



# **Inblandning av stärkelse och lignosulfonat i pellets vid Bioenergi i Luleå AB**

## *Rapport från Pelletplattformen II*



**Robert Samuelsson, Michael Finell, Mehrdad Arshadi,  
Björn Hedman, Jordi Subirana**

**Rapport 29 2014**

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
S-901 83 UMEÅ

[www.slu.se/sbt](http://www.slu.se/sbt)

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi



# **Inblandning av stärkelse och lignosulfonat i pellets vid Bioenergi i Luleå AB**

## *Rapport från Pelletplattformen II*

**Robert Samuelsson, Michael Finell, Mehrdad Arshadi,  
Björn Hedman, Jordi Subirana**

**Keywords:** Pellet, additiv, stärkelse, lignosulfonat, kvalitet

**Rapport 29 2014**

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
Utgivningsort: Umeå  
Utgivningsår: 2014  
Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

## Innehåll

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Förord .....                    | 3  |
| Sammanfattning .....            | 4  |
| Summary .....                   | 5  |
| Inledning.....                  | 6  |
| Material och metoder .....      | 7  |
| Råvaran.....                    | 7  |
| Utrustning.....                 | 7  |
| Provtagning .....               | 7  |
| Analys av responsfaktorer ..... | 7  |
| Designens upplägg .....         | 8  |
| Resultat och diskussion .....   | 9  |
| Referenser.....                 | 18 |

## Förord

Detta försök genomfördes och 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.

Bioenergi i Luleå AB levererade allt spånmaterial till försöket och ställde upp med personal och utrustning vid genomförandet. Stärkelsematerialen i försöket levererades av Solam AB medan lignosulfonatmaterialen levererades av Borregaard Lignotech. Erfarenheter från pilotförsök vid BTC Umeå utnyttjades vid designen av försöket. Försöken genomfördes under tiden 7-10 april 2014.

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, samt till Per Bergqvist, Solam respektive Ole Hvattum, Borregaard Lignotech för framtagandet av additivmaterialen.

Umeå den 2014-10-06

Michael Finell



## Sammanfattning

Ett fabriksförsök genomfördes vid Bioenergi i Luleå där två katjonbaserade stärkelsematerial (Solbind 35 och Solbind 790), ett kalciumbaserat lignosulfonat (Lignobond) samt ett kalcium/magnesiumbaserat lignosulfonat (Pelltech) blandades in i tallspån. En experimentell design för respektive additiv med två kvantitativa variabler på tre nivåer användes.

Designerna omfattade följande parametrar: spån av tre olika fukthalter mellan 10-12 % baserad på rå vikt; inblandning av additiv på tre nivåer mellan 0-1 %. Den statistiska analysen baserad på MLR visade att fukthalten var den viktigaste parameteren för bulkdensitet och presström medan inblandningsgrad av additiv var viktigast för hållfasthet och finfraktion. För Lignobond och Solbind 790 gav inblandning av additiv en minskad strömförbrukning vid pressningen, medan Solbind 35 gav en oförändrad strömförbrukning och Pelltech en ökad strömförbrukning. Samtliga additiv gav en förbättrad pellets kvalitet, främst genom ökad hållfasthet och minskad finfraktion.

## Summary

A factory experiment was performed at Bioenergi i Luleå, where two cation based starch additives (Solbind 35 and Solbind 790), one calcium based lignosulphonate additive (Lignobond) and one calcium/magnesium based lignosulphonate additive (Pelltech) were added to pine sawdust. One experimental design for each additive with two quantitative factors on three levels were used. The designs comprised the following parameters: Sawdust with three different moisture contents between 10-12 % based on raw weight; addition of additives at three levels between 0-1 %. The statistical analysis based on multiple linear regression (MLR) showed that the moisture content was the most important parameter for bulk density and press current, while the amount of additive was most important for mechanical durability and fines. For Lignobond and Solbind 790 the addition of additive gave rise to a decrease in press current during the pelletizing, while the press current was unchanged for Solbind 35 and increased for Pelltech. All additives gave rise to an improved pellet quality, mostly by increased mechanical durability and decreased amount of fines.

## 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 återföringen av den finfraktion som bildas vid pressningen. Denna finfraktion är ett mått på effektiviteten hos processen och en minskad finfraktion effektiviserar denna. Ett angreppssätt för att åstadkomma dessa förbättringar är tillsats av additiv som förbättrar kvaliteten samtidigt som energiåtgången hos pressarna minskar.

Det finns ett flertal industriella biprodukter som är av intresse som additiv, dvs inblandning upp till några få procent för att uppnå speciella syften. Exempel på sådana är olika typer av stärkelse- respektive ligninmaterial.

Vid tidigare försök vid BTC-piloten har inblandning av andra typer av stärkelse och lignosulfonat i träspån uppvisat förbättrad pellets kvalitet och minskad energiåtgång i ett responsförsök.

Syftet med industriförsöket som beskrivs nedan var att försöka verifiera dessa observationer med de aktuella additivmaterialen samt optimera processen utifrån olika inblandningar av additiv, dvs. att ta fram ett processrecept för pelletsindustrin som både förbättrar pelletskvaliteten och minskar energiåtgången.



## Material och metoder

### Råvaran

Råvaran som användes vid experimentet utgjordes av 100% färskt tallspån. Additiven, som användes i försöket var två typer av lignosulfonat; Lignobond och Pelltech, levererade från Borregaard, Lignotech, Norge, och två typer av katjonbaserad stärkelse; Solbind 35 och Solbind 790 från Solam AB, Sverige. Lignobond, som har kalcium som motjon, hade en fukthalt på ca. 10 %, en askhalt på 18 %, en svavelhalt på 6,0 % och en kalciumhalt på 6 %. Pelltech, som har kalcium och magnesium som motjoner, hade en fukthalt på 6 %, en askhalt på 35 %, en svavelhalt på 5,6 % och en summahalt av kalcium och magnesium på 15 %. Fukthalt och askhalt hos stärkelsematerialen var ca 18 % respektive ca 1,5 %. Andelen katjonisering för Solbind 35 och Solbind 790 var DS 0,035 respektive DS 0,17 (DS=degree of substitution).

### Utrustning

Pelleteringsförsöken gjordes på pelletpressen P400 (Bühler RWPR – 900). Presslängden var 83 mm och produktionen hölls konstant på 3,2 ton/h. Tillsatserna av additiven gjordes med en doserare tillverkad av Zemo Mek. Doseraren förser de fyra pressarna med tillsatser enligt följande: Två skruvar matar additiven från en tvådelad behållare till var sin provbehållare. Från respektive provbehållare sugas sedan additivet genom två motstående utlopp med hjälp av två luftpumpar till var sin press och additivet i behållaren skall då delas lika mellan de båda pumparna och således mellan pressarna. Skruvarnas kapacitet ställs in oberoende av varandra, vilket medför att individuella tillsatser kan göras för respektive par om två pressar. Doseringskruven kalibrerades genom att massflödet av respektive additiv mättes vid olika frekvenser och tillsatsen för respektive frekvens beräknades sedan utifrån ett spånflöde på 3200 kg/h. Från kalibreringskurvan valdes sedan lämpliga frekvenser för de tillsatser som bestämdes i designen.

### Provtagning

Provtagning av malt och konditionerat spån direkt före pressen (ca 1 L) ägde rum tre gånger för varje försök. På motsvarande sätt togs prover av varm pellets (ca 6 L) ut direkt efter press P400. 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.

### Analys av responsfaktorer

Flera olika variabler (responser) registrerades eller mättes under varje försök. Responserna användes i designen som svar på variationen hos faktorerna. Dessa responser var fukthalt, mekanisk hållfasthet, finfraktion respektive bulkdensitet hos pelletsen samt belastning på press P400 i form av ström i ampere. 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 sällning av pelletsen på ett 3,15 mm såll. Belastningen avlästes från styrpanelen i samband med provtagning. Multivariata dataanalyser utfördes med hjälp av mjukvaran MODDE, version 9.1.0.0, 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  $< 0,2 - 0,3$ .

## Designens upplägg

Försöket genomfördes med hjälp av fyra separata designers för respektive additiv (se tabell 1). Varje försök utgjordes av en full faktoriell design med de två kvantitativa faktorerna fukthalt och additivtillsats. Fukthalten och additivtillsatsen testades vid vardera tre nivåer. I designen upprepades ett experiment tre gånger för att ge ett mått på spridningen i metoden. Process- och blandningsfaktorerna, som framgår av tabell 1, valdes i samråd med personalen vid fabriken. Tabellen anger både de fukthalter på 8, 9 och 10 % som användes som börvärden vid styrning av torken (Fukthalt design), och de fukthalter på det konditionerade spånets som togs ut alldeles innan pressen. Dessa avviker ca 2-3 % från de värden som användes för att styra torken, eftersom ångtillsatsen återfuktat spånets något. Fukthalten på det konditionerade spånets användes vid utvärderingen av försöken. På grund av ojämn fördelning av additivets mellan luftpumparna i doseraren överensstämde inte additivtillsatserna i designen med de verkliga tillsatserna i försöket. Istället bestämdes tillsatsen i efterhand för Lignobond och Pelltech genom att analysera svavelhalten i pelleten, spånets och additivets och sedan beräkna storleken på tillsatsen vid respektive delförsök. För stärkelsematerialen fanns inte denna möjlighet, utan här gjordes antagandet att additivtillsatserna i delförsöken var proportionellt lika med designen, medan de absoluta värdena troligen är högre än designvärdena. Detta innebär att för stärkelse kan endast slutsatser om olika trender dras och att absolutvärdena i responsytorna är osäkra.

**Tabell 1.** Schema för de försöksdesigner som använts vid inblandning av olika additiv i spån vid Bioenergi i Luleå. a) Lignobond b) Pelltech c) Solbind 35 d) Solbind 790

a)

| Exp Nr | Additiv   | Fukthalt design (%) | Fukthalt kond. spån (%) | Additiv design (%) | Tillsatt additiv (%) |
|--------|-----------|---------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| LB-1   | Lignobond | 8                   | 10,30                   | 0                  | 0                    |
| LB-2   | Lignobond | 8                   | 10,14                   | 0,25               | 0,31                 |
| LB-3   | Lignobond | 8                   | 9,92                    | 0,5                | 0,68                 |
| LB-4   | Lignobond | 10                  | 11,64                   | 0,25               | 0,42                 |
| LB-5A  | Lignobond | 10                  | 10,94                   | 0                  | 0                    |
| LB-5B  | Lignobond | 10                  | 12,07                   | 0                  | 0                    |
| LB-6   | Lignobond | 10                  | 11,88                   | 0,25               | 0,28                 |
| LB-7   | Lignobond | 10                  | 11,71                   | 0,5                | 0,77                 |
| LB-8   | Lignobond | 10                  | 11,77                   | 0,25               | 0,32                 |
| LB-9   | Lignobond | 9                   | 11,47                   | 0                  | 0                    |
| LB-10  | Lignobond | 9                   | 11,20                   | 0,25               | 0,33                 |
| LB-11  | Lignobond | 9                   | 11,12                   | 0,5                | 0,84                 |

b)

| Exp Nr | Additiv  | Fukthalt design (%) | Fukthalt kond. spån (%) | Additiv design (%) | Tillsatt additiv (%) |
|--------|----------|---------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| PT-1   | Pelltech | 10                  | 12,12                   | 0                  | 0                    |
| PT-2   | Pelltech | 10                  | 12,05                   | 0,25               | 0,41                 |
| PT-3   | Pelltech | 10                  | 12,17                   | 0,5                | 1,07                 |
| PT-4A  | Pelltech | 9                   | 10,81                   | 0,25               | 0,38                 |
| PT-4B  | Pelltech | 9                   | 10,97                   | 0,25               | 0,35                 |
| PT-5   | Pelltech | 9                   | 11,22                   | 0                  | 0                    |
| PT-6A  | Pelltech | 9                   | 11,52                   | 0,25               | 0                    |
| PT-6B  | Pelltech | 9                   | 10,89                   | 0,25               | 0,32                 |
| PT-7A  | Pelltech | 9                   | 11,77                   | 0,5                | 0                    |
| PT-7B  | Pelltech | 9                   | 10,91                   | 0,5                | 0,83                 |
| PT-9   | Pelltech | 8                   | 10,31                   | 0                  | 0                    |
| PT-10  | Pelltech | 8                   | 9,88                    | 0,25               | 0,29                 |
| PT-11  | Pelltech | 8                   | 10,04                   | 0,5                | 0,90                 |

c)

| Exp Nr  | Additiv    | Fukthalt design (%) | Uppnådd fukthalt (%) | Tillsatt additiv (%) |
|---------|------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| SB35-1  | Solbind 35 | 10                  | 12,89                | 0                    |
| SB35-2  | Solbind 35 | 10                  | 12,14                | 0,25                 |
| SB35-3  | Solbind 35 | 10                  | 12,15                | 0,5                  |
| SB35-4  | Solbind 35 | 9                   | 12,17                | 0,25                 |
| SB35-5  | Solbind 35 | 9                   | 12,08                | 0                    |
| SB35-6  | Solbind 35 | 9                   | 11,84                | 0,25                 |
| SB35-7  | Solbind 35 | 9                   | 12,01                | 0,5                  |
| SB35-8  | Solbind 35 | 9                   | 12,47                | 0,25                 |
| SB35-9  | Solbind 35 | 8                   | 10,89                | 0                    |
| SB35-10 | Solbind 35 | 8                   | 11,60                | 0,25                 |
| SB35-11 | Solbind 35 | 8                   | 11,00                | 0,5                  |

d)

| Exp Nr   | Additiv     | Fukthalt design (%) | Uppnådd fukthalt (%) | Tillsatt additiv (%) |
|----------|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| SB170-1  | Solbind 790 | 10                  | 11,45                | 0                    |
| SB170-2  | Solbind 790 | 10                  | 11,46                | 0,25                 |
| SB170-3  | Solbind 790 | 10                  | 11,49                | 0,5                  |
| SB170-4  | Solbind 790 | 9                   | 11,75                | 0,25                 |
| SB170-5  | Solbind 790 | 9                   | 11,21                | 0                    |
| SB170-6  | Solbind 790 | 9                   | 11,13                | 0,25                 |
| SB170-7  | Solbind 790 | 9                   | 11,32                | 0,5                  |
| SB170-8  | Solbind 790 | 9                   | 11,27                | 0,25                 |
| SB170-9  | Solbind 790 | 8                   | 9,79                 | 0                    |
| SB170-10 | Solbind 790 | 8                   | 10,07                | 0,25                 |
| SB170-11 | Solbind 790 | 8                   | 9,80                 | 0,5                  |

## Resultat och diskussion

Tabell 2 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med Lignobond som additiv. Det guldfärgade försöket har uteslutits vid utvärderingen pga felaktig matning till press P400.

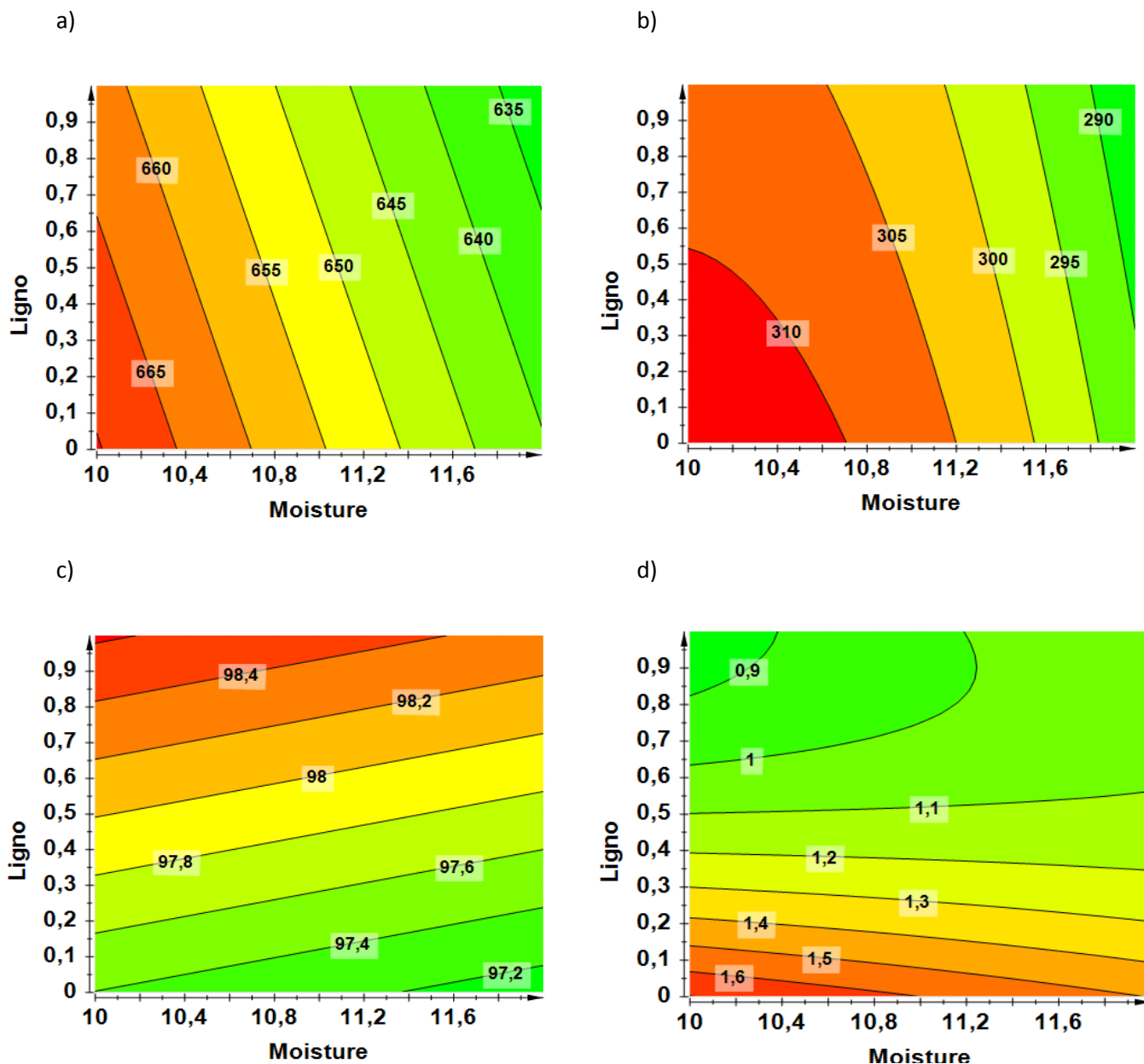
Tabell 3 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för Lignobond. Bra modeller erhöles för bulkdensitet, finfraktion och pressström. Modellen för mekanisk hållfasthet med detta additiv gav däremot ett något sämre resultat.

*Tabell 2. Responsvärden registrerade vid tillsats av Lignobond.*

| Exp Nr | Additiv   | Fukthalt spån (%) | Tillsatt additiv (%) | Bulk-densitet (kg/m <sup>3</sup> ) | Håll-fasthet (%) | Fin-fraktion (%) | Press-ström (A) |
|--------|-----------|-------------------|----------------------|------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| LB-1   | Lignobond | 10,30             | 0                    | 665                                | 97,5             | 1,70             | 310             |
| LB-2   | Lignobond | 10,14             | 0,31                 | 663                                | 97,6             | 1,29             | 314             |
| LB-3   | Lignobond | 9,92              | 0,68                 | 666                                | 98,2             | 0,95             | 308             |
| LB-4   | Lignobond | 11,64             | 0,42                 | 640                                | 97,9             | 1,24             | 293             |
| LB-5A  | Lignobond | 10,94             | 0                    | 646                                | 98,2             | 1,70             | 313             |
| LB5-B  | Lignobond | 12,07             | 0                    | 639                                | 96,8             | 1,55             | 292             |
| LB-6   | Lignobond | 11,88             | 0,28                 | 639                                | 96,8             | 1,55             | 292             |
| LB-7   | Lignobond | 11,71             | 0,77                 | 638                                | 97,1             | 1,23             | 296             |
| LB-8   | Lignobond | 11,77             | 0,32                 | 632                                | 98,1             | 1,01             | 291             |
| LB-9   | Lignobond | 11,47             | 0                    | 648                                | 97,8             | 1,19             | 290             |
| LB-10  | Lignobond | 11,20             | 0,33                 | 649                                | 97,6             | 1,47             | 303             |
| LB-11  | Lignobond | 11,12             | 0,84                 | 653                                | 97,4             | 1,21             | 303             |

**Tabell 3.** Förklaringsgrad,  $R^2$  och prediktionsförmåga,  $Q^2$ , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med Lignobond i spån.

|       | Lignobond |       |      |       |
|-------|-----------|-------|------|-------|
|       | Bulk      | Hållf | Finf | Ström |
| $R^2$ | 0,90      | 0,70  | 0,96 | 0,89  |
| $Q^2$ | 0,80      | 0,49  | 0,84 | 0,74  |



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

Figur 1 visar responssytorna för de olika responsfaktorerna, där bulkdensiteten och presströmmen till stor del bestäms av fukthalten i spånet och där den högsta densiteten och energiåtgången erhålls vid en låg fukthalt. Additivtillsatsen påverkar även dessa faktorer

något genom minskad bulkdensitet och presström. När det gäller mekanisk hållfasthet och finfraktion är det additivtillsatsen som har den dominerande inverkan, med hög hållfasthet och låg finfraktion vid hög additivtillsats. Fukthalten påverkar även till viss grad dessa responser. Figuren visar också tydligt den positiva korrelationen mellan bulkdensitet och presström, liksom den negativa korrelationen mellan mekanisk hållfasthet och finfraktion.

Resultatet för Lignobond stämmer relativt väl överens med tidigare försök med natriumbaserad lignosulfonat (Lestander 2011). I båda fallen medför additivtillsatsen en kraftigt ökad mekanisk hållfasthet och en minskad finfraktion efter pelletpressen. Vidare ger bägge additiven den bästa kvaliteten vid den lägre fukthalten i designen. En additivtillsats på 0.5 % av Lignobond vid en spånfukthalt på 10 % medför alltså en ökning av hållfastheten med 0.7 % samt en minskning av finfraktionen med 0.5 % vilket motsvarar en produktionsökning på ca 0.4 ton/dygn och pelletspress. När det gäller energiåtgången innebär tillsatsen däremot en ökning på ca 1 % beroende på en minskad fukthalt från den normala 11 % på det konditionerade spånet.

Tabell 4 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med Pelltech som additiv. De gulfärgade försöken har uteslutits vid utvärderingen pga felaktig dosering av additiv. Tabell 5 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för Pelltech. Mycket bra modeller erhöles för samtliga responsfaktorer.

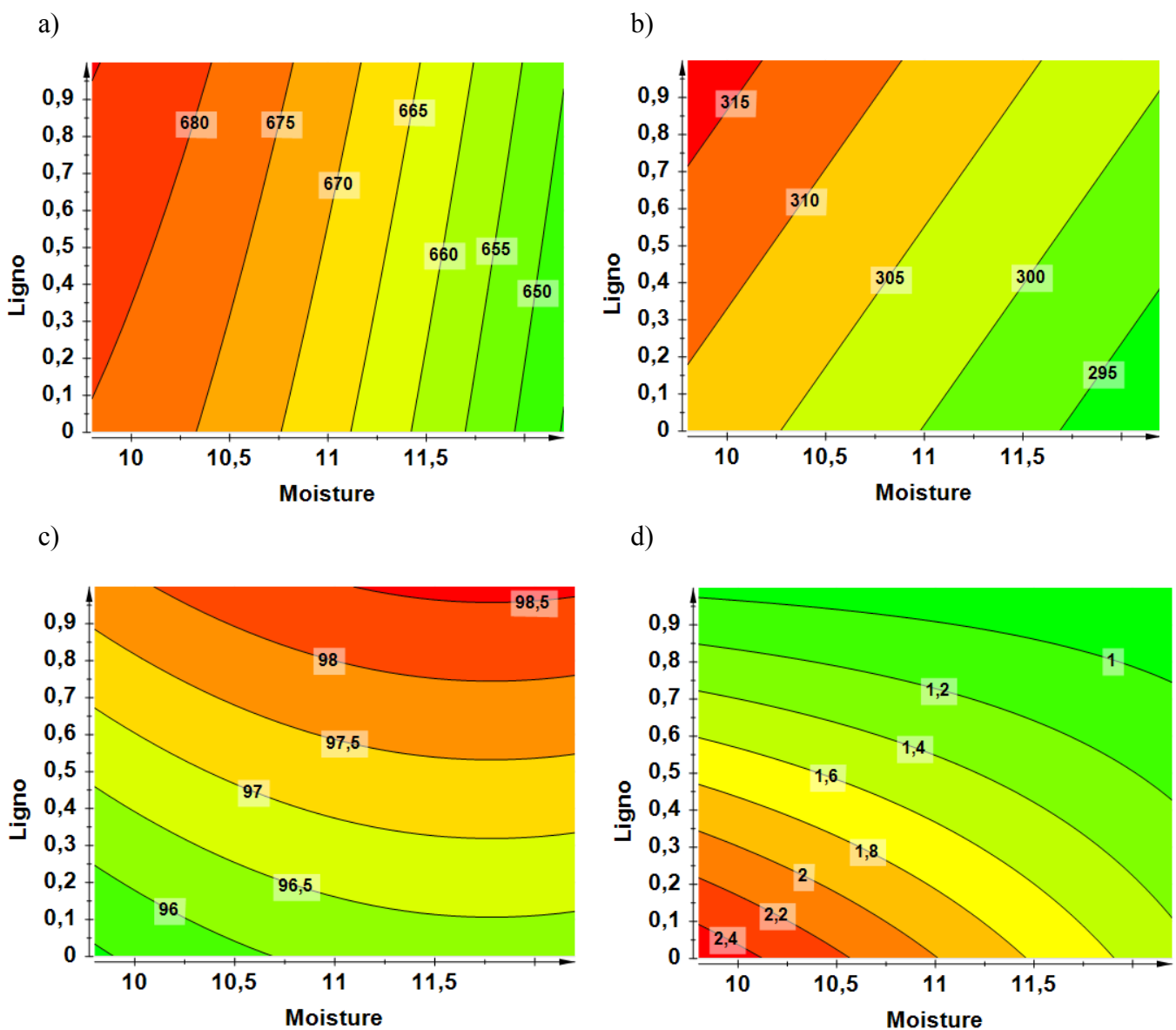
**Tabell 4.** Responsvärden registrerade vid tillsats av Pelltech.

| Exp Nr | Additiv  | Fukthalt spån (%) | Tillsatt additiv (%) | Bulk-densitet (kg/m <sup>3</sup> ) | Hållfasthet (%) | Finfraktion (%) | Ström (A) |
|--------|----------|-------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| PT-1   | Pelltech | 12,12             | 0                    | 665                                | 97,5            | 1,70            | 310       |
| PT-2   | Pelltech | 12,05             | 0,41                 | 663                                | 97,6            | 1,29            | 314       |
| PT-3   | Pelltech | 12,17             | 1,07                 | 666                                | 98,2            | 0,95            | 308       |
| PT-4A  | Pelltech | 10,81             | 0,38                 | 640                                | 97,9            | 1,24            | 293       |
| PT-4B  | Pelltech | 10,97             | 0,35                 | 666                                | 96,5            | 1,73            | 301       |
| PT-5   | Pelltech | 10,97             | 0,35                 | 647                                | 98,2            | 1,70            | 313       |
| PT-6A  | Pelltech | 11,52             | 0                    | 639                                | 96,8            | 1,55            | 292       |
| PT-6B  | Pelltech | 10,89             | 0,32                 | 666                                | 97,1            | 1,73            | 301       |
| PT-7A  | Pelltech | 11,77             | 0                    | 658                                | 96,2            | 1,74            | 298       |
| PT-7B  | Pelltech | 10,91             | 0,83                 | 638                                | 97,1            | 1,23            | 296       |
| PT-9   | Pelltech | 10,31             | 0                    | 632                                | 98,1            | 1,01            | 291       |
| PT-10  | Pelltech | 9,88              | 0,29                 | 648                                | 97,8            | 1,19            | 290       |
| PT-11  | Pelltech | 10,04             | 0,9                  | 649                                | 97,6            | 1,47            | 303       |

**Tabell 5.** Förklaringsgrad,  $R^2$  och prediktionsförmåga,  $Q^2$ , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med Pelltech i spån.

|       | Pelltech |       |      |       |
|-------|----------|-------|------|-------|
|       | Bulk     | Hållf | Finf | Ström |
| $R^2$ | 0,97     | 0,95  | 0,94 | 0,89  |
| $Q^2$ | 0,95     | 0,89  | 0,88 | 0,79  |

Figur 2 visar responsytorna för de olika responsfaktorerna vid inblandning av Pelltech i spån. På samma sätt som för Lignobond är fukthalten den parameter som huvudsakligen bestämmer bulkdensitet och presström, med de högsta värdena vid en låg fukthalt. Något förvånande visar figuren också att inblandning av Pelltech medför både en ökad bulkdensitet och en ökad presström. Enligt tillverkaren skall modifikationen medföra en betydligt minskad energiåtgång vid pelletering. I försöket ökade istället energiåtgången vid tillsats av additivet, vilket också verifierades av en ökad bulkdensitet. Vad gäller hållfastheten medför inblandning av Pelltech en betydande förbättring samtidigt som en tydlig minskning av finfraktionen erhålls. Däremot ger Pelltech den bästa kvaliteten vid den högre fukthalten i designen. Genom tillsats av 0.5 % Pelltech och en ökning av spånfukthalten till ca 12 % erhålls en ökning av hållfastheten med ca 2 % och en minskning av finfraktionen med 1.3 %, vilket motsvarar en produktionsökning på 1 ton/dygn och pelletspress. Även energiåtgången minskar med ca 3 % på grund av den ökade fukthalten. Beräkningen utgår ifrån att den normala fukthalten är ca 11 % vid fabriken.



**Figur 2.** Responsytor för olika responsfaktorer vid tillsats av Pelltech i spån.  
a) Bulkdensitet; b) Presström; c) Mekanisk hållfasthet; d) Finfraktion

Tabell 6 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med Solbind 35 som additiv. Tabell 7 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för Solbind 35. Mycket bra modell erhöles för finfraktion, bra modeller erhöles för bulkdensitet och presström, medan en godkänd modell erhöles för mekanisk hållfasthet.

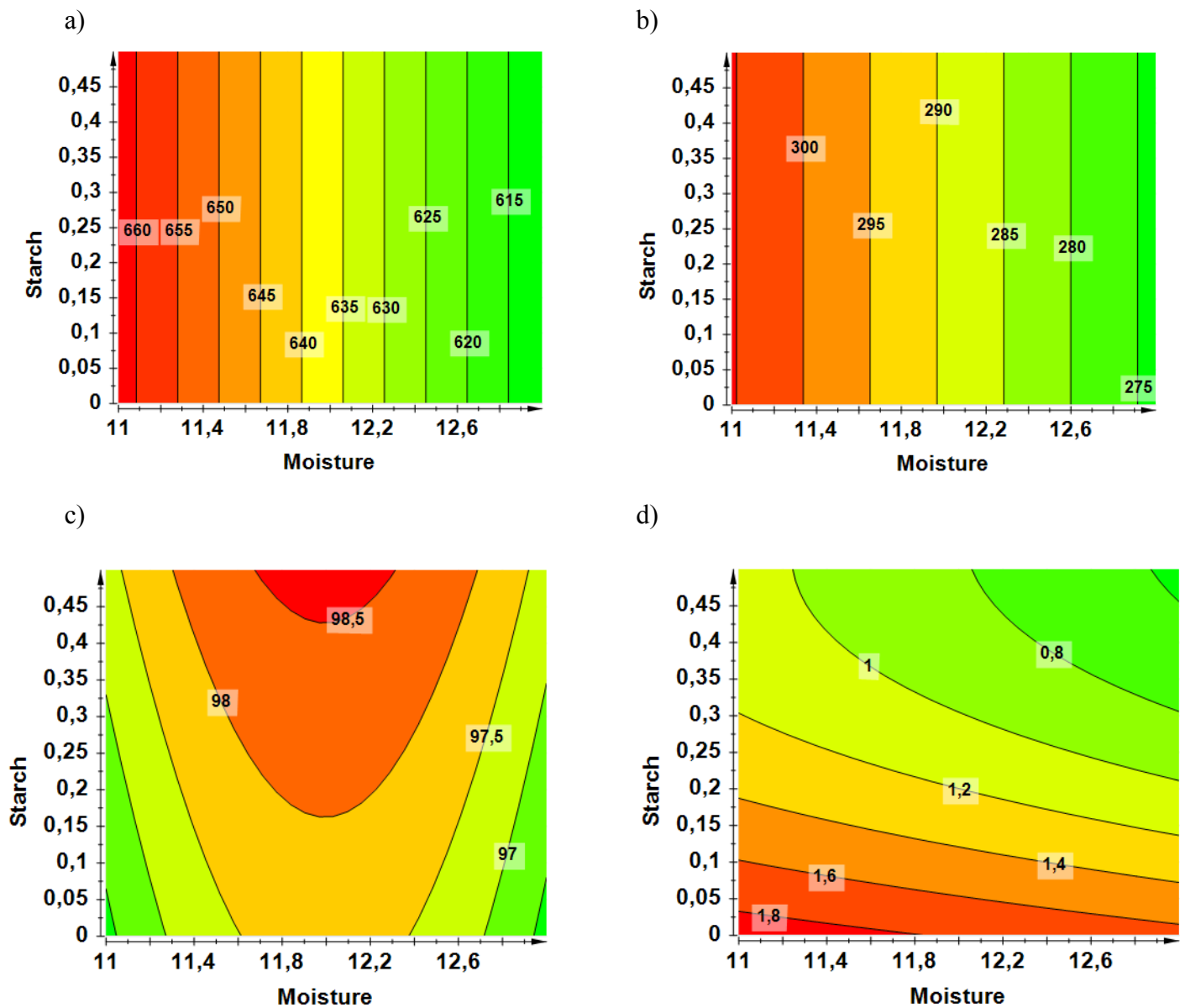
**Tabell 6.** Responsvärden registrerade vid tillsats av Solbind 35.

| Exp Nr  | Additiv    | Fukthalt spån (%) | Tillsatt additiv (%) | Bulkdensitet (kg/m <sup>3</sup> ) | Hållfasthet (%) | Finfraktion (%) | Ström (A) |
|---------|------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| SB35-1  | Solbind 35 | 12,89             | 0                    | 611                               | 96,6            | 1,67            | 272       |
| SB35-2  | Solbind 35 | 12,14             | 0,25                 | 628                               | 98,6            | 1,02            | 284       |
| SB35-3  | Solbind 35 | 12,15             | 0,5                  | 619                               | 98,8            | 0,76            | 290       |
| SB35-4  | Solbind 35 | 12,17             | 0,25                 | 628                               | 98,5            | 1,09            | 284       |
| SB35-5  | Solbind 35 | 12,08             | 0                    | 636                               | 97,7            | 1,77            | 288       |
| SB35-6  | Solbind 35 | 11,84             | 0,25                 | 644                               | 97,6            | 1,12            | 289       |
| SB35-7  | Solbind 35 | 12,01             | 0,5                  | 639                               | 97,9            | 0,83            | 289       |
| SB35-8  | Solbind 35 | 12,47             | 0,25                 | 640                               | 97,6            | 1,03            | 288       |
| SB35-9  | Solbind 35 | 10,89             | 0                    | 668                               | 95,8            | 1,92            | 306       |
| SB35-10 | Solbind 35 | 11,60             | 0,25                 | 649                               | 98,2            | 1,18            | 302       |
| SB35-11 | Solbind 35 | 11,00             | 0,5                  | 659                               | 97,6            | 1,06            | 304       |

**Tabell 7.** Förklaringsgrad,  $R^2$  och prediktionsförmåga,  $Q^2$ , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med Solbind 35 i spån.

|       | Solbind 35 |       |      |       |
|-------|------------|-------|------|-------|
|       | Bulk       | Hållf | Finf | Ström |
| $R^2$ | 0,82       | 0,81  | 0,99 | 0,87  |
| $Q^2$ | 0,74       | 0,57  | 0,99 | 0,81  |

Figur 3 visar responsytorna för de olika responsfaktorerna vid inblandning av Solbind 35 i spån. För Solbind 35 är fukthalten den enda parameter som bestämmer bulkdensitet och presström, med de högsta värdena vid en låg fukthalt. Vad gäller hållfastheten vid inblandning av Solbind 35 är responsytan inte alls den man kan förvänta sig, dvs en spegelbild av responskurvan för finfraktionen. Orsaken till den konstiga responsytan för hållfasthet vid tillsats av Solbind 35 är troligtvis den dåliga modellen som beror på att de två högre fukthalterna i designen överlappar varandra, och att en stor spridning mellan proverna i varje delförsök erhöles vid bestämning av hållfasthet. Dessutom är nivån på tillsatserna osäker eftersom doseraren inte fungerade optimalt. För finfraktionen blev resultatet som förväntat med låg finfraktion vid hög additivtillsats och hög fukthalt. Minskningen på 1.3 % finfraktion vid tillsats av 0.5 % Solbind 35 och en ökning av spånfukthalten från 11 till 13 % motsvarar en produktionsökning på ca 1 ton/dygn och pelletspress.



**Figur 3.** Responssytor för olika responsfaktorer vid tillsats av Solbind 35 i spån.  
a) Bulkdensitet; b) Presström; c) Mekanisk hållfasthet; d) Finfraktion

Tabell 8 sammanfattar resultaten från pelleteringsförsöket med Solbind 790 som additiv.  
Tabell 9 sammanfattar resultatet av modelleringen av responsfaktorerna för Solbind 790.  
Mycket bra modell erhöles för finfraktion, bra modeller erhöles för övriga parametrar.



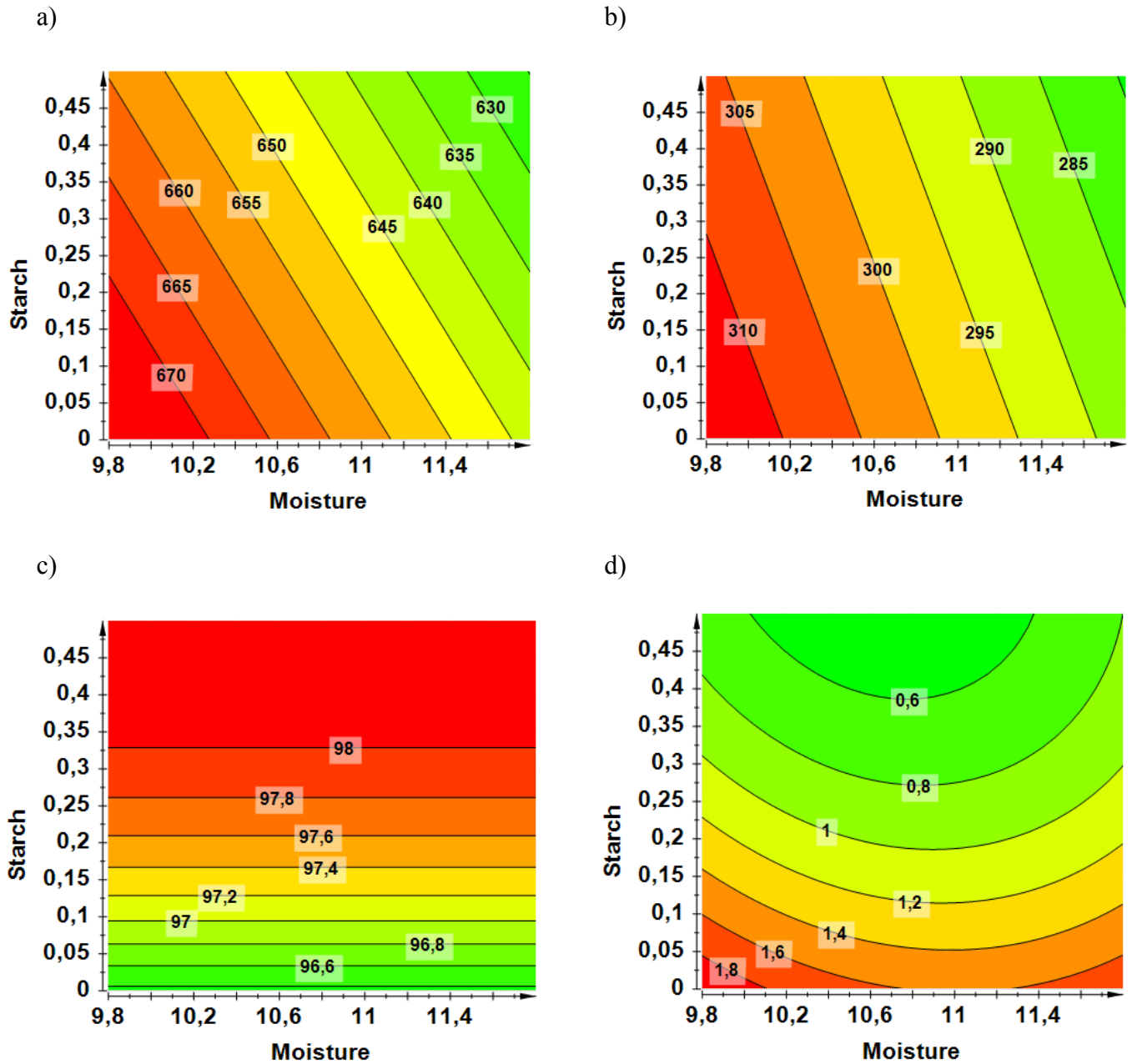
**Tabell 8.** Responsvärden registrerade vid tillsats av Solbind 790.

| Exp Nr   | Additiv     | Fukthalt spån (%) | Tillsatt additiv (%) | Bulkdensitet (kg/m <sup>3</sup> ) | Hållfasthet (%) | Finfraktion (%) | Ström (A) |
|----------|-------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| SB170-1  | Solbind 790 | 11,45             | 0                    | 649                               | 96,7            | 1,61            | 291       |
| SB170-2  | Solbind 790 | 11,46             | 0,25                 | 632                               | 97,4            | 1,04            | 284       |
| SB170-3  | Solbind 790 | 11,49             | 0,5                  | 620                               | 98,1            | 0,67            | 282       |
| SB170-4  | Solbind 790 | 11,75             | 0,25                 | 633                               | 97,7            | 1,02            | 289       |
| SB170-5  | Solbind 790 | 11,21             | 0                    | 656                               | 96,4            | 1,61            | 302       |
| SB170-6  | Solbind 790 | 11,13             | 0,25                 | 651                               | 97,6            | 0,88            | 293       |
| SB170-7  | Solbind 790 | 11,32             | 0,5                  | 642                               | 98,4            | 0,54            | 285       |
| SB170-8  | Solbind 790 | 11,27             | 0,25                 | 651                               | 97,9            | 0,85            | 289       |
| SB170-9  | Solbind 790 | 9,79              | 0                    | 676                               | 96,0            | 1,99            | 310       |
| SB170-10 | Solbind 790 | 10,07             | 0,25                 | 662                               | 98,2            | 0,98            | 310       |
| SB170-11 | Solbind 790 | 9,80              | 0,5                  | 660                               | 98,1            | 0,71            | 308       |

**Tabell 9.** Förklaringsgrad,  $R^2$  och prediktionsförmåga,  $Q^2$ , för modellering av responsfaktorer vid pelleteringsförsök med Solbind 790 i spån.

|       | Solbind 790 |       |      |       |
|-------|-------------|-------|------|-------|
|       | Bulk        | Hållf | Finf | Ström |
| $R^2$ | 0,86        | 0,90  | 0,99 | 0,90  |
| $Q^2$ | 0,76        | 0,81  | 0,94 | 0,78  |

Figur 4 visar responsytorna för de olika responsfaktorerna vid inblandning av Solbind 790 i spån. Fukthalten är den dominerande parameter som bestämmer bulkdensitet och presström vid inblandning av Solbind 790 i spån, med de högsta värdena vid en låg fukthalt, men även additivtillsatsen har en betydande effekt med minskad energiåtgång vid ökade tillsatser. Minskningen i energiåtgång motsvarar ca 3 % vid optimal fukthalt och en tillsats på 0.5 %. Inblandning av Solbind 790 medför en stor förbättring av både hållfasthet och finfraktion. Fukthalten har i dessa fall ingen eller liten betydelse för kvaliteten. Mekaniska hållfastheten ökar med 1.8 % och minskningen i finfraktion på 1.1 % motsvarar i detta fall ca 0.8 ton/dygn och pelletspress.



**Figur 4.** Responssytor för olika responsfaktorer vid tillsats av Solbind 790 i spån.  
a) Bulkdensitet; b) Presström; c) Mekanisk hållfasthet; d) Finfraktion

## Slutsats

Fukthalten på spånet är den faktor som huvudsakligen bestämmer bulkdensiteten hos pelletsen och energiåtgången vid pelleteringen, medan den har betydligt mindre inverkan på mekanisk hållfasthet och finfraktion direkt efter pressen.

Försöket har dessutom visat att samtliga undersökta additiv har en positiv inverkan på pellets kvaliteten vid inblandning mellan 0-1 %. Detta gäller framförallt den mekaniska hållfastheten och finfraktionen.

För energiåtgången vid pelleteringen så erhöles olika resultat för de olika additiven.

Lignobond och Solbind 790 uppvisade en tydlig minskning av presströmmen vid tillsats av additivet vid konstant fukthalt, medan tillsats av Solbind 35 och Pelltech medförde oförändrad presström respektive ökning av energiåtgången. Om man däremot tar hänsyn till att de båda ligninmaterialen har olika optimal fukthalt med avseende på pellets kvaliteten, så får man ett omvänt förhållande vad avser energiåtgången, d v s Lignobond ger upphov till en något ökad energiåtgång och Pelltech en något minskad.

Tabell 10, som sammanfattar resultaten, visar optimal fukthalt hos konditionerat spån, förändrad energiåtgång, förbättrad kvalitet och beräknad produktionsökning vid tillsats 0.5 % av respektive additiv i kombination med justering till optimal fukthalt på det konditionerade spånet. En spånfukthalt på 11 % har använts som utgångsvärde vid beräkningarna. Som sagts tidigare är tillsatserna av stärkelsematerialen osäkra på grund av en dåligt fungerande doserare och effekten av dessa additiv är därför något överskattade.

*Tabell 10. Optimal fukthalt på konditionerat spån, förändrad energiåtgång, förbättrad kvalitet samt uppskattad produktionsökning vid 0.5 % tillsats av respektive additiv i kombination med justering till optimal fukthalt på det konditionerade spånet.*

| <b>Additiv</b>     | <b>Optimal fukthalt (%)</b> | <b>Förändrad energiåtgång (Rel. %)</b> | <b>Ökad hållfasthet (Abs. %)</b> | <b>Minskad finfraktion (Abs. %)</b> | <b>Ökad produktion (ton/dygn och press)</b> |
|--------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>Lignobond</b>   | 10                          | +1                                     | 0.7                              | 0.5                                 | 0.4   |
| <b>Pelltech</b>    | 12                          | -1                                     | 2.0                              | 1.3                                 | 1.0   |
| <b>Solbind 35</b>  | 13                          | 0                                      | -                                | 1.3                                 | 1.0   |
| <b>Solbind 790</b> | 11                          | -3                                     | 1.8                              | 1.1                                 | 0.8   |

## Referenser

1. Lestander T., Samuelsson R., Finell M., Arshadi M., Gref R. och Örberg H (2011). Pellets – ett växande bibränsle. Sammanfattande rapport från Pelletsplattformen 2007-2011. SLU BTK Rapport 2011:1, sid. 62-63.