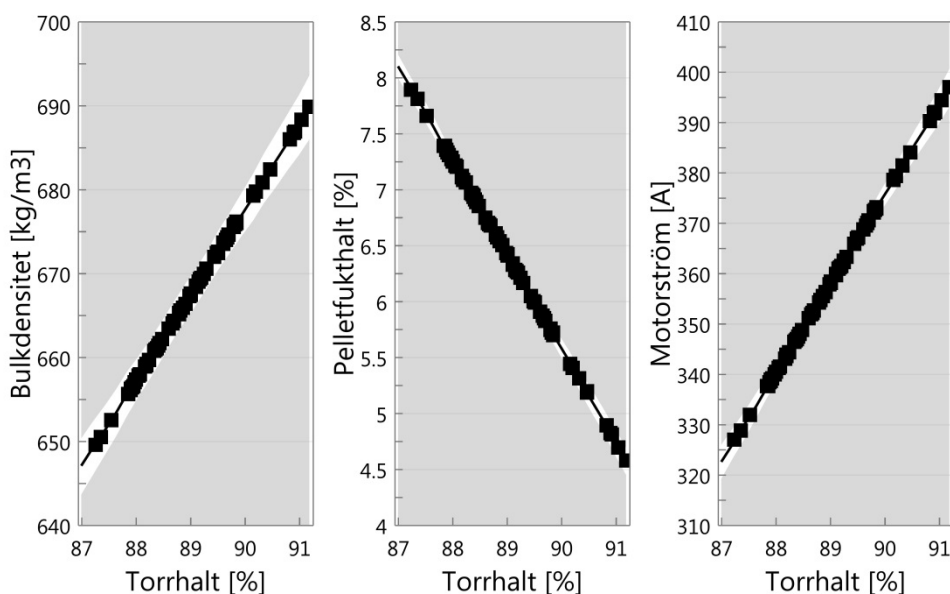
Motorström: Denna parameter påverkas mest av matningen (produktionen) genom att en hög matning (produktion) ger högre ström över motorn. Även torrhalten är en viktig faktor, högre torrhalt ger högre ström över motorn. Interaktionstermen torrhalt x smulåterföring påverkar motorströmmen så att en hög torrhalt i kombination med smulåterföring ger högre motorström än en hög torrhalt i kombination med ingen smulåterföring. Interaktionen mellan torrhalt och matning (produktion) påverkar också motorströmmen så att en hög torrhalt i kombination med hög matning påverkar motorströmmen mer än låg torrhalt och hög matning.

Huvudeffekter

I detta avsnitt presenteras och diskuteras hur de uppmätta parametrarna/egenskaperna påverkas av de enskilda faktorerna som har varierats i försöket, d.v.s. inverkan av torrhalt, matning (produktion) och smulåterföring på/av.

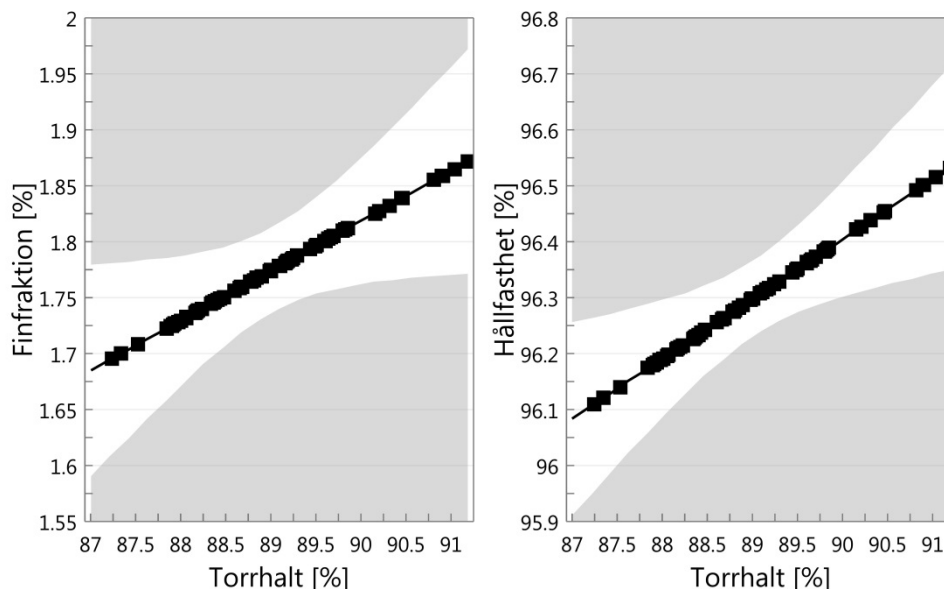
Inverkan av torrhalt

Figur 5 visar hur råmaterialets torrhalt, mätt ovanför pressen alldeles innan pelletering, påverkar bulkdensiteten och fukthalten på de producerade pelletarna samt hur torrhalten påverkar strömmen över motorn till pelletpressen. Konfidensintervallet (95 %) är också inkluderat i figurerna. En ökning av torrhalten från 87 % till 91 % ökar bulkdensiteten med c. 6 % (40 kg/m^3), minskar pelletfukthalten med c. 44 % (3,5 %-enheter) och ökar motorströmmen med c. 31 % (85 A).



Figur 5. Inverkan av råmaterialets torrhalt på bulkdensitet, pelletfukthalt och motorström.

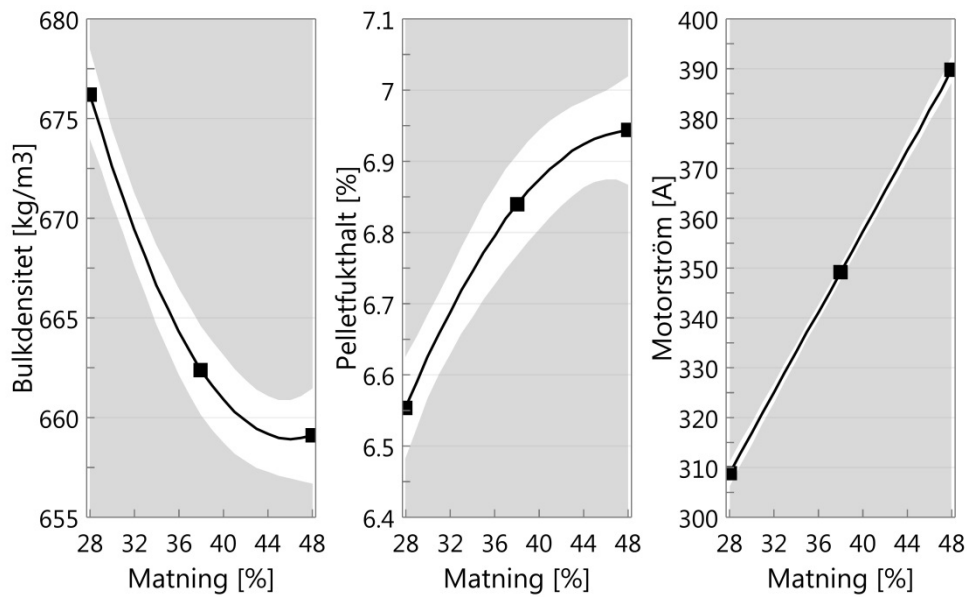
Figur 6 visar hur råmaterialets torrhalt, mätt ovanför pressen alldeles innan pelletering, påverkar andelen finfraktion och hållfastheten på de producerade pelletarna. Konfidensintervallet (95 %) är också inkluderat i figurerna. En ökning av torrhalten från 87 % till 91 % ökar andelen finfraktion med c. 10 % (1,7 %-enheter) och ökar hållfastheten med c. 0,4 % (0,43 %-enheter). Man bör dock observera att skillnaden i hållfasthet är signifikant men mycket liten och att modellen för hållfasthet är mycket svag.



Figur 6. Inverkan av råmaterialets torrhalt på finfraktion och hållfasthet.

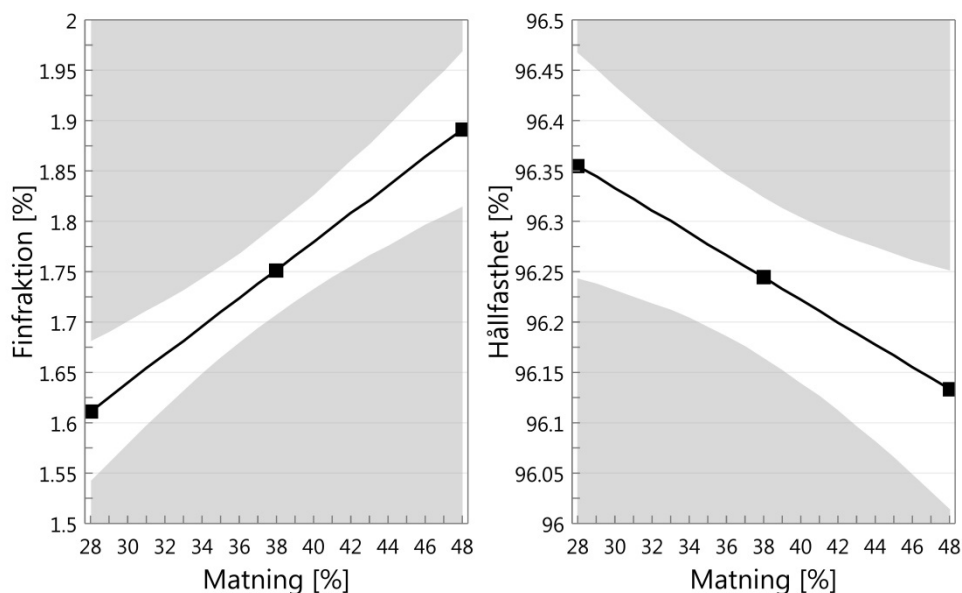
Inverkan av matning (produktion)

Figur 7 visar hur matningen, d.v.s. produktionen påverkar bulkdensiteten, pelletfukthalten samt strömmen över motorn till pressen. Konfidensintervallet (95 %) är också inkluderat i figurerna. En matning på 28 % motsvarar en produktion på 2,6 ton/h; en matning på 36 % motsvarar 3,5 ton/h och en matning på 48 % motsvarar en produktion på 4,4 ton/h.



Figur 7. Inverkan av matning (produktion) på bulkdensitet, pelletfukthalt och motorström.

En ökning av produktionen från 2,6 ton/h (28 %) till 4,4 ton/h (48 %) medför att bulkdensiteten sjunker med c. 3 % (18 kg/m³). Vid samma produktionsökning ökar också pelletfukthalten med c. 6 % (0,4 %-enheter). Minskningen i densitet och ökningen i pelletfukthalt är dock inte linjär utan avtar med ökad produktion. Ökad matning (produktion) ger som förväntat ökad motorström.

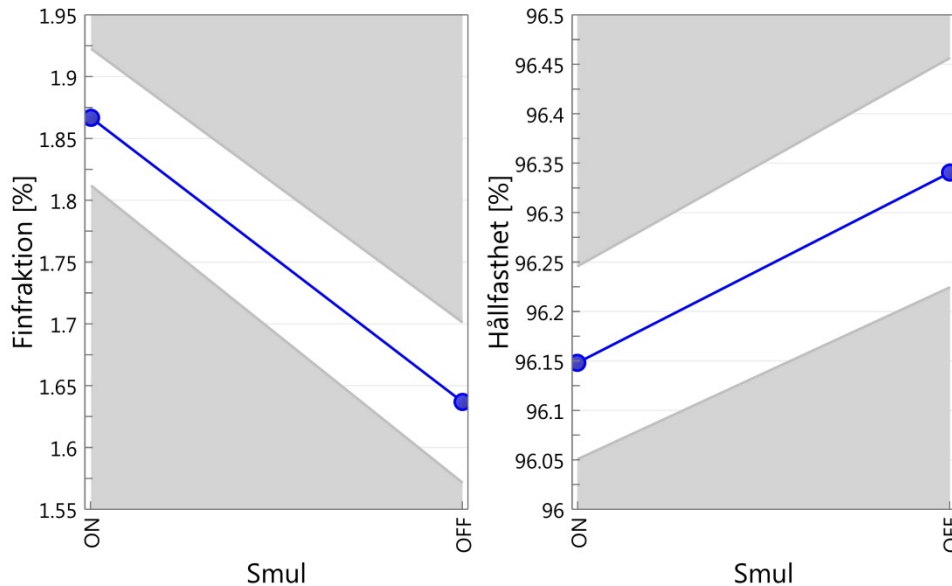


Figur 8. Inverkan av matning (produktion) på andel finfraktion och hållfasthet.

Figur 8 visar hur matningen, d.v.s. produktionen påverkar andelen finfraktion och hållfastheten på de producerade pelletarna. Konfidensintervallet (95 %) är också inkluderat i figurerna. En ökning av matningen från 28 % till 48 % ökar också andelen finmaterial som produceras med c. 19 % (0,3 %-enheter). Hållfastheten på pelletarna minskar med c. 0,2 % (0,22 %-enheter). Även här bör man observera att skillnaden i hållfasthet är signifikant men mycket liten och att modellen för hållfasthet är mycket svag.

Inverkan av smulåterföring

Figur 9 visar hur smulåterföringen påverkar andelen finfraktion och hållfastheten på de producerade pelletarna. Konfidensintervallet (95 %) är också inkluderat i figurerna. Smul ON betyder med smulåterföring och Smul OFF betyder utan smulåterföring. Endast andelen finfraktion och hållfastheten påverkades signifikant av smulåterföring som huvudeffekt (se figur 4).



Figur 9. Inverkan av smulåterföring av/på andel finfraktion och hållfasthet.

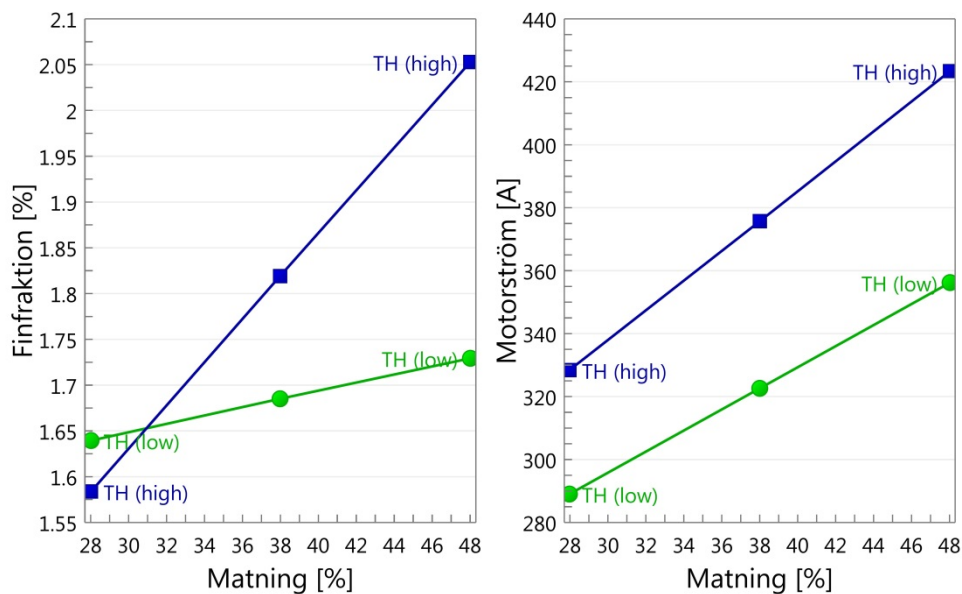
Från figur 9 kan man utläsa att andelen finfraktion minskar med c. 14 % (0,24 %-enheter) när processen körs utan smulåterföring jämfört med det normala körsättet med smulåterföring. Hållfastheten påverkas också genom att den ökar med c. 0,2 % (0,2 %-enheter) när man kör processen utan smulåterföring. Även här bör man observera att skillnaden i hållfasthet är signifikant men mycket liten och att modellen för hållfasthet är mycket svag.

Samverkans effekter

I detta avsnitt presenteras och diskuteras hur de uppmätta parametrarna/egenskaperna påverkas av de samverkans effekter (interaktioner) mellan faktorerna som har varierats i försöket.

Interaktion mellan torrhalt och matning (produktion)

Andelen finfraktion och motorströmmen påverkades signifikant av interaktionen mellan torrhalt och matning. Figur 10 visar hur andelen finfraktion och motorströmmen påverkas av interaktionen mellan torrhalt och matning.

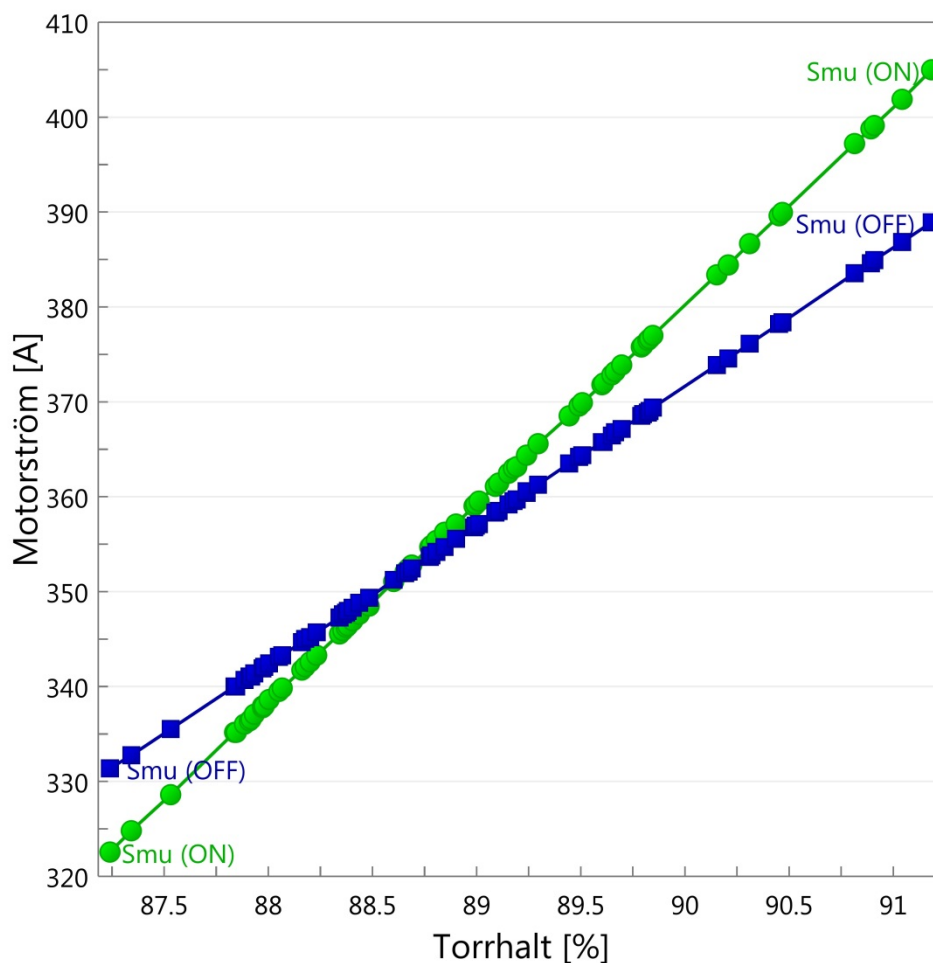


Figur 10. Inverkan av interaktionen mellan torrhalt och matning (produktion) på andel finfraktion och motorström.

Från figur 10 kan man utläsa att andelen finfraktion påverkas mycket kraftigt av en produktionsökning från 28 % (2,6 ton/h) till 48 % (4,4 ton/h) i kombination med hög torrhalt på råvaran. Vid hög torrhalt (TH = 91 %) ökar andelen finfraktion c. 28 % (0,45 %-enheter) medan andelen finfraktion ökar endast med c. 5 % (0,08 %-enheter) vid låg torrhalt (TH = 87 %). För motorströmmen kan man utläsa att den ökar något brantare vid produktionsökning med hög torrhalt (TH = 91 %) än produktionsökning med låg torrhalt (TH = 87 %). Lägre torrhalt på råvaran ger generellt också betydligt lägre ström över pressen än hög torrhalt på råvaran.

Interaktion mellan torrhalt och smulåterföring

Motorströmmen påverkades signifikant av interaktionen mellan torrhalt och smulåterföring. Figur 11 visar hur motorströmmen påverkas av interaktionen mellan torrhalt och smulåterföring.



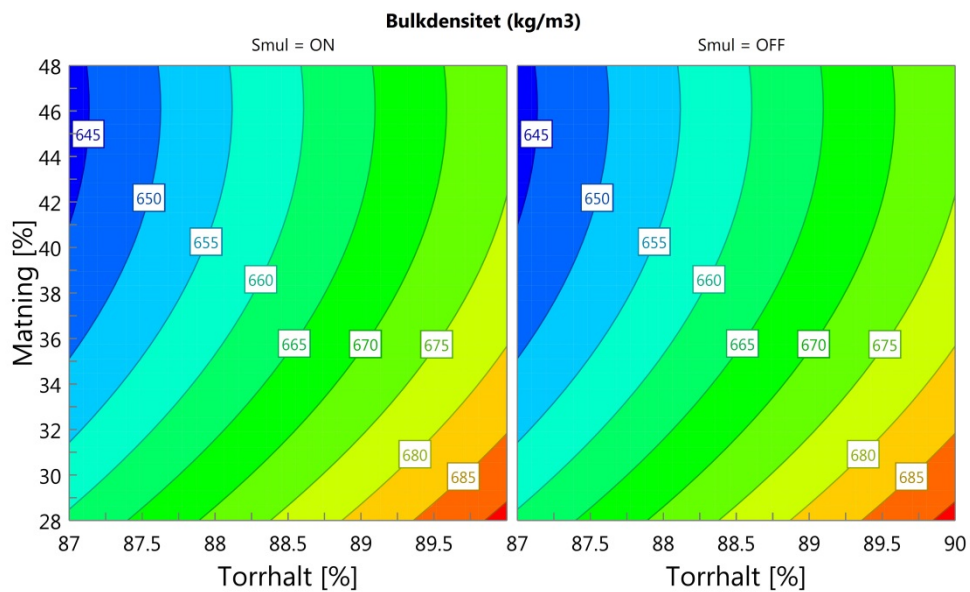
Figur 11. Inverkan av interaktionen mellan torrhalt och smulåterföring av/på på motorström.

Från figur 11 kan man utläsa att motorströmmen ökar mer brant vid en torrhaltsökning av råvaran med smulåterföring. Utan smulåterföring är ökningen i motorström något mindre vid torrhaltsökning.

Prediktioner

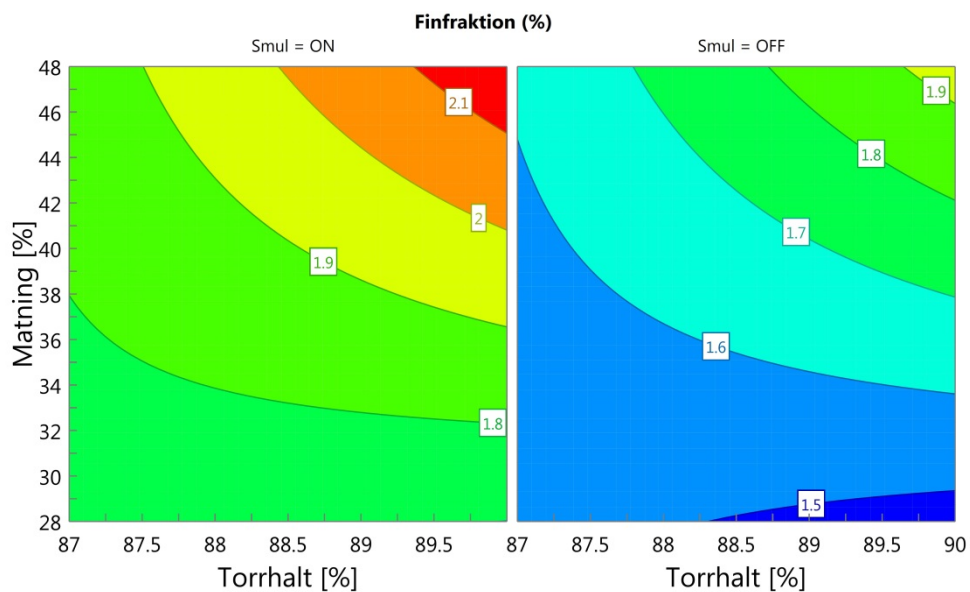
För att visa hur alla huvudtermer, interaktionstermer och kvadratiska termer påverkar de uppmätta egenskaperna kan man göra s.k. konturfigurer där den uppmätta egenskapen kan avläsas som en höjdkurva på en karta. I dessa figurer varierar torrhalten på råvaran längs x-axeln och matningen (produktionen) längs y-axeln. Figuren till vänster är med smulåterföring och figuren till höger är utan smulåterföring.

Figur 12 visar hur bulkdensiteten påverkas av råvarans torrhalt, matningen till pressen (produktion) med och utan smulåterföring. Figurerna 13-16 visar påverkan på finfraktion, hållfasthet, pelletfukthalt och motorström på liknande sätt.



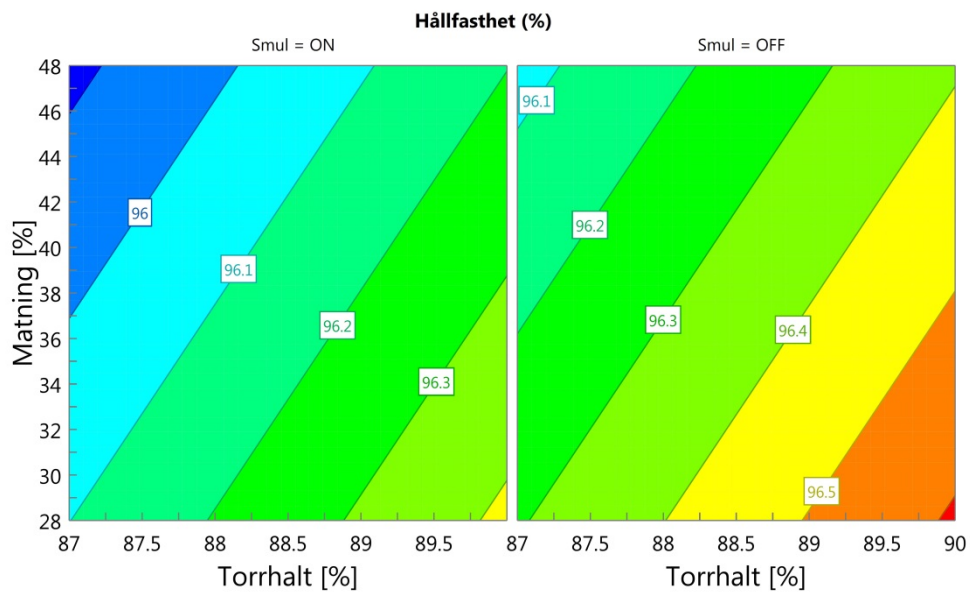
Figur 12. Bulkdensitet som funktion av råvarans torrhalt och matning (produktion) med smulåterföring och utan smulåterföring.

Från figur 12 kan man utläsa att bulkdensiteten är lägst vid låg torrhalt och hög matning. Den högsta bulkdensiteten erhålls vid hög torrhalt och låg matning. Smulåterföringen påverkar inte bulkdensiteten.



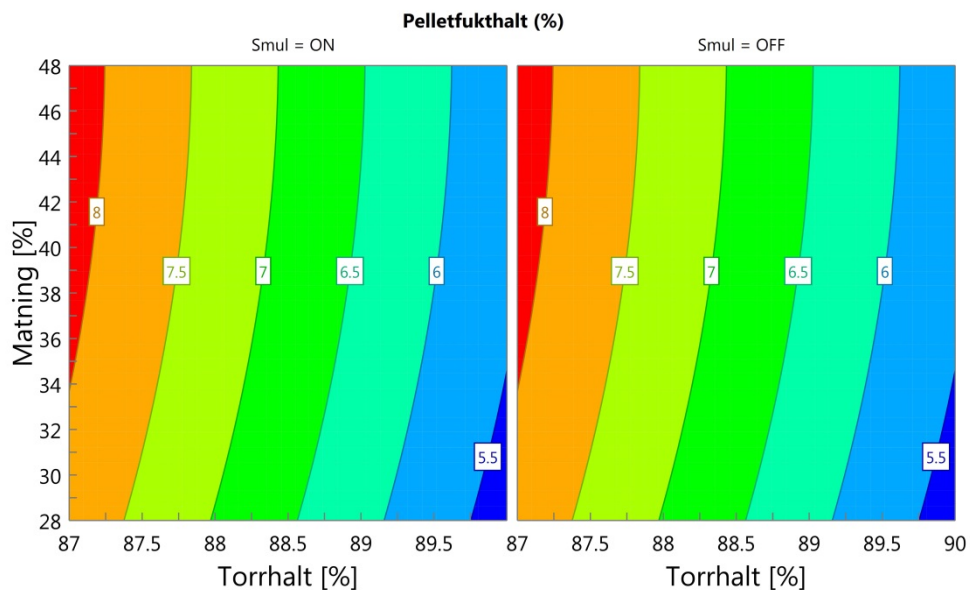
Figur 13. Andel finfraktion som funktion av råvarans torrhalt och matning (produktion) med smulåterföring och utan smulåterföring.

Figur 13 visar att utan smulåterföring blir andelen finfraktion generellt något lägre än med smulåterföring. Vid låg matning och låg torrhalt erhålls den lägsta andelen finfraktion. Högst andel finfraktion erhålls vid hög matning och hög torrhalt.



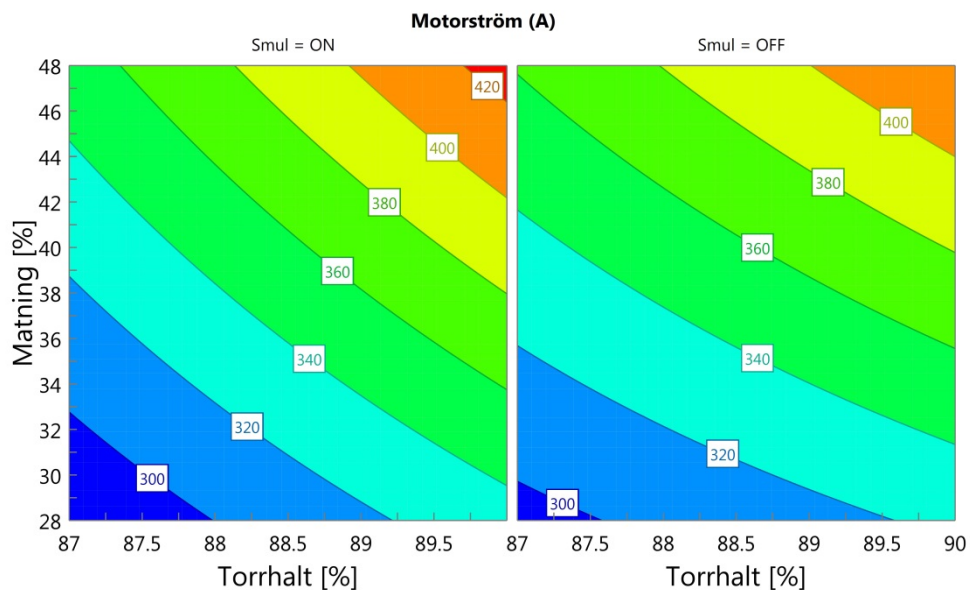
Figur 14. Hållfasthet som funktion av råvarans torrhalt och matning (produktion) med smulåterföring och utan smulåterföring.

Figur 14 visar att hållfastheten blir något bättre utan smulåterföring och vid hög torrhalt och låg matning men variationerna i hållfasthet är mycket små. Ett medelvärde på 96,3 % för alla undersökta inställningar är nästan en lika bra modell i detta fall.



Figur 15. Pelletfukthalt som funktion av råvarans torrhalt och matning (produktion) med smulåterföring och utan smulåterföring.

Figur 15 visar att pelletfukthalten påverkas mest av den ingående råvarans torrhalt. Högre torrhalt ger lägre pelletfukthalt. Vid högre matning erhålls något högre pelletfukthalt än vid låg matning. Ingen skillnad i denna egenskap med avseende på smulåterföring.



Figur 16. Motorström som funktion av råvarans torrhalt och matning (produktion) med smulåterföring och utan smulåterföring.

Från figur 16 kan man utläsa att den högsta motorströmmen erhålls vid hög torrhalt och hög matning. Den lägsta motorströmmen erhålls vid låg torrhalt och låg matning. Återcirkulation av smul ger generellt något högre ström över motorn.

Möjliga felkällor

Vid all experimentell verksamhet i industriell skala så är det svårt att eliminera alla störande faktorer som kan påverka resultatet. I detta fall har vi identifierat några möjliga felkällor som kan ha påverkat resultatet:

- Väder – vid LMS-försöken var det väldigt regnigt och detta medförde att det var svårt att styra torkningen och att torka till höga torrhalter. Vid LUS-försöken var det uppehåll under hela försöksperioden.
- Val av pelletpress – P400 visade sig ha ganska slitna lager, provtagning från en annan press kunde ha gett ett annat resultat.
- Råvaran – omöjligt att veta om råvaran är konstant både inom en försöksserie och mellan försöksserierna.
- Slitage – har slitage påverkat utrustningen så mycket under en vecka att det påverkar resultaten?
- Driftstopp – under LMS-försöken uppstod flera driftstopp som kan ha påverkat resultaten.

Slutsatser

Huvudsyftet med detta försök var att undersöka om det är skillnader i process och pellets kvalitet när man kör med smulåterföring respektive utan smulåterföring. Råvarans torrhalt och matningen till pressarna har också varierats systematiskt så även inverkan av dessa processvariabler på pellets kvaliteten har studerats.

Försöket visade att smulåterföring har en signifikant inverkan på andelen finfraktion, hållfasthet och motorström till pelletpressen. Utan smulåterföring minskade andelen finfraktion med i medeltal 0,24 %-enheter (ca 14 % relativ minskning) och hållfastheten ökade samtidigt med i medeltal 0,19 %-enheter (ca 0,2 % relativ ökning). Motorströmmen påverkades indirekt genom att den ökar mer brant vid en torrhaltsökning av råvaran med smulåterföring. Utan smulåterföring är ökningen i motorström något mindre vid torrhaltsökning.

Våra rekommendationer är att fortsätta att köra processen normalt, d.v.s. med smulåterföring. Avskiljning av smul ger så små positiva effekter på produkten att det inte är någon större nytta att köra processen på detta sätt. Ett undantag kan dock vara om man har avsättning för biprodukten smul så kan detta medföra en mindre kvalitetshöjning av huvudprodukten pellets.

Referenser

1. Sundberg P. Utvärdering – test med ”rejektfri” pelletsproduktion. Rapport från Skellefteå Kraft AB, 2013-06-24
2. Bergström, D., Finell, M. and Gref, R. Effect of extractives on characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. *Forest Products Journal* (2010), Vol. 60, Issue 7/8. Pp 640-644.
3. Samuelsson, R., Larsson S. H., Thyrel, M., Lestander, T. A. Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy*, Volume 99, November 2012, Pages 109–115