



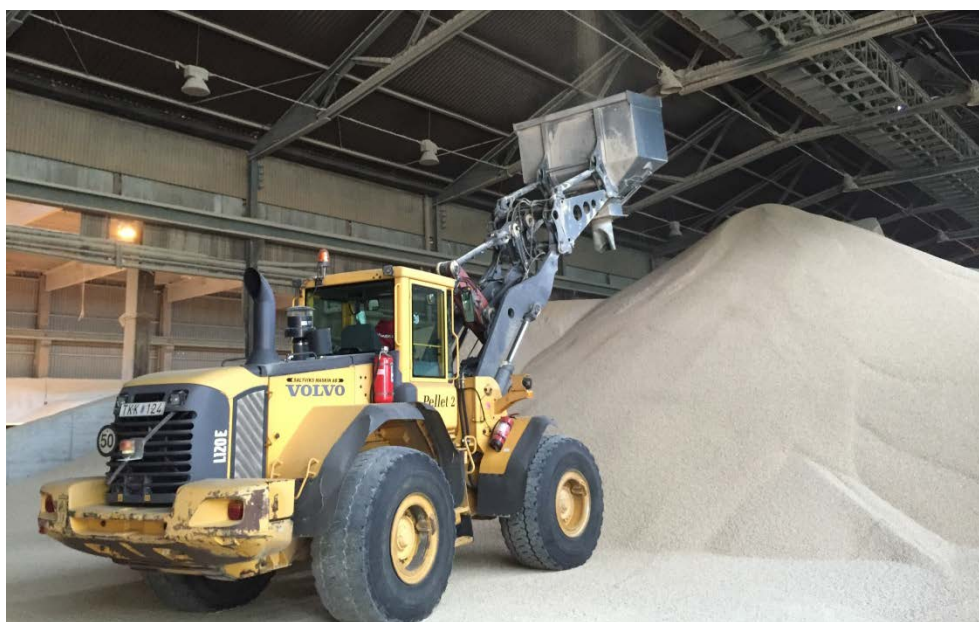
# **Lagring av pellets – inverkan på kvalitet och emissionsbildning**

– Fullskaleförsök vid SCA BioNorr AB i Härnösand

## **Storage of pellets – influence on quality and formation of emissions**

- Full scale trial at SCA BioNorr AB in Härnösand

### **Pelletplattformen II**



**Michael Finell, Mehrdad Arshadi, Mikael Öhman,  
Björn Hedman, Carina Jonsson och Robert Samuelsson**

**Arbetsrapport 11 2016**

---

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



# **Lagring av pellets – inverkan på kvalitet och emissionsbildning**

– Fullskaleförsök vid SCA BioNorr AB i Härnösand

## **Storage of pellets – influence on quality and formation of emissions**

- Full scale trial at SCA BioNorr AB in Härnösand

### **Pelletplattformen II**

**Michael Finell, Mehrdad Arshadi, Mikael Öhman,  
Björn Hedman, Carina Jonsson och Robert Samuelsson**

Nyckelord: Träpellets, varmgång, temperaturstegring, experimentell design

Arbetsrapport 11 2016  
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi  
Utgivningsort: Umeå  
Utgivningsår: 2016  
Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

## Innehåll

Förord .....	3
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	5
Material och metoder.....	6
Råvara.....	6
Utrustning .....	6
Experimentell design .....	6
Provtagning.....	6
Temperaturmätning .....	7
Gasmätning och provtagning av aldehyder .....	7
Analyser.....	10
Resultat och diskussion .....	12
Pelletsegenskaper.....	12
MLR-modellering.....	16
Koefficienter .....	18
Huvudeffekter .....	20
Inverkan av råvarans fukthalt .....	20
Inverkan av lagring .....	22
Temperaturmätningar .....	24
Lättflyktiga organiska ämnen och gaser .....	28
Kolmonoxid, koldioxid, metan och syre .....	29
Möjliga felkällor .....	31
Slutsatser.....	33
Referenser.....	34

## **Förord**

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

Försöket pågick mellan den 10 juni 2015 och 13 juli 2015. En hel del förberedelser och efterarbete krävdes också.

Tack till Mårten Bengtsson och personalen på SCA BioNorr i Härnösand.

Finansiärer var Energimyndigheten, Pelletsförbundet och SLU.

Umeå den 2016-07-08

Michael Finell

## Sammanfattning

Huvudsyftet med detta försök var att undersöka hur pelletskvaliteten, emissioner av aldehyder (associerad med stark lukt) och emissioner av CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> förändras vid lagring av 6 mm och 8 mm pellets.

Sex satser (högar) om totalt cirka 10 ton pellets bereddes. Tre högar med 8 mm pellets och tre högar med 6 mm pellets. Pelletarna var tillverkade vid hög fukthalt respektive låg fukthalt. En upprepning med 8 mm pellets och en upprepning med 6 mm pellets ingick i försöket. Högarna lagrades i en plansilo under 32 dagar.

Inne i varje hög placerades en 1m<sup>3</sup> gastät behållare (Cipaxtank) som fyllts med ca 500 kg (ca 70 % av volymen) pellets. Provtagning av CO, CO<sub>2</sub> och CH<sub>4</sub> gjordes kontinuerligt och andelen aldehyder mättes med hjälp av passiva provtagare inne i Cipaxtankarna. I högarna och i den omgivande lokalen placerades också temperatur- och fuktloggar för att följa hur temperaturen förändrades under försöksperioden.

Prover av pellets togs ut ur högarna vid försökets start och vid försökets slut. Dessa prover analyserades med avseende på andel finmaterial, hållfasthet, bulkdensitet och fukthalt.

Resultaten visade att andelen finmaterial ökar under lagring samtidigt som hållfastheten på pelletarna ökar. Temperaturökningen i högarna verkar vara kopplade till fukthalten på de producerade pelletarna så att en låg fukthalt ger högre temperatur vid lagring.

Aldehydbildningen och emissionen av CO, CO<sub>2</sub> och CH<sub>4</sub> i kombination med minskningen av O<sub>2</sub> tyder på att autooxidation av materialet sker vid lagring.

Ingen större skillnad mellan 6 mm och 8 mm pellets kunde detekteras varken med avseende på fysikaliska pelletsegenskaper eller emissioner.

## Inledning

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

Varmgång vid lagring av färska, nyproducerade pellets i silos eller i planlager är vanligt förekommande. Ofta kan man detektera smulbildning på toppar av pelletshögar där varm, fuktig luft strömmar ut under lagringen. De kemiska och fysikaliska processer som förorsakar varmgång vid lagring av pellets är inte helt utredda men beror troligtvis på oxidationsprocesser, fuktvandring och fuktabsorption [1, 2, 3].

Det är också konstaterat att fett- och hartssyror oxideras till kondenserbara gaser (aldehyder, ketoner) genom exoteriska kemiska processer vid lagring av pellets. Vid processen bildas kolmonoxid, koldioxid och metan medan syre förbrukas [4, 5].

Hur lagringen påverkar pelletsegenskaperna är ett relativt outforskat område och de svenska pelletstillverkarna har något olika erfarenheter av vad som händer vid lagring av pellets i silo eller planlager. En del pelletsproducenter rapporterar märkbara ökningar i hållfasthet (omkring 1 %-enhet) på produkten efter några veckors lagring medan andra producenter inte kan detektera en sådan förändring.

I denna studie undersöker vi hur några processparametrar (fukthalt och pelletsdimension) påverkar egenskaperna vid lagring (varmgång och emissioner) samt pelletskvaliteten efter lagring.

## Material och metoder

Detta försök utfördes hos SCA BioNorr AB i Härnösand. SCA BioNorr AB är Sveriges största anläggning för pelletstillverkning och producerar 160 000 ton pellets årligen.

### *Råvara*

Man använder en råvara som består av en blandning av 50 % gran och 50 % tall. Råvaran levereras i huvudsak från SCAs egna sågverk i mellannorrland.

### *Utrustning*

Spån matas in till en silo som töms med roterande bottenskriv för att få en homogen blandning av råvaran. Från silon går materialet till två separata linjer, en för tillverkning av 8 mm pellets och en för tillverkning av 6 mm pellets. Innan pelletering torkas och mals materialet till ca 10 % fukthalt och till en partikelstorlek < 5 mm. Fyra pelletspressar är kopplade till varje linje. Efter pelleteringen kyls produkten till ca 20 °C och finfraktionen sällas bort. Därefter transporteras produkten till lagring.

### *Experimentell design*

Separata fulla faktoriella designer på två nivåer (screening design) för variablerna fukthalt och lagring användes för 8 mm och 6 mm pellets. Separata designer användes då pelletarna tillverkas i separata linjer med eget torksteg. Detta medför att låg resp. hög fukthalt inte kan direkt jämföras mellan linjerna. Fukthalterna justerades så att låg fukthalt skulle ge en pelletsfukthalt på ca 5 % och en hög fukthalt en pelletsfukthalt på ca 8 %. En sammanfattning av den experimentella designen visas i tabell 1.

Tabell 1. Sammanfattning av den experimentella designen

<i>Provbeteckning</i>	<i>Pelletshög</i>	<i>Pelletsdiameter</i>	<i>Råvarans fukthalt</i>
A-8LF	A	8 mm	Låg
B-8LF	B	8 mm	Låg
C-8HF	C	8 mm	Hög
D-6LF	D	6 mm	Låg
E-6HF	E	6 mm	Hög
F-6HF	F	6 mm	Hög

För varje inställning togs ca 10 ton material ut och placerades i separata högar. Inne i varje hög placerades en 1 m<sup>3</sup> gastät behållare (Cipaxtank) som fylldes till 70 % av volymen (ca 500 kg) med pellets från samma försök som resten av högen. Högarna lagrades under 4,5 veckor, 33 dygn (10 juni 2015 till 13 juli 2015).

### *Provtagning*

Representativa prover (3 x 10 kg) av pellets togs ut ur högarna vid försökets start (10 juni) och vid försökets slut (13 juli). Proverna förvarades i lufttäta



plastsäckar och transporterades till Umeå för analys med avseende på andel finmaterial, hållfasthet, bulkdensitet och fukthalt.

Representativa prover (3 x 2 kg) av pellets togs också ut för analys av extraktivämnen, aska och aldehyder. Proverna förvarades i lufttäta plastpåsar.

### Temperaturmätning

Temperaturloggrar, Tinytag loggers (Gemini Data Loggers, UK) placerades i toppen på varje hög ca 50 cm ner i högen. Temperaturloggrar placerades också i den gastäta behållaren inne i högen. Fyra temperaturmätare och två luftfuktighetsmätare placerades ut omkring pelletshögarna för att registrera omgivningens temperatur och relativa luftfuktighet. Data loggades var sjätte timme under försökets gång.

### Gasmätning och provtagning av aldehyder

Mätning av förändringen av CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och O<sub>2</sub> i Cipaxtankarna gjordes två gånger per dygn. Provtagningen gjordes med en ECOM J2KN gasanalysator som visas i Figur 1.



Technical characteristics of the selected gas analyzer, ECOM JK2N

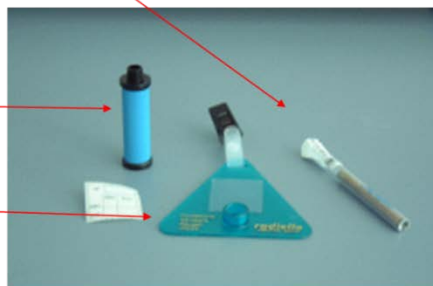
Parameter	Range
O <sub>2</sub>	0-21%
CO	0-63000 ppm
CO <sub>2</sub>	0-25%
CH <sub>4</sub>	0-4%

Figur 1. Provtagningsutrustning för gaser, ECOM JK2N.

I varje gastät Cipaxtank placerades också 3 passiva provtagare (dvs. totalt 18 provtagare) för aldehyder (Radiello). Provtagarna hängdes upp i behållarna så att de inte var i direkt kontakt med materialet utan hängde fritt i utrymmet ovanför pelletarna. Figur 2 visar de passiva mätarna och figur 4 visar placeringen av aldehydmätarna i Cipaxtankarna.

## Needed Equipment for Sampling Example for Aldehydes

- Adsorbent Cartridge
  - 2,4-DNPH coated Florisil
  - Supplied in storage container
- Diffusive Body
  - blue diff. body
- Support plate
  - Triangular back plate
  - w/ pouch for barcode label



Figur 2. Radiello provtagare för aldehyder



Figur 3. Placering av aldehydprovtagare i toppen av en Cipax tank

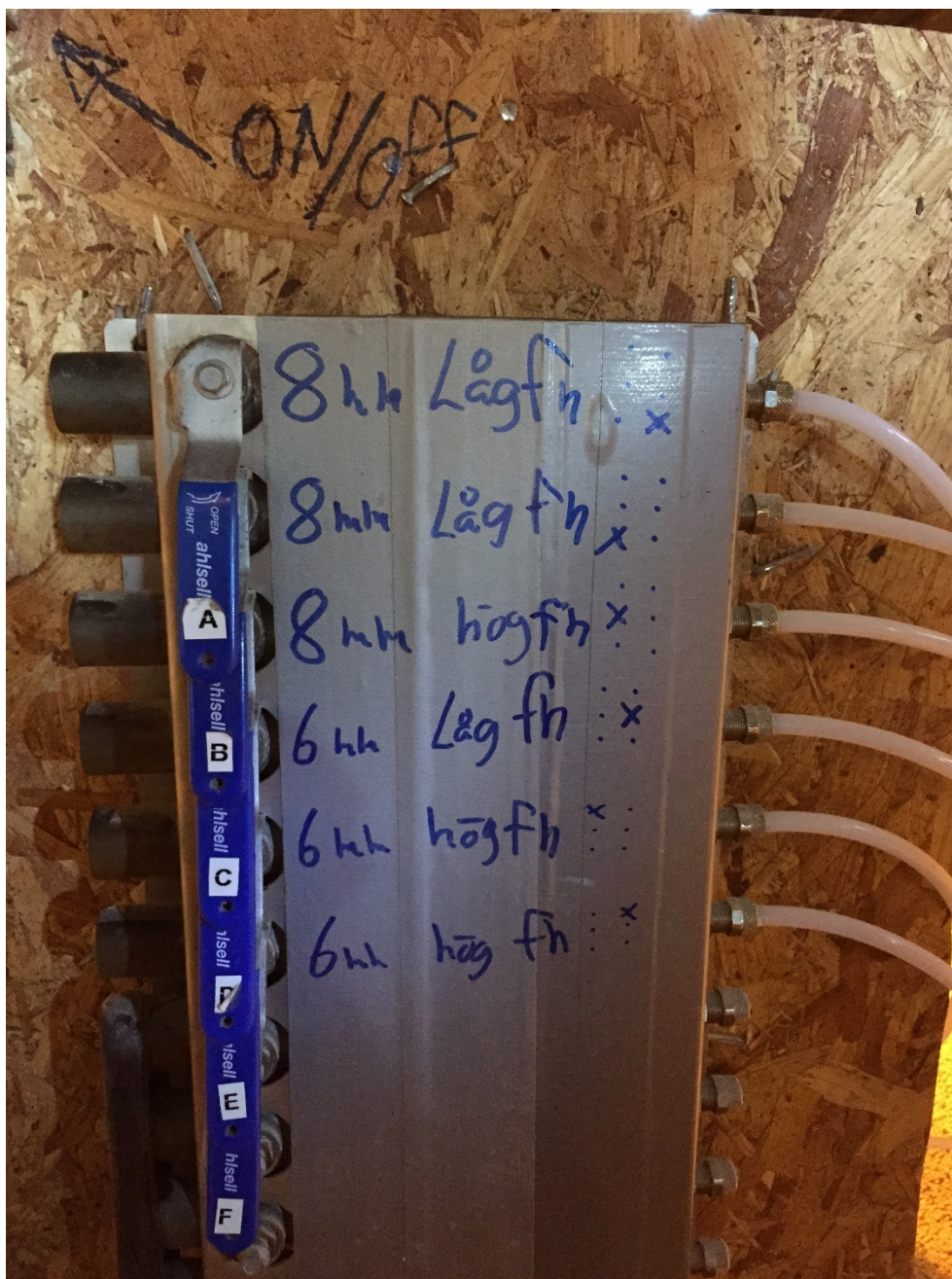
Från Cipax tankarna drogs teflonslangar som kopplades till ventiler för provtagning av gaser som bildades i tankarna. Figur 4-6 visar Cipax tankarna, slangdragningen och ventilerna monterade på en fanerskiva. Tankarna täcktes helt med pellets runtom.



*Figur 4. Cipaxtankar med teflonslangar monterade.*



*Figur 5. Cipaxtank i pelletshög innan den är helt täckt.*



Figur 6. Ventiler för provtagning av gaser.

### **Analyser**

Askhalt och extraktivämnehåll analyserades på de uttagna pelletsproverna.

Följande metoder användes:

- Askhalt SS-EN 14775:2009
- Extraktivämnehåll bestämdes genom extraktion i Soxhletutrustning (BÜCHI) med en blandning av petroleumeter och aceton (9:1) i 12 cyklar.

För de insamlade pelletsproverna analyserades följande kvalitetsegenskaper:

- Torrhalt SS-EN 14774-2:2009

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

## Resultat och diskussion

I denna del presenteras och diskuteras resultaten från de analyser som gjorts på nytillverkade och lagrade pellets. Resultaten från MLR-analysen visar hur råvarans fukthalt och lagring av produkten påverkar pellets kvaliteten.

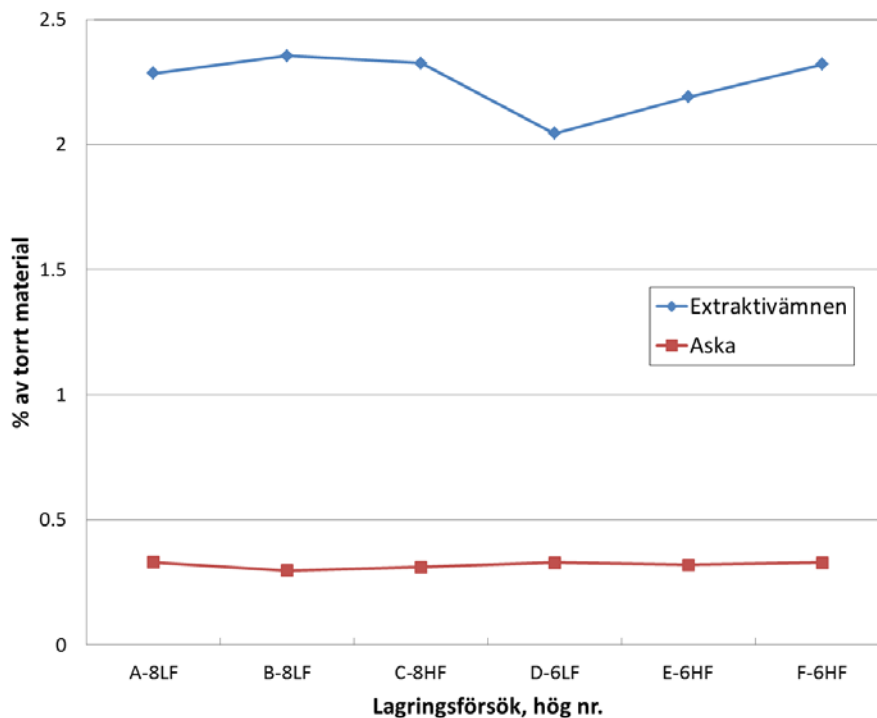
### *Pelletsegenskaper*

Tabell 2 visar hur väl vi lyckades uppnå den önskade fukthalten på det producerade materialet. För 6 mm pellets gick försöket bra; låg fukthalt hamnade på 4,15 % och båda upprepningarna på hög fukthalt hamnade på 8,02 %. För 8 mm pellets lyckades vi inte lika bra; hög fukthalt hamnade på 8,40 % men dubbelproverna på låg fukthalt skiljer sig åt ganska mycket, 5,13 % respektive 6,86 %. Fukthalterna som rapporteras i tabell 2 är medelvärden av tre fukthaltsmätningar.

Tabell 2. Önskad och uppnådd pelletsfukthalt

<i>Provbeteckning</i>	<i>Pellettdiameter</i>	<i>Önskad pelletsfukthalt</i>	<i>Uppnådd pelletsfukthalt</i>
A-8LF	8 mm	Låg (5 %)	5.13 %
B-8LF	8 mm	Låg (5 %)	6.86 %
C-8HF	8 mm	Hög (8 %)	8.40 %
D-6LF	6 mm	Låg (5 %)	4.15 %
E-6HF	6 mm	Hög (8 %)	8.02 %
F-6HF	6 mm	Hög (8 %)	8.02 %

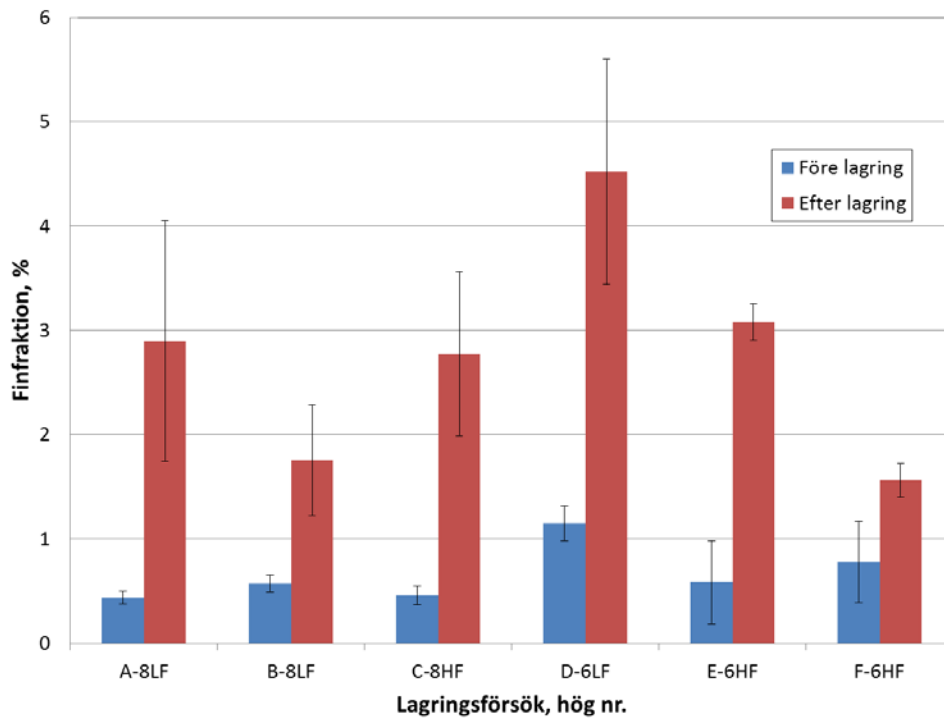
Figur 7 visar extraktivämnehalten och askhalten i material från de olika pelletshögarna. Man kan se att askhalten ligger ganska konstant på 0,32 % medan det är en viss variation i extraktivämnehalten som har ett medelvärde på 2,42 % men varierar mellan 2,13 % och 2,54 %. Variationen i extraktivämnehalt kan tyda på att blandningen gran/tall i råvaran inte är helt konstant under försöksperioden.



Figur 7. Variation i extraktivämnesshalt och askhalt på icke lagrade pellets.

Figur 8-11 visar hur de analyserade pelletsegenskaperna förändras vid lagring. Observera att hög A och B är tillverkade under liknande förhållanden (8 mm pellets, låg fukthalt) och under ideala förhållanden så borde egenskaperna inte signifikant skilja sig åt. Detsamma gäller för hög E och F (6 mm pellets, hög fukthalt). Den blåa stapeln visar pelletsegenskaperna för nytillverkade pellets och den röda stapeln visar egenskaper för lagrade pellets (4,5 veckors lagring). Felstaplarna visar  $\pm$  en standardavvikelse.

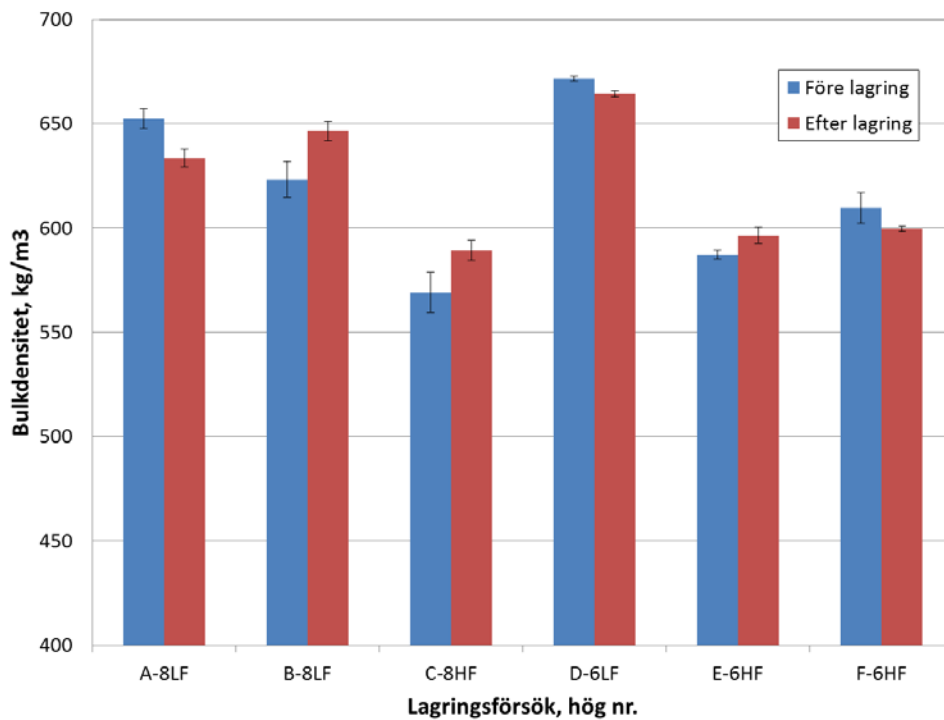
Figur 8 visar andelen finfraktion före och efter lagring i de olika högarna. Man kan tydligt se att andelen finfraktion kraftigt ökar i alla högar efter 4,5 veckors lagring. Ingen tydlig skillnad mellan hög eller låg fukthalt kan detekteras för 8 mm pellets men för 6 mm pellets verkar hög fukthalt ge något lägre smulbildning.



Figur 8. Andelen finfraktion före och efter lagring i de olika pelletshögarna

Figur 9 visar bulkdensiteten på pellets före och efter lagring. Här kan man se att en låg fukthalt ger högre bulkdensitet både för 8 mm och 6 mm pellets. Ingen systematisk skillnad i bulkdensitet före och efter lagring kan detekteras.

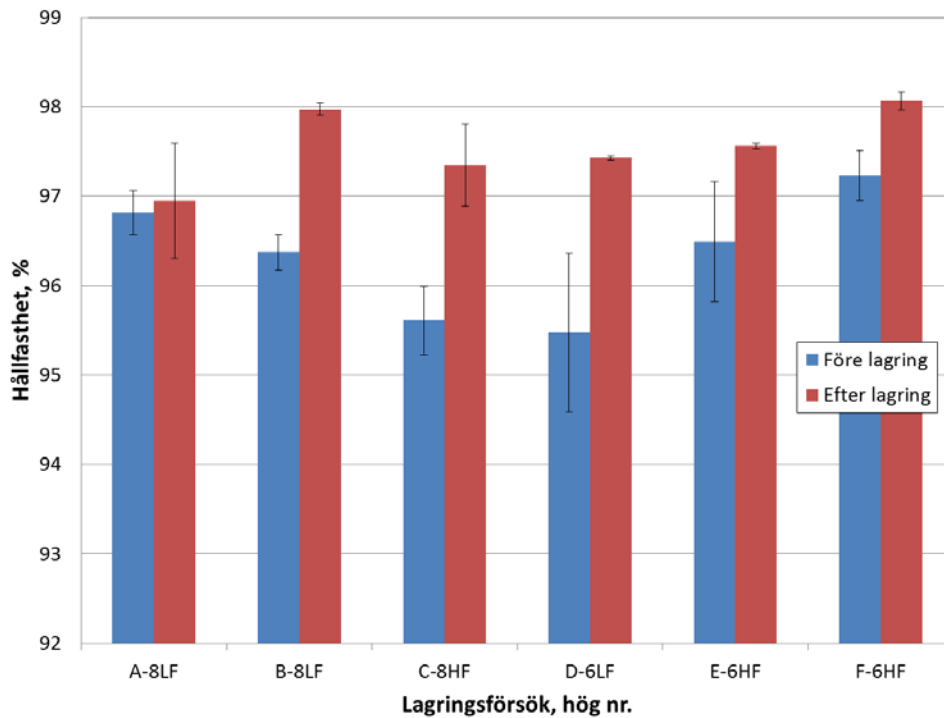




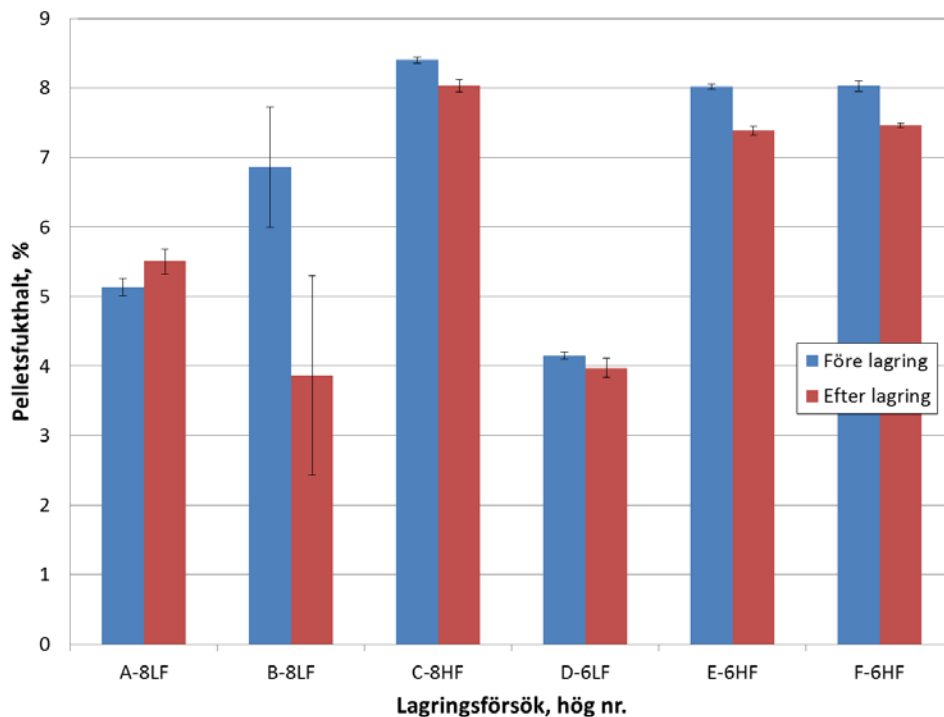
Figur 9. Bulkdensitet före och efter lagring i de olika pelletshögarna

Figur 10 visar hållfastheten på pellets före och efter lagring. Här ser man också tydligt att pellets lagrade 4,5 veckor har betydligt bättre hållfasthet än nyproducerade pellets. För 8 mm, icke lagrade pellets verkar det som en högre fukthalt ger sämre hållfasthet och för 6 mm pellets ger en högre fukthalt bättre hållfasthet.

Figur 11 visar fukthalten i pellets före och efter lagring. I de flesta fall verkar pelletsfukthalten sjunka något vid lagring. Detta gäller både för pellets producerade vid låg fukthalt och hög fukthalt. Ett undantag är pelletshög A där pelletsfukthalten ökar något efter lagring.



Figur 10. Hållfasthet före och efter lagring i de olika pelletshögarna



Figur 11. Pelletsfukthalt före och efter lagring i de olika pelletshögarna

### MLR-modellering

Multipel linjär regression (MLR) användes för att koppla de varierade faktorerna (fukthalt och lagring) till responserna (uppmätta pelletskvalitetsegenskaper) vid pelleteringsförsöken. Följande förkortningar har använts för faktorerna: Fukthalt-Moi (Low/High), Lagring-Sto (Yes/No)

Tabell 3. Sammanställning av MLR-modellering för 8 mm pellets

Egenskap	$R^2$	$Q^2$
Bulkdensitet	0.84	0.80
Finfraktion	0.88	0.85
Hållfasthet	0.51	0.39
Pelletsfukthalt	0.62	0.56

Tabell 4. Sammanställning av MLR-modellering för 6 mm pellets

Egenskap	$R^2$	$Q^2$
Bulkdensitet	0.95	0.94
Finfraktion	0.79	0.71
Hållfasthet	0.68	0.53
Pelletsfukthalt	1.00	0.99

Tabell 3-4 visar en sammanställning av MLR-modelleringen för 8 mm respektive 6 mm pellets.  $R^2$  beskriver hur väl modellen passar uppmätta data och  $Q^2$  beskriver hur bra modellen är att prediktera nya data.  $R^2$  och  $Q^2$  kan variera mellan 0 och 1 och ju närmare 1 desto bättre modell.

I detta fall kan vi konstatera att för 8 mm pellets erhöles goda modeller för responserna "bulkdensitet" och "finfraktion". Modellerna för hållfasthet och pelletsfukthalt är dock mindre bra och kan inte användas för att prediktera nya data utan ger bara en uppfattning om vilka koefficienter som har signifikans för egenskapen.

För 6 mm pellets är modellerna för "bulkdensitet" och "pelletsfukthalt" excellenta. Modellen för finfraktion är ganska bra och modellen för hållfasthet är mindre bra men kan fortfarande användas för att visa vilka faktorer som påverkar egenskapen.

Tabell 5-6 visar hur mycket de uppmätta parametrarna har varierat under försöket. Generellt så är en stor variation bra med avseende på modellering men det finns undantag. Detta beror på att variationen inte är systematisk och kan inte kopplas till de faktorer som varierats under försöket (fukthalt och lagring)

Tabell 5. Sammanställning över variationen i de uppmätta pelletsegenskaperna för 8 mm pellets

Uppmätt parameter	Medel	Min	Max	Rel. %
Bulkdensitet, kg/m <sup>3</sup>	619	559	658	± 9.69
Finfraktion, %	1.48	0.36	3.75	± 75.7
Hållfasthet, %	96.8	95.2	98.1	± 1.65
Pelletsfukthalt, %	6.30	2.42	8.44	± 61.6

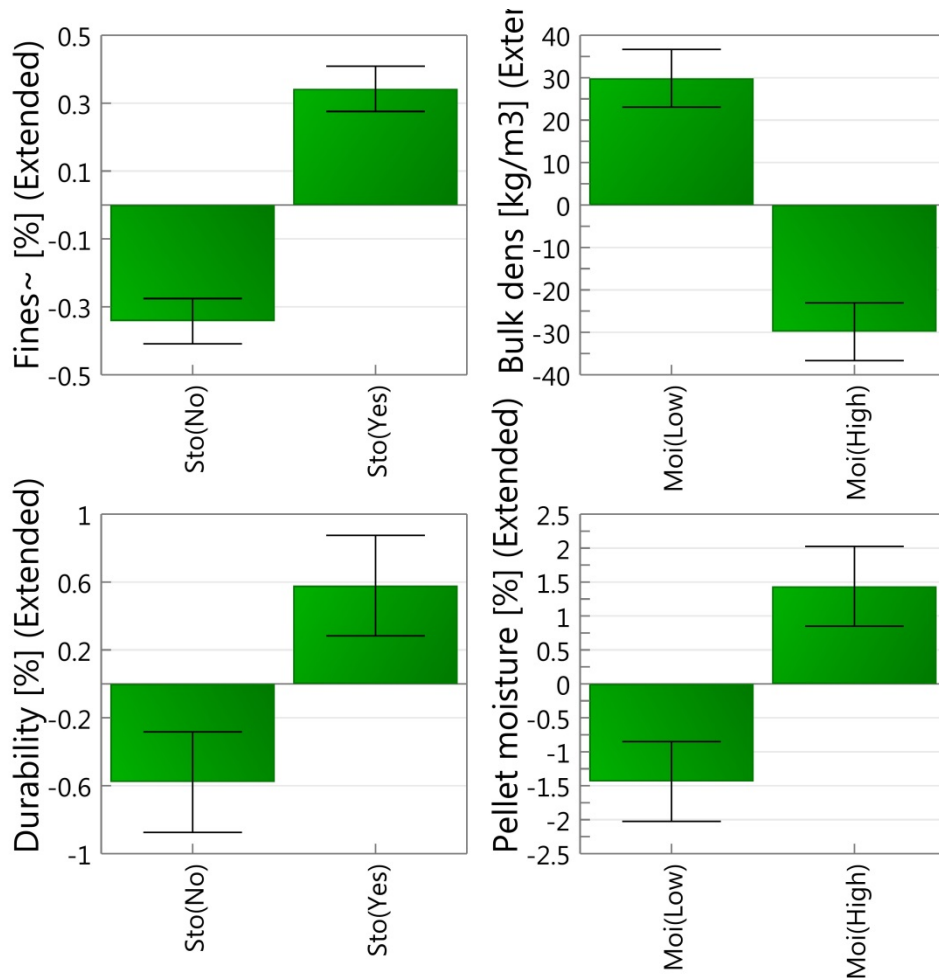
Tabell 6. Sammanställning över variationen i de uppmätta pelletsegenskaperna för 6 mm pellets

Uppmätt parameter	Medel	Min	Max	Rel. %
Bulkdensitet, kg/m <sup>3</sup>	621	585	672	± 5.80
Finfraktion, %	1.94	0.32	5.54	± 83.5
Hållfasthet, %	97.0	94.5	98.2	± 2.58
Pelletsfukthalt, %	6.50	3.82	8.09	± 41.2

### Koefficienter

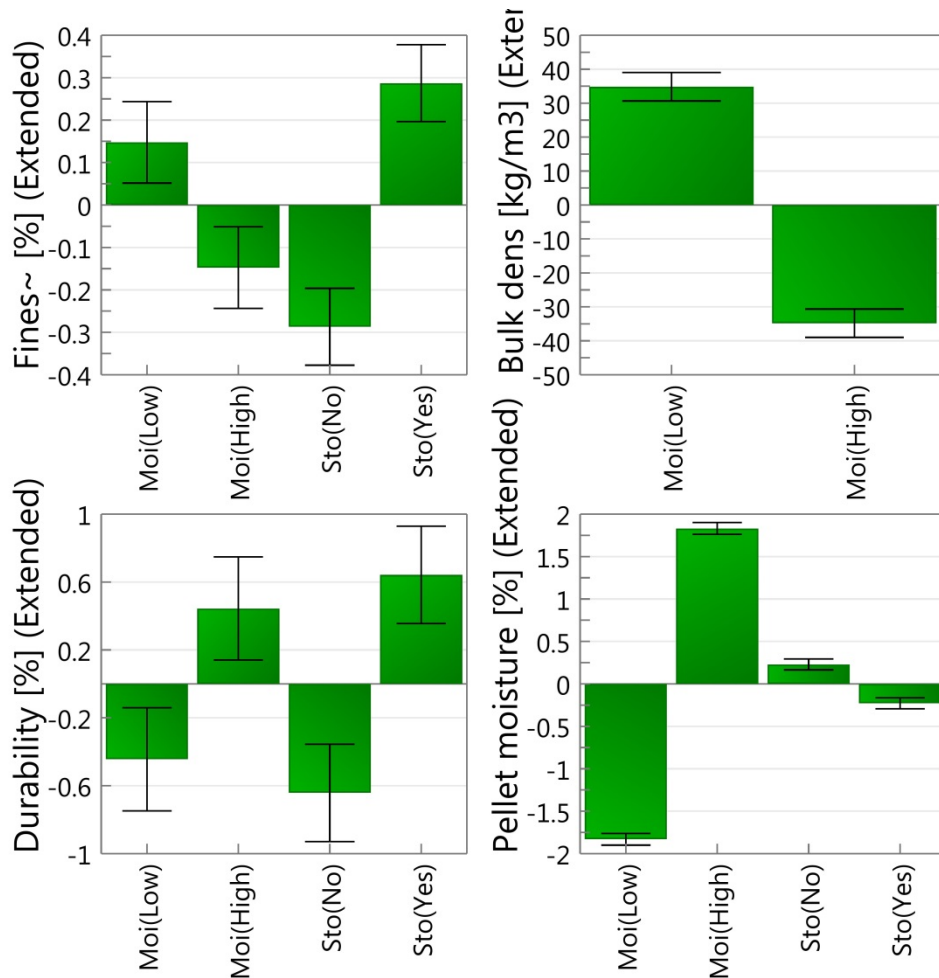
I figur 12-13 visas hur de olika faktorerna och kombinationer av dessa påverkar de uppmätta egenskaperna (responserna) för 8 mm respektive 6 mm pellets. Dessa koefficienter används vid den matematiska modelleringen för att koppla faktorer mot responser.

Från figur 12 kan man utläsa att för 8 mm pellets så påverkade lagring andelen fines så att denna ökade efter lagring. Bulkdensiteten påverkades enbart av fukthalten genom att en högre fukthalt gav lägre bulkdensitet. Hållfastheten påverkades av lagring så att hållfastheten ökade för lagrad pellets. Pelletsfukthalten ökade med högre fukthalt på det ingående materialet.



Figur 12. Koefficienternas inverkan på de uppmätta egenskaperna för 8 mm pellets

Figur 13 visar att för 6 mm pellets så hade både fukthalt och lagring signifikanta effekter på andelen finmaterial. En hög fukthalt gav lägre andel finmaterial och lagringen ökade andelen finmaterial. Bulkdensiteten påverkades enbart av fukthalten genom att en hög fukthalt gav lägre bulkdensitet. Hållfastheten påverkades både av fukthalt och lagring. En högre fukthalt gav högre hållfasthet och lagring ökade också hållfastheten. Pelletsfukthalten ökade när det ingående materialets fukthalt höjdes men lagringen minskade pelletsfukthalten något.



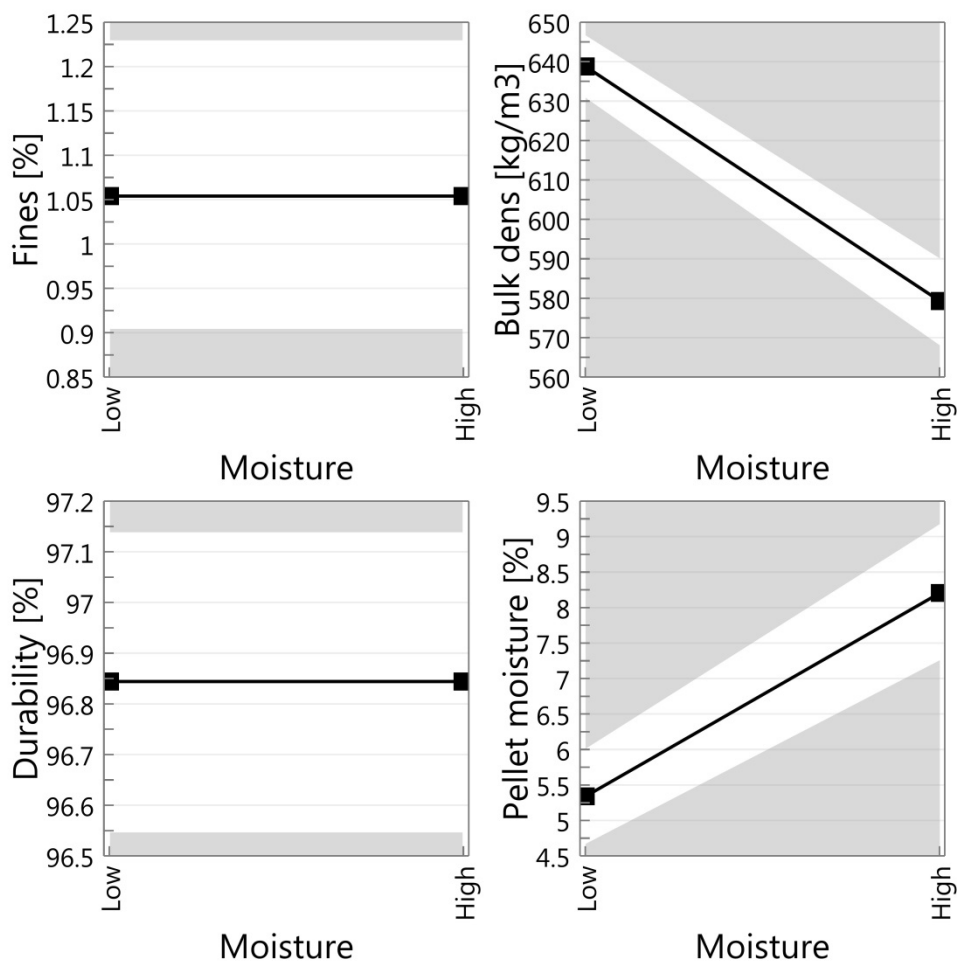
Figur 13. Koefficienternas inverkan på de uppmätta egenskaperna för 6 mm pellets

### Huvudeffekter

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

#### Inverkan av råvarans fukthalt

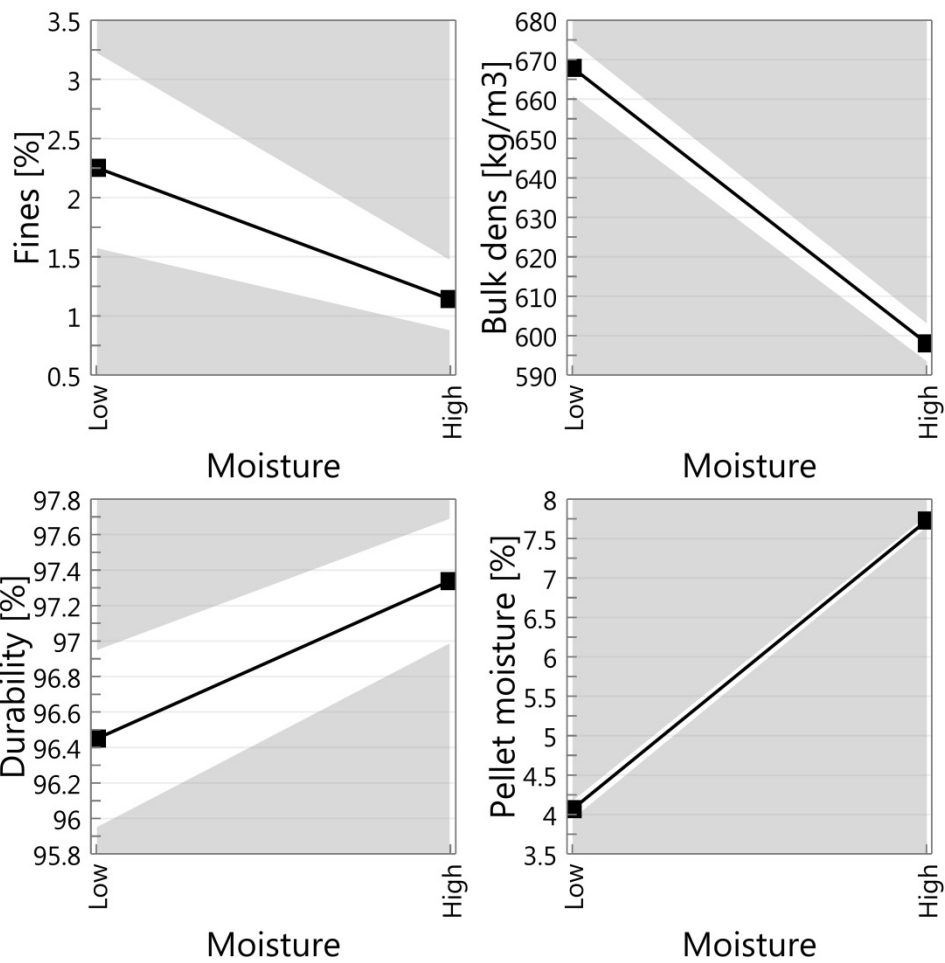
Från figur 14 kan man utläsa att för 8 mm pellets så har råvarans fukthalt i denna undersökning ingen inverkan på andelen finmaterial eller hållfastheten på de producerade pelletarna. Fukthalten på råvaran påverkar dock bulkdensiteten på produkten genom att en högre fukthalt ger lägre bulkdensitet. Råvarans fukthalt påverkar också fukthalten på produkten genom att en högre råvarufukthalt också ger en högre fukthalt på produkten.



Figur 14. Inverkan av råmateriallets torrhalt på andel finmaterial bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 8 mm pellets.

Figur 15 visar hur råvarans fukthalt påverkar 6 mm pellets. Här kan vi se att fukthalten har en signifikant betydelse för alla uppmätta egenskaper. Andelen finmaterial minskar samtidigt som hållfastheten ökar när man använder en råvara med hög fukthalt.

Fukthalten påverkar också bulkdensiteten och produktens fukthalt på samma sätt som för 8 mm pellets. Det vill säga att bulkdensiteten minskar med ökande fukthalt på råvaran och fukthalten i produkten ökar när en råvara med hög fukthalt används.

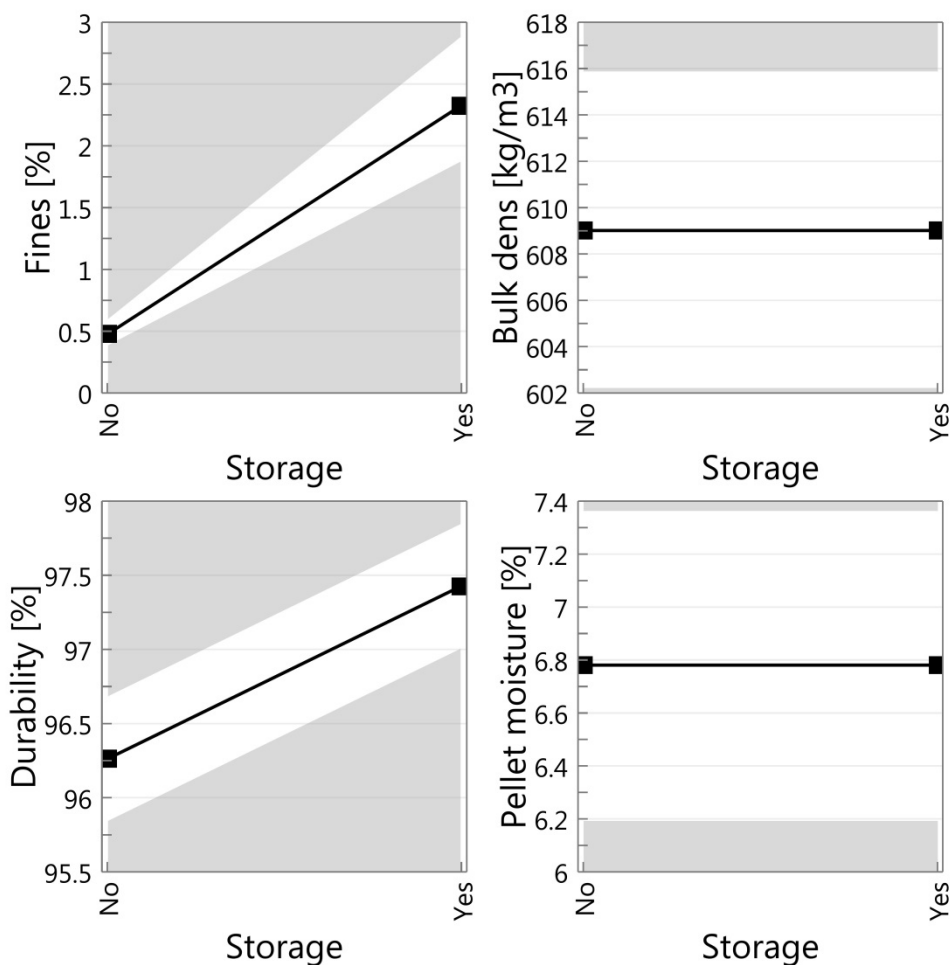


Figur 15. Inverkan av råmateriallets torrhalt på andel finmaterial bukdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 6 mm pellets.

### Inverkan av lagring

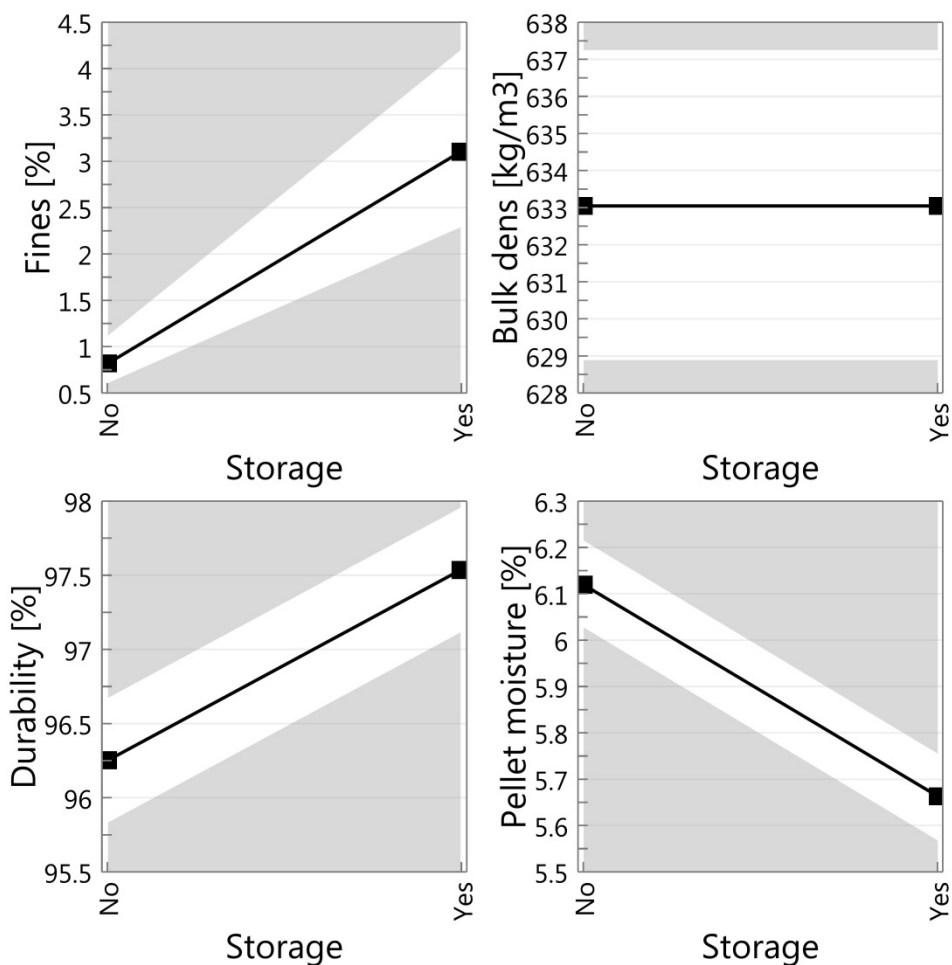
Figur 16 visar hur lagringen påverkar egenskaperna för 8 mm pellets. Lagringen ökar andelen finmaterial samtidigt som hållfastheten på pelletarna ökar. Bulkdensiteten och pelletsfukthalten är påverkade dock inte av lagring.





Figur 16. Inverkan av lagring på andel finmaterial, bukdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 8 mm pellets.

Figur 17 visar hur lagringen påverkar egenskaperna för 6 mm pellets. Andelen finmaterial ökar samtidigt som hållfastheten ökar efter lagring. Detta stämmer väl överens med förändringarna som sker vid lagring av 8 mm pellets. Bulkdensiteten påverkas inte heller för 6 mm pellets av lagring. Mycket intressant är att pelletsfukthalten sjunker något för 6 mm pellets efter lagring. Denna effekt var dock inte lika tydlig för 8 mm pellets.

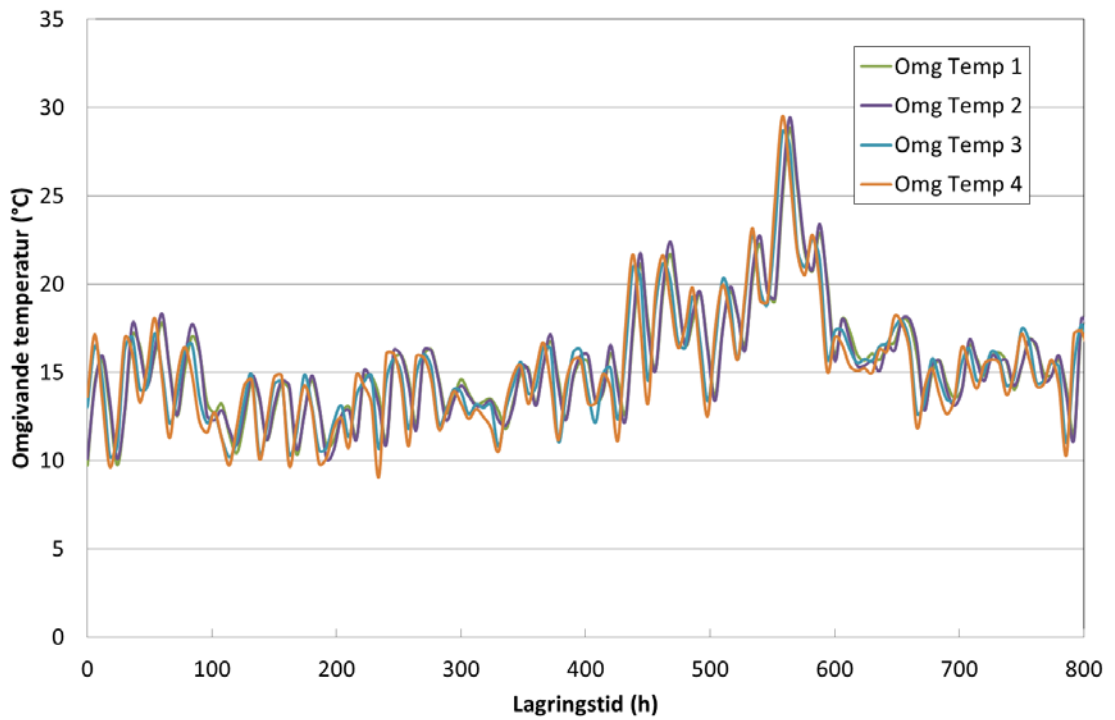


Figur 17. Inverkan av lagring på andel finmaterial, bukdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 6 mm pellets.

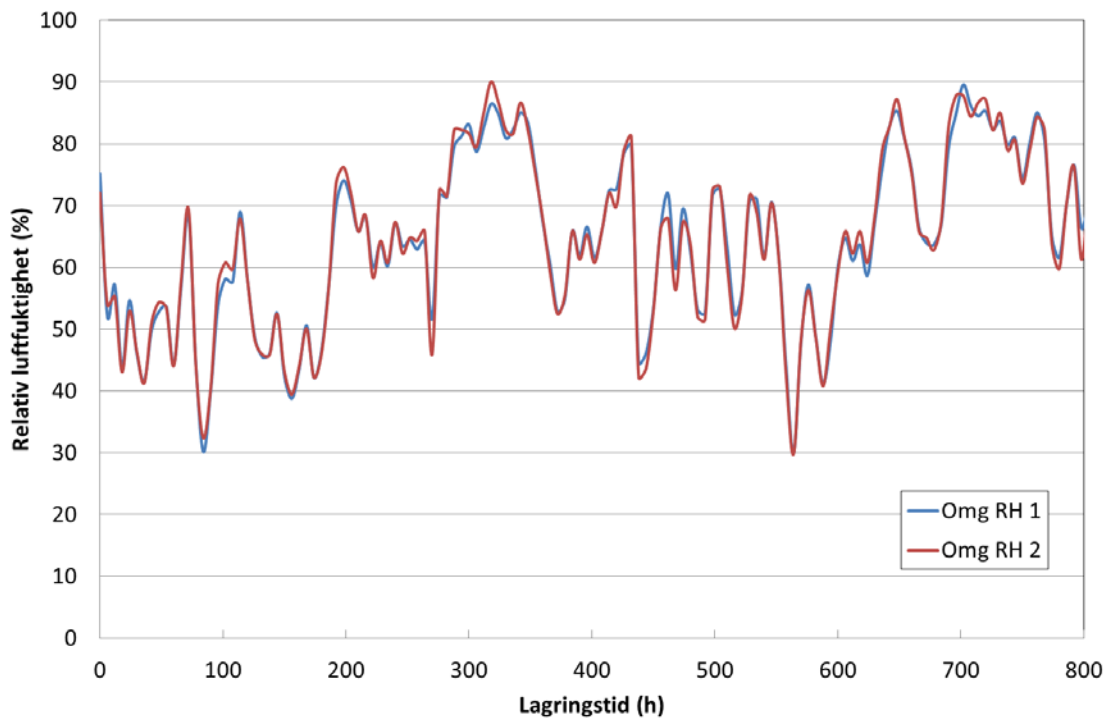
### Temperaturmätningar

Under försöket registrerades temperatur i högarna, både på toppen av högarna och i Cipaxtankarna inne i högarna. Även omgivningens temperatur loggades på fyra olika ställen och den omgivande luftfuktigheten registrerades på två mätpunkter.

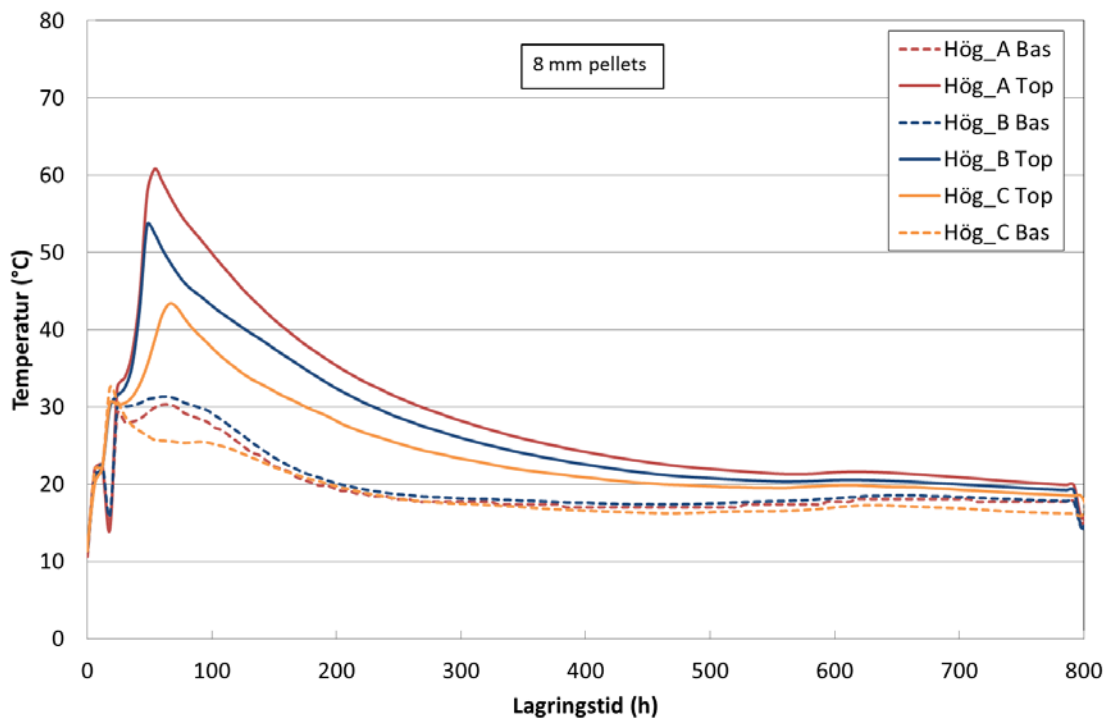
Figur 18 visar omgivningens temperaturförändring under försöksperioden. Under de 400 första timmarna (första halvan av lagringsperioden) har den omgivande temperaturen varit ganska konstant och varierat mellan ca 10 °C och 17 °C. Efter denna period har temperaturen ökat något tills maximal temperatur på 29 °C uppnås vid ca 560 h. Därefter sjunker temperaturen igen. Figur 19 visar hur den relativa luftfuktigheten har förändrats under försöksperioden.



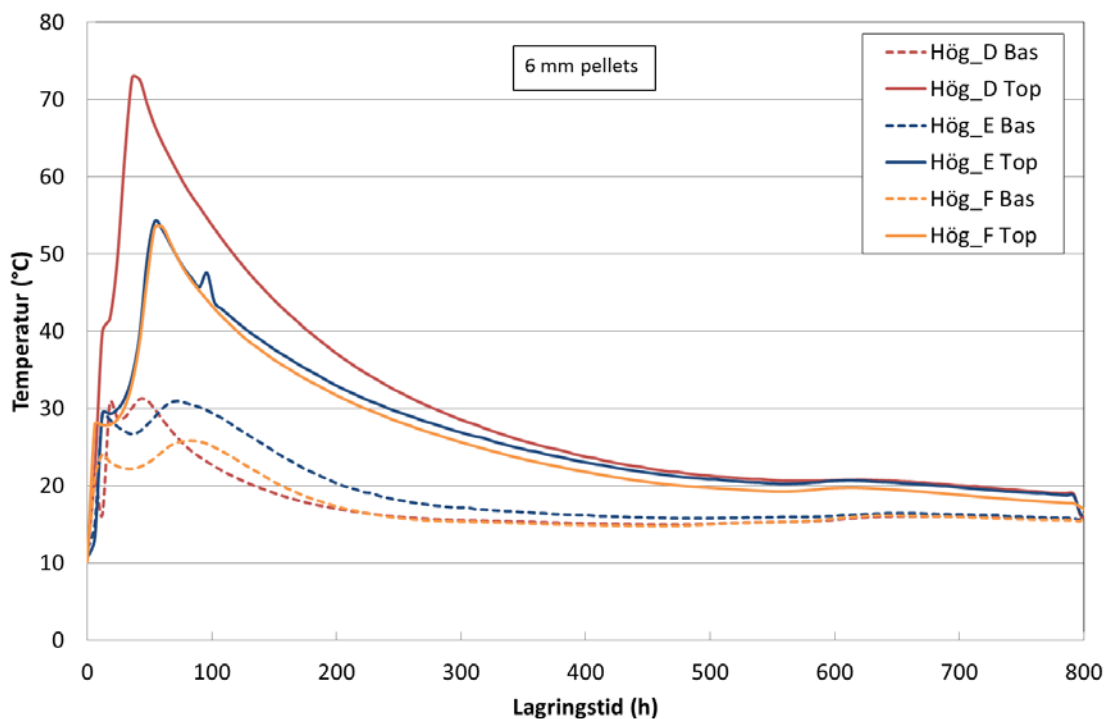
Figur 18. Omgivande lufttemperatur under lagringsförsöket, data från fyra olika mätpunkter.



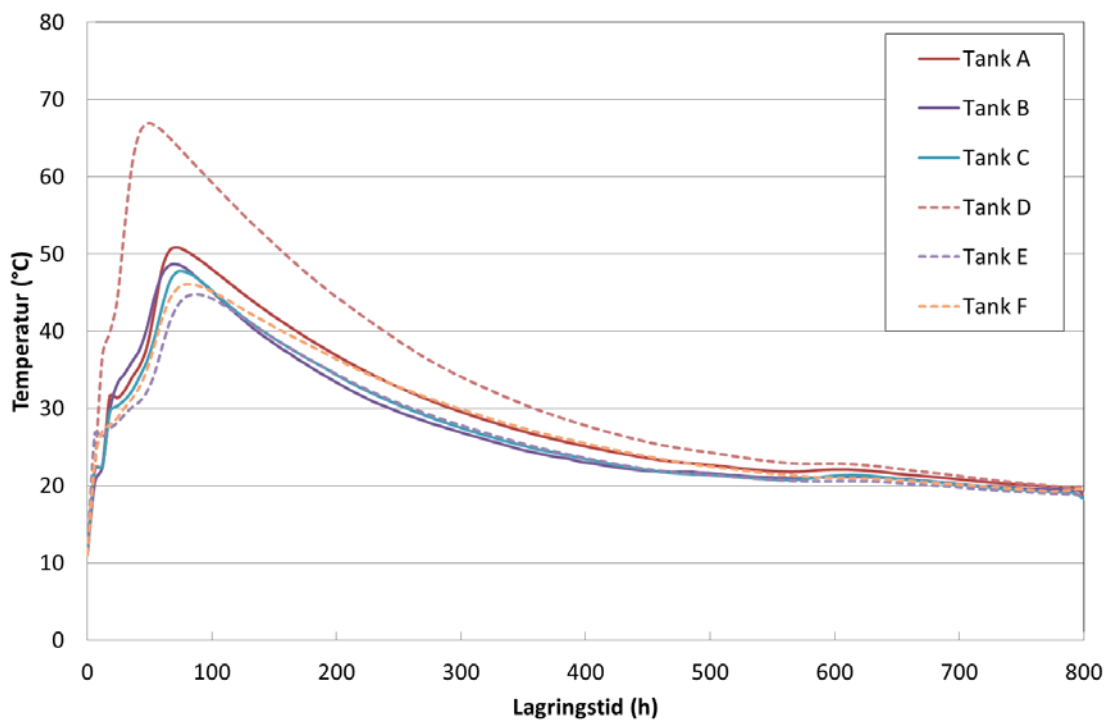
Figur 19. Relativa luftfuktigheten i lagringsutrymmet, data från två mätpunkter.



Figur 20. Temperaturförändring i högar med 8 mm pellets. "Bas" indikerar temperaturmätning vid basen av högen och "Top" temperaturmätning på toppen av högen.



Figur 21. Temperaturförändring i högar med 6 mm pellets. "Bas" indikerar temperaturmätning vid basen av högen och "Top" temperaturmätning på toppen av högen.



Figur 22. Temperaturmätning inne i Cipaxtankarna. Streckade linjer visar temperaturförändringen hos 6 mm pellets och heldragna linjer visar temperaturförändringen hos 8 mm pellets.

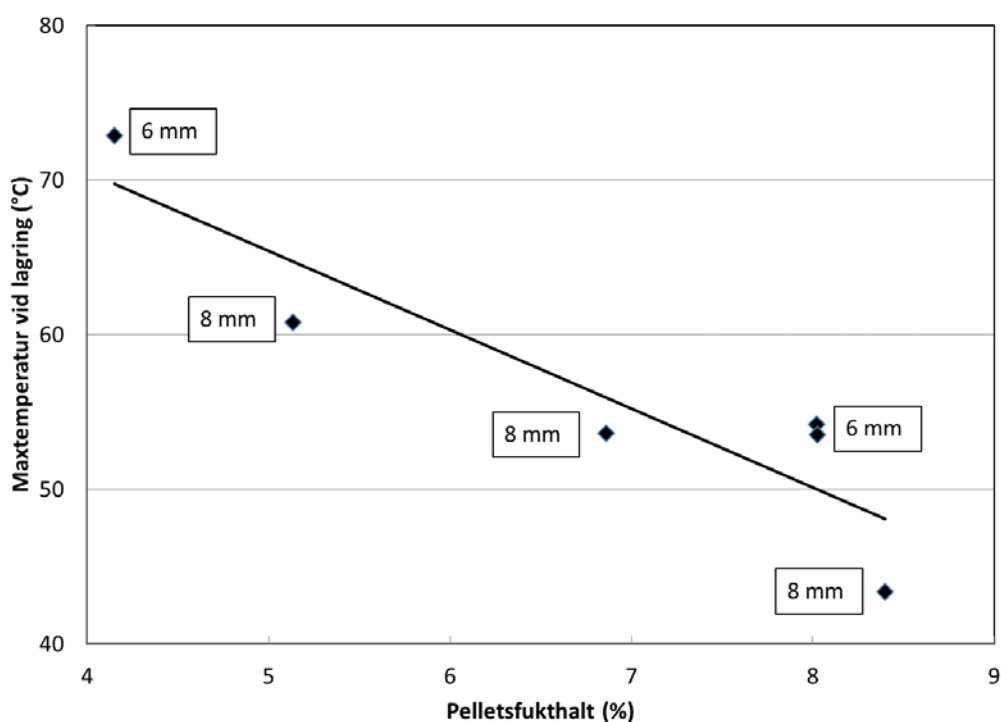
Figur 20 visar temperaturförändringen i högarna med 8 mm pellets, figur 21 visar temperaturförändringen i högarna med 6 mm pellets och figur 22 visar temperaturförändringen inne i Cipaxtankarna i alla pelletshögar.

Man kan se att temperaturen i högarna direkt börjar öka för att nå ett maximum inom 2-3 dygn.

I tabell 7 visas den maximala uppmätta temperaturen i både toppen på högarna och i Cipaxtankarna.

Tabell 7. Uppmätta maxtemperaturer i högar och Cipaxtankar

Prov- beteckning	Pellet- Diameter (mm)	Uppnådd Pelletsfukthalt (%)	Maxtemp Hög (°C)	Maxtemp Tank (°C)
A-8LF	8	5.13	60.8	50.8
B-8LF	8	6.86	53.6	48.6
C-8HF	8	8.40	43.4	47.7
D-6LF	6	4.15	72.9	66.9
E-6HF	6	8.02	54.2	44.8
F-6HF	6	8.02	53.5	46.1



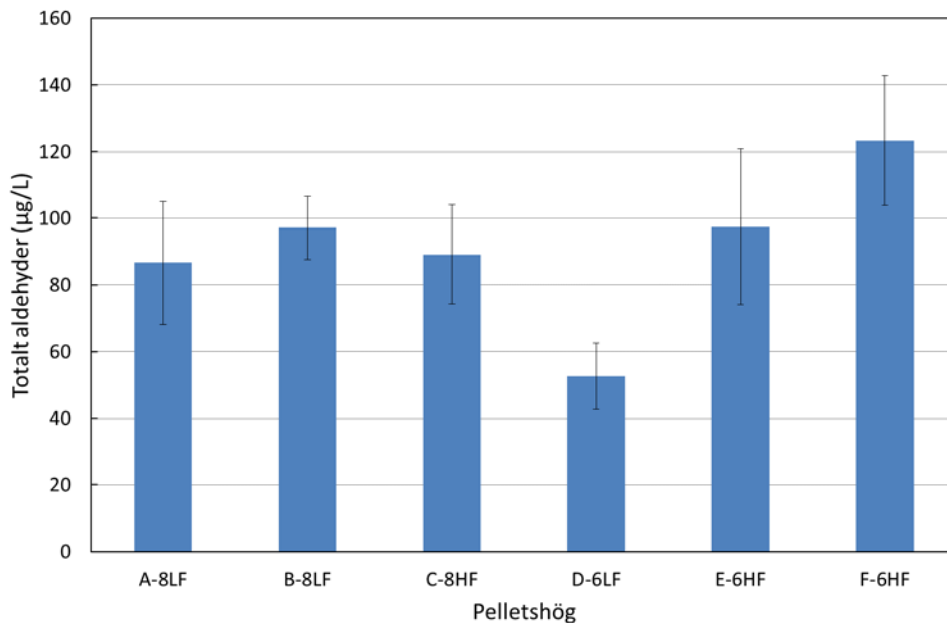
Figur 23. Korrelation mellan pelletsfukthalt och uppmätt maxtemperatur på topparna av pelletshögarna.

Figur 23 visar korrelationen mellan pelletsfukthalt och maximal uppmätt temperatur i toppen av pelletshögarna. Det verkar finnas ett samband mellan pelletsfukthalten och temperaturen i högarna. Låg pelletsfukthalt ger en högre temperatur vid lagring. Eventuellt kan man också se en skillnad mellan 8 mm pellets och 6 mm pellets där 6 mm pellets verkar ge något högre temperatur än 8 mm pellets av samma fukthalt vid lagring.

### **Lättflyktiga organiska ämnen och gaser**

Provtagarna för aldehyder hängdes från locket in i behållarna och i luften ovanpå pellets (ingen direkt kontakt med pellets) under hela lagringsförsöket. Efter att lagringsförsöket avbrutits placerades mätarna i gastäta plastpåsar och transporterades till SLU för analys.

I figur 24 visas medelvärden ( $\mu\text{g/L}$  lösningsmedel) av summan av alla aldehydmätningar i de sex pelletshögarna. Behållare A-C som innehåller 8 mm pellets ligger mellan 87-97  $\mu\text{g/L}$  aldehyder medan behållare D-F med 6 mm pellets hamnar mellan 53 och 123  $\mu\text{g/L}$ .



Figur 24. Totala mängden aldehyder som uppmättes i behållarna i de olika pelletshögarna. Medelvärden och  $\pm$  en standardavvikelse.

Det är svårt att dra säkra slutsatser från dessa mätningar, men allt tyder på att emissioner av aldehyder som orsakar dåligt lukt i pelletslager har förekommit mer eller mindre i alla högar och är ett indirekt bevis på förekomsten av autooxidation i dessa pellets.

### ***Kolmonoxid, koldioxid, metan och syre***

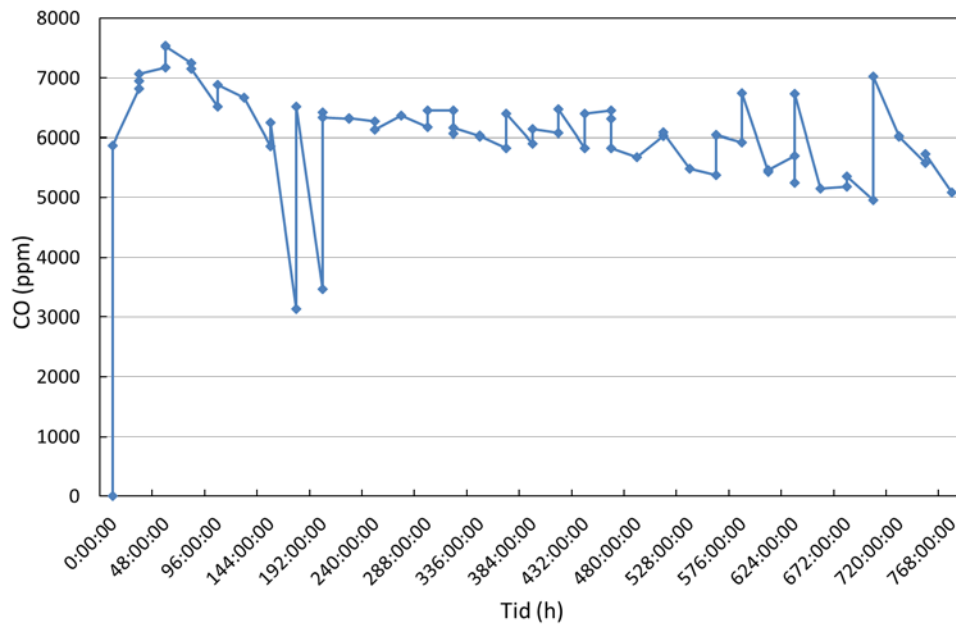
Pellets (ca 500 kg) från varje försök placerades i varsin Cipaxtank som därefter täcktes med pellets från samma försök. Avsikten var att isolera tanken för att kunna se eventuella temperaturhöjningar i pellets i respektive tank och pelletshög. Tabell 8 visar uppmätta maximala halter av kolmonoxid, koldioxid och metan samt uppmätt minsta halt av syrgas.

Tabell 8. Uppmätta maxhalter av kolmonoxid, koldioxid och metan samt minhalt av syre i Cipaxtankar.

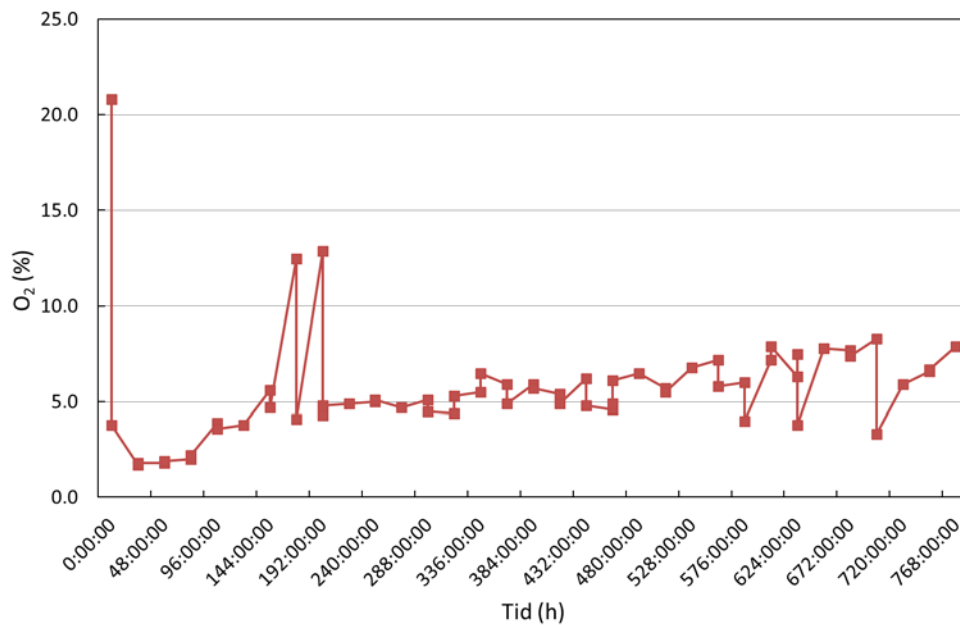
Prov- beteckning	Pellet- Diameter (mm)	Max CO-halt (ppm)	Max CO <sub>2</sub> -halt (%)	Max CH <sub>4</sub> -halt (%)	Min O <sub>2</sub> -halt (%)
A-8LF	8	6610	0.6	1.9	1.9
B-8LF	8	7100	0.6	1.8	1.7
C-8HF	8	7060	0.9	1.4	1.9
D-6LF	6	7530	0.8	2.4	1.7
E-6HF	6	7090	0.8	1.7	1.8
F-6HF	6	7130	0.8	1.6	1.8

De olika satserna av pellets (A-F) som är tillverkade under olika förhållanden (6 mm, 8 mm och olika fukthalt) visade liknande benägenhet att avge CO, CO<sub>2</sub> och CH<sub>4</sub> under lagring. I samband med lagringen minskade också halten O<sub>2</sub> i behållarna, vilket är ett tydligt tecken på autooxidation i samband med lagring

av dessa pellets. Figur 25 och figur 26 visar exempel på CO- och O<sub>2</sub>-förändringen i Cipaxtankarna under drygt 700 timmars (ca 30 dagars) lagring.



Figur 25. Kolmonoxidhaltens förändring över tid. Pelletslagring i gastäta behållare.



Figur 26. Syrgashaltens förändring över tid. Pelletslagring i gastäta behållare.

Figur 26 visar att halten av CO ökar snabbt under det första dygnet till över 7000 ppm för att därefter sakta sjunka. Syrehalten minskar på samma sätt till ca 2 % vilket bekräftar autooxidation. Därefter ökar syrgashalten sakta under resterande del av försöket.



Under mätningarna verkar det ha blivit några luftinsläpp av misstag vilket kan ses tydligt i två tillfällen i figuren 26 och 26 då kolmonoxidhalten temporärt sjunker och syregashalten temporärt ökar.

Utifrån resultaten finns det inga tecken på att det skulle vara skillnad mellan 6 mm och 8 mm pellets med avseende på emissioner av CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och förändring i syrgashalten. Man kan därför dra slutsatsen att bildningen av kolmonoxid, koldioxid och metan beror på andra processparametrar än pellets diameter och fukthalt på pellets.

### ***Möjliga felkällor***

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

- Råvaran – omöjligt att veta om råvaran är konstant både inom en försöksserie och mellan försöksserierna. I detta fall tar man spånet från två sågverk, ett som sågar endast gran och ett som sågar endast tall. Råspånet levererades ”just in time” och det fanns ingen buffert förutom inmatningssilon där man kunde blanda olika leveranser till en mer homogen råvara för pelletstillverkningen. Detta betyder att det kan ha blivit tillverkat pelletsparter som består helt av gran eller helt av tall.
- Fukthaltsstyrning – vi har dålig kontroll över hur väl operatörerna lyckas styra fukthalten efter torkarna till önskade nivåer. Fukthalten är den absolut viktigaste styrbara parametern vid pelletstillverkning och att styra fukthalten är alltid ett problem vid experimentell verksamhet i industriell skala.
- Provtagning – svårt att ta ut representativa prover på 10 kg från en hög på 10 ton pellets. Endast tre prover togs från varje hög före respektive efter lagring.
- Kollapsade Cipaxtankar – alla behållare hade kollapsat under lagringsförsöket. Detta beror antagligen på att trycket från pelletshögen ovanför tankarna blev för högt i kombination med att ett undertryck i tankarna på grund av gasmätningarna. Vi vet inte när det hände och hur mycket det har påverkat aldehydmätningarna och gasmätningarna i tankarna. Figur 27 visar tankarna efter att de har grävts fram ur högarna vid försökets slut.



*Figur 27. Kollapsade Cipaxtankar efter lagringsförsöket.*

## Slutsatser

Huvudsyftet med detta försök var att undersöka hur pelletskvaliteten förändras vid lagring samt hur självuppvärmningsbenägenheten påverkas av olika fukthalt och dimensioner (8 mm och 6 mm) på de producerade pelletarna. Dessutom mättes emission av aldehyder (associerad med stark lukt) och emission av CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> under lagring av pellets.

Försöket visade att lagringen påverkade pelletskvaliteten genom att ge en högre hållfasthet på pelletarna samtidigt som andelen finmaterial (smul) ökade. Detta gällde för både 6 mm pellets och 8 mm pellets.

Fukthalten på materialet som går till pressarna är en mycket viktig faktor. I detta fall påverkades som väntat främst bulkdensiteten genom att torrare material/pellets gav en högre bulkdensitet. För 6 mm pellets ökade också hållfastheten och andelen finmaterial minskade vid ökad fukthalt. Vi kunde dock inte detektera någon sådan skillnad för 8 mm pellets men skillnaden i fukthalt var också mindre för 8 mm pellets.

Självuppvärmningsbenägenheten var tydligt kopplad till fukthalten på de producerade pelletarna. En låg fukthalt gav betydligt högre temperatur i pelletshögarna. Maximal temperatur uppnåddes efter 2-3 dagars lagring vilket tyder på att autooxidationen startar direkt efter tillverkning. Eventuellt kunde en större benägenhet för varmgång detekteras för 6 mm pellets men skillnaden kan också bero på andra faktorer än pelletsdimensionerna.

Vi kunde inte detektera någon skillnad i emission av aldehyder mellan 6 mm och 8 mm pellets, inte heller mellan pellets producerade till olika fukthalt. Resultatet tyder på att andra processparametrar än 6 mm eller 8 mm pellets och fukthalt har effekt på emissioner av aldehyder. Det samma gäller för CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och halten av syre.

Emissionerna av aldehyder och CO-, CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- och O<sub>2</sub>-förändringen under lagring bekräftar autooxidation vid lagring av pellets. Temperaturstegringen i högarna är stöder också detta.

## Referenser

1. Thek, Gerold, and Ingwald Obernberger. The pellet handbook: the production and thermal utilization of biomass pellets. Routledge, 2012.
2. Larsson, Sylvia H., et al. "Temperature patterns in large scale wood pellet silo storage." *Applied energy* 92 (2012): 322-327.
3. Lestander, Torbjörn A. "Water absorption thermodynamics in single wood pellets modelled by multivariate near-infrared spectroscopy." *Holzforschung* 62.4 (2008): 429-434.
4. Arshadi M, Geladi P, Gref R, Fjallstrom P, 2009, Emission of Volatile Aldehydes and Ketones from Wood Pellets under Controlled Conditions, *Annals of Occupational Hygiene*, 53, 797-805.
5. Arshadi M & Gref R , 2005, Emission of Volatile Organic Compounds from Softwood Pellets during Storage, *Journal of Forest Products*, 55, 132-135