

Inblandning av lövved och rötskadad granved i råvarumixen vid Lantmännen Agroenergis pelletsfabrik i Malmbäck

**Bulkdensitet och hållfasthet
Fett- och hartssyrasammansättning
NIR-online för processkontroll**

**Mehrdad Arshadi
Torbjörn Lestander
Robert Samuelsson
Michael Finell**

**Pelletsplattformen
BTK-Rapport 2009:1**

SLU

Biomassateknologi och Kemi (BTK)



Innehåll

Innehåll.....	2
Förord.....	3
Sammanfattning	4
Inledning.....	5
Material och metoder.....	6
Designens upplägg	6
Råvaran.....	6
Pelletsprover.....	7
Analysmetoder	7
NIR-analyser utförda på SLU BTK:s laboratorium	7
Online NIR i skruv innan press	7
Trädslagsblandning	7
Resultat och diskussion.....	8
Korrelation mellan processparametrar och responser	8
Metallinnehåll och askegenskaper	9
Oxidation av fett- och hartssyror.....	10
Nyproducerade pellets.....	10
Fukthalten i färsk pellets och lagrade pellets	11
Temperaturen i pelletsstackar.....	12
Fett- och hartssyrornas förändring i lagrade pellets	13
Emissionsstudier.....	13
NIR-analyser utförda på SLU BTK:s laboratorium	15
NIR-modell för fukthalt	15
NIR-modell för hållfasthet	16
NIR-modell för bulkdensitet	16
Online NIR i skruv innan press	17
Trädslagsblandning	18

Förord

Detta försök genomfördes och finansierades inom ramen för Pelletsplattformen, ett industriforskningsprogram i samarbete mellan pelletsindustrin och enheten för Biomassateknologi och kemi vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Finansiärer var Energimyndigheten (STEM), Pelletsindustrins Riksförbund (PiR) och SLU.

Lantmännen Agroenergi i Malmbäck levererade allt råmaterial till försöket och ställde upp med personal och utrustning vid genomförandet. På grund av försökets omfattning och de ekonomiska och tekniska riskerna som fanns, genomfördes ett förberedande försök några veckor innan vid försökspiloten Biobränsletekniskt Centrum (BTC) i Umeå.

Då försöket utfördes vid BTC under mer kontrollerade former gavs en högre flexibilitet med större variationsmöjligheter i försöksdesignen, än om försöket utförts i industriell skala. Resultaten från BTC-försöket redovisats i en separat rapport. Utifrån de uppnådda resultaten vid BTC planerades ett optimeringsförsök vid Malmbäckes fabrik.

Stort tack till Kjell Skiöld och Ingemar Klaesson på Lantmännen Agroenergi som ställde upp och aktivt deltog i alla diskussioner, informerade personalen i tidigt stadium och möjliggjorde detta genom att stödja och visa grönt ljus för försöket. Stort tack också till all personal vid Malmbäckesfabriken som visade ett stort engagemang och visade tålamod vid genomförandet.

Umeå den 23 februari 2009

Sammanfattning

Råvarublandningar mellan lövved, rötskadad granved och granspån gav pellets av god kvalitet, därmed uppnåddes huvudsyftet med försöket. Försöket visade att alla blandningar hade goda pelleteringsegenskaper. Fukthalten i råvaran var den viktigaste parametern för pellets-kvalitet (hållfasthet, bulkdensitet). Fett- och hartsyrahalten var förväntat låg med de råvarublandningar som användes och förändrades inte nämnvärt under lagringen upp till fyra veckor. Ingen nämnvärd temperaturstegring eller fuktabsorption detekterades vid lagring. Detta tyder på hög lagringsstabilitet.

I relation till det föregående responsrecept-försöket vid SLU BTC visade det sig att den ingående fukthalten påverkade pelletsegenskaperna på olika sätt. I BTC-försöket minskade fukthalten med ca 2 % i pressningen. I fullskaleförsöket var motsvarande fukthaltminskning ca 4 %.

Den högsta hållfastheten erhöles vid den högre fukthalten motsvarande ca 12 % i ingående material och 8 % i utgående pellets. BTC-försöket visade omvänd korrelation beroende på högre slutfukthalt i pellets. I BTC försöket ingick dock 0-20 % kutterspån som kan ha påverkat resultatet. Sammantaget indikerar detta att optimum på 98,5 % för hållfasthet uppnås vid ca 12 % fukthalt på det ingående materialet före ångkonditionering. Högre ingående fukthalt än detta riskerar sänka bulkdensiteten under 650 kg. Råvarublandningen hade ingen signifikant effekt på pellets-kvaliteten.

Asksmälttemperaturerna låg på över 1550 °C och askhalten var mindre än 0,8 % för alla råvarublandningar.

NIR on-line visade på god prediktionsförmåga av: (1) trädslagsfördelning i de fall rötved och/eller lövved blandas in i den spånblandning som normalt används, (2) pelletsråvarans fukthalt innan press, (3) pellets-kvalitet (bulkdensitet och hållfasthet).

Inledning

Nya råvaror såsom rötskadad ved och lövved kommer med stor sannolikhet att användas i pelletsindustrin inom en snar framtid. Detta ställer krav på pelleteringsprocessen för att tillfredsställa kvaliteten på producerad pellets.

Rötskadad ved skiljer sig i kemiskt och fysikaliskt i avseende från frisk ved. Rötningen innebär bl.a. att vedens kemiska sammansättning förändras då cellulosa, hemicellulosa, lignin och extraktivännen nedbryts i större eller mindre grad. Detta påverkar fuktupptag och torkning av råvaran vilket kan ha stor betydelse i pelleteringsprocessen. Rötskadad ved uppför sig troligtvis också annorlunda än frisk ved i matrisen vid pelleteringen vilket kan påverka hållfastheten och lagringsegenskaperna för producerad pellets.

Lövved skiljer sig också anatomiskt och kemiskt från barrved vilket gör att processparametrarna måste justeras. Hållfasthet hos pellets påverkas av fysikaliska och kemiska egenskaper hos råvaran.

Det är ytterst viktigt att undersöka hur inblandning av rötskadad ved och/eller lövved påverkar pelleteringsprocessen och pellets kvalitet och hur stor andel av dessa råvaror som kan blandas i råvaran utan att slutproduktens egenskaper förändras negativt.

Pelletsproduktionen pågår året runt och pellets lagras oftast flera månader. Bränslepellets framställs i Sverige främst från gran- och tallspån. Då råvaran innehåller betydande mängder av lättnedbrytbara (oxiderbara) extraktivännen främst fett- och hartssyror kan man förvänta sig att den kemiska sammansättningen modifieras i pelleteringsprocessen och vid efterföljande lagring. Detta har uppmärksamats främst i form av självuppvärmning i pellets lager och i emissioner av kolmonoxid och koldioxid och illaluktande organiska föreningar.

Då det noterats att råvaran tycks ha en avgörande inverkan i pelleteringsprocessen är det av det ovan sagda helt naturligt att försöka korrelera benägenheten för självuppvärmning och emission av flyktiga komponenter till råvarans komposition. Detta gäller i synnerhet pellets eftersom dessa är tillverkade av olika råvaror med varierande kemisk sammansättning.

Industriprojektets syfte var att undersöka om det skulle vara möjligt att blanda in rötskadad obarkad gran samt lövvedsflis i sågspånet som normalt används som råvara vid pelletstillverkningen.

På så sätt kunde man främja en mer hållbar utveckling genom att effektivt utnyttja all tillgänglig skogsråvara. Vidare ville man ställa in och optimera processparametrarna för hög pellets kvalitet och bra lagringsegenskaper. Undersökningen var ett fullskaligt optimeringsförsök som genomfördes vid Lantmännens fabrik i Malmbäck.

Under försökets gång användes online NIR - teknik för att verifiera hur NIR spektroskopi kan användas i processtyrningen (t.ex. bestämning av fukthalt) vid pelletstillverkningen. Dessutom ville man undersöka hur pellets kvaliteten korrelerar med råvaras sammansättning och med processparametrarna.

Material och metoder

Designens upplägg

Den utvalda designen i försöket (se tabell 1) är en D-optimal design med fyra faktorer (en processparameter och tre blandningar) utlagda på flera nivåer. D-optimal design är en dator-genererad design vilket ger större flexibilitet och gör det möjligt att genomföra försök med färre experiment än med en full faktoriell design. I designen ingår även ett antal försök (centrumpunkter) som upprepas för att ge ett mått på spridningen i metoden. I detta fall valdes process- och blandningsfaktorerna i samråd med personalen vid fabriken. De använda faktorerna och nivåerna framgår av tabell 1. De värden som anges för blandningsmixarna är målvärden och det är troligt att man under försöken avviker något från dessa. Tabellen anger även de fukthalter som uppnåddes i försöket, vilka avviker något från de värden som vi hade planerat i designen. Dessa mättes på det torkade spånet efter NIR-instrumentet men före ångkonditioneringen

Störningar är naturligtvis inte önskvärda och kan sannolikt ha inverkat på utvärderingen av designen och påverkat resultaten. De verkliga värdena på fukthalten användes vid utvärderingen av designen.

Tabell 1. Schema för den försöksdesign som använts i Malmbäck

Försök	Önskad fukthalt (%)	Uppnådd Fukthalt (%)	Rötskadad ved (%)	Lövved (%)	Sågspån (%)
1	10,5	10,55	25,0	10,0	65,0
2	9	9,03	0,0	0,0	100,0
3	9	8,77	50,0	0,0	50,0
4	9	8,54	0,0	20,0	80,0
5	9	8,48	50,0	20,0	30,0
6	9	9,00	0,0	13,3	86,7
7	9	7,89	16,7	0,0	83,3
8	9	9,66	33,3	20,0	46,7
9	10,5	9,85	25,0	10,0	65,0
10	12	12,73	0,0	0,0	100,0
11	12	10,96	50,0	0,0	50,0
12	12	12,51	0,0	20,0	80,0
13	12	9,54	50,0	20,0	30,0
14	12	12,76	0,0	13,3	86,7
15	12	11,8	50,0	6,7	43,3
16	12	12,07	16,7	20,0	63,3
17	10,5	11,01	25,0	10,0	65,0

Råvaran

Råvaran som användes vid experimentet utgjordes av granspån, rötskadad granflis och lövvedsflis (mestadels björk men det kunde finnas små mängder av andra lövträd såsom asp). Råvaran anskaffades av Lantmännen Agroenergi AB i Malmbäck innan försöket startades. Samma typ av material hade tidigare används vid ett screeningsförsök vid BTC i Umeå i januari 2008 där även kutterspån ingick. Spånmixarna blandades i förväg enligt tabell 1 med hjälp av traktor.

Pelletsprover

Pellets framställda med inställning för försök nummer 1-8 samt 15 och 16 (tabell 1) lagrades i 10 separata högar (stackarna Ma01-Ma08, Ma 15, Ma16) under tak i ett relativt stort lagringsutrymme vid fabriken under ca 4 veckor. Varje stack innehöll ca 10 ton pellets. Stora stackar behövdes för att kunna följa upp lagring av olika pellets under realistiska lagringsförhållanden. Varje stack benämndes med bokstaven Ma och ett nummer som är samma som körordningens nummer, med andra ord Ma1 till och med Ma8, samt Ma15, Ma16. Prover som togs efter två respektive fyra veckors lagring benämndes Ma1-2 till Ma8-2 samt Ma15-2 och Ma16-2 respektive Ma1-4 till Ma8-4 samt Ma15-4 och Ma 16-4. En temperaturlogger placerades i varje hög (totalt 10 stycken) och temperaturen i stackarna registrerades en gång per timme under hela försöket. Prover togs från varje pelletshög två gånger och proverna förvarades i förslutna plastpåsar och skickades omedelbart till SLU för kemiska och fysikaliska analyser. Alla prover förvarades i kylrum (ca 1°C) fram till analys. Proverna insamlades under perioden 3: e april till och med 2 maj, 2008.

Analysmetoder

Flera olika viktiga parametrar (responser) registrerades eller mättes under försökets gång. Dessa responser användes i designen som svar på variationen hos faktorerna. Dessa responser var fukthalt i pellets, hållfasthet, finfraktion respektive bulkdensitet hos pelletsen, NIR-data, temperatur i pelletshögar, fett- och hartssyror i pellets samt CO respektive CO₂ emissioner. Fukthalten i råvara respektive kall pellets bestämdes med hjälp av SIS-CEN/TS 14774-1:2004. Hållfasthet och bulkdensitet bestämdes med hjälp av SIS-CEN/TS 15210-1:2006, respektive SIS-CEN/TS 15103:2006. Finfraktion bestämdes genom manuell sållning av pelletsen med ett 3mm såll. Analys av extraktivämnen, fettsyror och hartssyror gjordes enligt standardmetod. CO respektive CO₂ emissioner mättes på labb med hjälp av Gas Probe IAQ Indoor air quality monitor i speciella gastäta behållare. Temperatur i pelletshögar registrerades med hjälp av temperaturloggers av modell Tinytag Plus 2, Gemini data loggers, range -40 till +125°C). Multivariata dataanalyser utfördes med hjälp av MODDE, version 8.0.0.0 och SIMCA-P, version 11.0.

NIR-analyser utförda på SLU BTK:s laboratorium

Labbstudier med det torkade och malda spånet som samlades in vid NIR-instrumentet, dvs. i fallet ner mot skruven till Bühlerpressen och innan ånga tillsattes. Labbanalyserna gjordes vid SLU Biomassateknologi och kemi, Umeå.

Online NIR i skruv innan press

På grund av att den datakabel mellan NIR-instrumentet och dator inte fungerade som den skulle kunde tyvärr inte en fukthaltsmodell läggas på monitor i ett av kontrollrummen. Detta medförde att provtagningen intensifierades för att styra mot rätt fukthalt för de olika delexperimenten. En felaktig fillagring innebar att data saknades för de 5 första experimenten.

Trädslagsblandning

Enligt försökets design varierade rötved mellan 0-50%, lövved mellan 0-20% och den normalt använda spånblandningen från 30-100%. Ifall misstag görs vid tillredningen av de olika blandningarna är detta svårt att upptäcka. Tidigare NIR-studier har visat att denna metod kan användas för att med relativt god säkerhet skilja mellan andelen av olika vedråvaror i en blandning. Två modeller för trädslagsblandning gjordes. En baserad på analyser i laboratorium av insamlade prover strax innan Bühlerpressen i Malmbäck. Den andra baserades på on-line NIR-data ca 10 sekunder uppströms där proverna samlades in.

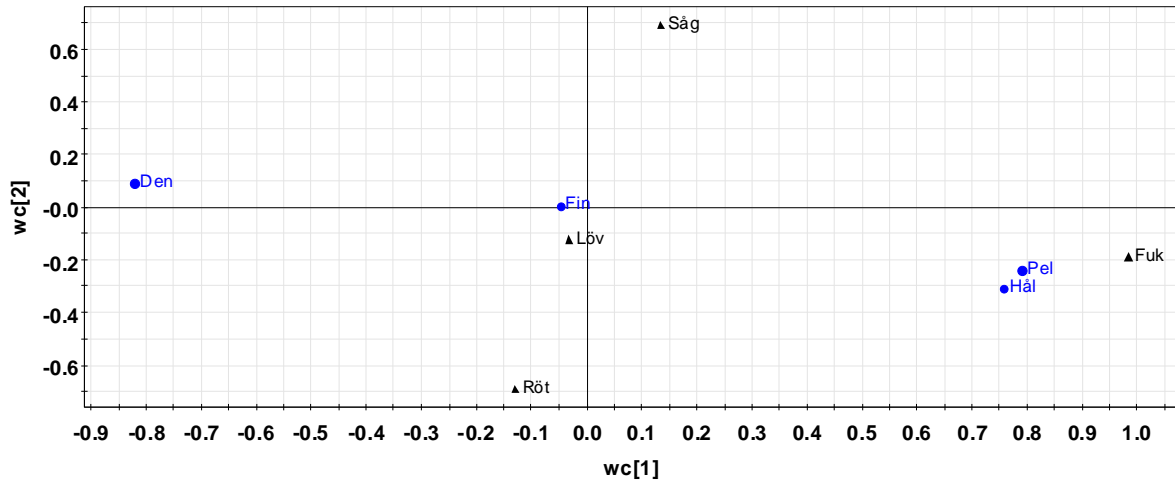
Resultat och diskussion

Korrelation mellan processparametrar och responser

Tabell 2 sammanfattar resultaten från de olika delförsöken. Figur 1 visar översiktligt hur faktorerna (processparametrar) påverkar de uppmätta responserna (kvalitetsparametrar). De parametrar som ligger nära varandra har en direkt korrelation, d v s de påverkar varandra i samma riktning medan de parametrar som är på motsatt håll har en negativ effekt på varandra. I detta fall ger en hög fukthalt hos råmaterialet bättre hållfasthet men lägre bulkdensitet. Figur 2 visar effekterna av de olika faktorerna på responsfaktorerna bulkdensitet, hållfasthet och pelletsfukthalt. Om stapeln är positiv har faktorn en positiv effekt på responsen och vice versa. Dessutom visar figuren ifall effekten är signifikant eller inte. I samtliga fall är det bara fukthalten på råvaran som har en signifikant effekt på pellets kvaliteten. Ingen signifikant effekt noterades för finfraktionen.

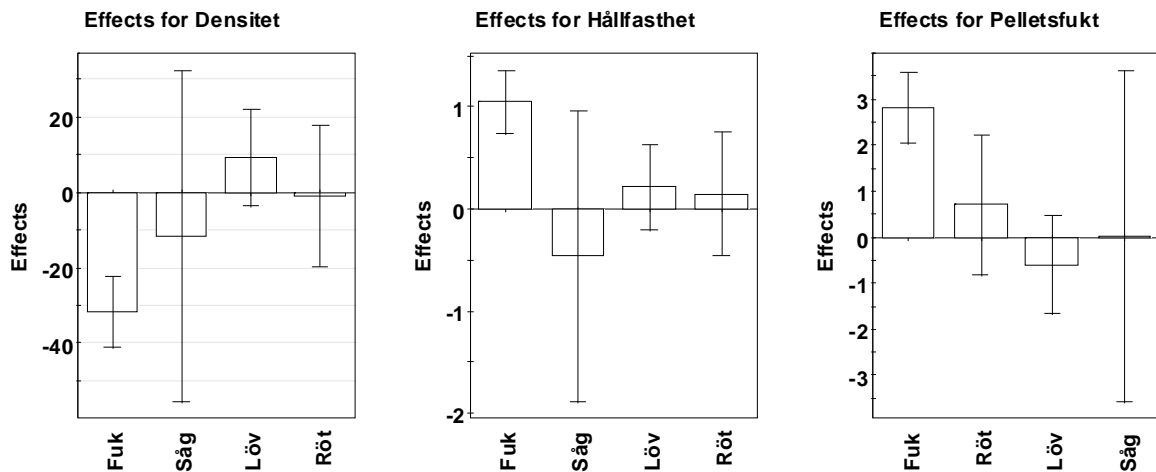
Tabell 2. Responsvärden registrerade vid respektive delförsök.

Försök	Fukthalt (%)	Rötved (andel)	Lövved (andel)	Sågspån (andel)	Bulkdensitet (kg/m ³)	Hållfasthet (%)	Finmaterial (%)
1	10,55	0,25	0,10	0,65	682	97,9	1,34
2	9,03	0,00	0,00	1,00	689	96,9	0,17
3	8,77	0,50	0,00	0,50	707	96,7	0,09
4	8,54	0,00	0,20	0,80	707	97,4	0,26
5	8,48	0,50	0,20	0,30	714	97,1	0,40
6	9,00	0,00	0,13	0,87	693	97,2	0,29
7	7,89	0,17	0,00	0,83	705	96,7	0,32
8	9,66	0,33	0,20	0,47	701	97,1	0,35
9	9,85	0,25	0,10	0,65	700	97,5	0,28
10	12,73	0,00	0,00	1,00	644	98,3	0,20
11	10,96	0,50	0,00	0,50	676	98,4	0,18
12	12,51	0,00	0,20	0,80	669	98,5	0,18
13	9,54	0,50	0,20	0,30	688	98,1	0,15
14	12,76	0,00	0,13	0,87	680	98,1	0,18
15	11,80	0,50	0,07	0,43	665	98,1	0,04
16	12,07	0,17	0,20	0,63	662	98,3	0,14
17	11,01	0,25	0,10	0,65	667	98,1	0,88



MODDE 8 - 2009-02-03 11:54:23

Figur 1. Översikt över korrelationen mellan faktorer och responser. Fuk: fukthalt hos råvara; Röt: andelen rötskadad ved; Löv: andelen lövved; Såg: andelen sågspån; Den: bulkdensitet; Hål: hållfasthet; Fin: finfraktion; Pel: pelletsfukthalt.



MODDE 8 - 2009-02-03 11:59:34

Figur 2. Effekter av de olika faktorerna på respektive responsparemeter. Fuk: fukthalt hos råvara; Röt: andelen rötskadad ved; Löv: andelen lövved; Såg: andelen sågspån.

Resultaten från pelleteringsförsöken har visat att råvarublandningar med sågspån, rötved och lövved ger bra pelleteringsegenskaper och god pellets kvalitet. Den enda faktor som har signifikant betydelse för de studerade råvarumixarna är fukthalten hos råmaterialet. Vad gäller bulkdensiteten så uppfylls kvalitetskraven ($>625 \text{ kg/m}^3$) för samtliga fukthalter i studien. För hållfastheten däremot skall fukthalten ligga i den övre delen av det studerade intervallet, d v s 12 %, för att uppnå en hållfasthet $>97,5 \%$. Detta ger en fukthalt i den producerade pelletsen på ca 8 %, vilket verkar vara en optimal fukthalt för hållfastheten i träpellets. Liknande resultat har erhållits i tidigare försök.

Metallinnehåll och askegenskaper

Metallinnehåll, askhalt samt asksmälttemperatur för pellets från försök 2-5 analyserades. För samtliga prover erhöles asksmälttemperaturer $>1550 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket kan förklaras av ett stort överskott av kalcium i förhållande till kisel och fosfor. Askhalten var $<0,8 \%$.

Oxidation av fett- och hartssyror

Fettsyror omvandlas till aldehyder med varierande antal kolatomer. Vilka aldehyder som bildas beror på vilka fettsyror som ingår i pelletsråvaran. Dessa aldehyder kan i sin tur oxideras vidare till karboxylsyror, t ex hexanal till hexansyra. Vid dessa reaktioner genereras värme och medföljande försämrade pellets kvalitet, bland annat fuktvandring i pelletshögar, utveckling av en stark lukt som kan uppfattas obehaglig av konsumenter, ökad brandrisk, sämre hållfasthet.

Oxidation av lipider i pellets kan initieras redan vid tillverkningen och fortsätta under lagringstiden med varierande hastighet beroende på variation i processparametrar vid tillverkning. Därför var det nödvändigt att analysera pelletsprover som var tillverkade vid denna studie för att kunna se om det skulle finnas några samband mellan råvarusammansättning och övriga processparametrar och mängd fett- och hartssyror i respektive pellets.

Nyproducerade pellets

Det finns olika fett- och hartssyror av varierande koncentration i varje pelletsprov. Den totala mängden fett- och hartssyror i pellets direkt efter produktion (färska pellets) för alla 17 stackarna samt lagrade efter två respektive fyra veckor för 10 valda lagrade stackar visas i tabell 3. Totalt 10 försök lagrades på grund av brist på tillräckligt material för lagring av alla försök och brist på lagringsutrymme på fabriken.

Tabell 3. Fett- och hartssyror och pellets fukthalt för färska samt lagrade pellets.

Försök	Fett- och hartssyror (mg/kg)	Fett- och hartssyror (mg/kg)	Fett- och hartssyror (mg/kg)	Pellets-fukthalt (%)	Pellets-fukthalt (%)	Pellets-fukthalt (%)
	Färska pellets	2 veckors lagring	4 veckors lagring	Färska pellets	2 veckors lagring	4 veckors lagring
1	1353	1019	750	6,53	7,07	8,01
2	688	691	347	5,85	5,39	6,00
3	715	878	398	4,81	4,95	5,24
4	646	1045	757	4,67	5,20	5,14
5	977	1425	1013	4,28	4,64	4,68
6	1115	813	969	4,78	5,08	5,11
7	991	1075	659	4,62	4,70	5,24
8	1105	722	747	4,63	5,24	5,80
9	931	-	-	5,60	-	-
10	450	-	-	9,34	-	-
11	684	-	-	7,65	-	-
12	917	-	-	8,17	-	-
13	1034	-	-	7,55	-	-
14	1090	-	-	7,39	-	-
15	1095	1077	996	8,62	8,31	8,85
16	892	990	929	8,04	8,06	8,26
17	1084	-	-	6,98	-	-

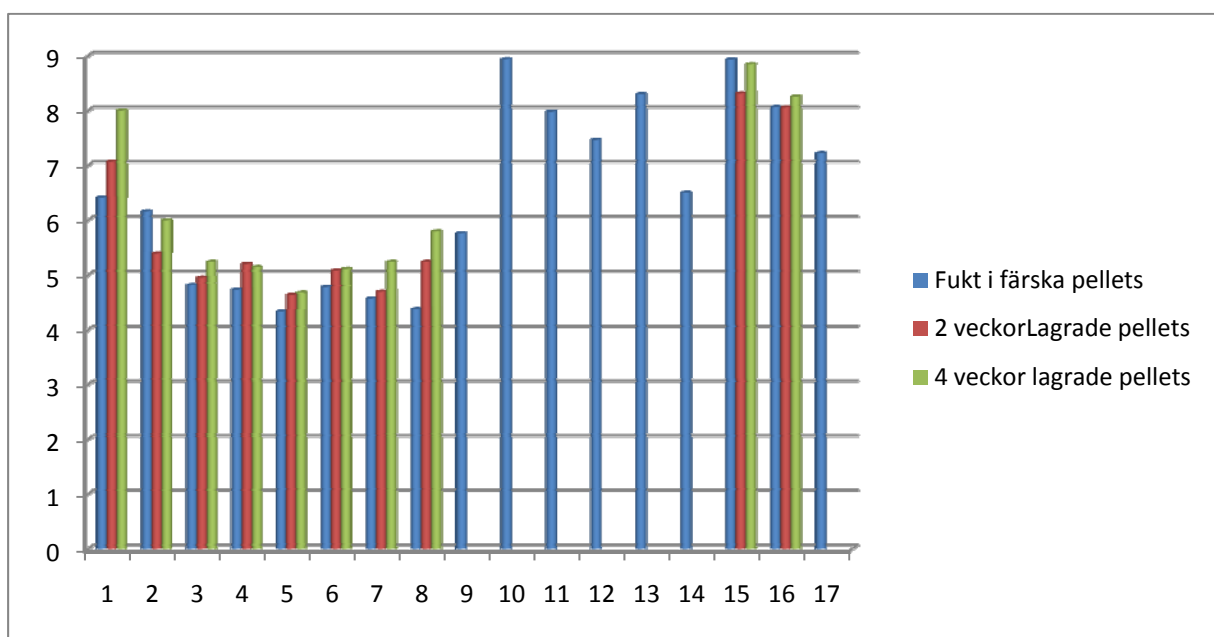
Av tabellen framgår att för färska pellets den totala halten av fett- och hartssyror högst i pelletsprov Ma1 (1353 mg/kg eller 0,14 % i pellets) och lägsta i prov Ma10 (450 mg/kg eller

0,05 %). De relativ låga värden beror på att råvaran bestod av sågspån från gran och även rötad spån var gran. Halterna av fett och hartssyror i 100 % färsk ren granspån är normalt högst ca 0,2-0,3 %. Det är svårt att se ett samband mellan de totala halterna fett- och hartser och andelen olika råvaror enligt tabell 3.

Under försöket i Malmbäck producerades flera ton pellets för varje inställning och för att kunna följa upp lagringen av dessa pellets och effekt på kvaliteten lagrades totalt ca 70 ton pellets från 10 av 17 försöken i lagringslokalen på fabriken under tak i container under totalt fyra veckor. Efter två respektive fyra veckor togs prover från respektive container och analyserades med avseende på fukthalt samt halten av fett- och hartssyror. De tio lagrade pelletsproverna var Ma1- Ma8 samt Ma15 och Ma16. Det går inte att korrelera råvarusammansättning och andelen fett- och hartssyror i lagrade prover vilket beror på inhomogenitet med avseende på råvarusammansättning i de tillverkade pelletsproverna.

Fukthalten i färsk pellets och lagrade pellets

Fukthalten i nyttillverkade och lagrade pellets tillverkade av olika råvarusammansättningar efter två respektive fyra veckor bestämdes för att utvärdera fuktupptag och temperaturstegring. Resultaten visas i figur 3.

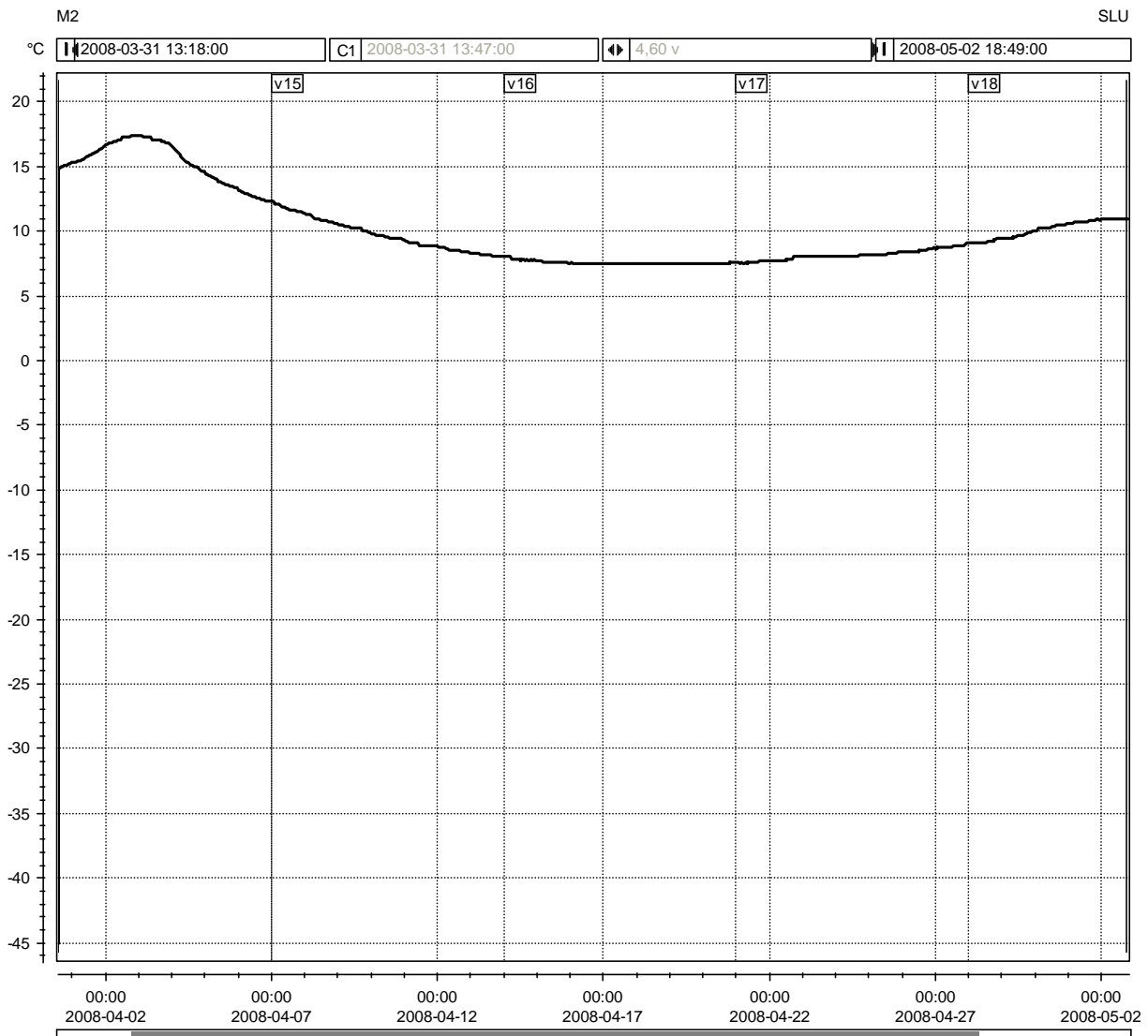


Figur 3. Fukthalten (%) i nyttillverkade samt lagrade pellets

Av figur 3 framgår att fukthalten i färsk pellets varierar mellan 4,3 och 8,9 %. Efter två veckors lagring ökar fukthalten i många fall vilket tyder på en viss fuktabsorption. Fukthalten minskade i två fall (prov Ma2 och Ma 15) efter fyra veckors lagring jämfört med färska pellets. Proverna 10-16 (förutom 14) har den högsta fukthalten vilket är naturligt eftersom de är tillverkade av spån med högre ursprungsfukthalt. Prov 14 har lägre fukthalt än den borde ha med tanke på inställningarna och kan inte förklaras. Sammanfattningsvis förekom inga större fuktabsorptioner i lagrade pellets högar.

Temperaturen i pelletsstackar

Temperaturen registrerades med hjälp av temperaturloggers med tillhörande sensor. Temperaturändringen i alla pelletsstackar registrerades kontinuerligt under lagringstiden. En temperaturlogger placerades ca en meter under toppen i varje pelletsstack och temperaturmätning skedde en gång varje timme. Figur 4 visar hur temperaturen varierar i t ex prov Ma1 under lagring.



Figur 4. Temperaturen i pellets för prov Ma 1 under lagring.

Vi hade placerat en temperaturlogger i lokalen för att kolla variationen i temperatur och fukthalt under lagringstiden. Relativa humiditeten i lokalen varierade från 16 % till 99 % och temperaturen varierade från -4 °C till +23 °C under lagringstiden (3:e april till och med 2 maj, 2008). Den stora temperatur och fukthalts variation är inte bra för lagring av pellets.

Temperaturstegringen i pelletshögarna är en indikation på oxidation av fett- och hartssyror. En granskning av resultaten från temperaturloggers visar en liten variation i temperaturen men det förekom inga tydliga temperaturstegringar i pelletsstackarna vilket tyder på att det inte skedde någon omfattande oxidation under lagringen. Detta i sin tur beror på att råvaran mesta dels bestod av granspån samt rötad (lagrad) eller färsk spån och några procent lövvedsflis. Allt tyder på att det finns låg risk för oxidation med dessa blandningar. Pellets tillverkade av

dessa råvaror kan lagras under lång tid utan oxidationsproblem. Detta bekräftas också av de resultat som vi fick av fett- och hartssyror från färska respektive lagrade pelletsprover.

Fett- och hartssyornas förändring i lagrade pellets

Pelletsprover från lagring efter två veckor respektive fyra veckor visar att mängden totala fett- och hartssyror varierar och den minskar jämfört med färska pelletsprover i några fall.

Under lagring minskar andelen fett och hartssyror i pellets i några fall men det tycks ha varit förhållandevis små förändringar. Detta kan bekräftas av att temperaturen i pelletshögarna var ganska stabila och inga större temperaturstegringar hade förekommit i de lagrade pelletsprover. Tidigare studier visade att det finns ett direkt samband mellan oxidation av fett- och hartssyror och temperaturstegring i pelletshögarna.

Försöken visar att pellets gjorda av granspån, rötd gran och en viss andel lövved kommer inte att förändras nämnvärd kemisk under en månad lagring vilket är fallet med pellets gjorda av tallspån. Eftersom luktproblemet är korrelerat till oxidation av fett- och hartssyror så kan vi dra slutsatsen att det inte förekommer luktproblem under lagring av dessa pellets.

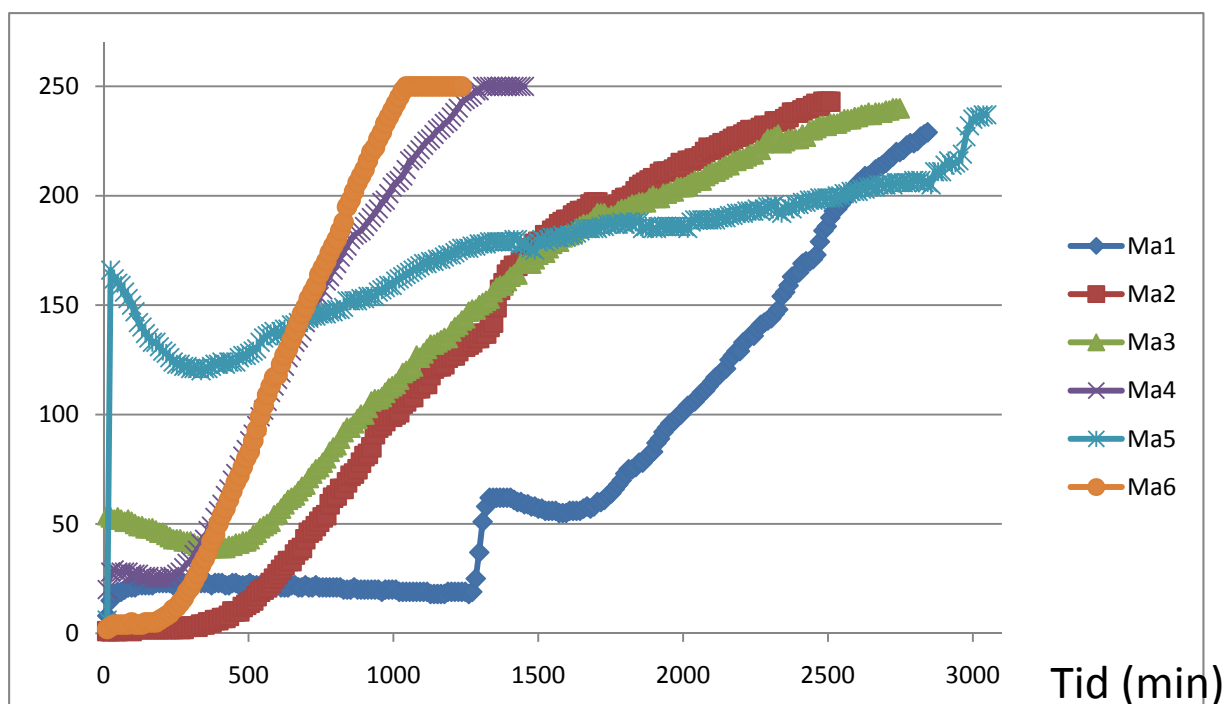
Fukthaltena varierar inte nämnvärt under lagring vilket antyder mindre fuktvandring i de lagrade pelletsprover och därigenom mindre temperaturstegring.

Sammanfattningsvis kan man säga att under lagring andelen fett och hartssyror i pellets minskar men det tycks ha varit förhållandevis små förändringar. Detta kan bekräftas av att temperaturen i pelletshögarna var ganska stabila och inga större temperaturstegringar hade förekommit i de lagrade pelletsprover. Tidigare studier visade att det finns ett direkt samband mellan oxidation av fett- och hartssyror och temperaturstegring i pelletshögarna.

Emissionsstudier

Emissioner från pellets kan orsaka problem vid lagring och transport. De gaser som frigörs med tiden är bland annat CO, CO₂ och metan. CO är giftig gas som i höga doser kan orsaka dödsfall. För ytterligare information läs Faktblad nr 1 från pelletsplattformen. Därför var det nödvändigt att kolla om dessa pelletsprover som tillverkades under olika betingelser skulle uppföra sig annorlunda än vid tidigare försök och hur mycket CO och CO₂ bildas under forcerade lagring.

Pellets tillverkade av olika råvarublandningar vid försöket (17 olika) samlades direkt i separata gastäta plastpåsar och skickades till labbet för emissionsanalyser. Alla påsar bevarades vid +2°C innan analys. 200g av var och en av dessa pellets förvarades i en gastät behållare placerad i vattenbad med konstant temperatur (55°C). Vattenbadet användes för att påskynda processen och temperaturen valdes utifrån det faktum att temperaturen i pelletslager kan uppnå 50-60°C. Proverna analyserades med avseende på kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO₂) kontinuerlig under ca 48 timmar/prov. Mängden emitterade CO och CO₂ mättes varje timme i respektive behållare och man kunde konstatera att i samtliga fall ökade mängden CO och CO₂ med tiden. Det finns en direkt korrelation mellan CO och CO₂ emissioner och de ökar oftast samtidigt. Mängden CO i normal luft är noll ppm medan CO₂ har ett normalvärde på ca 300-600 ppm (beror på luftflöde genom rummet). I vissa fall ökade mängden CO och CO₂ över instrumentets detektionsgräns (för CO 250 ppm och för CO₂ 5000 ppm) och då avbröts försöket. Figur 5 visar hur mängden emitterade CO ökar med tiden för försök nummer 1 till 6. Resten av prover (nummer 7-17) visar liknande mönster.



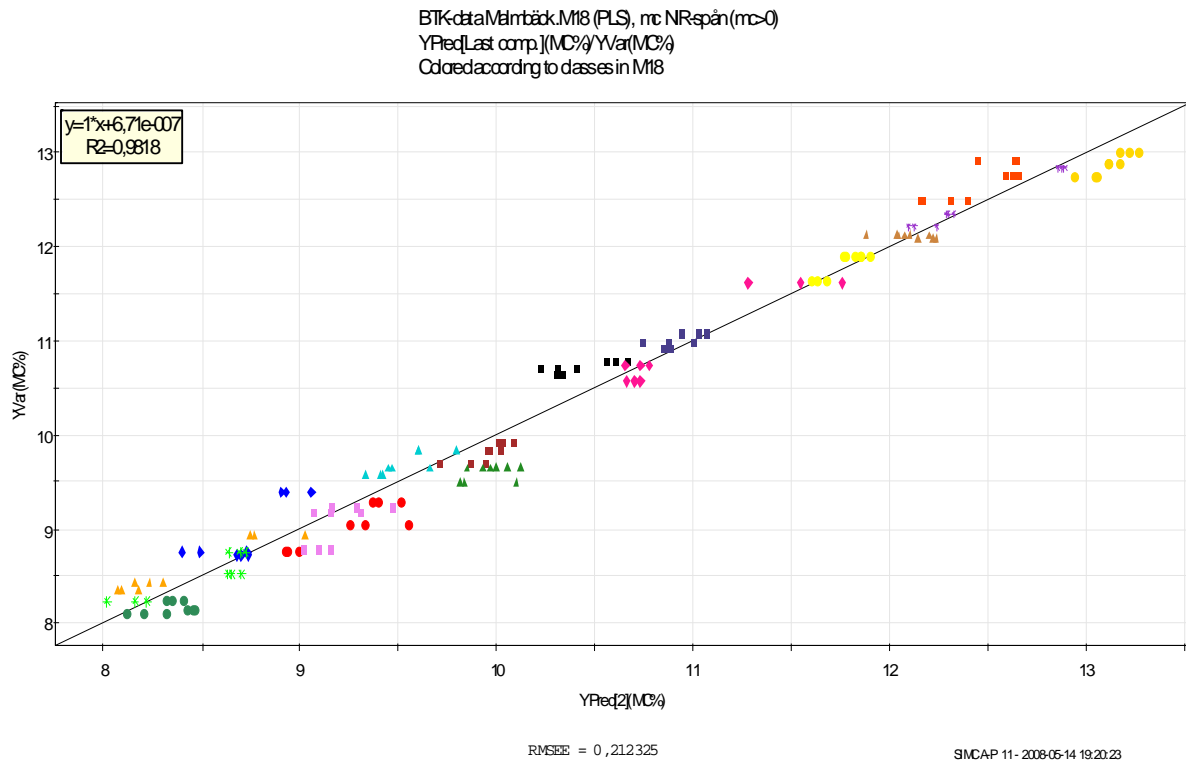
Figur 5 CO-haltens (ppm) förändring med tiden i försök nummer 1-6

Det syns tydligt att proverna är olika med avseende på hur de emitterar CO. Mängden CO når detektionsgränsen vid olika tidpunkter.

Det går inte att se ett direkt samband mellan dessa resultat och råvaruinblandningen. Resultatet visar att det skulle vara nödvändigt att vidta åtgärder vid långtids lagring eller transport även för dessa pellets trots att de innehåller låga mängder extraktiva ämnen. Med tanke på att det inte förekom en tydlig temperaturstegring i de lagrade pellets högar så borde risk för höga halter av CO eller CO₂ vara liten. Flera studier av emissioner under lagringsperioden behövs för att kunna fastställa hur mycket CO och CO₂ emitterar under olika lagringstider med olika råvarusammansättning.

NIR-analyser utförda på SLU BTK:s laboratorium

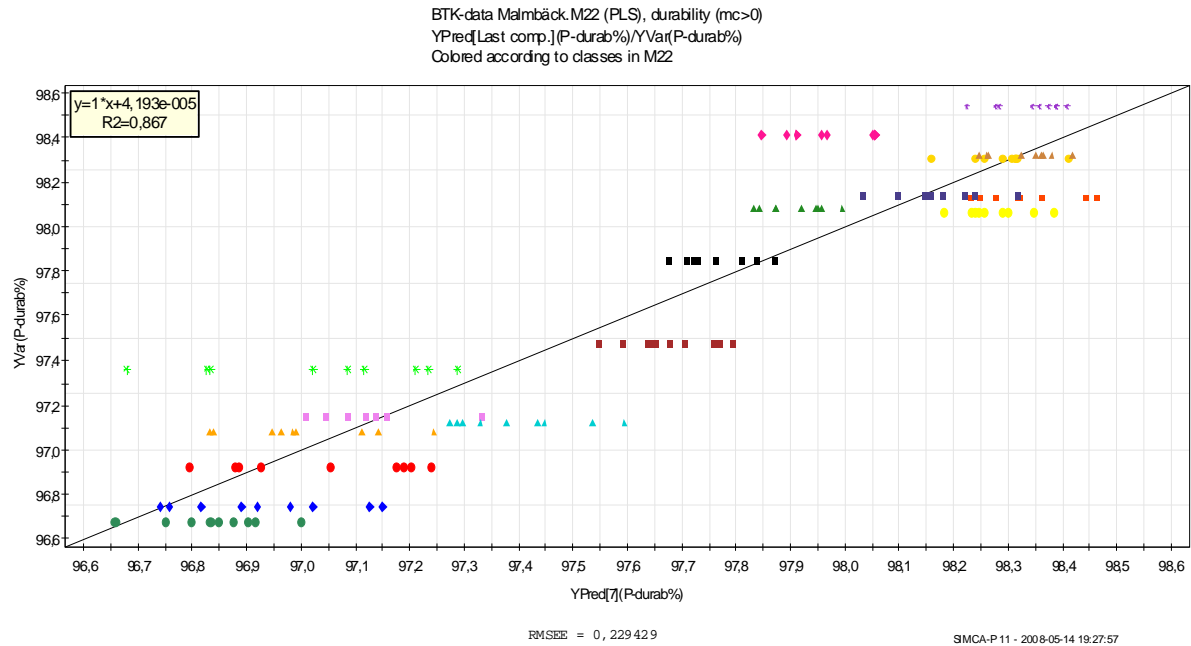
NIR-modell för fukthalt



Figur 6. NIR-modellerad fukthalt mot uppmätt fukthalt

Fukthalten i det torkade och malda spånet varierade under försöket mellan 8,11 % till 13,02 %. Som vanligt ger NIR en bra kalibrering mot fukthalt. Detta beror på att vatten innehåller bindningar mellan syre och väte och vibrationerna från dessa ger en stark signal i NIR-området (780-2500 nm). Labdata indikerar att man kan uppnå ett medelfel av 0,21 % -enheter i fukthalt. På lab görs upprepas NIR-mätningar på samma prov. Under verkliga förhållanden får man större fel på grund av fel i provtagning, dvs. NIR-signalen kommer inte exakt från samma prov. Detta medför att medelfelet ökar och i verifierande fabriksförsök har visat att felet för online-mätning är ca 0,5 % -enheter i fukthalt.

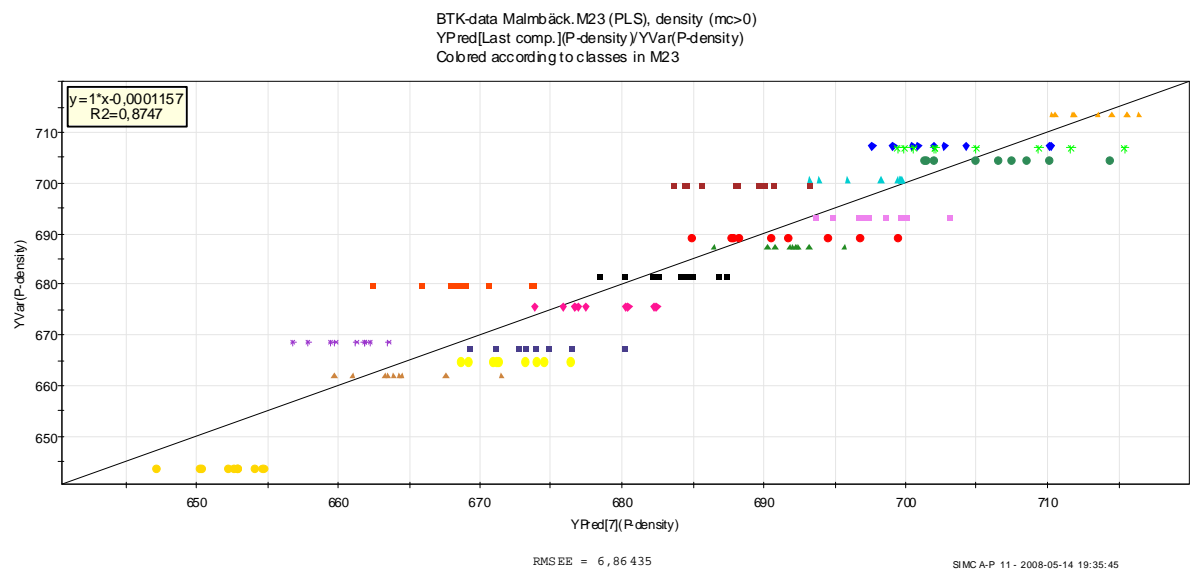
NIR-modell för hållfasthet



Figur 7. NIR-modellerad hållfasthet mot uppmätt hållfasthet

Hållfastheten har ett tydligt samband med den information som finns i NIR-signalen. Utan att testa kalibreringen antyder den att 86,7 % av variationen i hållfasthet, som varierade inom intervallet från 96,7 till 98,5 %, kan i goda fall predikteras med NIR, dvs. om de material man använder verkligen liknar de material som användes under försöket. Överraskande visade det sig att NIR-signalen även från absolut torra prover (ugnstorkade vid 105 °C) innehöll viss information om hållfasthet. Detta innebär att de olika materialbladningarna ger olika grundläggande hållfasthet vid pressning i den aktuella matrisen.

NIR-modell för bulkdensitet

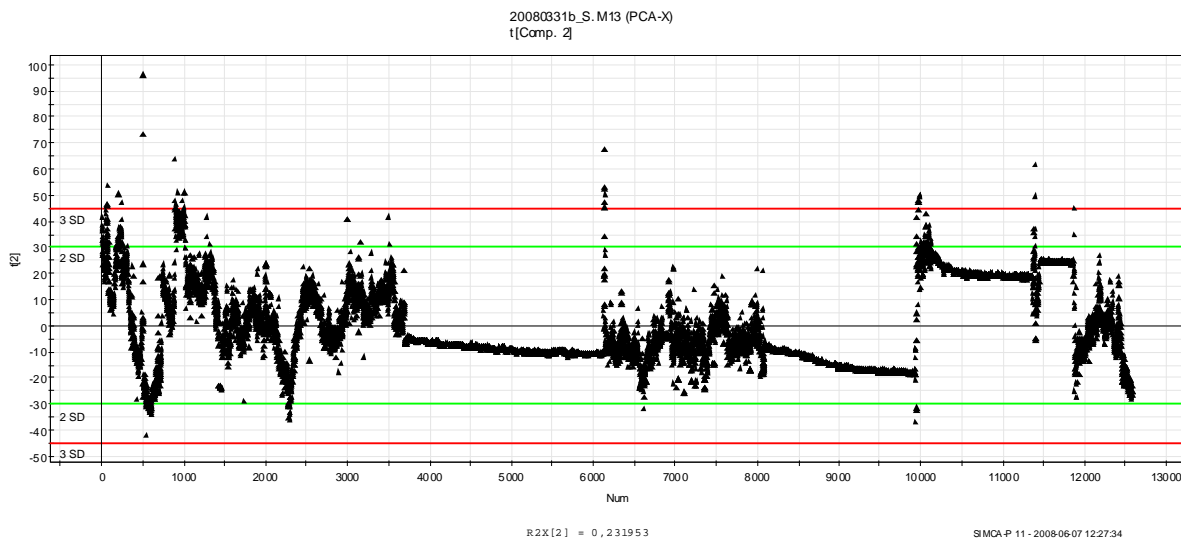


Figur 8. NIR-modellerad bulkdensitet mot uppmätt bulkdensitet

Bulkdensiteten varierade mellan 644 till 714 kg/m³. NIR-kaliberringen indikerar att upp till 87 % av denna variation kan beräknas utifrån en NIR-modell på torkat och malt spån innan press. Även här gav NIR-signalen från helt torra prover (fukthalt 0 %) relativt bra samband nu med bulkdensiteten. Detta är ett bevis för att materialblandningen spelar stor roll för att uppnå lämplig densitet.

Online NIR i skruv innan press

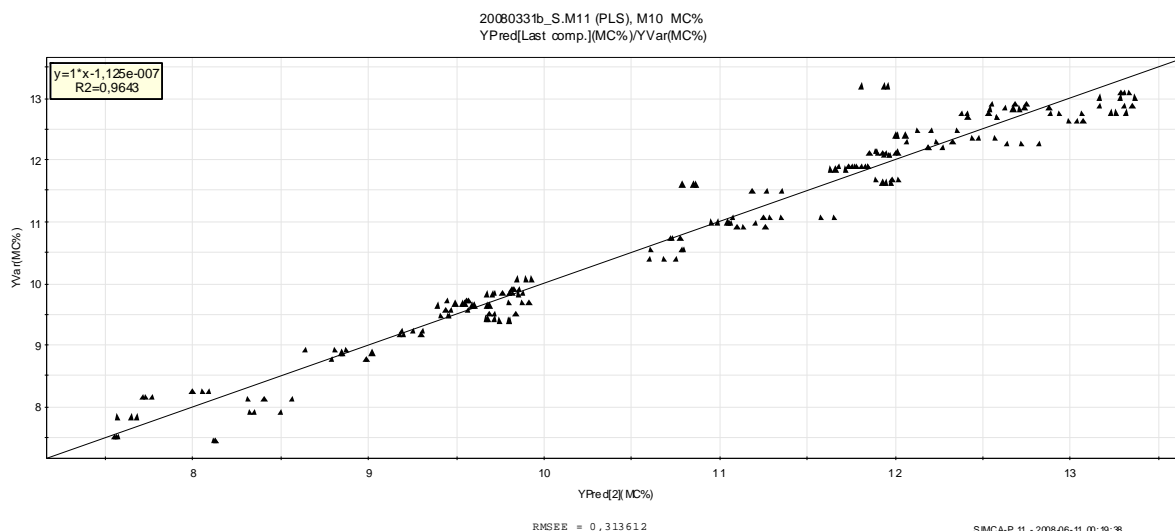
På grund av att den datakabel mellan NIR-instrumentet och dator inte fungerade som den skulle kunde tyvärr inte en fukthaltsmodell läggas på monitor i ett av kontrollrummen. Detta medförde att provtagningen intensifierades för att styra mot rätt fukthalt för de olika delexperimenten. En felaktig fillagring innebar att data saknades för de 5 första experimenten.



Figur 9. NIR-data under perioden 2008-03-31 22:11:36 till 2008-04-16 07:28:10.

Figur 9 visar bl.a. större variation i början då olika materialblandningar och fukthalter användes. Det framgår även när skruven stått stilla på grund av uppehåll i processen.

Även on-line NIR indikerade goda kalibreringar med fukthalt (Figur 10), bulkdensitet och hållfasthet.



Figur 10. Exempel på kalibrering med on-line NIR

Trädslagsblandning

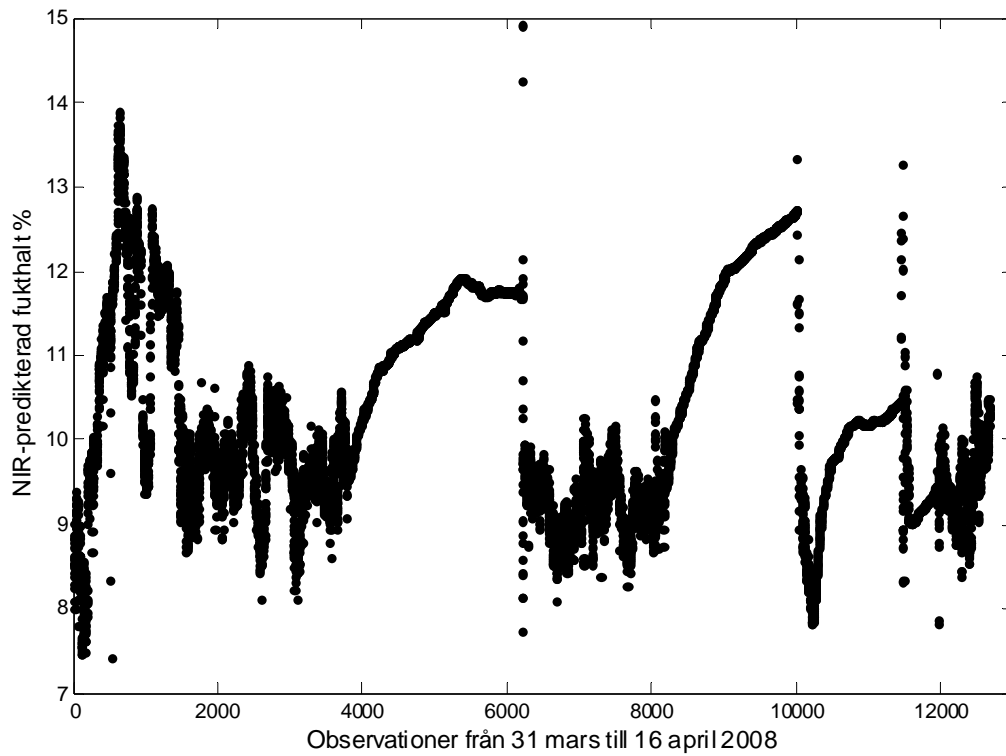
Enligt försökets design varierade rötved mellan 0-50 %, lövved mellan 0-20 % och den normalt använda spånblandningen från 30-100 %. Ifall misstag görs vid tillredningen av de olika blandningarna är detta svårt att upptäcka. Tidigare NIR-studier har visat att denna metod kan användas för att med relativt god säkerhet skilja mellan andelen av olika vedrårar i en blandning. Två modeller för trädslagsblandning gjordes.

Tabell 3. Trädslagsblandning enligt design och NIR-data

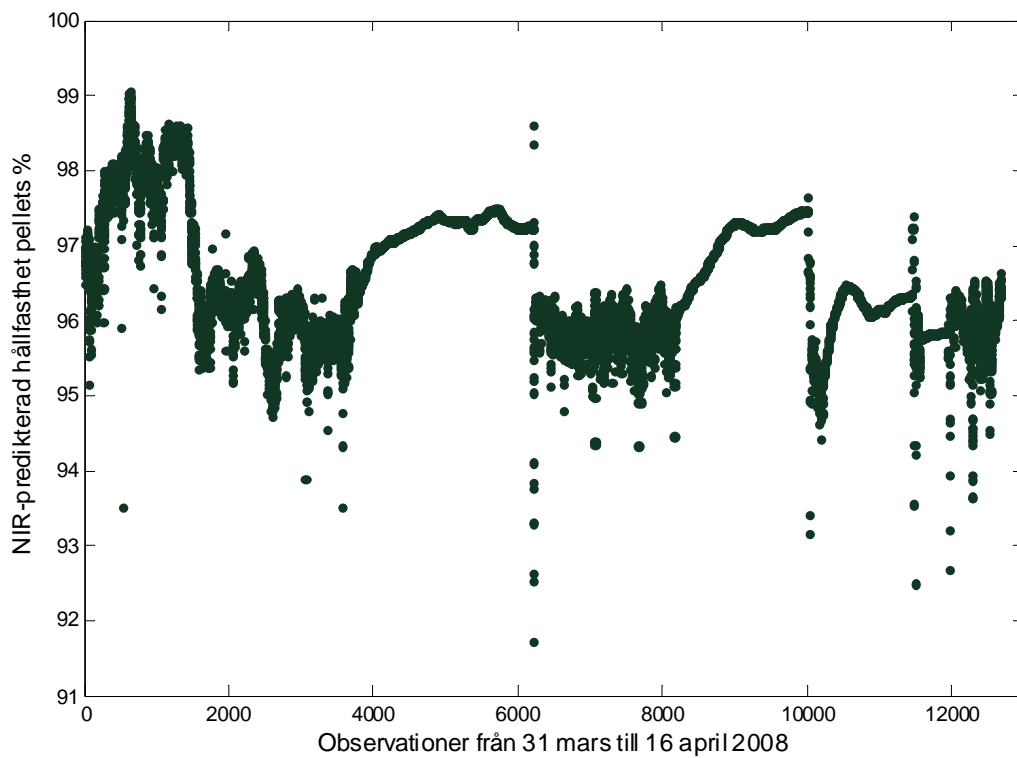
Försök nr	Förväntad blandning % enligt design			Realiserad blandning % enligt Lab NIR			Realiserad blandning % enligt on-line NIR		
	röt	löv	spån	röt	löv	spån	röt	löv	spån
1	25	10	65	27	9	64	-	-	-
2	0	0	100	0	0	100	-	-	-
3	50	0	50	37	4	59	-	-	-
4	0	20	80	0	10	90	-	-	-
5	50	20	30	38	18	43	-	-	-
6	0	13	87	0	16	84	4	15	81
7	17	0	83	13	3	84	16	1	83
8	33	20	47	29	15	55	26	15	59
9	25	10	65	25	8	66	33	12	56
10	0	0	100	0	2	98	1	0	99
11	50	0	50	43	0	57	47	2	51
12	0	20	80	0	16	84	0	17	83
13	50	20	30	42	22	36	46	19	35
14	0	13	87	10	14	76	11	17	73
15	50	7	43	37	11	52	38	9	53
16	17	20	63	11	18	71	21	15	64
17	25	10	65	21	13	66	31	11	58

En baserad på analyser i laboratorium av insamlade prover strax innan Buhlerpressen i Malmbäck. Den andra baserades på on-line NIR-data ca 10 sekunder uppströms där proverna samlades in. Tabell 4 visar resultaten. Anmärkningsvärt är att NIR-data för försöksnummer 14 i båda fallen indikerar att rötved fanns i blandningen ca 10 %.

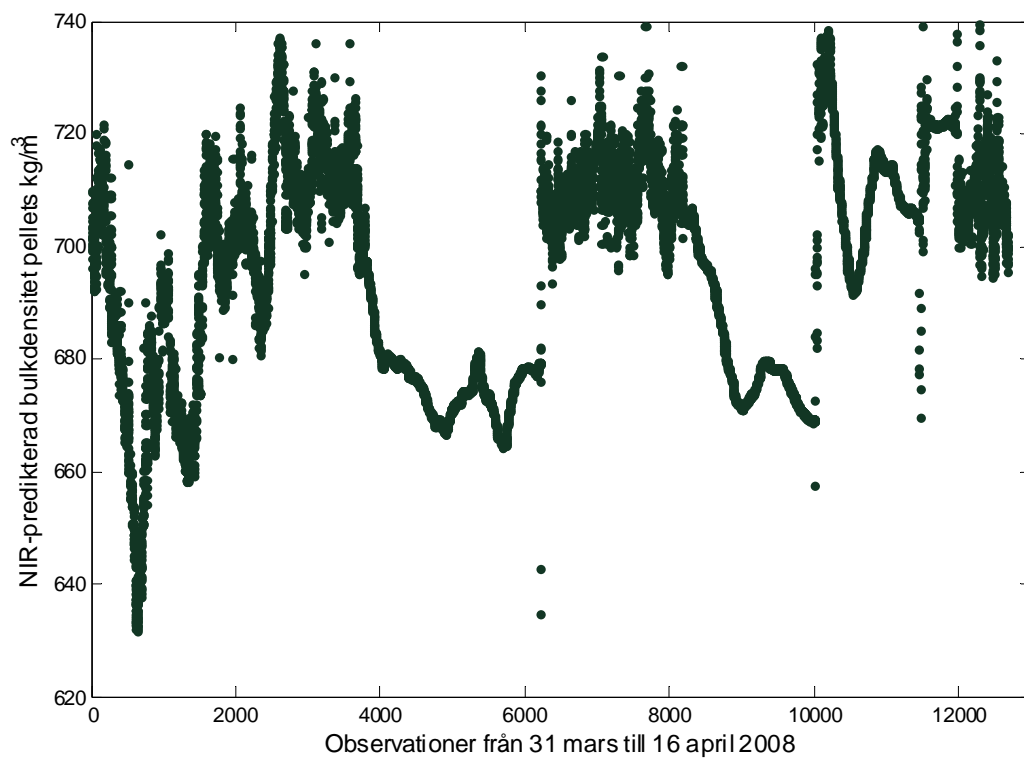
Tre figurer som visar NIR-predikterade on-line värden för fukthalt, hållfasthet och bulkdensitet. Observera att även stillstånd är inkluderade i nedanstående figurer.



Figur 11. NIR-predikterade on-line värden för fukthalt



Figur 12. NIR-predikterade on-line värden för hållfasthet



Figur 13. NIR-predikterade on-line värden för bulkdensitet