

Försök med smulåterföring hos Lantmännen Agroenergi i Malmbäck

Michael Finell, Robert Samuelsson, Torbjörn Lestander och
Mehrddad Arshadi

Pelletsplattformen
BTK-Rapport 2010:2

SLU
Biomassateknologi & Kemi, Umeå



Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning	4
Inledning.....	5
Processen	5
Material & metoder.....	6
Resultat	8
Produktion & primärsmulhalt.....	8
Fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt	10
Slutsatser.....	19

Förord

Detta försök har genomförts och finansierats inom ramen för Pelletsplattformen, ett industriforskningsprogram i samarbete mellan pelletsindustrin och Enheten för Biomassateknologi och Kemi vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Finansiärer är Energimyndigheten, Pelletsindustrins Riksförbund (PiR) och SLU.

Det fullskaliga industriförsöket med smulåterföring i Lantmännen Agroenergis anläggning i Malmbäck genomfördes 11-13 augusti 2009. Avsikten var att studera hur olika inblandningsgrader av sekundärsmul påverkade pelletsegenskaperna och att utifrån detta ge riktlinjer för hur processen ska styras för att ge en optimal produktion av pellets.

Vi vill tacka Lantmännen Agroenergis personal som deltog i försöket och gjorde det möjligt att genomföra denna studie. Vi vill också tacka Mikael Thyrel, Björn Hedman och Carina Jonsson vid SLU BTK som deltog i försöket och har gjort analyserna på spån och pellets.

Umeå augusti 2010

Torbjörn Lestander

Programdirektör för pelletsplattformen

Sammanfattning

Detta försök genomfördes för att studera inverkan av inblandning av sekundärsmul i råvaran på pelletsvalitet vid Lantmännen Agroenergis anläggning i Malmbäck. Försöket gjordes som ett fullskaligt fabriksförsök där alla tre pressar kördes enligt försöksplanen.

De variabler som har varierats systematiskt är smulinblandning i råspån (0-10 %), fukthalt innan pressning (9-13 %) och belastning på pressarna (80-100 %). Övriga variabler har hållits konstanta eller körts på "normalt" sätt.

Resultaten har delats upp i två delar genom att primärsmulproduktionen och den totala produktionen har behandlats som ett separat dataset och pelletsvalitet (hållfasthet, bulkdensitet, fines och fukthalt) har behandlats som ett annat dataset.

De viktigaste resultaten är att den högsta produktionen och lägsta primärsmulhalten fås vid låg smulinblandning och hög fukthalt. Intressant är också att belastningen på pressarna hade mycket liten effekt på både produktion och pelletsvalitet.

Pelletsvaliteten påverkas dock generellt positivt av smulinblandning och upp till 10 % inblandning av sekundärsmul är möjlig utan att pelletsvaliteten hamnar på en oacceptabel nivå.

Vi rekommenderar dock att smulinblandningen inte överstiger 5 % då en högre inblandning påverkar produktionen och primärsmulgenereringen negativt.

Inledning

Syftet med försöket var att studera hur inblandning av sekundärsmul i råvaran påverkade produktionen och pelletsegenskaperna vid olika inställningar på fukthalt och belastning på pressarna. Försöket gjordes som ett fullt fabriksförsök, dvs. alla pelletspressar användes och prover togs från det sammanslagna materialet efter pressarna.

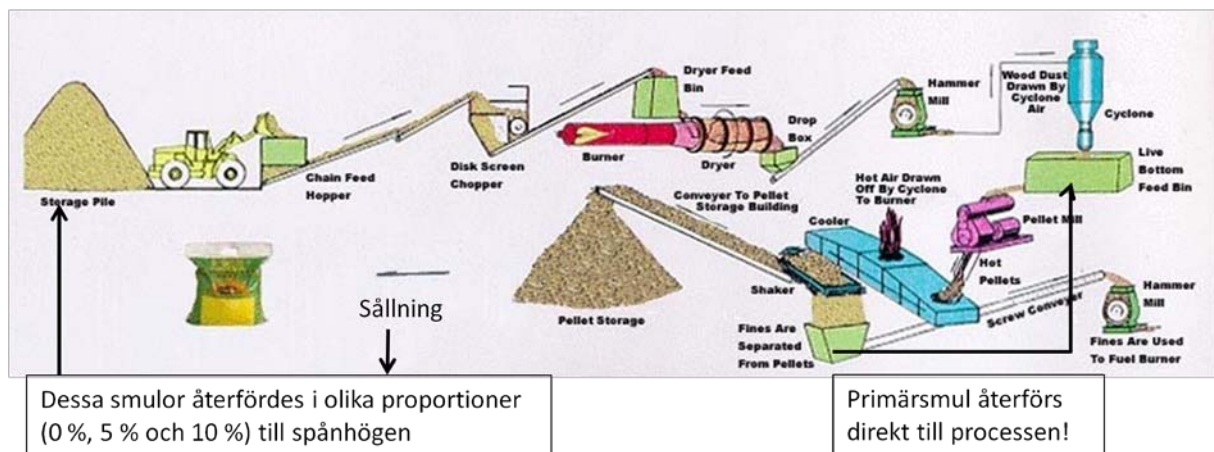
Processen

Hos Lantmännen Agroenergi AB i Malmbäck tillverkas totalt ca 100 000 ton/år av detta är 75 % pellets/briketter och 25 % pulver. Två Buhlerpressar finns, varav en med ett förbehandlingssteg och en matadorpress. Råvaran är spån och kutterspån. Begränsad kapacitet i torken gör att man tillsätter kutterspån för att justera torrhalten. Andelen kutterspån varierar mycket från 10 % - 100 %. Fukthalten i kutterspån varierar också (10 – 15 %). Man har ingen koll på gran-/tallförhållandet i varken spån eller kutterspån men gran är dock den dominerande råvaran.

Smul som avskiljs efter kylning (primärsmul) återcirkuleras direkt till buffertsilon innan pressarna. I anslutning till sållningen har en automatisk smulhaltsmätare installerats (Tillverkare, modell, mm.). Det totala flödet till sållet registreras också kontinuerligt med hjälp av en bandvåg (Tillverkare, modell, mm.). Smul som uppkommer vid lagring av pellets (sekundärsmul) samlas i en hög och portioneras in i processen igen genom att blanda det med råspån.

För att ha koll på fukthalten efter torkning och malning finns ett NIR-instrument installerat i en transportskruv före pressarna. Det är fukthalten som detekteras av NIR-instrumentet som har använts vid de olika försöksinställningarna.

Figur 1 visar en skiss över processen där primär- och sekundärsmulåtercirkulationen har ritats in.



Figur 1. Skiss av pelleteringsprocessen.

Material & metoder

Tre spånhögar med olika smulinblandning preparerades innan försöket. Referensspånet bestod av en 50/50-blandning av lagrat- och färskt spån med 5 % inblandning av rötskadad ved. Alla blandningar gjordes baserat på volym. Inblandningsgraden av smul var 0, 5, och 10 % i dessa högar. Dessa spånhögar användes som råvara under försökets gång och passerade alla normala processteg som normalt används vid pelletstillverkningen.

Fukthalten på spånet som gick in i pressarna varierades mellan 9 och 13 % genom att styra torken enligt försöksplanen. Pressarna kördes också vid olika belastning, 80, 90 och 100 % enligt försöksplanen.

Figur 1 visar försöksplanen med börvärden och de verkliga inställningarna/värdena som erhöles vid försöket.

Tabell 1. Försöksplan med börvärden och erhållna värden. Den uppmätta fukthalten är ett medelvärde av 3 mätningar.

Exp Namn	Börvärde, fukthalt %	Verklig fukthalt %	Börvärde, belastning %	Verklig belastning %	Smul-inblandning %
MaP01	9	9,97	80	80	0
MaP02	13	11,91	80	80	0
MaP03	9	9,97	100	94	0
MaP04	13	12,63	100	94	0
MaP05	9	9,13	80	80	10
MaP06	13	13,52	80	80	10
MaP07	9	9,48	100	94	10
MaP08	13	13,73	100	94	10
MaP09	9	9,67	90	90	5
MaP10	13	12,44	90	90	5
MaP11	11	11,06	80	80	5
MaP12	11	11,33	100	94	5
MaP13	11	9,8	90	90	0
MaP14	11	11,14	90	90	10
MaP15	11	11,8	90	90	5
MaP16	11	11,24	90	90	5
MaP17	11	10,04	90	90	5
MaP18	11	9,77	90	90	0

En del problem uppstod också under försökets gång. Pelletpress 3 gick väldigt ojämnt under hela försöket och stannade också några gånger helt. Pelletpress 3 har därför inte körts enligt försöksplanen utan hållits på en belastning på omkring 70 % i de flesta försöken. Pelletpress 1 och 2 kördes dock enligt planen med undantag av den högsta belastningen (100 %) som valdes till 94 % för att undvika överbelastning. I experiment 13 råkade kutterspåninblandningen vara påkopplad och råvaran innehåller därför ett par % kutterspån. Experiment 13 upprepades som experiment 18 utan kutterspåninblandning.

Under försöket registrerades produktion och primärsmulhalt från mätutrustningen som finns installerad för detta ändamål. Både produktions- och smulhaltsmätningen varierade kraftigt under försökets gång och smulhaltsmätningssystemet stannade helt några gånger under försöken. Produktion och smulhalt registrerades under ca 20 min för varje inställning i försöksplanen.

Prover för fukthaltsbestämning togs ut efter buffertsilon innan pressarna 3 gånger under 20 min för varje experiment. Prover av pellets togs i pelletslagret 30 min efter första spånprovtagningen direkt under bandtransportören, 3 gånger under 20 min även för dessa prover. Fukthalt, bulkdensitet, hållfasthet, pelletsfukthalt och fines som presenteras i tabell 1 och tabell 2 är medelvärde av 3 provtagningar under försöken. För andelen fines saknas några värden p.g.a. en kommunikationsmiss vid mätningarna gjorda hos SLU.

Tabell 2. Erhållna värden på primärsmulhalt och produktion (från on-linemätning) samt pelletsegenskaper (medelvärde från 3 provtagningar)

Exp Namn	Primärsmul %	Produktion kg/h	Bulkdensitet kg/m³	Hållfasthet %	Pellfukthalt %	Fines %
MaP01	10,03	8103	713,99	96,03	5,19	
MaP02	8,26	6540	662,25	97,37	8,38	0,40
MaP03	13,34	5712	698,98	96,86	5,59	1,20
MaP04	6,57	8220	648,4	97,28	8,42	1,78
MaP05	18,57	3021	716,39	96,18	4,42	1,06
MaP06	8,54	4986	644,56	96,95	8,75	0,37
MaP07	18,82	4176	715,28	96,87	4,61	0,97
MaP08	9,62	5145	630,4	96,66	9,20	0,57
MaP09	12,69	5841	715,57	95,99	4,49	1,99
MaP10	13,27	5742	664,14	97,36	7,62	1,17
MaP11	11,10	6108	695,28	97,15	6,65	1,15
MaP12	7,06	6036	690,75	96,91	6,92	
MaP13	9,27	7770	690,14	96,58	5,85	3,07
MaP14	7,32	5535	669,35	97,91	7,41	0,52
MaP15	7,00	9000	677,94	97,5	7,36	1,09
MaP16	7,26	8055	694,65	96,93	6,68	
MaP17	9,13	7164	704,58	96,64	4,74	2,21
MaP18	12,06	7266	711,61	96,43	4,60	

Resultat

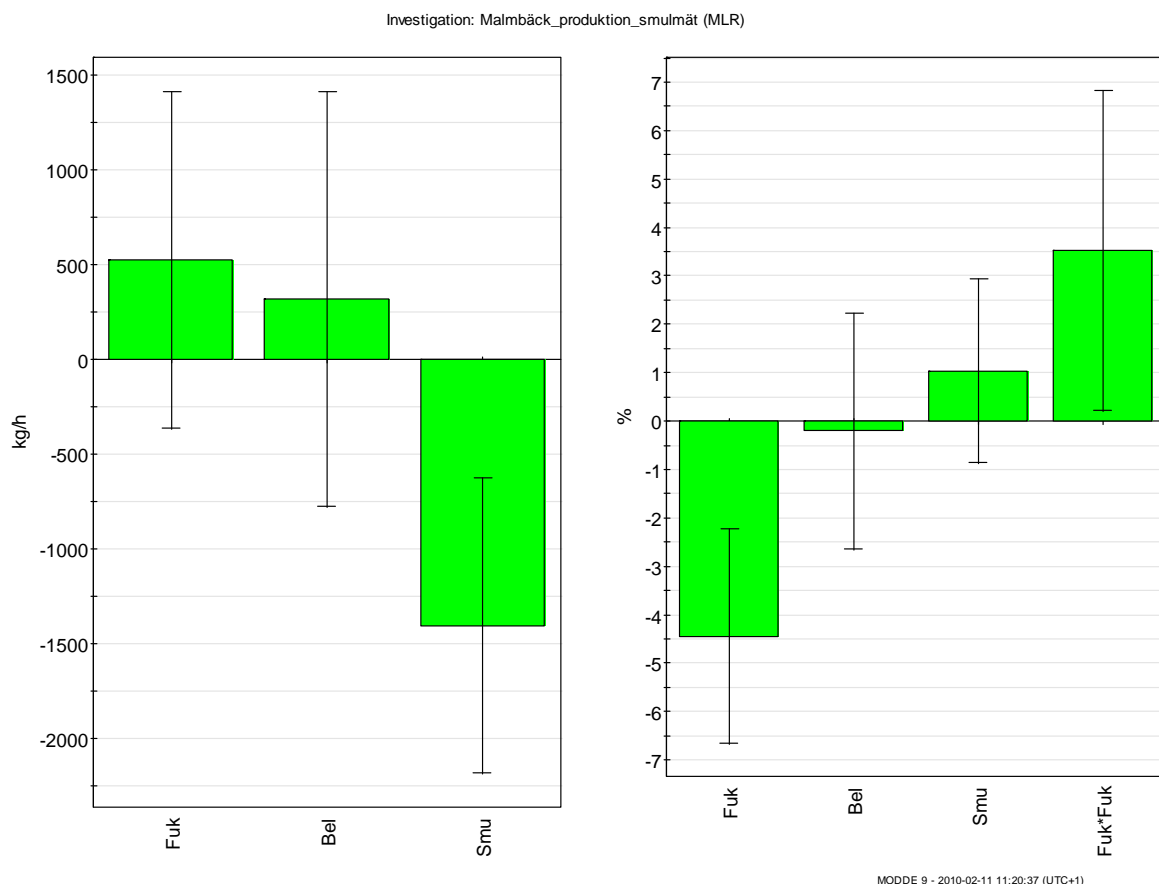
En multipel linjär regression (MLR) gjordes för att koppla processvariablerna (smulandel, fukthalt och belastning) mot uppmätta värden (produktion och primärsmulhalt) samt pellets kvaliteten (bulkdensitet, hållfasthet, pelletfukthalt och fines).

Produktion & primärsmulhalt

Det var möjligt att göra modeller för både produktion och primärsmulhalt. För produktion erhöles ett R^2 -värde på 0,53 samt ett Q^2 -värde på 0,28. För primärsmulhalten var motsvarande värden 0,63 och 0,33.

R^2 är procentdelen av den uppmätta responsen som förklaras av modellen, dvs. hur väl modellen kan anpassas till uppmätta data. Q^2 är procentdelen av den uppmätta responsen predikerad av modellen efter krossvalidering, dvs. hur väl modellen kan prediktera nya data. Om R^2 är under 0,5 och Q^2 under 0,1 så är modellen inte signifikant, dvs. ett medelvärde av alla försök är en lika bra modell i dessa fall.

En perfekt modell har R^2 - och Q^2 -värden nära 1. Detta visar att vi erhöles en ganska dålig modell för produktion och primärsmulhalt men modellen är dock signifikant och kan användas för att t.ex. se trender i hur processfaktorerna påverkar de uppmätta responserna.

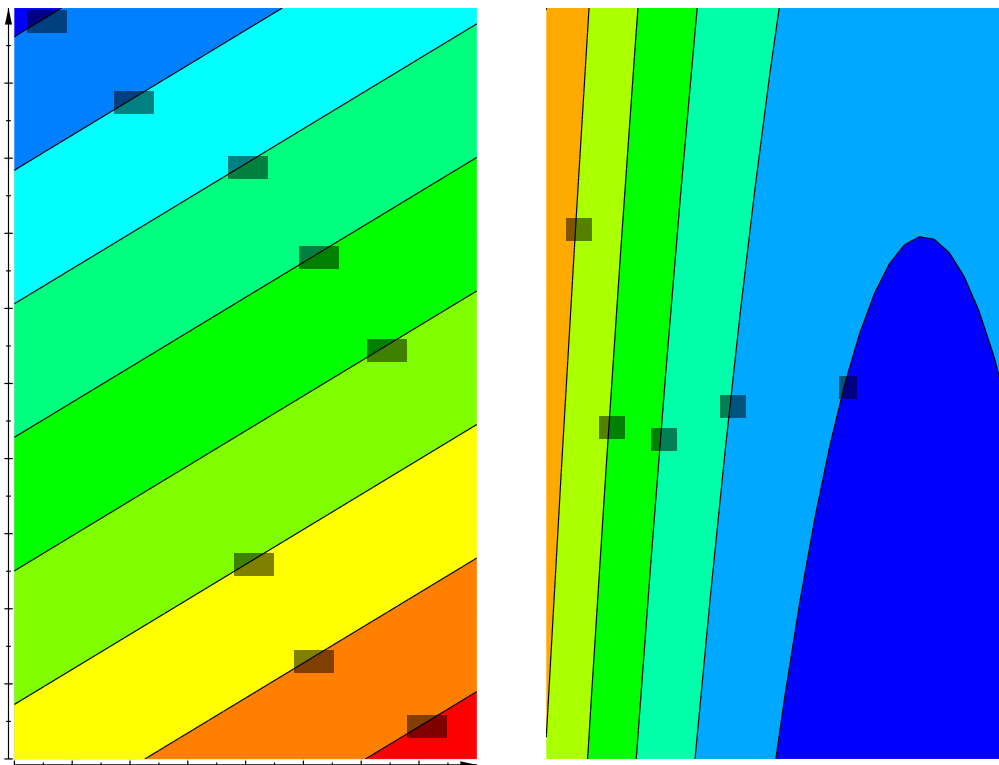


Figur 2. Koefficienter för produktion och primärsmul.

Figur 2 visar koefficienterna för responserna "produktion" och "primärsmul". För produktion är endast smulinblandningen signifikant. Fukthalten och belastningen på pressarna är inte signifikanta och kan tas bort från modellen. Figuren visar att om man höjer andelen smul i ingångsmaterialet så sjunker produktionen.

För primärsmul så är faktorn fukthalt signifikant. Även den kvadratiske faktorn fukthalt \times fukthalt är signifikant. De övriga faktorerna belastning och smulinblandning är inte signifikanta i modellen. Effekten på primärsmulproduktionen blir mer komplex och figur 3 visar konturkurvor för både produktion och primärsmul.

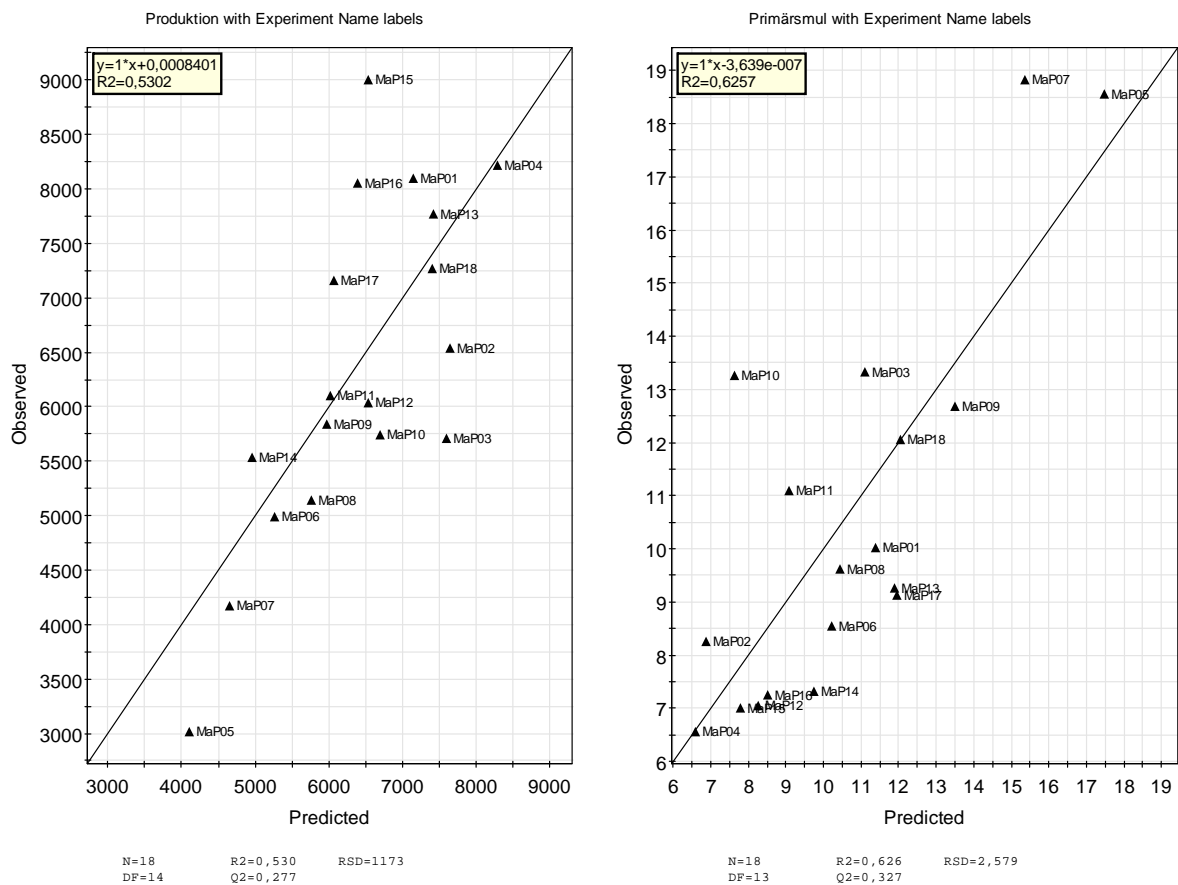
Man kan se i figur 3 att den högsta produktionen erhålls vid en smulinblandning på 0 % och hög fukthalt. Man bör dock komma ihåg att fukthalten inte är en signifikant faktor för produktionen. För primärsmul så visar figur 3 att lägsta andelen primärsmul produceras vid en hög fukthalt och låg smulinblandning. Här bör man också komma ihåg att smulinblandningen inte är signifikant för denna respons.



Figur 3. Konturkurvor för produktion och primärsmul som funktion av fukthalt och smulinblandning. Belastningen, som inte var signifikant för någon av responserna har hållits konstant på 90 %.

Figur 4 visar observerade värden som en funktion av de av modellen predikterade värden. För perfekta modeller som kan användas för prediktion bör alla punkter ligga på eller väldigt nära den diagonala linjen. I dessa fall ser vi att punkterna sprider en hel del vilket gör att vi inte kan använda modellen för speciellt precisa prediktioner.

Modellernas dåliga prediktionsförmåga kan förklaras av att mätningarna gjordes under en relativt kort tidsperiod (20 min) samt att både den automatiska produktionsmätningen och primärsmulmätningen gick ojämnt och varierade väldigt mycket under försöken.



Figur 4. Predikterat värde som funktion av observerat värde för produktion och primärsmul.

Fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt

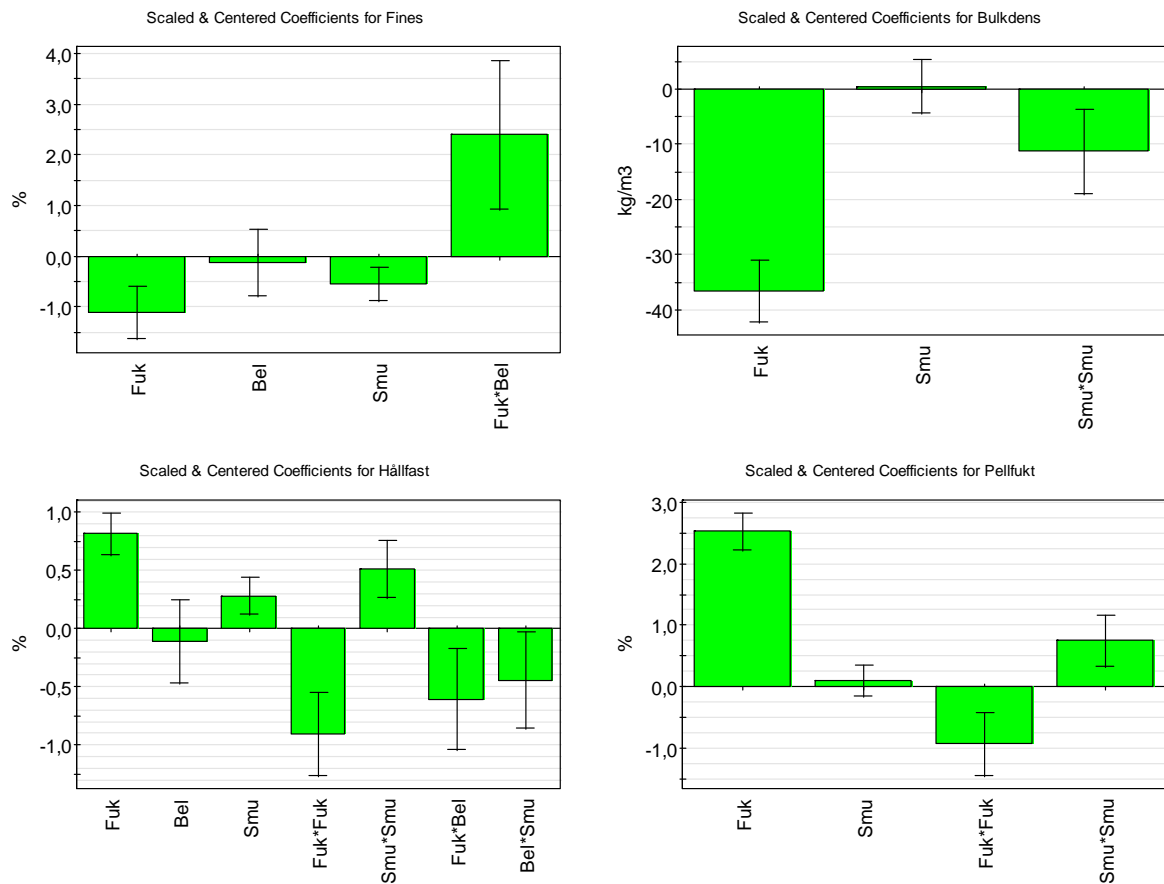
Modelleringen av bulkdensitet, hållfasthet, pelletfukthalt och fines gav R^2 - och Q^2 -värden enligt tabell 3. Tabellen visar att en excellent modell erhöles för pelletfukthalt. Mycket bra modeller erhöles också för bulkdensitet och hållfasthet och en bra modell erhöles för fines.

Tabell 3. R^2 - och Q^2 -värden för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt.

Egenskap	R^2	Q^2
Fines	0,81	0,54
Bulkdensitet	0,94	0,90
Hållfasthet	0,93	0,75
Pelletfukthalt	0,97	0,94

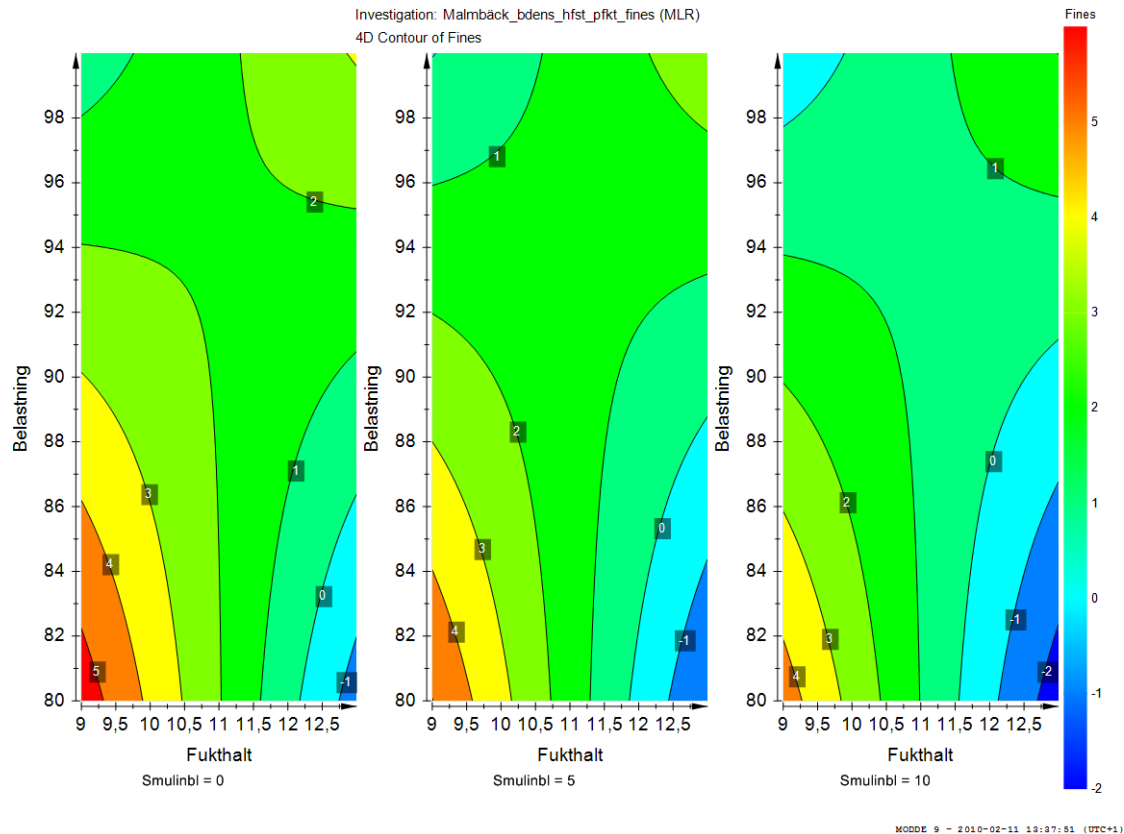
Figur 5 visar koefficienterna för responserna fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt. För responserna "fines" är koefficienterna fukthalt, smulinblandning samt interaktionen mellan fukthalt och belastning signifikanta. För responserna "bulkdensitet" är koefficienterna fukthalt och den kvadratiske termen fukt × fukt signifikanta. För responserna "hållfasthet" är koefficienterna fukthalt,

smulinblsndning, fukthalt × fukthalt, smulinblandning × smulinblandning, fukt × belastning samt belastning × smulinblandning signifikanta.



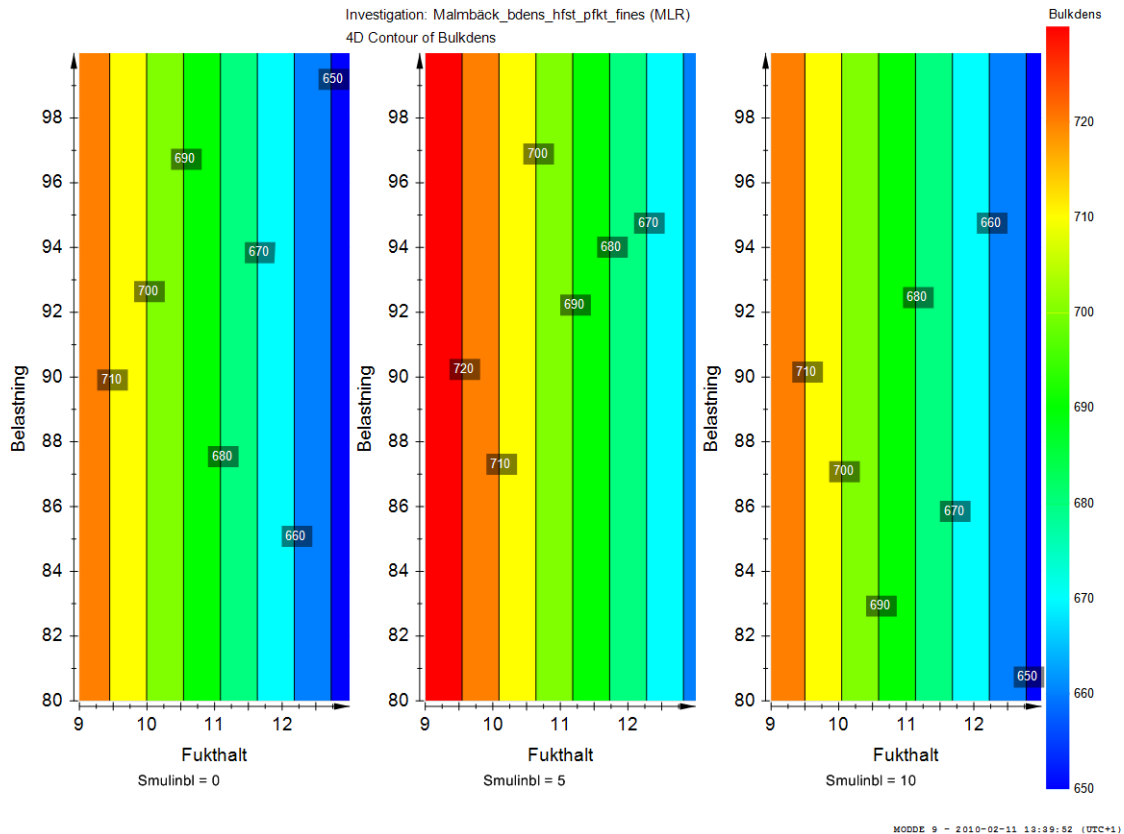
Figur 5. Koefficienter för modellerna för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukt.

Intressant i figur 5 är också att belastningen på pressarna inte har någon signifikant effekt på någon respons. För hållfasthet ingår dock belastning i ett par interaktionstermer och för fines i en interaktionsterm.



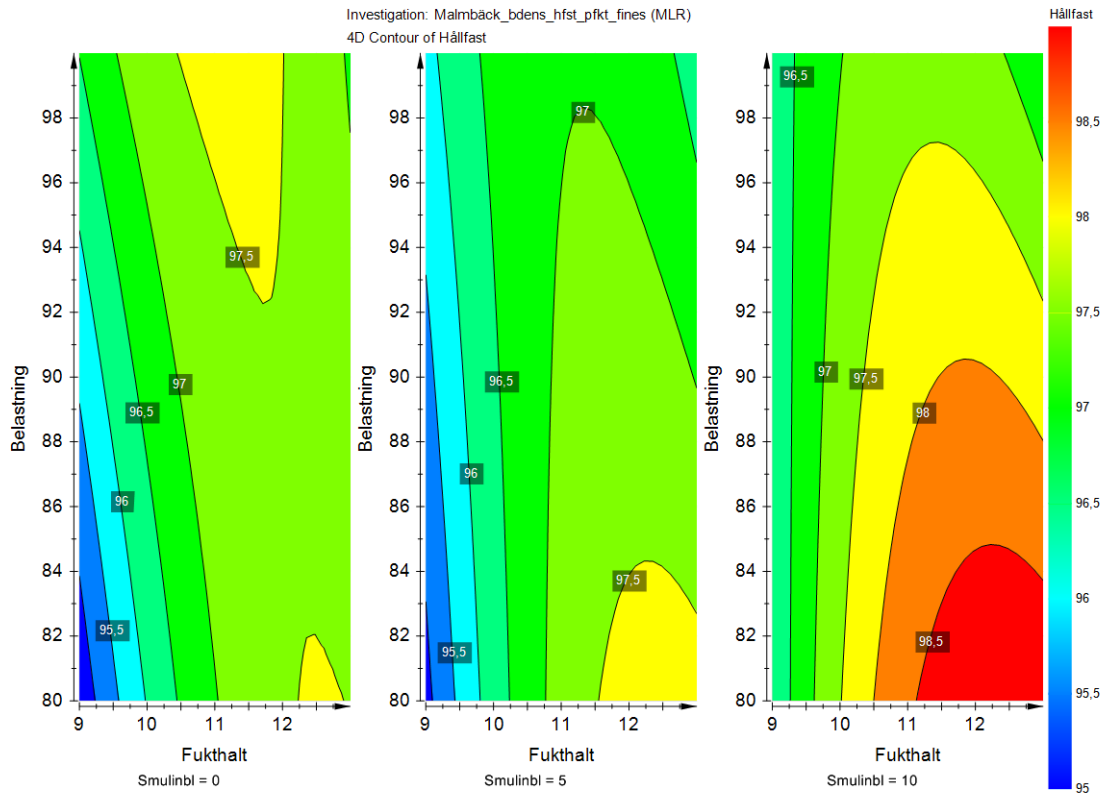
Figur 6. Responskurvor för fines som en funktion av fukthalt och belastning vid olika smulinblandningsnivåer.

Figur 6 visar konturkurvor för responsen fines. Interaktionen mellan fukthalt och belastning ger ganska komplicerade figurer men den lägsta andelen fines erhålls vid hög fukthalt, låg belastning och hög inblandning av smul. I figuren visas även negativa värden på fines vilket beror på att modellen extrapolerar ganska friskt. Högsta andelen fines erhålls vid låg belastning, låg fukthalt och ingen smulinblandning. Man bör dock ta i beaktande att en del data saknades för fines och att modellen kanske inte är helt pålitlig.



Figur 7. Responskurvor för bulkdensitet som en funktion av fukthalt och belastning vid olika smulinblandningsnivåer.

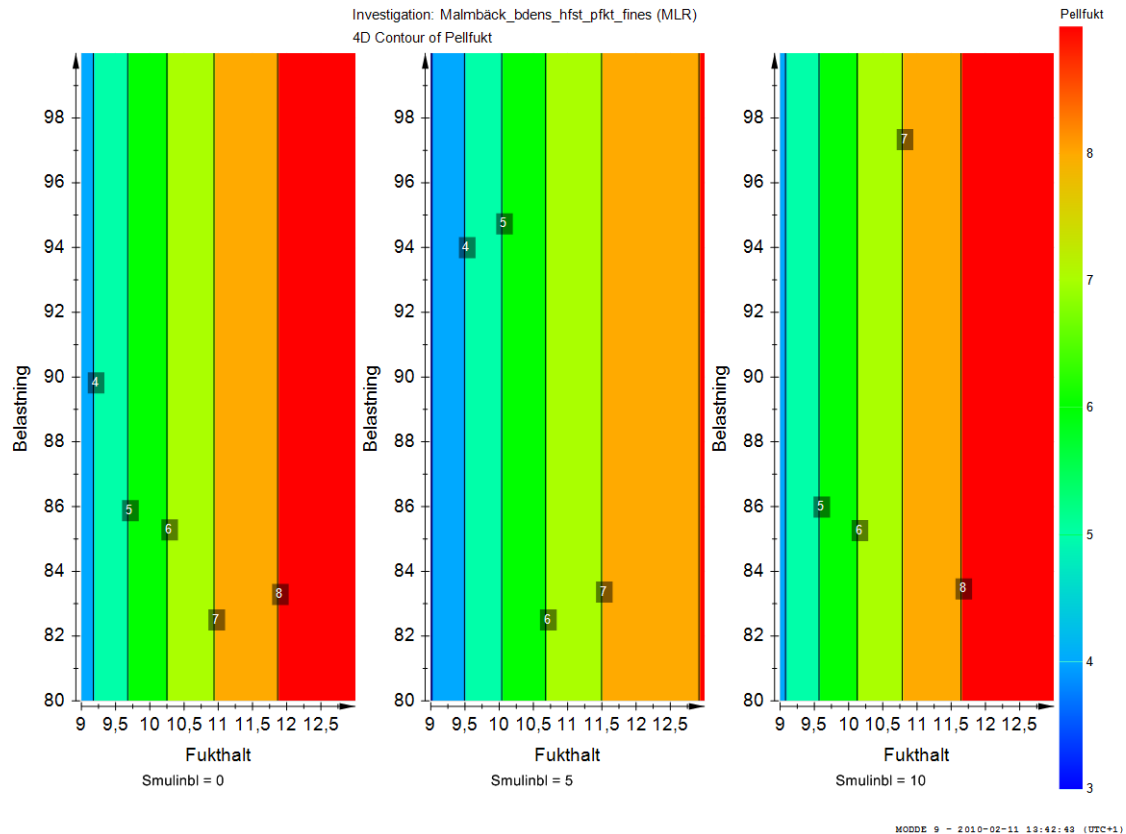
Figur 7 visar konturkurvor för responsten bulkdensitet. Belastningen på pressarna har ingen inverkan på bulkdensiteten hos produkten. Fukthalten är dock en mycket viktig faktor för denna egenskap. Högre fukthalt ger lägre bulkdensitet. Smulinblandningen har en negativ kvadratisk effekt på bulkdensiteten vilket visas genom att en smulinblandning på 5 % ger den högsta bulkdensiteten.



MODDE 9 - 2010-02-11 10:41:16 (UTC+1)

Figur 8. Responkurvor för hållfasthet som en funktion av fukthalt och belastning vid olika smulinblandningsnivåer.

Figur 8 visar konturkurvor för responen hållfasthet. Hållfastheten är en komplicerad funktion av processfaktorerna. En hög smulinblandning ger dock den högsta hållfastheten. Hög fukthalt i kombination med låg belastning vid hög smulinblandning ger bäst hållfasthet. Vid 0 % smulinblandning kan också en hög belastning på pressarna i kombination med en fukthalt mellan 10,5 och 12 % ge hög hållfasthet.

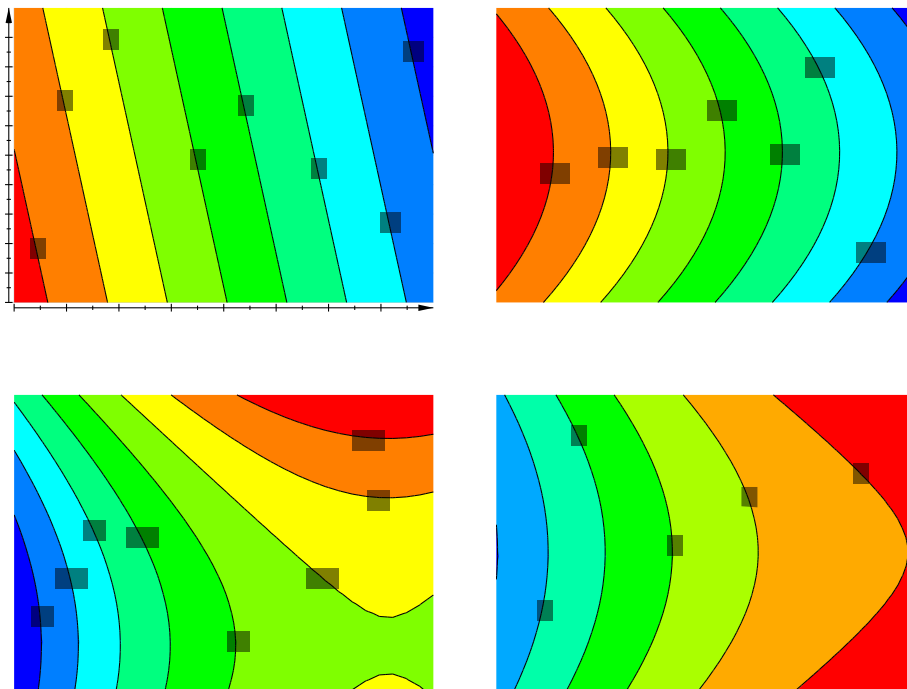


Figur 9. Responskurvor för pelletfukthalt som en funktion av fukthalt och belastning vid olika smulinblandningsnivåer.

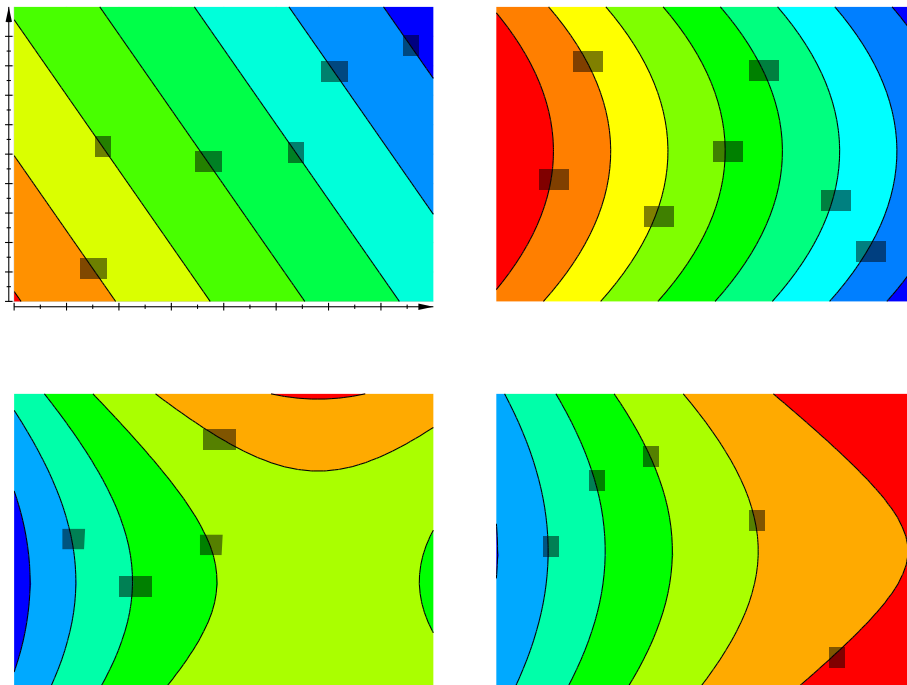
Figur 9 visar konturkurvor för responserna pelletfukthalt. Som förväntat ger en hög spånfukthalt högre pelletfukthalt. Belastningen påverkar inte pelletfukthalten. En smulinblandning på 5 % ger den lägsta pelletfukthalten. Det är möjligt att använda spånfukthalter upp mot 13 % utan att pelletfukthalten överstiger 8 %.

Figur 10 – 12 visar också konturkurvor för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt men i dessa figurer är responserna en funktion av fukthalt och smulinblandning vid låg (80 %), medel (90 %) och hög (100 %) belastning på pressarna.

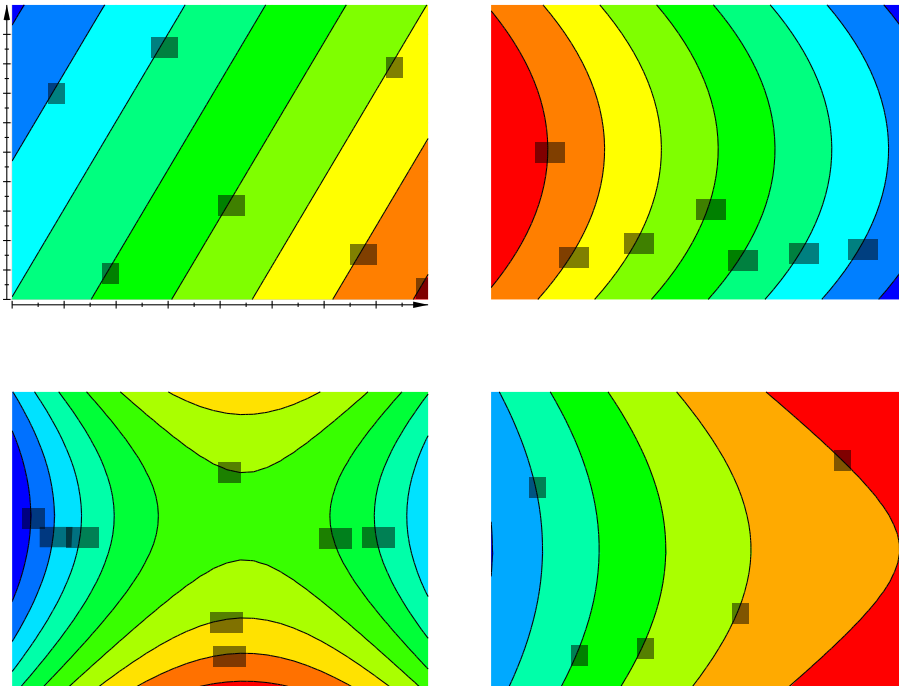
Om man väljer figur 11 med medel belastning (90 %) på pressarna så ser man att den lägsta finesandelen erhålls vid hög smulinblandning och hög fukthalt. Bulkdensiteten är högst vid en smulinblandning på 5 % och låg fukthalt. Hållfastheten är högst vid en hög smulinblandning och en fukthalt på omkring 12 %. Pelletfukthalten är som lägst vid 5 % smulinblandning och låg fukthalt.



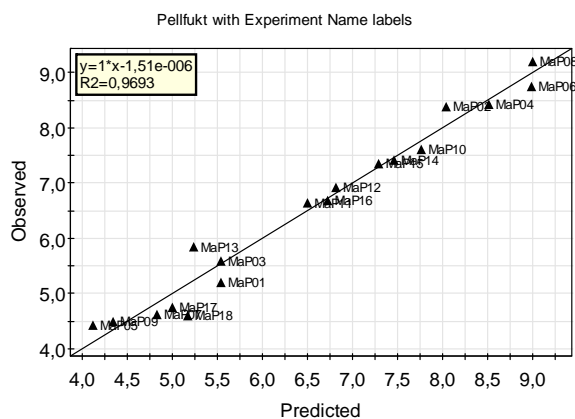
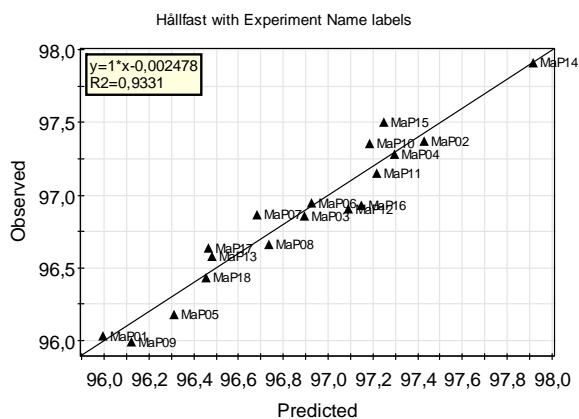
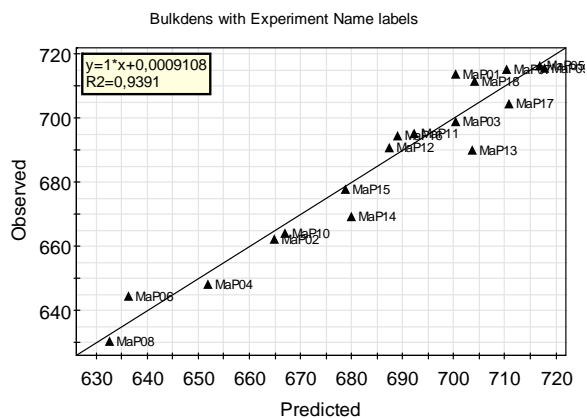
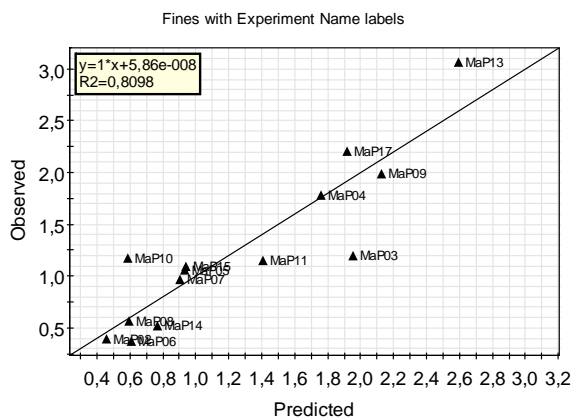
Figur 10. Konturplottar för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt som funktion av fukthalt och smulinblandning vid låg belastning på pressarna (80 %).



Figur 11. Konturplottar för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt som funktion av fukthalt och smulinblandning vid medel belastning på pressarna (90 %).



Figur 12. Konturplottar för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt som funktion av fukthalt och smulinblandning vid hög belastning på pressarna (100 %).



Figur 13. Predikerat värde som funktion av observerat värde för fines, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt.

Figur 13 visar det observerade värdet som en funktion av predikerat värde för de studerade responserna. Man kan se att punkterna ligger nära den diagonala linjen vilket visar att modellerna är bra.

Slutsatser

- Dåliga modeller för produktion och primärsmul. Endast trender kan utläsas ur modellerna. Detta kan bero på att både produktions- och smulmätningen samt P3 gick väldigt ojämnt under försöken = opålitligt resultat
- Produktions- och smulmätning under längre tid (t.ex. ett par timmar) skulle antagligen ha gett mera pålitliga resultat och bättre modeller
- Bäst produktion vid 0 % smulinblandning. Minst primärsmul vid en fukthalt mellan 11 och 13 %
- Bra modeller för samtliga responser på pellets kvaliteten!
- Kan användas för prediktion och processoptimering
- Smulinblandning har en positiv effekt på hållfasthet och fines!
- Upp till 10 % smulinblandning ger inga negativa effekter på pellets kvaliteten