



Pelletering vid inblandning av björk, asp, al och salix i sågspån från barrved

Rapport från Pelletplattformen II



**Robert Samuelsson, Michael Finell, Mehrdad Arshadi,
Gunnar Kalén, Markus Segerström**

Rapport 2 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

Pelletering vid inblandning av björk, asp, al och salix i sågspån från barrved

Rapport från Pelletplattformen II

**Robert Samuelsson, Michael Finell, Mehrdad Arshadi,
Gunnar Kalén, Markus Segerström**

Keywords: Pellet, pelleteringsegenskaper, kvalitet, lövved, tallspån

Rapport 2 2015

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2015
Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	3
Summary	5
Inledning.....	6
Material och metoder	7
Råvaran.....	7
Pelletering.....	7
Provtagning	7
Analys av responsfaktorer	7
Designens upplägg	8
Resultat och diskussion	10
Björkinblandning.....	10
Aspinblandning	13
Alinblandning.....	15
Salixinblandning.....	19
Slutsats	22

Förord

Nedanstående försök, som genomfördes vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC), SLU Umeå, finansierades inom ramen för Pelletsplattformen II, ett industriforskningsprogram i samarbete mellan pelletsindustrin och Institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Finansiärer var Energimyndigheten, Pelletsförbundet (PF) och SLU. Stort tack till Bioenergi i Luleå AB och Agroenergi Neova Pellet AB för leverans av spånmaterial. Stort tack också till Tegsnässkidan AB för leverans av björkmaterial, Joakim Sjöström för framtagande av aspmaterial, Tomas Kåren, Energidalen i Sollefteå AB för framtagande av almaterial samt Linda Pommer för framtagande av salixmaterial.

Umeå den 2015-01-14

Michael Finell



Sammanfattning

Fyra pilotförsök genomfördes vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC), SLU Umeå där olika lövvedsmaterial (björk, asp, al, salix) blandades in i spån från barrved. En experimentell design för respektive lövved med tre kvantitativa variabler på tre nivåer användes. Designerna omfattade följande parametrar: spån med olika fukthalter mellan 10-15 % baserad på rå vikt, inblandning av lövved mellan 0-40 % och materialtemperatur mellan 20-70 °C. De responsfaktorer som undersöktes var bulkdensitet, mekanisk hållfasthet, finfraktion, presström, pelletfukt, pellettemperatur och matristemperatur. Den statistiska analysen baserad på multipel linjär regression (MLR) visade att inblandning av björk försämrade pellets kvaliteten och ökade energiåtgången vid pelletering, medan asp och salix gav en ökning av pellets kvaliteten och en liten minskning av energiåtgången. Alinblandning gav resultat som var svåra att analysera.

Fukthalt och björkinblandning var de faktorer som hade störst inverkan på responsfaktorerna bulkdensitet, hållfasthet, finfraktion och presström, medan materialtemperaturen hade liten inverkan. Detsamma gällde för inblandning av salix, medan även materialtemperaturen hade signifikant inverkan vid inblandning av asp. Vid inblandning av al erhöles väldigt komplicerade modeller där samtliga faktorer hade stor inverkan.

Summary

Four pilot plant experiments were performed at the Biofuel Technical Center (BTC), SLU Umeå where different deciduous materials (birch, aspen, alder, salix) were added to sawdust of coniferous. One experimental design for each deciduous with three quantitative factors on three levels were used. The designs comprised the following parameters: Sawdust with moisture contents between 10-15 % based on raw weight; addition of deciduous between 0-40 % and material temperature between 20-70 °C. The response factors investigated were bulk density, mechanical durability, amount of fines, press current, pellet moisture, pellet temperature and die temperature. The statistical analysis based on multiple linear regression (MLR) showed that blends with birch decreased the pellet quality and increased the energy consumption during pelletizing, while blends with aspen and salix gave a better pellet quality and a decreased energy consumption. Blends with the alder material gave results that were difficult to analyze.

Moisture content and addition of birch were the factors that had most influence on the response factors bulk density, durability, fines and press current, while the material temperature had little impact. The same was valid for addition of salix, while also the material temperature had a significant influence when aspen was added. Addition of alder gave rather complicated models where all factors had great impact on the result.

Inledning

Pelletsindustrin är hela tiden i behov av billiga och lätt tillgängliga råvaror. Idag är sågspån från barrträ den råvara som är helt dominerande vid pellettillverkning och tillgången på sågspån är helt beroende av konjunktläget för sågverken i Sverige. För att minska detta beroende finns intresse av att utöka råvarubasen och exempel på sådana råvaror är olika typer av lövved, grot, torv, agroråvaror samt stubbar.

För att en ny råvara skall vara intressant krävs, förutom lågt pris och lättillgänglighet, att den går lätt att pelletera med god pelletkvalitet och låg energiförbrukning som resultat. Vidare får inte den nya råvaran ge upphov till problem vid förbränningen av pelletsen.

Syftet med nedanstående pilotförsök var att undersöka pelleteringsegenskaperna vid inblandning av fyra olika lövvedsmaterial (björk, asp, al, salix) i sågspån från barrved. I en kommande rapport kommer även förbränningsegenskaperna hos de olika sortimenten att redovisas.

Material och metoder

Råvaran

Råvaran som användes vid experimentet utgjordes av 100 % färskt tallspån från Bioenergi i Luleå AB vid inblandning av björk, asp och al, samt 80 % tallspån/20 % granspån från Agroenergi Neova Pellets AB vid inblandning av salix. Björkmaterialet i form av ren och torr stamved utan bark leverades från Tegsnässkidan AB, Granö. Färsk Asp och Al inklusive bark levererades av Joakim Sjöström, Mjösjö, Vännäs respektive Thomas Kåren, Energidalen i Sollefteå AB. Sönderdelad, färsk Salix med bark levererades av Salixenergi Europa AB, Svalöv. Lövveden antingen sönderdelades med en riv (Shredder Lindner MS 2000, Lindner-Recyclingtech GmbH, Tyskland) eller flisades med Edsbyhuggen 250H (Höglandets EnergiAutomatik AB) till ca 15 mm storlek varefter det färska materialet torkades till ca 10 %. Allt material maldes därefter i en hammarkvarn (Bühler DFZK 1, Bühler AG, Schweiz) med 4 mm sållstorlek. Inblandningen av lövveden i spånet gjordes med avseende på vikt i en blandare (MAFA i Ängelholm AB) och fukthalten korrigerades därefter genom tillsats av vatten. Materialet mellanlagrades i silo över natten för att säkerställa homogen fukthalt.

Pelletering

Pelleteringsförsöken gjordes på pelletpressen Bühler DPCB (Bühler AG, Schweiz) med kapaciteten 500 kg/tim. Presslängden var 65 mm, med undantag för al där 55 mm presslängd användes. Produktionen hölls konstant på 376 ± 27 kg/h. Ångtillsatserna gjordes med hjälp av en ångpanna (SteamTeam Nordic AB) med kapaciteten 25 kg H₂O/tim och 1 atm tryck.

Provtagning

Provtagning av spån materialet gjordes vid ett tillfälle per försök direkt efter silo medan konditionerat spån togs direkt före pressen tre gånger för varje försök. På motsvarande sätt togs prover av varm pellets (ca 6 kg) ut direkt efter pressen vilken därefter fick svalna i plastlådor över natten. Varje prov förseglades i gastät plastpåse med dubbel svetsfog. Proverna från alla försök förvarades i rumstemperatur fram till analys.

Analys av responsfaktorer

Flera olika variabler (responser) registrerades eller mättes under varje försök. Responsen användes i designen som svar på variationen hos faktorerna. Dessa responser var fukthalt, mekanisk hållfasthet, finfraktion respektive bulkdensitet hos pelletsen. Vidare mättes belastning på pressen i form av ström i ampere, temperatur på materialet direkt före pressen, temperatur på pellets direkt efter pressen, samt temperatur på matrisen. Fukthalten i råvara bestämdes enligt standard SS-EN 14774-2:2009. Hållfasthet och bulkdensitet bestämdes med SS-EN 15210-1:2010, respektive SS-EN 15103:2010. Finfraktion bestämdes genom manuell sållning av pelletsen på ett 3,15 mm såll.

Presströmmen mättes med ett kombi-instrument (Nemo 96 HD, IME, Italien) med 1 Hz frekvens. Matristemperaturen och materialtemperaturen mättes med hjälp av stationära IR-termometrar (Optris, Optris GmbH, Tyskland) med 1 Hz frekvens. Pellettemperaturen bestämdes med hjälp av en handhållen IR-termometer (Optris, Optris GmbH, Tyskland) riktad mot den pellets som samlats upp i en plastlåda efter pressen och där det högsta uppmätta värdet användes vid beräkningarna. Alla värden loggades med EasyView 5.7.0.1 (Intab Interface-teknik AB) för senare analys.

Multivariata dataanalyser utfördes med hjälp av mjukvaran MODDE, version 9.1.0.0 (Umetrics AB), där medelvärdet av de tre provtagningarna i varje delförsök användes vid utvärderingen. Med hjälp av Modde kan man bygga modeller från responsdata som en

funktion av försöksparametrarna. Som kvalitetsmått på modellerna används begreppen R^2 respektive Q^2 , där R^2 anger hur väl försöksdata är anpassade till modellen, medan Q^2 visar hur noggrant man kan prediktera okända prover med modellen. R^2 och Q^2 kan anta värden mellan 0 och 1, där ett högt värde eftersträvas. För att en modell skall anses vara bra skall $Q^2 > 0,5$ och differensen mellan R^2 och Q^2 vara $< 0,2 - 0,3$. Q^2 -värden > 0.1 innebär signifikanta modeller.

Designens upplägg

Försöket genomfördes med hjälp av fyra separata designers för respektive lövträd (se tabell 1). Björkinblandningsförsöket gjordes med hjälp av en modifierad "composite design". Vid inblandning av asp, al och salix utgjordes försöken av en "Central Composite Face (CCF)" design med de tre kvantitativa faktorerna fukthalt, inblandningsgrad och ångtillsats. Faktorerna testades vid vardera tre nivåer och upprepningar av experiment gjordes för att ge ett mått på spridningen i metoden. På grund av dålig repeterbarhet vid inblandning av al erhöles ingen upprepning.

Tabell 1. Schema för de försöksdesigner som använts vid inblandning av lövved i spån.
a) Björk b) Asp c) Al d) Salix. *Försök som ej kunnat genomföras.

a) Björk

Exp Namn	Fukthalt (%)	Björk (%)	Mtrl temp (°C)
Björk 1	13,3	10	22
Björk 2	13,0	20	22
Björk 3	15,0	15	22
Björk 4	15,0	5	22
Björk 5	12,9	0	22
Björk 6	12,9	10	22
Björk 7	11,3	5	22
Björk 8*	11,4	15	22
Björk 9	12,9	10	22
Björk 10*	11,3	10	52
Björk 11	14,7	10	48
Björk 12	13,2	0	54
Björk 13*	13,1	20	55
Björk 14	13,5	10	51
Björk 15*	11,7	0	52
Björk 16	14,8	0	68
Björk 17*	11,3	20	70
Björk 18	14,8	20	69
Björk 19	13,3	10	69

b) Asp

Exp Namn	Fukthalt (%)	Asp (%)	Mtrl temp (°C)
Asp 1	11,70	10	52
Asp 2	10,10	0	21
Asp 3	13,10	0	21
Asp 4	10,14	20	23
Asp 5	13,20	20	19
Asp 6	11,70	10	22
Asp 7	10,20	10	51
Asp 8	13,30	10	50
Asp 9	11,70	0	51
Asp 10	11,80	20	51
Asp 11	11,50	10	50
Asp 12	9,63	0	72
Asp 13	12,61	0	68
Asp 14	9,52	20	70
Asp 15	13,00	20	71
Asp 16	11,60	10	71
Asp 17	11,40	10	49

c) Al

Exp Namn	Fukthalt (%)	Al (%)	Mtrl temp (°C)
Al 1	11,69	10	50
Al 2	10,19	0	20
Al 3	12,98	0	20
Al 4	10,04	20	20
Al 5	13,02	20	20
Al 6	11,60	10	20
Al 7	10,17	10	48
Al 8	13,15	10	52
Al 9	11,51	0	50
Al 10	11,43	20	52
Al 11	11,49	10	53
Al 12	10,23	0	64
Al 13	12,31	0	69
Al 14	10,06	20	68
Al 15	13,09	20	67
Al 16	11,61	10	64
Al 17	11,68	10	46

d) Salix

Exp Namn	Fukthalt (%)	Salix (%)	Mtrl temp (°C)
Salix 1	10,4	0	18
Salix 2	13,1	0	19
Salix 3	10,1	40	19
Salix 4	11,6	20	46
Salix 5	13,1	40	11
Salix 6	11,2	20	11
Salix 7	10,5	20	47
Salix 8	13,4	20	49
Salix 9	11,7	0	44
Salix 10	11,5	40	47
Salix 11	11,7	20	48
Salix 12	10,4	0	63
Salix 13	13,2	0	55
Salix 14	10,5	40	63
Salix 15	13,1	40	64
Salix 16	11,7	20	66

Resultat och diskussion

Björkinblandning

Tabell 2 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med inblandning av björk i tallspån. De gulfärgade försöken har uteslutits vid utvärderingen p g a statistiska outliers. Tabell 3 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för björkinblandning. Bra modeller erhöles för samtliga responser utom bulkdensitet. Orsaken är den dåliga repeterbarheten hos upprepningen, vilken är i samma storleksordning som totala spridningen hos bulkdensiteten. Försök 8, 10,13,15 och 17 i designen kunde ej genomföras på grund av att ingen pellets erhöles mest beroende på en kombination av för låg fukthalt och för hög björkinblandning.

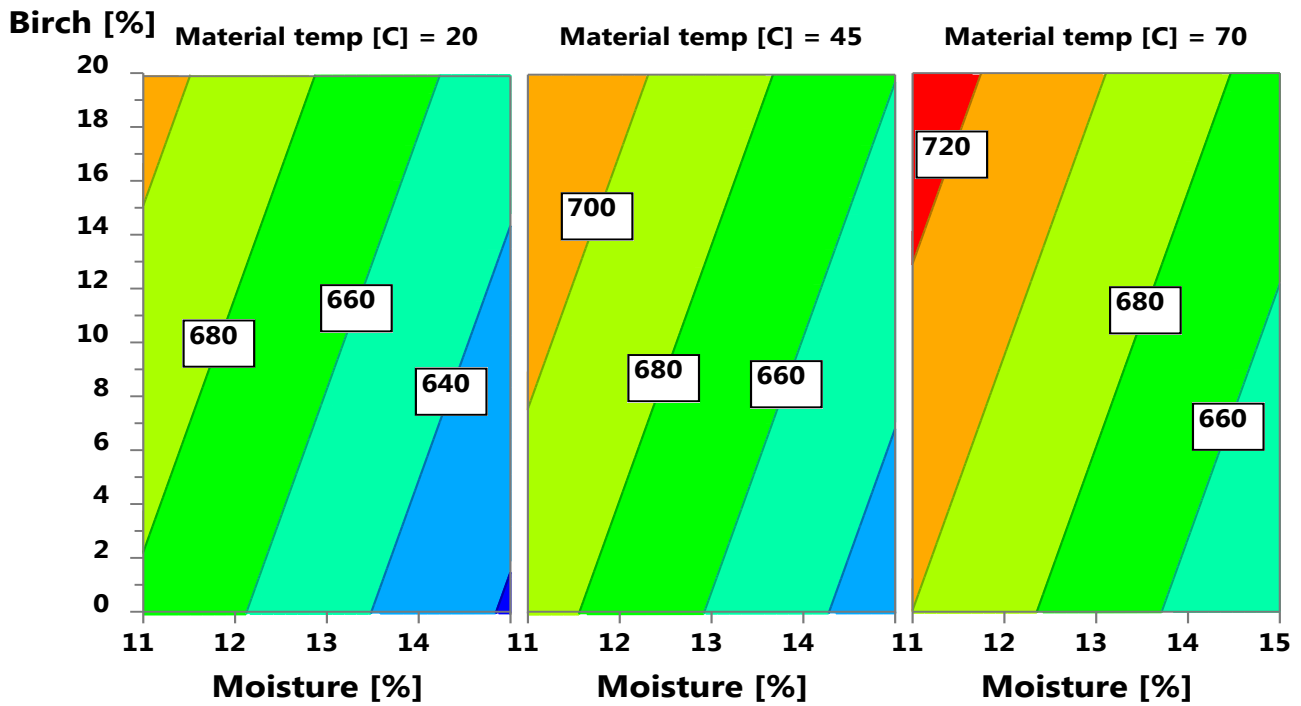
Tabell 2. Responsvärden registrerade vid inblandning av björk i tallspån.

Exp Namn	Fukthalt (%)	Björk (%)	Mtrl temp (°C)	Bulkdensitet (kg/m ³)	Hållfasthet (%)	Finfraktion (%)	Pressström (A)	Pelletfukt (%)	Pellettemp (°C)	Matris-temp (°C)
Björk 1	13,3	10	22	669	94,9	5,40	78,9	8,1	92	55
Björk 2	13,0	20	22	673	92,0	8,94	80,7	6,8	68	74
Björk 3	15,0	15	22	640	95,2	4,68	79,5	9,3	82	57
Björk 4	15,0	5	22	634	95,6	3,72	75,9	9,9	82	58
Björk 5	12,9	0	22	654	95,5	3,49	76,8	8,4	90	66
Björk 6	12,9	10	22	658	94,2	6,26	78,2	7,5	92	69
Björk 7	11,3	5	22	669	91,0	13,80	79,7	6,5	95	62
Björk 9	12,9	10	22	678	94,2	5,24	80,1	7,4	93	65
Björk 11	14,7	10	48	626	94,8	2,20	79,9	9,5	83	72
Björk 12	13,2	0	54	665	95,3	3,80	75,8	8,1	91	83
Björk 14	13,5	10	51	673	91,4	11,10	80,1	8,1	87	83
Björk 16	14,8	0	68	637	96,2	2,63	74,4	9,0	87	88
Björk 18	14,8	20	69	683	92,5	9,17	80,8	8,1	86	79
Björk 19	13,3	10	69	687	92,4	6,87	80,6	6,9	96	88

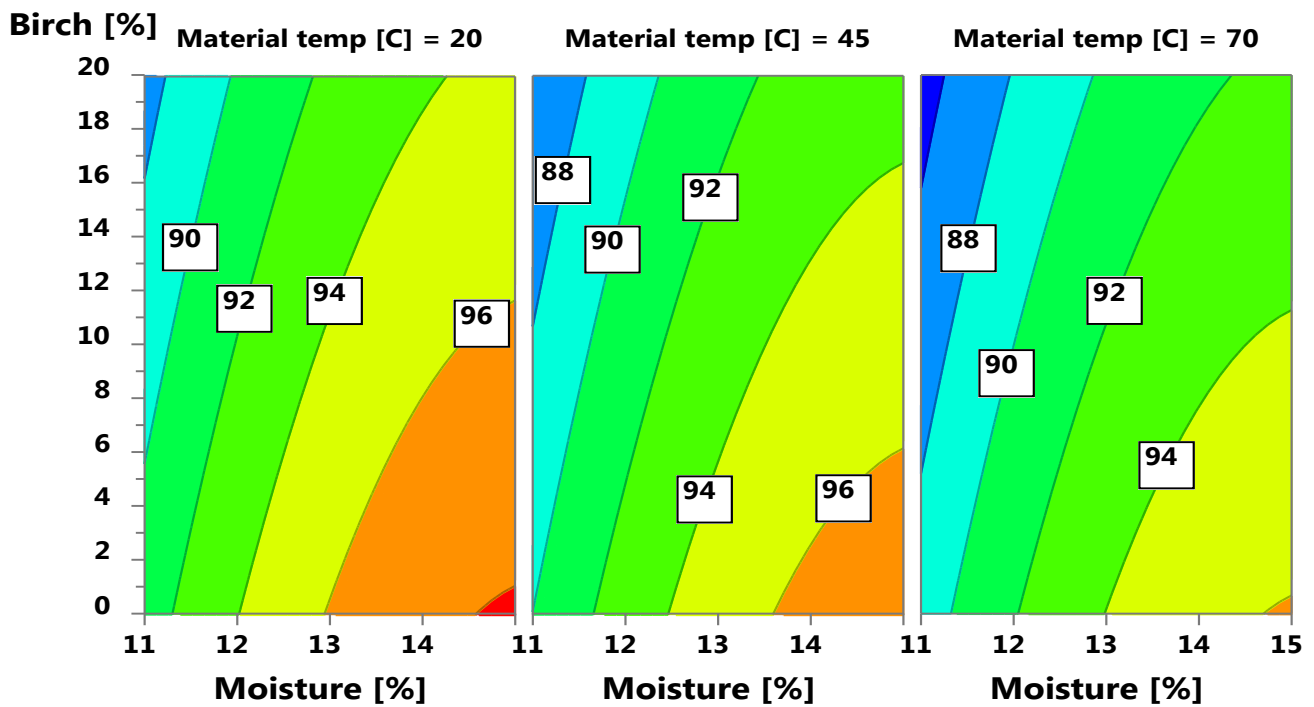
Tabell 3. Förklaringsgrad, R^2 och prediktionsförmåga, Q^2 , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med björkinblandning i tallspån.

Björk							
	Bulkdensitet	Hållfasthet	Finfraktion	Pressström	Pelletfukt	Pellettemp	Matris-temp
R^2	0,72	0,98	0,92	0,88	0,98	0,94	0,92
Q^2	0,49	0,95	0,74	0,74	0,95	0,71	0,79

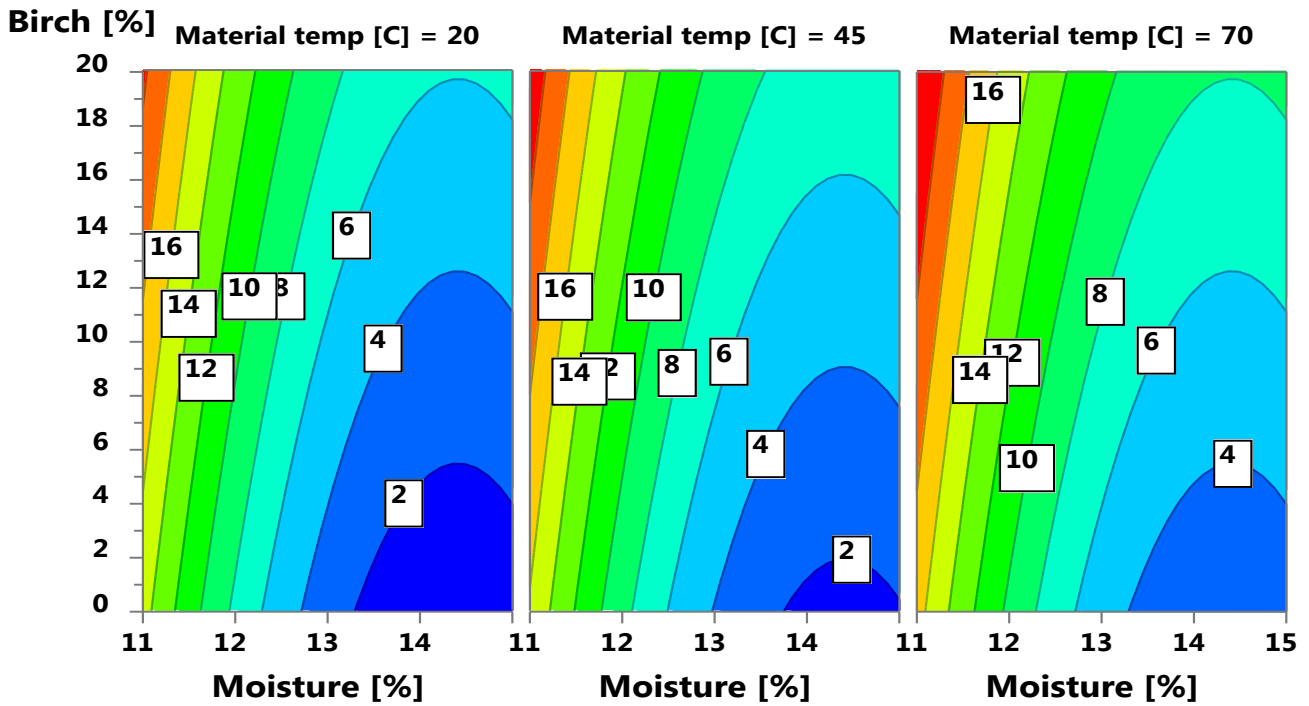
a) Bulkdensitet (kg/m³)



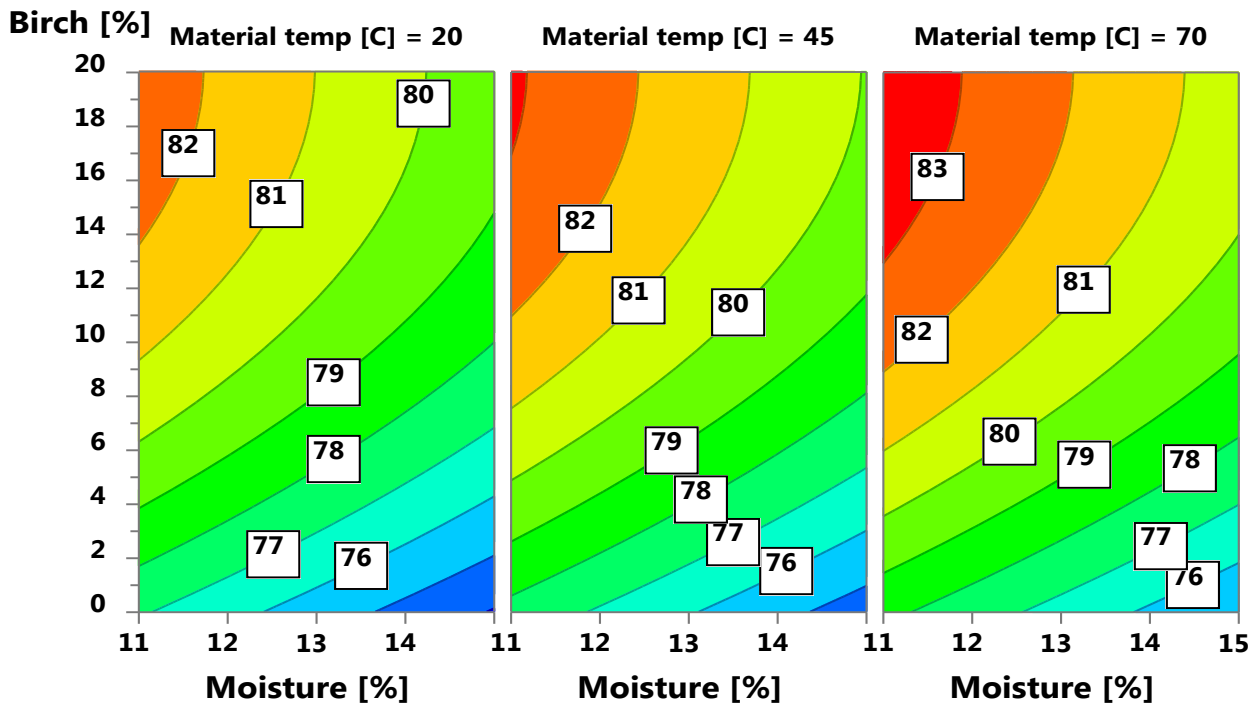
b) Mekanisk hållfasthet (%)



c) Finfraktion (%)



d) Presström (A)



Figur 1. Responssytor för olika responsfaktorer vid inblandning av björk i spån.
a) Bulkdensitet; b) Mekanisk hållfasthet; c) Finfraktion; d) Presström

Figur 1 visar responsytorna för responsfaktorerna bulkdensitet, hållfasthet, finfraktion och presström vid inblandning av björk i tallspån. Bulkdensiteten och presströmmen bestäms av samtliga faktorer, där den högsta densiteten och energiåtgången erhålls vid en låg fukthalt, hög björkinblandning samt hög materialtemperatur. Den högsta mekaniska hållfastheten erhålls vid hög fukthalt, låg björkinblandning samt låg materialtemperatur, medan det omvända gäller för finfraktionen. Figuren visar också tydligt den positiva korrelationen mellan bulkdensitet och presström, liksom den negativa korrelationen mellan mekanisk hållfasthet och finfraktion. Resultaten överensstämmer väl med tidigare försök [1].

Aspinblandning

Tabell 4 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med aspinblandning i tallspån. De gulfärgade resultaten har uteslutits vid utvärderingen pga statistiska outliers. Tabell 5 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna vid aspinblandning. Bra modeller erhöles för bulkdensitet, hållfasthet, finfraktion, pelletsfukt och matristemperatur, medan pellettemperaturen gav en sämre men fortfarande signifikant modell. Däremot var modellen för presström icke signifikant mest beroende på dålig repeterbarhet hos de upprepade försöken.

Tabell 4. Responsvärden registrerade vid inblandning av asp i tallspån.

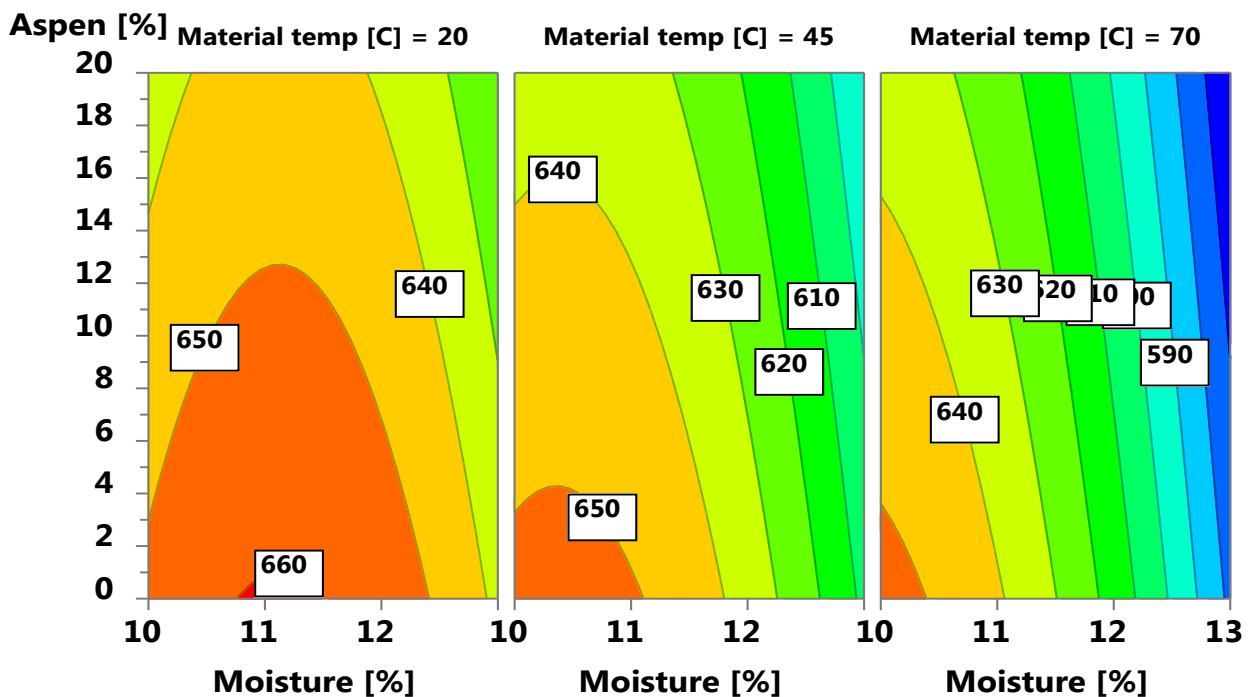
Exp Namn	Fukthalt (%)	Asp (%)	Mtrl temp (°C)	Bulkdensitet (kg/m ³)	Hållfasthet (%)	Finfraktion (%)	Pressström (A)	Pelletfukt (%)	Pellettemp (°C)	Matristemp (°C)
Asp 1	11,70	10	52	627	94,1	4,55	74,2	8,1	81	76
Asp 2	10,10	0	21	655	85,8	31,0	69,8	6,7	79	75
Asp 3	13,10	0	21	641	92,6	10,3	71,7	8,2	79	76
Asp 4	10,14	20	23	640	88,3	15,1	69,8	6,3	82	76
Asp 5	13,20	20	19	612	92,9	11,0	72,5	8,9	85	61
Asp 6	11,70	10	22	639	92,2	15,0	71,6	7,9	87	63
Asp 7	10,20	10	51	641	92,3	13,8	73,3	7,7	89	75
Asp 8	13,30	10	50	583	92,3	14,6	72,2	9,9	82	73
Asp 9	11,70	0	51	641	93,2	10,1	71,5	8,1	84	86
Asp 10	11,80	20	51	628	93,3	8,69	73,0	8,3	82	85
Asp 11	11,50	10	50	634	93,2	6,88	74,4	8,3	83	80
Asp 12	9,63	0	72	656	92,7	15,6	73,0	7,0	83	86
Asp 13	12,61	0	68	590	92,9	11,3	72,4	9,1	75	85
Asp 14	9,52	20	70	635	93,7	5,68	74,3	7,3	86	84
Asp 15	13,00	20	71	595	92,7	11,9	68,4	9,2	77	82
Asp 16	11,60	10	71	619	92,6	8,44	68,6	8,6	80	83
Asp 17	11,40	10	49	637	93,8	4,34	70,4	8,4	83	77

Tabell 5. Förklaringsgrad, R^2 och prediktionsförmåga, Q^2 , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med aspinblandning i tallspån.

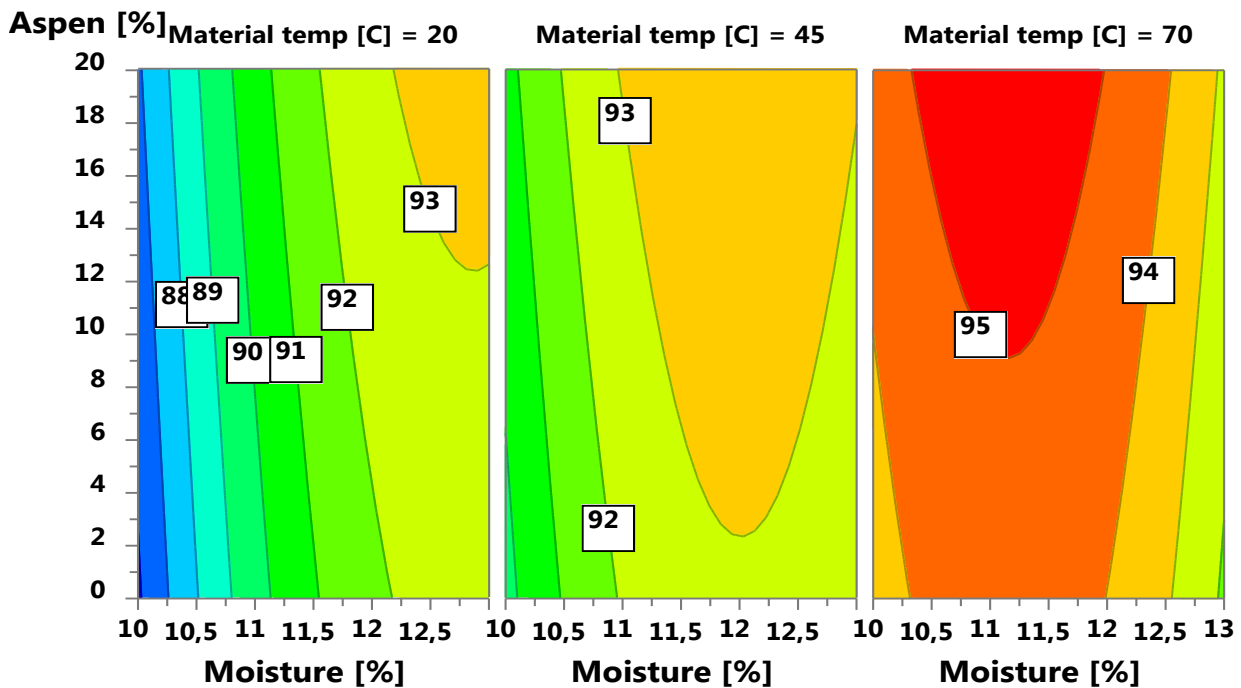
Asp							
	Bulk-densitet	Hållfasthet	Finfraktion	Pressström	Pelletfukt	Pellettemp	Matris-temp
R^2	0,95	0,96	0,88	0,31	0,90	0,69	0,84
Q^2	0,85	0,87	0,70	-0,21	0,84	0,36	0,55

Figur 2 visar responsytorna för responsfaktorerna bulkdensitet, hållfasthet och finfraktion vid inblandning av asp i tallspån. Den högsta bulkdensiteten erhöles som ett maxima vid ca 11 % fukthalt och 0 % asptillsats respektive 20 °C materialtemperatur. Vid ökad materialtemperatur minskade densiteten samtidigt som maxima försköts mot lägre fukthalt. Den högsta hållfastheten fick man i ett maxima vid ca 11 % fukthalt, >20 % aspinblandning och 70 °C materialtemperatur, medan det omvända gäller för finfraktionen. Vid minskad materialtemperatur minskade hållfastheten och maxima försköts åt högre fukthalt. Även för asp erhålls en tydlig negativ korrelation mellan hållfasthet och finfraktion. Även här stämmer resultaten väl med tidigare försök [2].

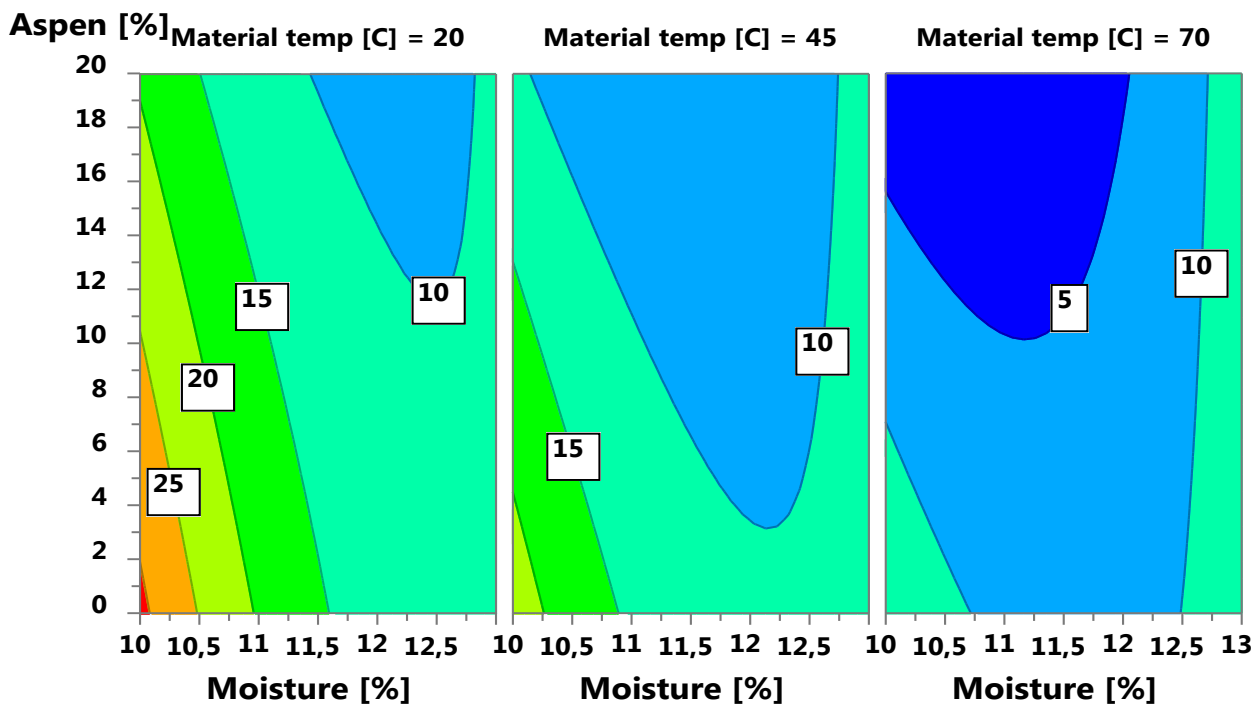
a) Bulkdensitet (kg/m^3)



b) Mekanisk hållfasthet (%)



c) Finfraktion (%)



Figur 2. Responssytor för olika responsfaktorer vid aspinblandning i tallspån.
a) Bulkdensitet; b) Mekanisk hållfasthet; c) Finfraktion.

Alinblandning

Tabell 6 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med alinblandning i tallspån. Det gulfärgade resultatet har uteslutits vid utvärderingen pga statistisk outlier. Tabell 7 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för alinblandning. Bra

modeller erhöjls för bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukt, medan de övriga responsfaktorerna gav signifikanta modeller.

Tabell 6. Responsvärden registrerade vid inblandning av al i tallspån.

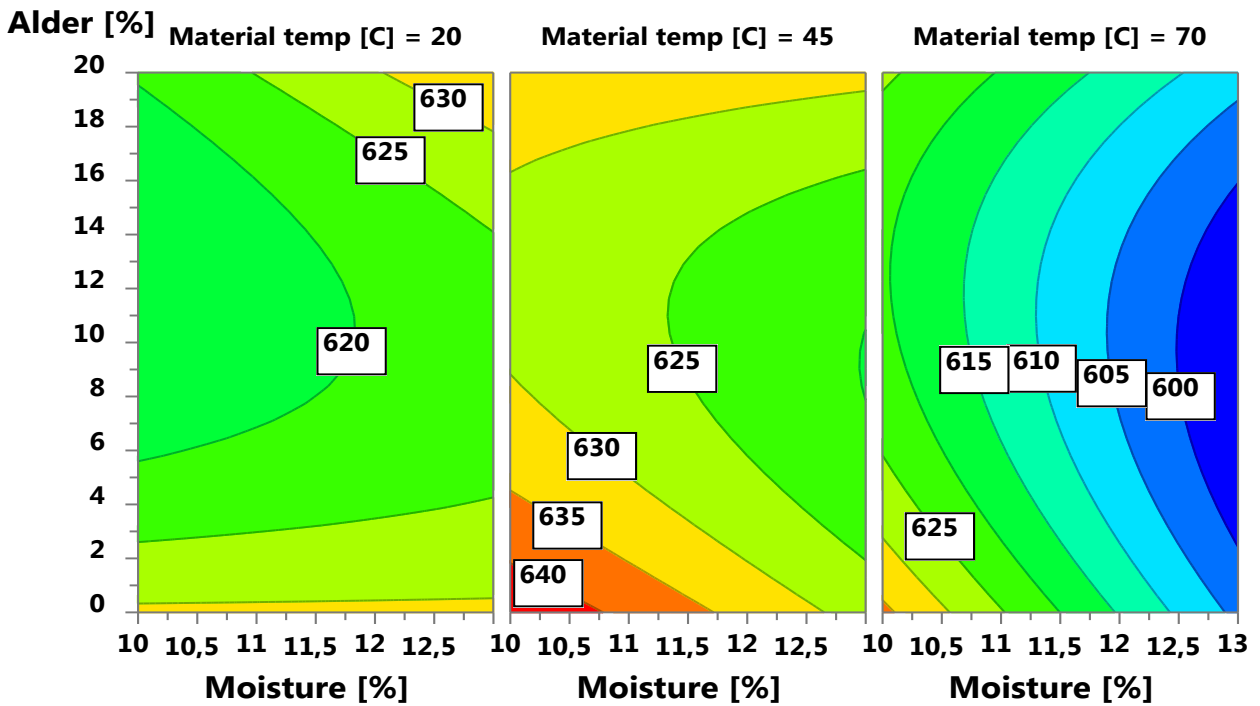
Exp Namn	Fukthalt (%)	AL (%)	Mtrl temp (°C)	Bulkdensitet (kg/m ³)	Hållfasthet (%)	Finfraktion (%)	Pressström (A)	Pelletfukt (%)	Pellettemp (°C)	Matris-temp (°C)
ALP1	11,69	10	50	623	92,7	6,47	66,6	8,0	82	75
ALP2	10,19	0	20	631	91,6	10,61	69,1	6,4	90	74
ALP3	12,98	0	20	614	94,0	3,69	69,2	8,2	83	72
ALP4	10,04	20	20	620	88,8	11,94	65,4	6,6	84	71
ALP5	13,02	20	20	635	94,3	3,78	69,2	8,3	82	67
ALP6	11,60	10	20	619	92,1	21,23	65,7	7,9	79	68
ALP7	10,17	10	48	628	92,0	9,04	67,1	7,3	85	74
ALP8	13,15	10	52	611	93,6	5,87	67,0	8,8	81	77
ALP9	11,51	0	50	635	94,0	4,82	67,6	8,4	84	75
ALP10	11,43	20	52	631	92,6	12,30	65,5	8,2	82	77
ALP11	11,49	10	53	626	92,7	8,81	65,5	8,2	83	78
ALP12	10,23	0	64	636	94,8	7,64	69,1	7,3	87	87
ALP13	12,31	0	69	613	94,5	7,07	66,3	8,8	83	72
ALP14	10,06	20	68	627	90,8	35,14	63,7	7,4	83	84
ALP15	13,09	20	67	588	91,9	7,31	67,1	9,5	78	51
ALP16	11,61	10	64	613	94,0	3,37	67,0	8,6	82	60
ALP17	11,68	10	46	602	94,5	3,02	68,9	8,7	82	54

Tabell 7. Förklaringsgrad, R^2 och prediktionsförmåga, Q^2 , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med alinblandning i tallspån.

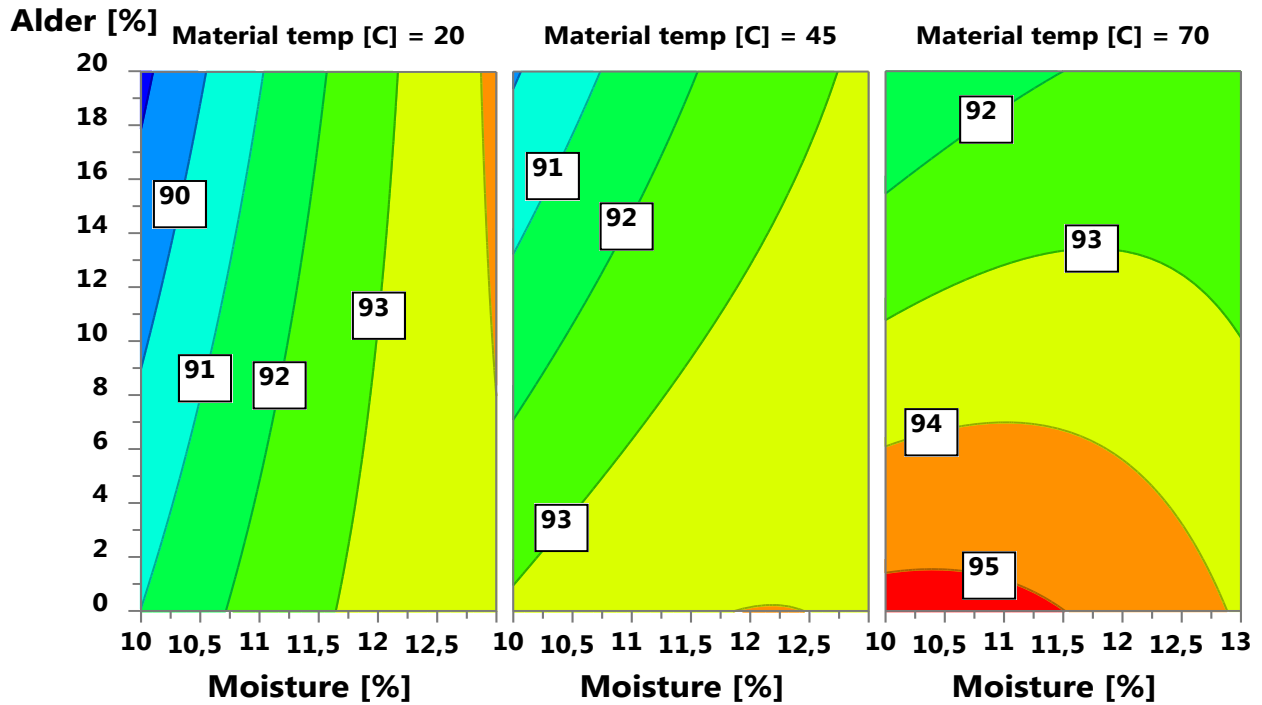
Al							
	Bulkdensitet	Hållfasthet	Finfraktion	Pressström	Pelletfukt	Pellettemp	Matris-temp
R^2	0,96	0,91	0,58	0,71	0,95	0,68	0,43
Q^2	0,85	0,77	0,28	0,33	0,91	0,49	0,11

Figur 3 visar responsytorna för responsfaktorerna bulkdensitet, hållfasthet, finfraktion och pressström vid alinblandning i tallspån. Samtliga responsfaktorer gav relativt komplicerade modeller, där framförallt materialtemperaturen hade en oväntat stor och svårförklarlig inverkan. Exempelvis medförde en låg materialtemperatur att bulkdensiteten var högst vid en hög fukthalt, medan en hög temperatur gav den högsta densiteten vid en låg fukthalt vilket är det vanliga. Vidare erhöjls den högsta hållfastheten vid en hög fukthalt och hög alinblandning när materialtemperaturen var låg. En ökning av temperaturen medförde att man fick den högsta hållfastheten vid en låg fukthalt och låg alinblandning. Lågst finfraktion erhöjls vid hög fukthalt, låg alinblandning och låg materialtemperatur, medan pressströmmen som väntat var högst vid låg fukthalt och låg temperatur. Slutligen var korrelationen mellan bulkdensitet och pressström, respektive mellan hållfasthet och finfraktion oväntat svag. De oväntade resultaten kan eventuellt ha orsakats av att en alltför kort matrislängd användes vid försöken.

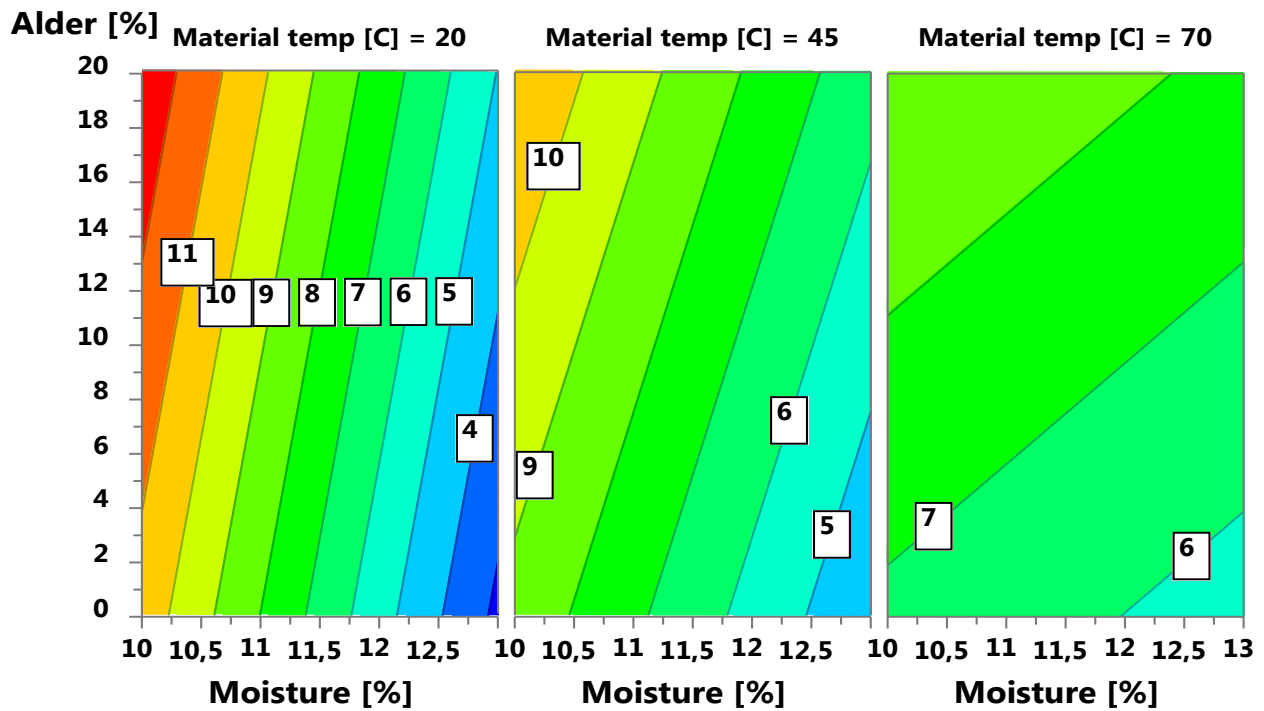
a) Bulkdensitet (kg/m³)



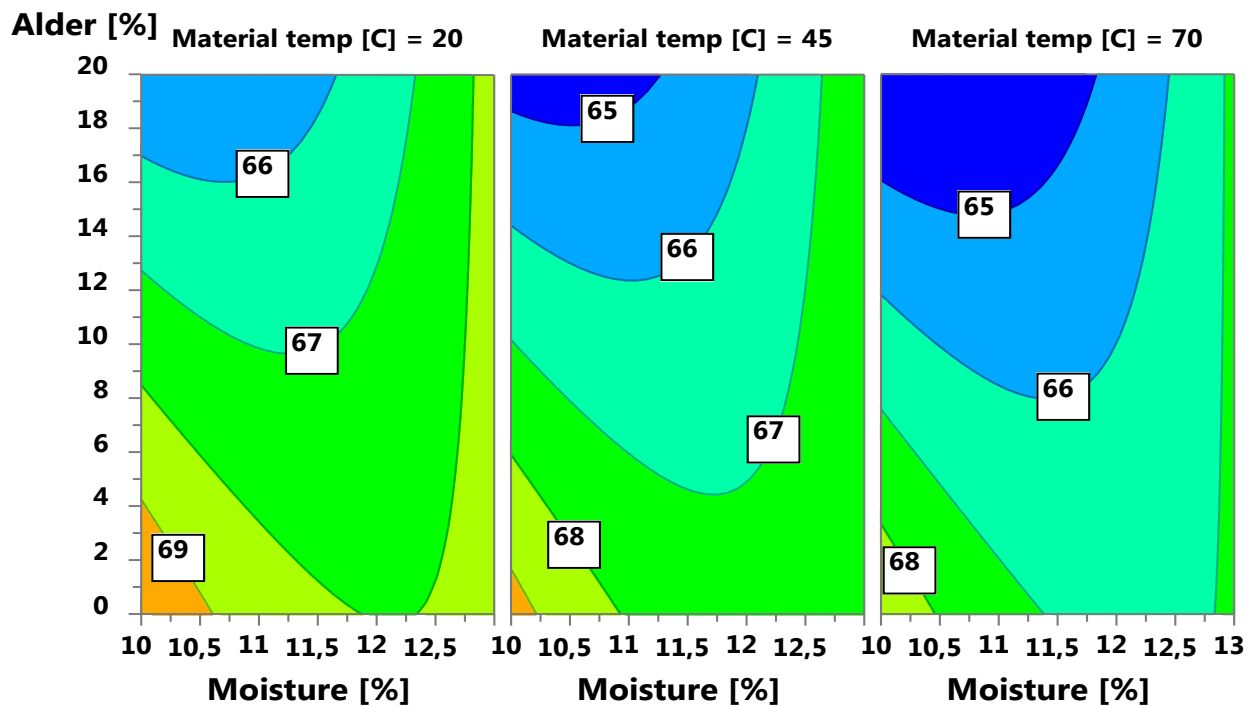
b) Mekanisk hållfasthet (%)



c) Finfraktion (%)



d) Presström (%)



Figur 3. Responsytor för olika responsfaktorer vid inblandning av al i tallspån.
a) Bulkdensitet; b) Mekanisk hållfasthet; c) Finfraktion; d) Presström

Salixinblandning

Tabell 8 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med salixinblandning i spån. Tabell 9 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för salixinblandning. Bra modeller erhöles för bulkdensitet, hållfasthet, finfraktion, pelletfukt och pellettemperatur, medan en signifikant modell erhöles för presström. Matristemperaturen gav ingen signifikant modell.

Tabell 8. Responsvärden registrerade vid salixinblandning i spån.

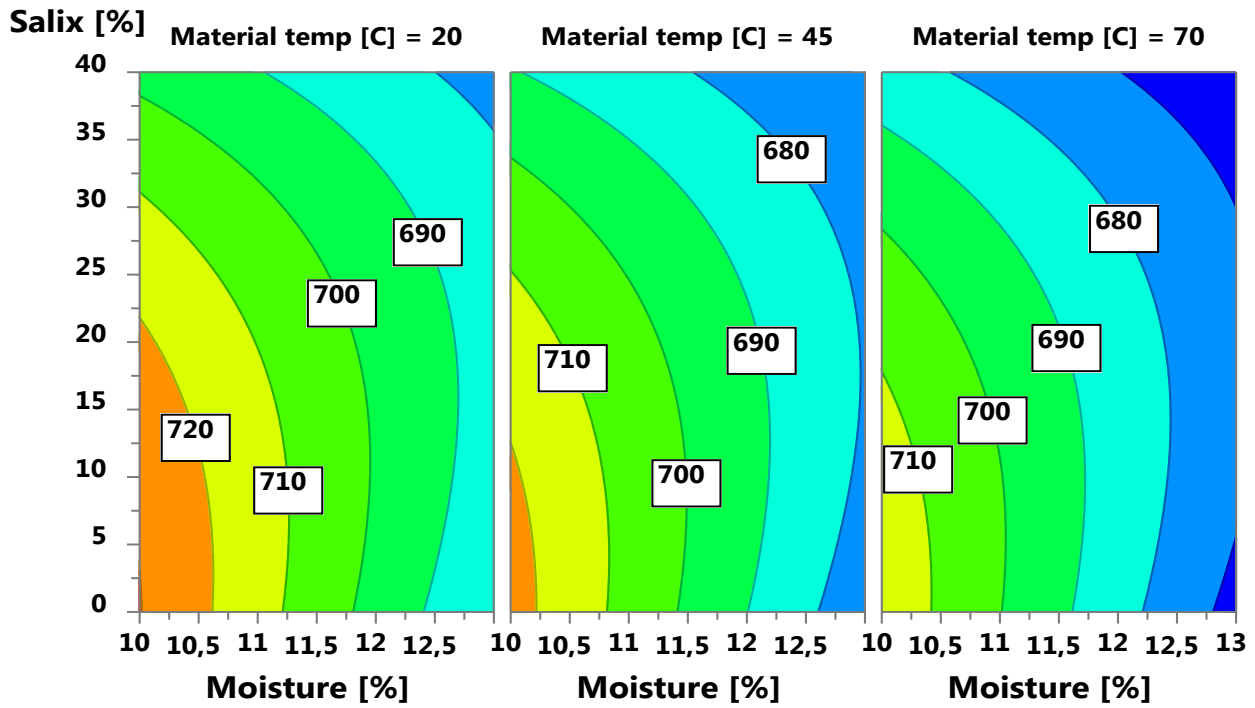
Exp Namn	Fukthalt (%)	Salix (%)	Mtrl temp (°C)	Bulkdensitet (kg/m ³)	Hållfasthet (%)	Finfraktion (%)	Pressström (A)	Pelletfukt (%)	Pellettemp (°C)	Matristemp (°C)
Salix1	10,4	0	18,2	723	94,4	5,36	95,6	5,0	105	43
Salix2	13,1	0	18,5	684	96,1	5,49	88,8	6,5	96	59
Salix3	10,1	40	18,8	697	92,2	10,28	85,0	5,1	103	58
Salix4	11,6	20	46,0	696	95,0	5,38	84,7	6,0	100	60
Salix5	13,1	40	10,6	683	96,2	1,96	83,7	7,4	91	47
Salix6	11,2	20	11,3	705	94,4	6,95	88,8	5,1	102	56
Salix7	10,5	20	46,9	717	94,5	12,02	89,6	4,7	106	62
Salix8	13,4	20	48,7	663	96,1	3,99	81,7	7,2	93	61
Salix9	11,7	0	43,9	689	95,4	7,34	84,3	5,6	92	49
Salix10	11,5	40	46,7	674	96,0	3,58	88,9	7,1	101	58
Salix11	11,7	20	48,2	697	94,8	5,39	85,2	5,6	102	61
Salix12	10,4	0	62,7	712	94,4	13,34	90,9	4,5	106	62
Salix13	13,2	0	55,1	670	95,6	6,91	80,6	6,5	89	50
Salix14	10,5	40	62,6	681	94,2	6,14	80,7	5,7	98	57
Salix15	13,1	40	63,9	667	96,7	1,85	84,7	8,2	96	62
Salix16	11,7	20	66,1	693	94,5	6,67	83,7	5,5	101	63

Tabell 9. Förklaringsgrad, R^2 och prediktionsförmåga, Q^2 , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med inblandning av salix i spån.

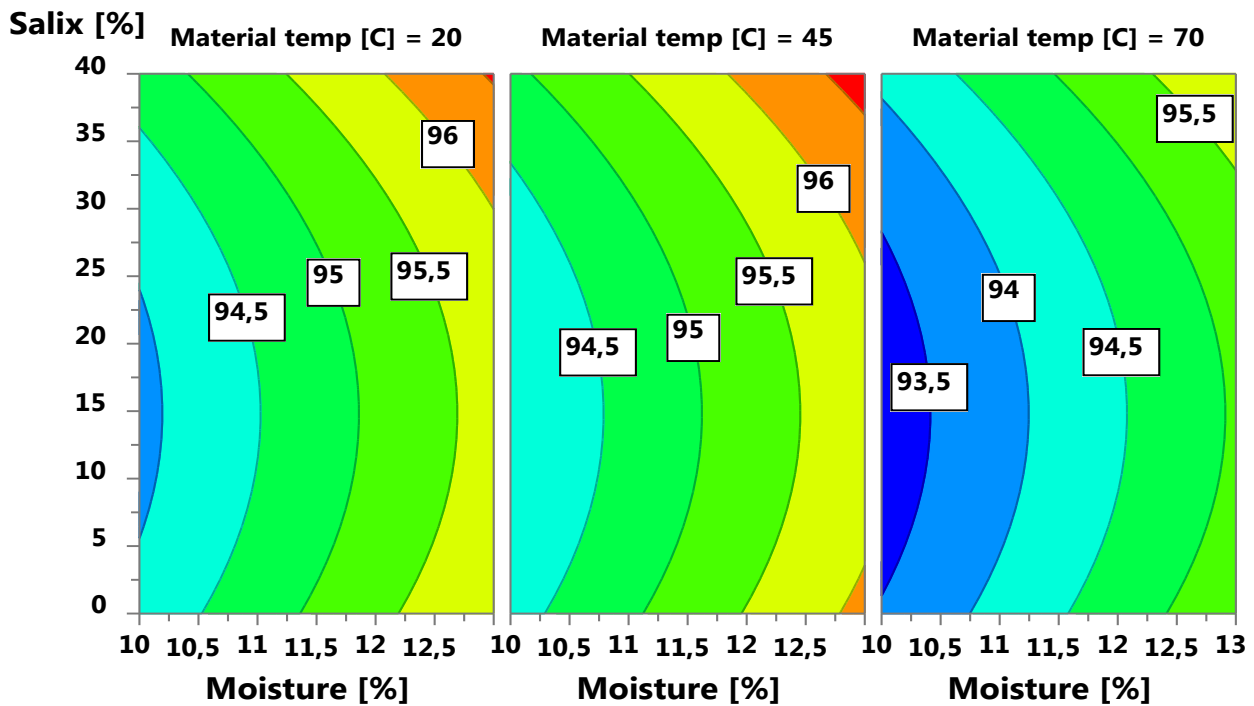
Salix							
	Bulkdensitet	Hållfasthet	Finfraktion	Pressström	Pelletfukt	Pellettemp	Matristemp
R^2	0.92	0.90	0.89	0.76	0.98	0.68	0.51
Q^2	0.81	0.71	0.80	0.29	0.94	0.59	0.05

Figur 4 visar responsytorna för de olika responsfaktorerna vid inblandning av salix i spån. Fukthalten är den dominerande parameter som bestämmer bulkdensitet och presström vid inblandning av salix i spån, med de högsta värdena vid en låg fukthalt, låg salixinblandning och låg materialtemperatur. Den högsta hållfastheten erhöles vid en hög fukthalt, hög salixinblandning och en relativt låg materialtemperatur. Finfraktionen var lägst vid hög fukthalt respektive salixinblandning oberoende av materialtemperaturen.

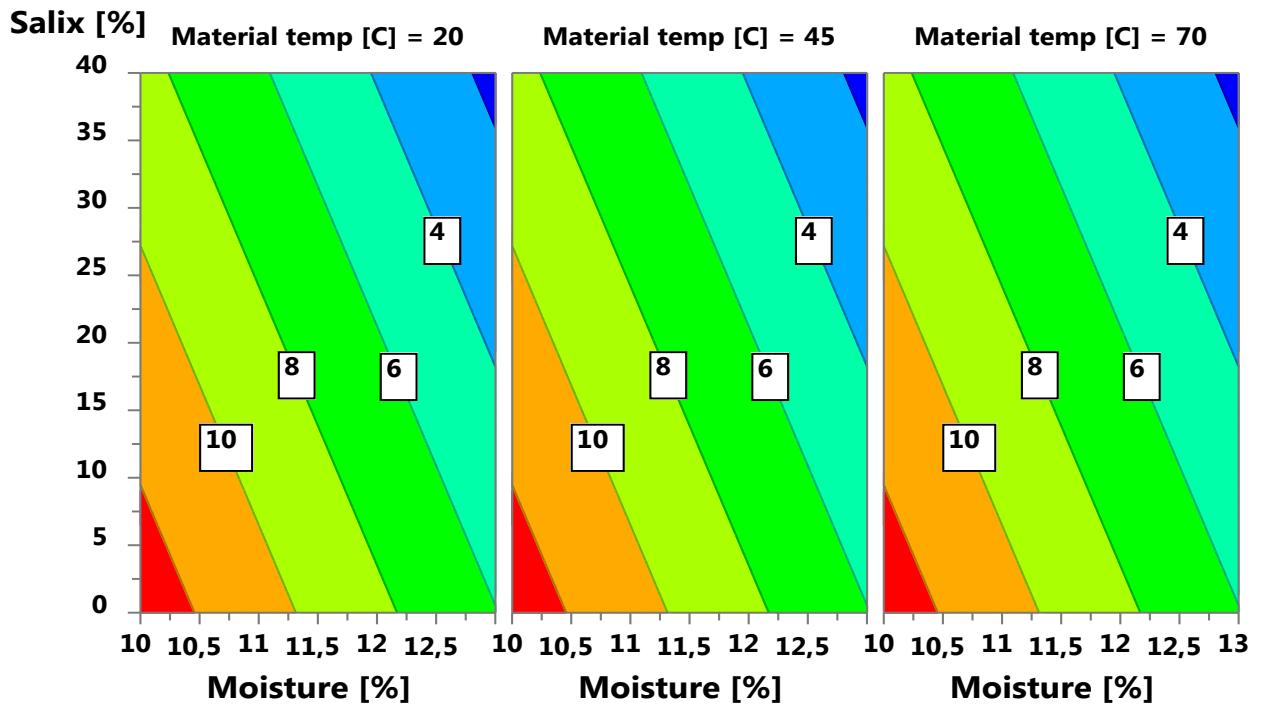
a) Bulkdensitet (kg/m³)



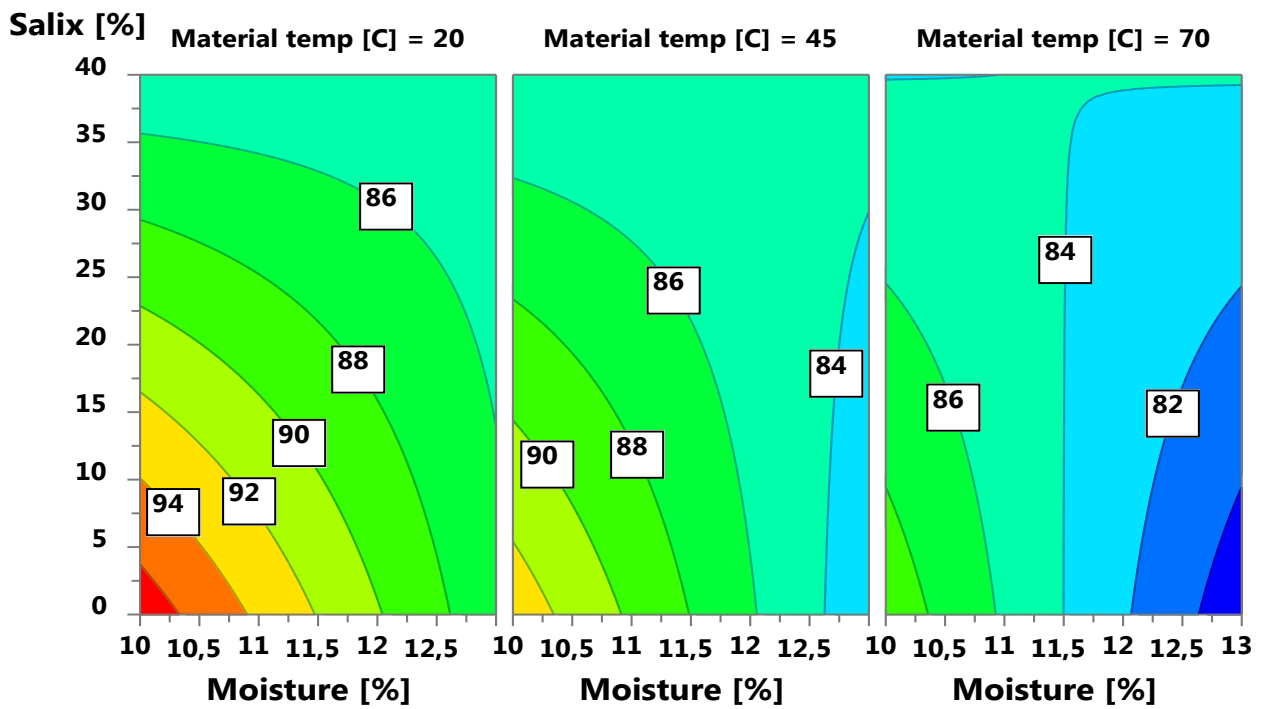
b) Mekanisk hållfasthet (%)



c) Finfraktion (%)



d) Presström (A)



Figur 4. Responssytor för olika responsfaktorer vid inblandning av salix i spån.
a) Bulkdensitet; b) Mekanisk hållfasthet; c) Finfraktion; d) Presström.

Slutsats

Inblandning av björk i tallspån medförde en försämrad pelletkvalitet och en ökad energiåtgång vid pelletering. Fukthalt och björkinblandning är de faktorer som har störst inverkan på resultatet. Bra modeller erhöles för samtliga responsfaktorer.

Inblandning av asp gav däremot en något förbättrad pelletkvalitet och en något lägre energiåtgång vid pelletering. Förutom fukthalt och aspinblandning hade även materialtemperaturen en signifikant inverkan på responsfaktorerna. Bra eller signifikanta modeller erhöles för samtliga responser utom för presströmmen.

Inblandning av salix gav liksom asp en något förbättrad pelletkvalitet och för låga fukthalter och låga materialtemperaturer en något minskad energiåtgång vid pelletering. Generellt sett hade fukthalten och salixinblandningen den största inverkan på responsfaktorerna, men presströmmen påverkades också av materialtemperaturen. Bra eller signifikanta modeller erhöles för alla responser utom för matristemperaturen.

Inblandning av al gav generellt sett väldigt komplicerade modeller med olika resultat för bulkdensitet respektive hållfasthet vid olika materialtemperaturer. Den normalt sett tydliga korrelationen mellan bulkdensitet och presström respektive hållfasthet och finfraktion saknades också. Orsaken till detta är svår att finna, men en anledning kan vara att en för kort presslängd användes vid försöket.

Tabell 10. Optimala faktorparametrar för responsen mekanisk hållfasthet och finfraktion.

Lövvädd	Inblandning (%)		Fukthalt (%)		Material temperatur (°C)	
	Hållfasthet	Finfraktion	Hållfasthet	Finfraktion	Hållfasthet	Finfraktion
Björk	0	0	> 15	14	20	20
Asp	> 20	> 20	11	11	70	70
Al	0	0	10	> 13	70	20
Salix	> 40	> 40	> 13	> 13	45	20-70

Tabell 11. Optimala faktorparametrar för responsen bulkdensitet och presström.

Lövvädd	Inblandning (%)		Fukthalt (%)		Material temperatur (°C)	
	Bulkdensitet	Presström	Bulkdensitet	Presström	Bulkdensitet	Presström
Björk	> 20	0	< 11	> 15	20	70
Asp	0	-	11	-	20	-
Al	0	> 20	< 10	11	45	70
Salix	0	0	< 10	> 13	20	70

Referenser

1. Lestander Torbjörn A., Finell, Michael, Samuelsson, Robert, Arshadi, Mehrdad, Thyrel, Mikael. Industrial scale biofuel pellet production from blends of unbarked softwood and hardwood stems-the effects of raw material composition and moisture content on pellet quality. *Fuel Processing Technology* , 95, 73-77.
2. Boman, C., Israelsson, S., Öhman, M., Lundmark, B. Combustion properties and environmental performance during small scale combustion of pelletized white hardwood raw material. *Proceedings of the World Bioenergy Conference and Exhibition on Biomass for Energy, Jönköping, Sverige, 27-29 Maj 2008*, 281-286.