



Lagring av pellets – inverkan på kvalitet

– Fullskaleförsök hos Agroenergi Neova Pellets AB i Malmbäck

Storage of pellets – influence on quality

- Full scale trial at Agroenergi Neova Pellets AB in Malmbäck

Pelletplattformen II



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

Arbetsrapport 13 2016

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Lagring av pellets – inverkan på kvalitet

– Fullskaleförsök hos Agroenergi Neova Pellets AB i Malmbäck

Storage of pellets – influence on quality

- Full scale trial at Agroenergi Neova Pellets AB in Malmbäck

Pelletplattformen II

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

Nyckelord: Träpellets, varmgång, temperaturstegring, experimentell design

Arbetsrapport 13 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	8
Resultat och diskussion	9
Pelletsegenskaper	9
MLR-modellering	13
Koefficienter	14
Huvudeffekter	16
Inverkan av råvarans fukthalt	16
Inverkan av lagring	18
Inverkan av additiv	20
Temperaturmätningar	21
Emissionsmätningar	25
Möjliga felkällor	28
Slutsatser	30
Referenser	31

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 4 april 2016 och 10 juni 2016. En hel del förberedelser och efterarbete krävdes också.

Tack till Kjell Skiöld och personalen på Agroenergi Neova Pellets AB i Malmbäck.

Finansiärer var Energimyndigheten, Pelletsförbundet och SLU.

Umeå den 2016-07-14

Michael Finell

Sammanfattning

Huvudsyftet med detta försök var att undersöka hur pelletskvaliteten förändras vid lagring av 6 mm och 8 mm pellets och om tillsats av stärkelse (0,5 %) påverkar lagringsegenskaperna och pelletskvaliteten.

Tio satser (högar) om totalt cirka 10 ton pellets bereddes. Sex högar med 8 mm pellets och fyra högar med 6 mm pellets. Pelletarna var tillverkade vid hög fukthalt respektive låg fukthalt. 6 mm pellets tillverkades endast med tillsats av stärkelse medan 8 mm pellets tillverkades både med och utan tillsats. Högarna lagrades i en plansilo under 37 dagar.

I varje hög placerades dataloggrar som samlade in data om hur temperaturen förändrades under lagring. Pellets-kvaliteten, d.v.s. bulkdensitet, hållfasthet, andel finfraktion och pelletsfukthalten mättes både på färsk, nyproducerade pelletar och på lagrat material vid försökets slut.

Försöket visade att självuppvärmningsbenägenheten var tydligt kopplad till fukthalten på de producerade pelletarna. En låg fukthalt gav betydligt högre temperatur i pelletshögarna. Maximal temperatur uppnåddes efter ca 3 dagars lagring.

Pellets-kvaliteten förändrades genom att hållfastheten ökade något efter lagring. Fukthalten på pelletarna ökade också något efter lagring men denna skillnad var mycket liten. Användning av stärkelseadditiv vid pelletstillverkning ökade hållfastheten på produkten men hade i övrigt ingen effekt på lagringsegenskaperna.

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].

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 en procentenhet) på produkten efter några veckors lagring medan andra producenter inte kan detektera en sådan förändring.

I denna studie undersöker vi hur några processparametrar (fukthalt, användning av stärkelse som additiv och pelletsdimension) påverkar egenskaperna vid lagring (varmgång) samt pelletskvaliteten efter lagring.

Material och metoder

Detta försök utfördes hos Agroenergi Neova Pellets AB i Malmbäck. Agroenergi Neova Pellets AB producerar ca 90 000 ton pellets årligen.

Råvara

Man använder en råvara som består av en blandning av 80 % gran och resterande 20 % är en blandning av tall och kutterspån. Råvaran levereras i huvudsak från sågverk i Småland. Som additiv användes potatisstärkelse (Solam).

Utrustning

Spånets blandas i inmatningsfickan, går därefter till grovsällning och torkning. Därefter mals det torkade spånets till en partikelstorlek < 6 mm. Vid användning av additiv (stärkelse) blandas detta in i råvaran i mixern innan pelletspressarna. Tre pelletspressar är kopplade till linjen (en Buhlerpress och två Matadorpressar). Efter pelleteringen kyls produkten till ca 20 °C och finfraktionen sållas bort. Därefter transporteras produkten till lagring. I denna undersökning användes endast Buhlerpressen för tillverkning av 6 mm pellets (matrislängd 42 mm) och en Matadorpress för tillverkning av 8 mm pellets (matrislängd 70 mm).

Experimentell design

Separata fulla faktoriella designers på två nivåer (screening design) för variablerna fukthalt, lagring och additiv användes för 8 mm och 6 mm pellets. För 6 mm pellets finns inte variabeln additiv med eftersom enbart pellets med additiv tillverkades. Fukthalterna justerades så att fukthalten varierades så mycket som möjligt inom de gränser som är möjliga på anläggningen. En sammanfattning av den experimentella designen visas i tabell 1.

Tabell 1. Sammanfattning av den experimentella designen

<i>Provbeteckning</i>	<i>Fukthalt</i>	<i>Pellettdiameter</i>	<i>Additiv</i>
Batch 1	Låg	8 mm	Med
Batch 2	Låg	8 mm	Utan
Batch 3	Låg	8 mm	Med
Batch 4	Hög	8 mm	Utan
Batch 5	Hög	8 mm	Med
Batch 6	Hög	8 mm	Utan
Batch 7	Låg	6 mm	Med
Batch 8	Låg	6 mm	Med
Batch 9	Hög	6 mm	Med
Batch 10	Hög	6 mm	Med

För varje inställning togs ca 10 ton material ut och placerades i separata högar. Högarna lagrades under drygt 5 veckor, 37 dygn (4 april 2016 till 13 juni 2016).

Provtagning

Representativa prover (5 x 10 kg) av pellets togs ut ur högarna vid försökets start (4 april) och vid försökets slut (10 juni). Proverna förvarades i lufttäta

plastsäckar och transporterades till Umeå för analys med avseende på andel finmaterial, hållfasthet, bulkdensitet och fukthalt. Prover av 8 mm pellets med tillsats och utan tillsats togs också ut för emissionsanalyser (CO, CO₂, CH₄ och O₂)

Representativa prover (5 x 1 kg) av spån togs också ut vid pelletspressen från varje försök för analys av torrhalt och aska. Proverna förvarades i lufttäta plastpåsar.

Temperaturmätning

Två temperaturloggrar, Tinytag loggers (Gemini Data Loggers, UK) placerades i botten på varje hög ca 10-20 cm från golvytan. Två temperaturloggrar placerades ut omkring pelletshögarna för att registrera omgivningens temperatur. Data loggades var annan timme under försökets gång.

Gasmätning och provtagning av aldehyder

Mätning av förändringen av CO, CO₂, CH₄ och O₂ i 19 L behållare för 8 mm pellets med och utan stärkelse tillsats gjordes regelbundet under drygt två veckor. Provtagningen gjordes med en ECOM J2KN gasanalysator som visas i Figur 1.



Technical characteristics of the selected gas analyzer, ECOM JK2N

Parameter	Range
O ₂	0-21%
CO	0-63000 ppm
CO ₂	0-25%
CH ₄	0-4%

Figur 1. Provtagningsutrustning för gaser, ECOM JK2N.

Analyser

Askhalt analyserades på de uttagna spånproverna. Följande metod användes:

- Askhalt SS-EN 14775:2009

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, lagring och användning av stärkelseadditiv påverkar pellets kvaliteten.

Pelletsegenskaper

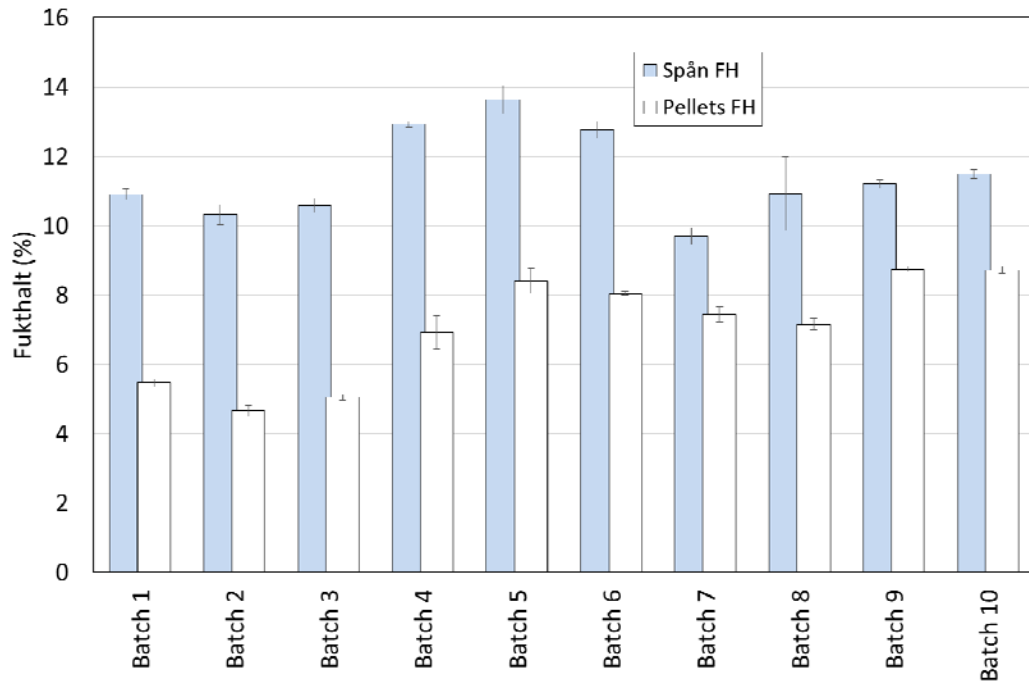
Tabell 2 visar hur väl vi lyckades uppnå den önskade fukthalten på det producerade materialet. För 8 mm pellets gick försöket bra; lägsta fukthalten hamnade på 4,7 % och den högsta fukthalten hamnade på 8,4 %. För 6 mm pellets lyckades vi inte lika bra; lägsta fukthalten hamnade på 7,2 % och den högsta fukthalten hamnade på 8,8 %. D.v.s. betydligt mindre variation i fukthalt på 6 mm pellets. Fukthalterna som rapporteras i tabell 2 är medelvärden av fem fukthaltsmätningar.

Tabell 2. Önskad och uppnådd pelletsfukthalt

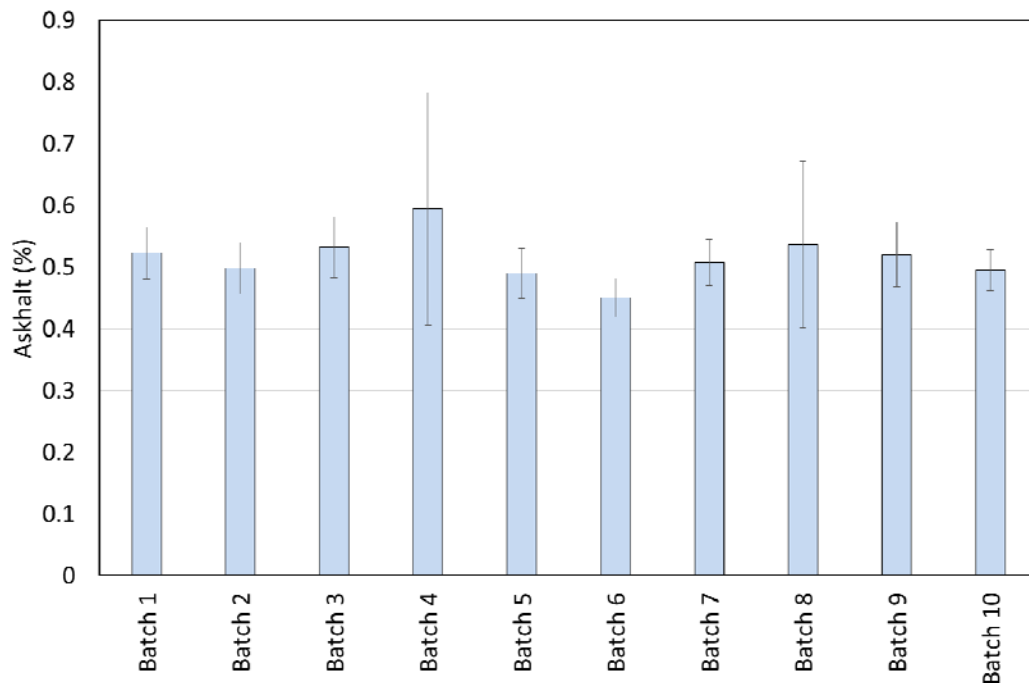
<i>Provbeteckning</i>	<i>Pellettdiameter</i>	<i>Önskad pelletsfukthalt</i>	<i>Uppnådd pelletsfukthalt (%)</i>
Batch 1	8 mm	Låg (5 %)	5.5
Batch 2	8 mm	Låg (5 %)	4.7
Batch 3	8 mm	Låg (5 %)	5.1
Batch 4	8 mm	Hög (8 %)	6.9
Batch 5	8 mm	Hög (8 %)	8.4
Batch 6	8 mm	Hög (8 %)	8.1
Batch 7	6 mm	Låg (5 %)	7.4
Batch 8	6 mm	Låg (5 %)	7.2
Batch 9	6 mm	Hög (8 %)	8.8
Batch 10	6 mm	Hög (8 %)	8.7

Figur 2 visar fukthalten på det torkade spånets och fukthalten på pellets producerade av spån med en viss fukthalt. I medeltal sjönk fukthalten med 5,4 procentenheter vid produktion av 8 mm pellets. För 6 mm pellets sjönk fukthalten med i medeltal 2,8 procentenheter.

Figur 3 visar askhalten i material från de olika pelletshögarna. Medelvärdet för askhalten ligger på 0,51 %.



Figur 2. Fukthalt på torkat spån och på pellets, medelvärden och \pm en standardavvikelse.

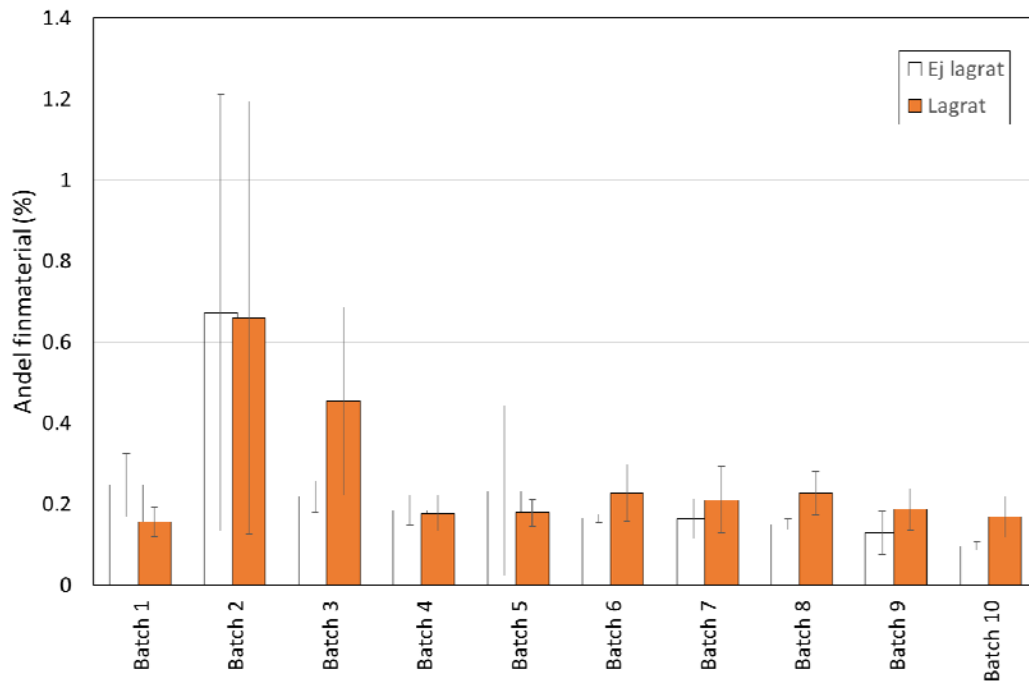


Figur 3. Variation i askhalt på det torkade spånet som användes vid pelletstillverkningen, medelvärden och \pm en standardavvikelse.

Figur 4-7 visar hur de analyserade pelletsegenskaperna förändras vid lagring. Den vita stapeln visar pelletsegenskaperna för nyttillverkade pellets och den

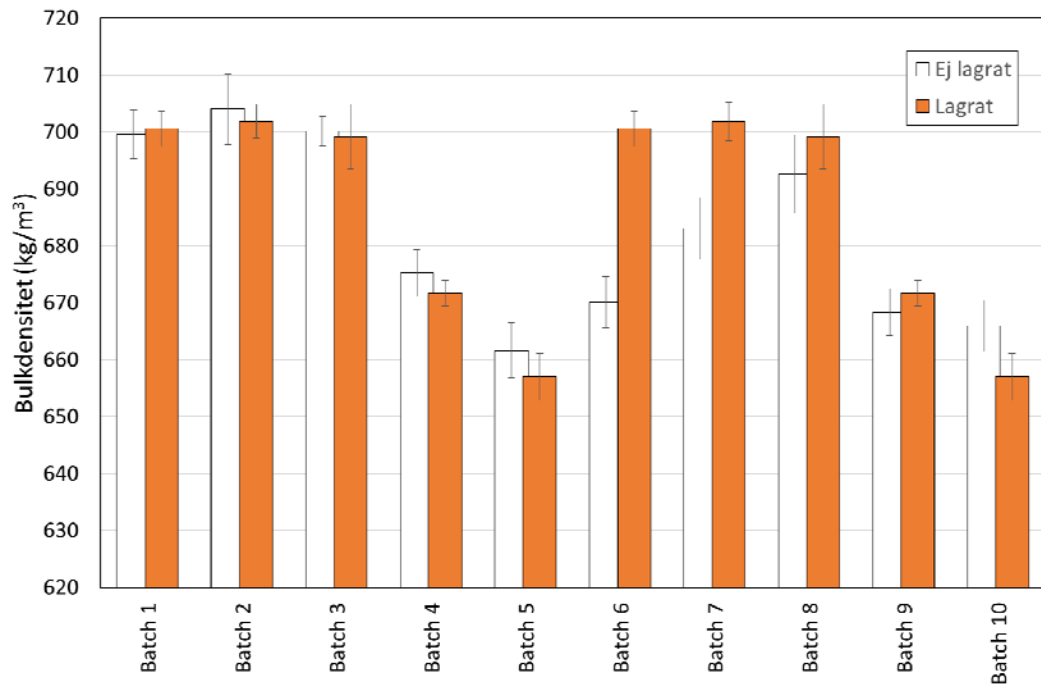
orangea stapeln visar egenskaper för lagrade pellets (ca 5 veckors lagring). Felstaplarna visar \pm en standardavvikelse.

Figur 4 visar andelen finfraktion före och efter lagring i de olika högarna. Batch 2 (låg fukthalt, utan additiv, 8 mm) sticker ut med betydligt högre andel finmaterial än de övriga satserna. Även Batch 3 (låg fukthalt, med additiv, 8 mm) avviker genom att andelen finfraktion verkar bli mycket högre efter lagring. I 6 fall av 10 har andelen finmaterial ökat efter lagringen. I 4 fall av 10 har andelen finmaterial minskat eller är oförändrat efter lagring. Det verkar inte finnas någon systematisk skillnad i hur andelen finmaterial förändras vid lagring.



Figur 4. Andelen finfraktion före och efter lagring i de olika pelletshögarna, medelvärden och \pm en standardavvikelse.

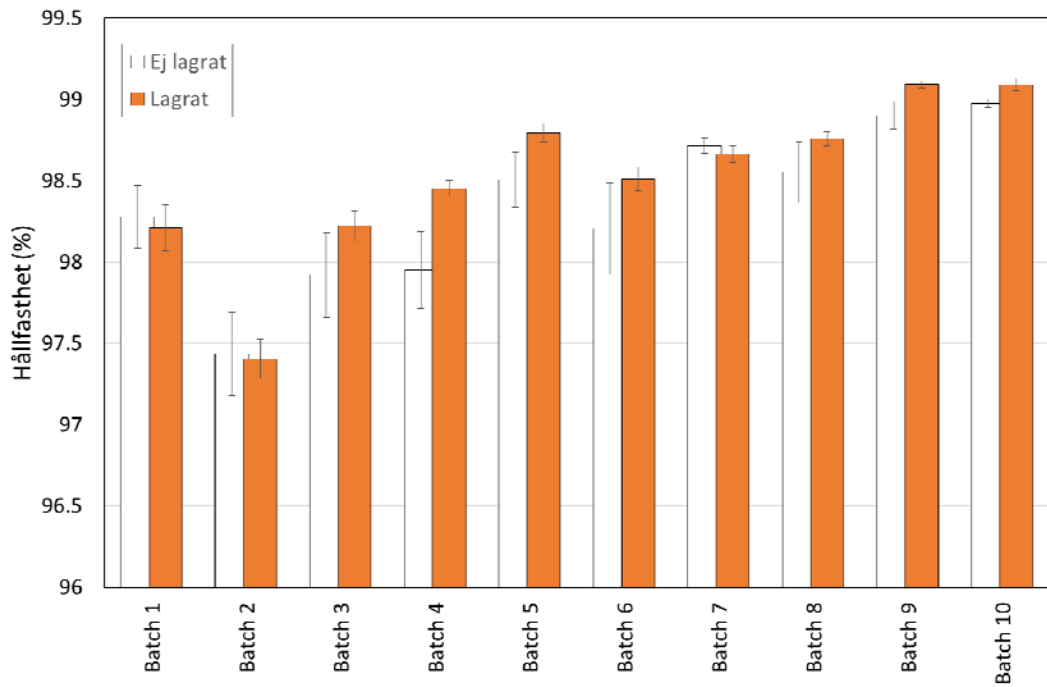
Figur 5 visar bulkdensiteten på pellets före och efter lagring. Här kan man se att en låg fukthalt ger högre bulkdensitet både för 8 mm och 6 mm pellets. Intressant är att bulkdensiteten ökar tydligt efter lagring för Batch 6 och Batch 7. För de övriga satserna är det ingen eller mycket liten skillnad i bulkdensitet före och efter lagring.



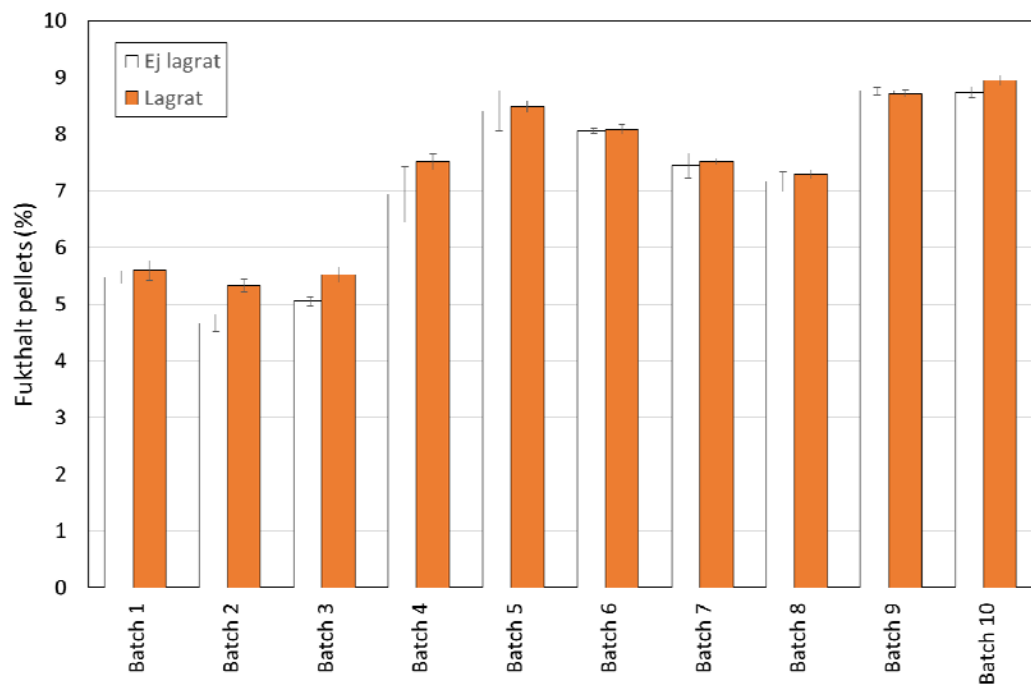
Figur 5. Bulkdensitet före och efter lagring i de olika pelletshögarna, medelvärden och \pm en standardavvikelse.

Figur 6 visar hållfastheten på pellets före och efter lagring. För 8 mm pellets kan man tydligt se att Batch 1, Batch 3 och Batch 5, som är tillverkade med additiv har högre hållfasthet än pellets tillverkade utan additiv. Fukthalten har också en tydlig inverkan på hållfastheten. Hållfastheten ökar också efter lagring i de flesta fall både för 8 mm och 6 mm pellets. Det finns dock några undantag där man inte kan detektera någon förändring i hållfasthet före och efter lagring.

Figur 7 visar fukthalten i pellets före och efter lagring. I de flesta fall verkar pelletsfukthalten öka något vid lagring. Detta gäller både för pellets producerade vid låg fukthalt och hög fukthalt och pellets producerade både med och utan additiv. Skillnaden i fukthaltsförändring efter lagring är dock mycket liten.



Figur 6. Hållfasthet före och efter lagring i de olika pelletshögarna, medelvärden och \pm en standardavvikelse.



Figur 7. Pelletsfukthalt före och efter lagring i de olika pelletshögarna, medelvärden och \pm en standardavvikelse.

MLR-modellering

Multipel linjär regression (MLR) användes för att koppla de varierade faktorerna (fukthalt, additiv och lagring) till responserna (uppmätta

pelletskvalitetsegenskaper) vid pelleteringsförsöken. Fukthalten på pellets användes både som en faktor och en respons. Detta för att det inte gick att direkt koppla fukthalterna mätta på spånets till de producerade pelleterna då spånproverna togs ut vid pressen och pelletsproverna togs ut i pelletslagret. Följande förkortningar har använts för faktorerna: Fukthalt-PFH1, Lagring-Lag (Ja/Nej), Additiv-Add (M/U). För 6 mm pellets fanns bara alternativet med additiv så den faktorn har inte tagits med i modellerna för 6 mm pellets.

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

Egenskap	R^2	Q^2
Bulkdensitet	0.74	0.68
Finfraktion	0.31	0.16
Hållfasthet	0.79	0.75
Pelletfukthalt	0.99	0.99

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

Egenskap	R^2	Q^2
Bulkdensitet	0.83	0.79
Finfraktion	0.40	0.30
Hållfasthet	0.81	0.78
Pelletfukthalt	0.97	0.96

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 hyggliga modeller för responserna "bulkdensitet", "hållfasthet" och "pelletfukthalt". Modellen för "finfraktion" 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.

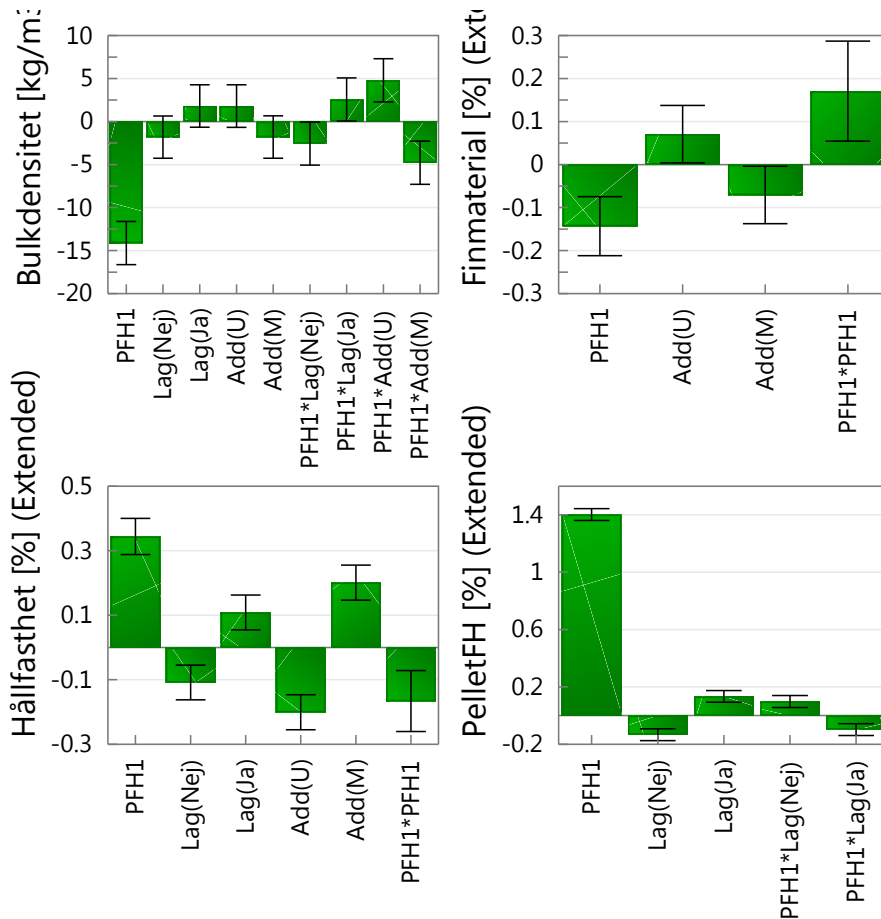
För 6 mm pellets är också modellerna för "bulkdensitet", "hållfasthet" och "pelletsfukthalt" bra. Modellen för "finfraktion" också här mindre bra men kan användas för att visa vilka faktorer som påverkar egenskapen.

Koefficienter

I figur 8-9 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.

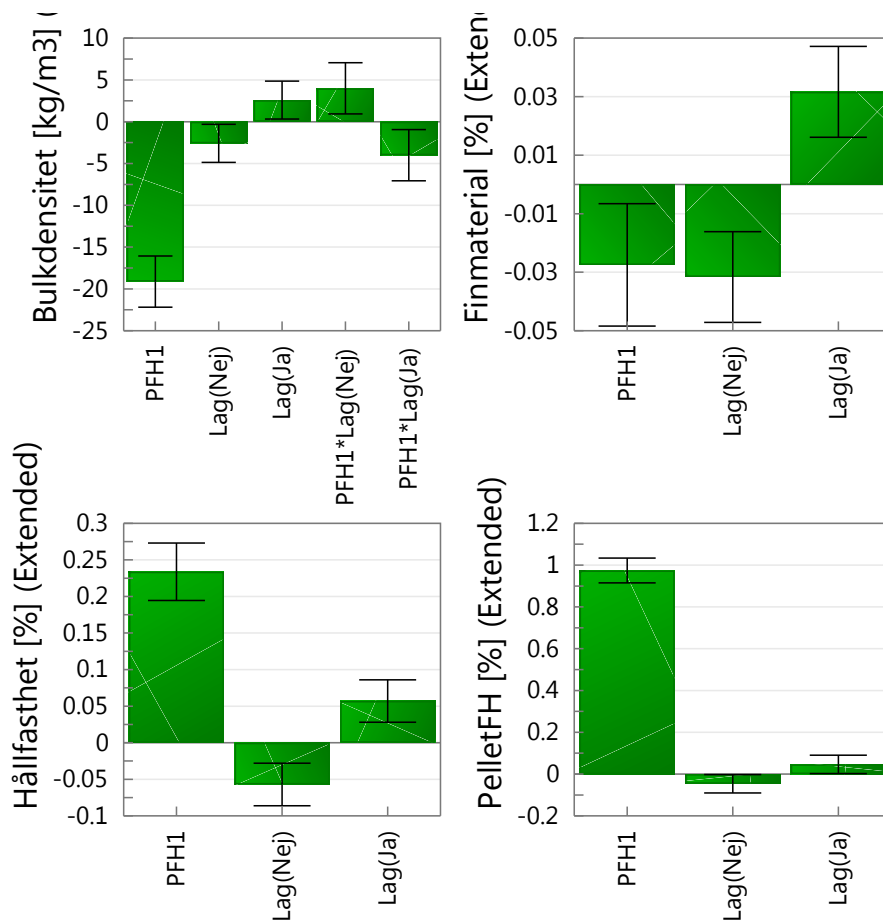
Från figur 8 kan man utläsa att för 8 mm pellets påverkades bulkdensiteten av fukthalten genom att en högre fukthalt gav lägre bulkdensitet. Interaktionen mellan fukthalt och additiv samt interaktionen mellan fukthalt och lagring påverkade också bulkdensiteten men i mindre grad. Andelen finmaterial och

hållfastheten påverkades av lagring genom att hållfastheten ökade för lagrad pellets. Fukthalten var dock den viktigaste faktorn för båda dessa responser, ökad fukthalt gav ökad hållfasthet och minskad finfraktion till den gräns när den kvadratiske termen av fukthalt motverkar detta. Användning av additiv ökade också hållfastheten och minskade andelen finmaterial. Lagring och interaktionen mellan lagring och fukthalt hade små men signifikant inverkan på pelletsfukthalten.



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

Figur 9 visar att för 6 mm pellets så påverkades bulkdensiteten av framför allt fukthalten genom att en hög fukthalt gav lägre bulkdensitet. Lagring och interaktionen mellan lagring och fukthalt påverkade också bulkdensiteten men i mindre utsträckning. En hög fukthalt gav lägre andel finmaterial och lagringen ökade andelen finmaterial. Hållfastheten påverkades både av fukthalt och lagring. En högre fukthalt gav högre hållfasthet och lagring ökade också hållfastheten. Pelletsfukthalten påverkades i liten utsträckning av lagring genom att öka något efter lagring.



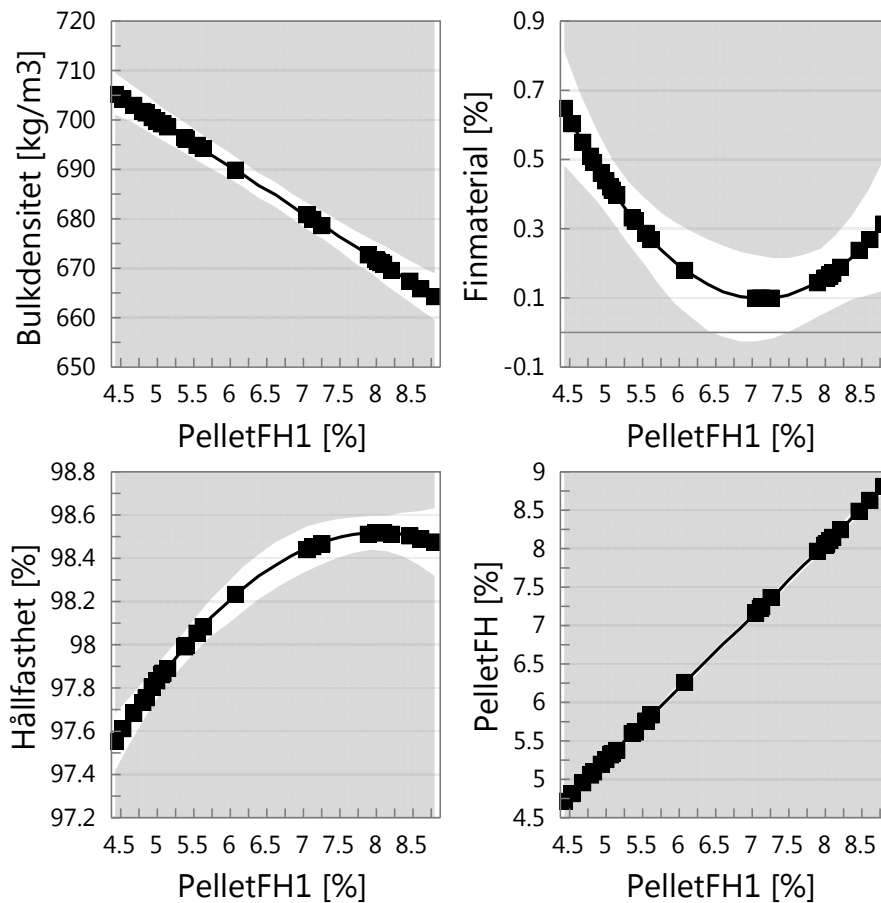
Figur 9. Koefficienternas inverkan på de uppmätta egenskaperna för 6 mm pellets

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 fukthalt, additiv och lagring.

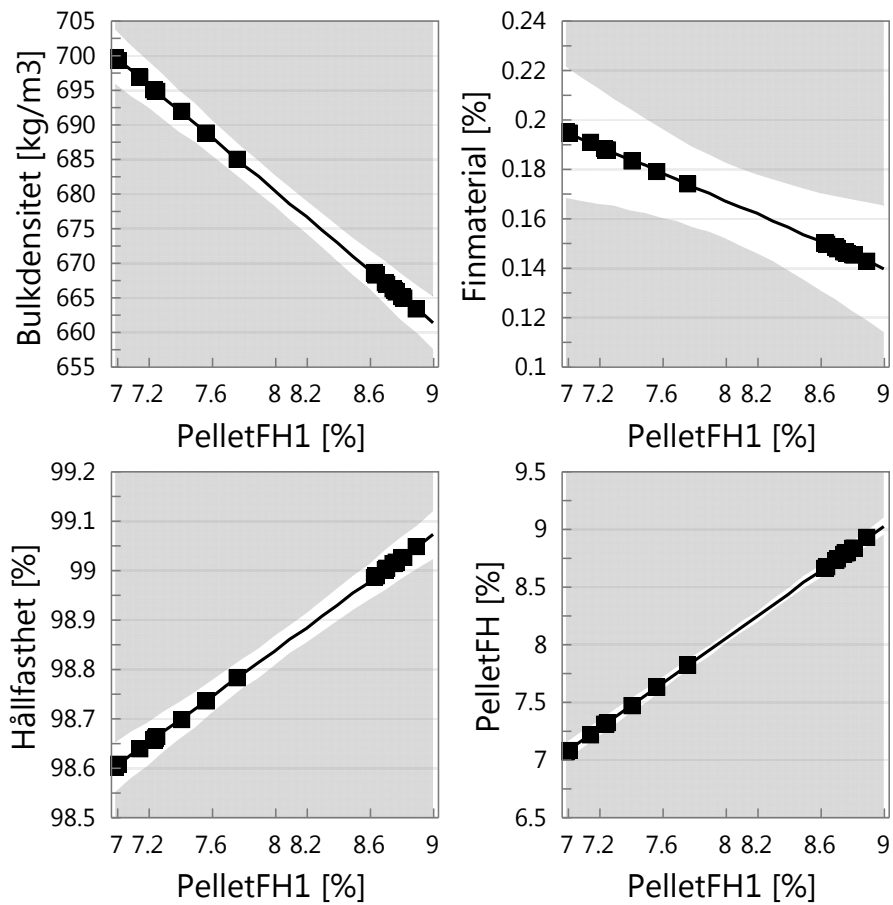
Inverkan av råvarans fukthalt

Från figur 10 kan man utläsa att för 8 mm pellets har fukthalten till vilka pelletarna producerades en tydlig inverkan på bulkdensiteten. Fukthalten påverkar bulkdensiteten genom att en högre fukthalt ger lägre bulkdensitet. Man ser också tydligt att det finns ett optimalt fukthaltsintervall där man hade den högsta hållfastheten och lägsta andelen finmaterial. I denna undersökning är optimal fukthalt på de producerade pelletarna ca 7,5 %.



Figur 10. Inverkan av råmaterialalets torrhalt på andel finmaterial bukdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 8 mm pellets.

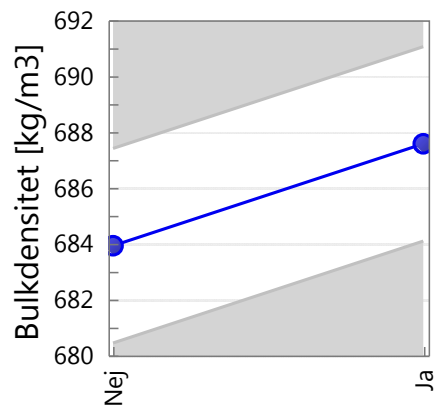
Figur 11 visar hur råvarans fukthalt påverkar 6 mm pellets. Här kan vi se att fukthalten har en signifikant betydelse för alla uppmätta egenskaper. Bulkdensiteten minskar med ökad fukthalt. Andelen finmaterial minskar samtidigt som hållfastheten ökar när man ökar fukthalten. Man kan inte detektera ett tydligt optimum för 6 mm pellets som man kunde göra för 8 mm pellets. Detta beror troligtvis på att det undersökta fukthaltsintervallet är betydligt snävare för 6 mm pellets och därför har vi inte täckt in det optimala fukthaltsintervallet i denna undersökning.



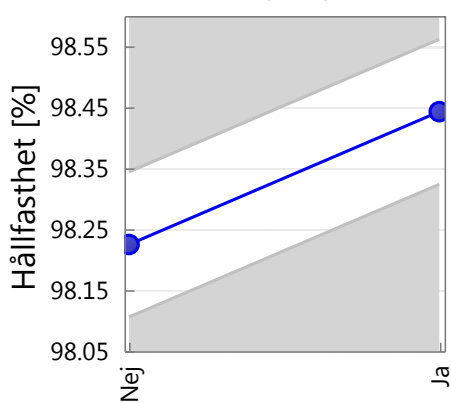
Figur 11. Inverkan av råmaterialalets torrhalt på andel finmaterial bukdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 6 mm pellets.

Inverkan av lagring

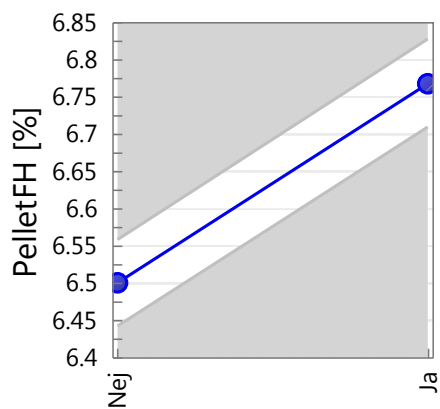
Figur 12 visar hur lagringen påverkar egenskaperna för 8 mm pellets. Lagringen ökar bulkdensiteten samtidigt som hållfastheten på pelletarna ökar. Lagringen ökar också fukthalten på de producerade pelletarna. Skillnaden mellan icke-lagrad pellets och lagrad pellets är dock liten. Skillnaden i andel finmaterial finns inte med eftersom faktorn lagring inte är signifikant för denna respons.



Lagering



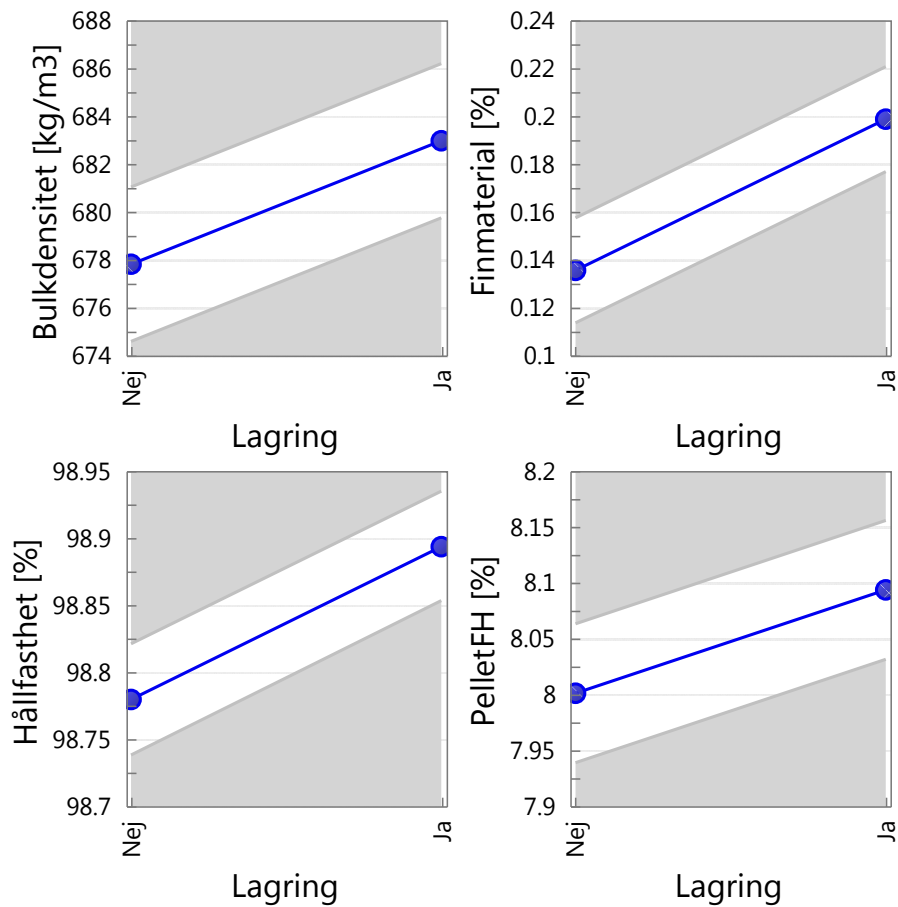
Lagering



Lagering

Figur 12. Inverkan av lagring på andel finmaterial, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 8 mm pellets.

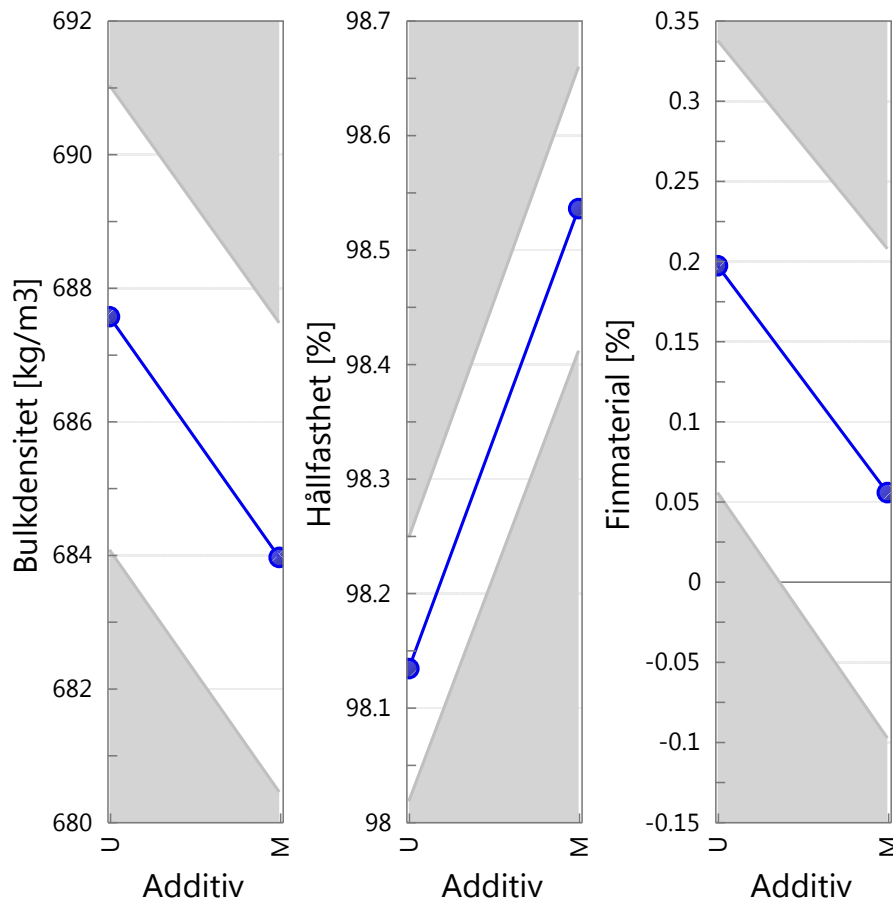
Figur 13 visar hur lagringen påverkar egenskaperna för 6 mm pellets. Bulkdensiteten och andelen finmaterial ökar samtidigt som hållfastheten ökar efter lagring. Även fukthalten på pelletarna ökar något efter lagring. Detta stämmer väl överens med förändringarna som sker vid lagring av 8 mm pellets. Även här är inverkan av lagring på pelletsegenskaperna liten.



Figur 13. Inverkan av lagring på andel finmaterial, bulkdensitet, hållfasthet och pelletfukthalt på 6 mm pellets.

Inverkan av additiv

Figur 14 visar hur additiv (stärkelse) påverkar egenskaperna för 8 mm pellets. "M" indikerar pellets tillverkade med additiv och "U" indikerar pellets tillverkade utan additiv. Additivet minskar bulkdensiteten något samtidigt som hållfastheten ökar och andelen finmaterial minskar. Skillnaden i bulkdensitet och andel finfraktion är dock liten, tydligast märks inverkan av additiv på hållfastheten.

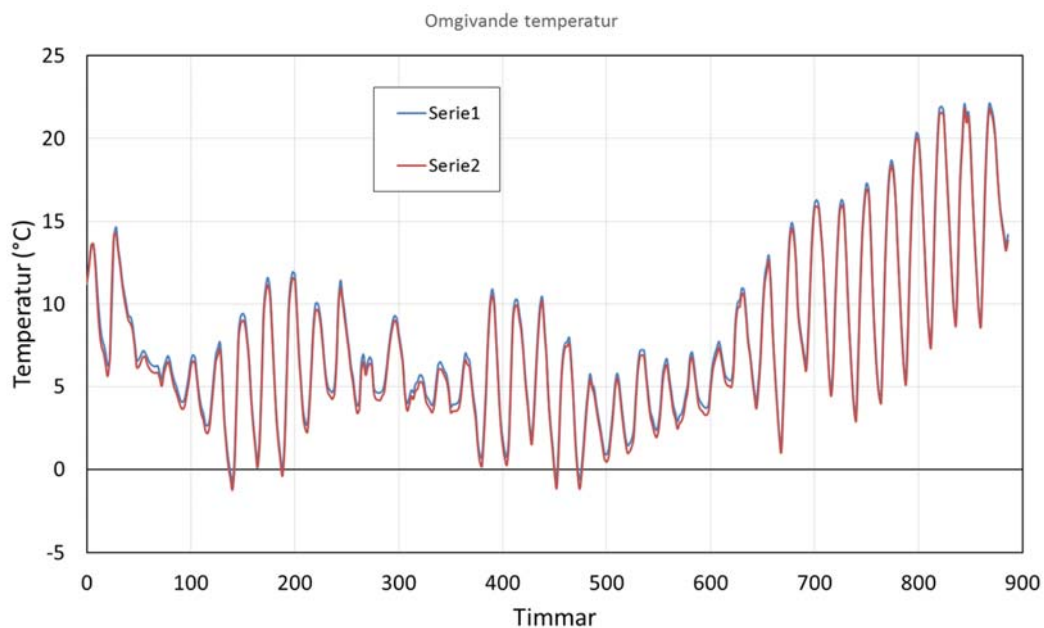


Figur 14. Inverkan av additiv ("U"- utan additiv, "M" – med additiv) på bulkdensitet, hållfasthet och andel finmaterial för 8 mm pellets.

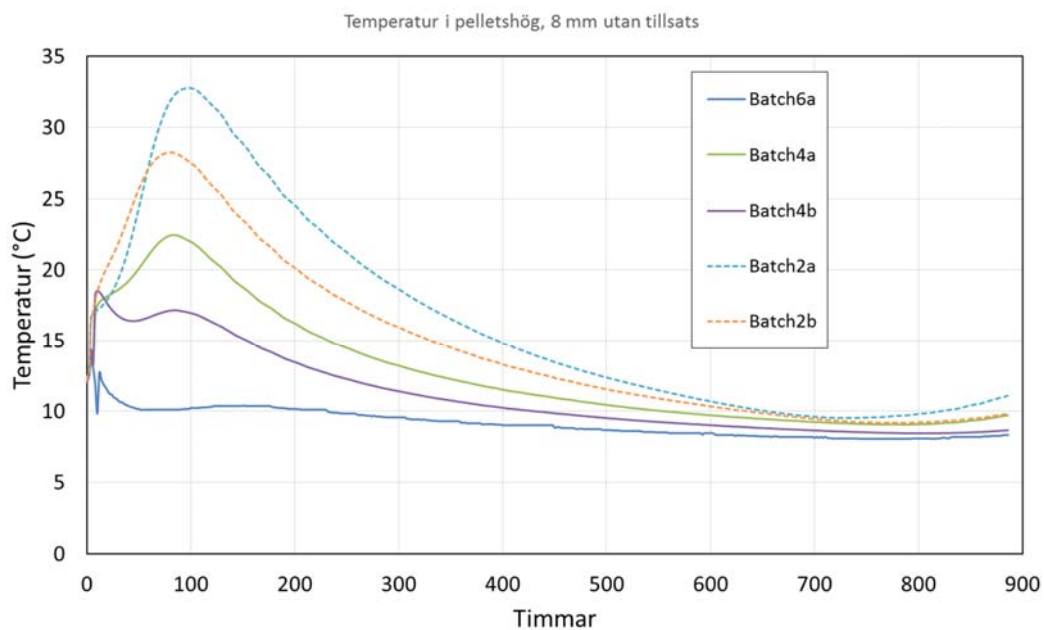
Temperaturmätningar

Under försöket registrerades temperaturen, 10-20 cm från golvytan inne i pelletshögarna. Även omgivningens temperatur loggades på två olika ställen i pelletslaget.

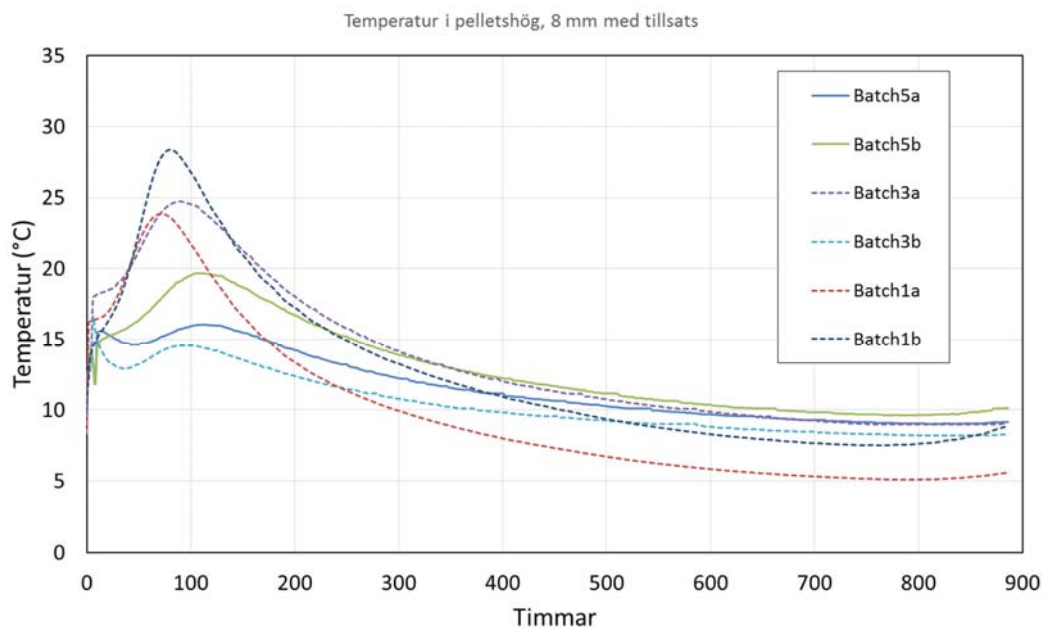
Figur 15 visar omgivningens temperaturförändring under försöksperioden. Man kan se att nattemperaturen några gånger under försöksperioden har sjunkit under 0 °C. Under de 600 första timmarna har dock den omgivande temperaturen pendlat omkring + 5 °C. Efter 600 timmar börjar den omgivande temperaturen stiga.



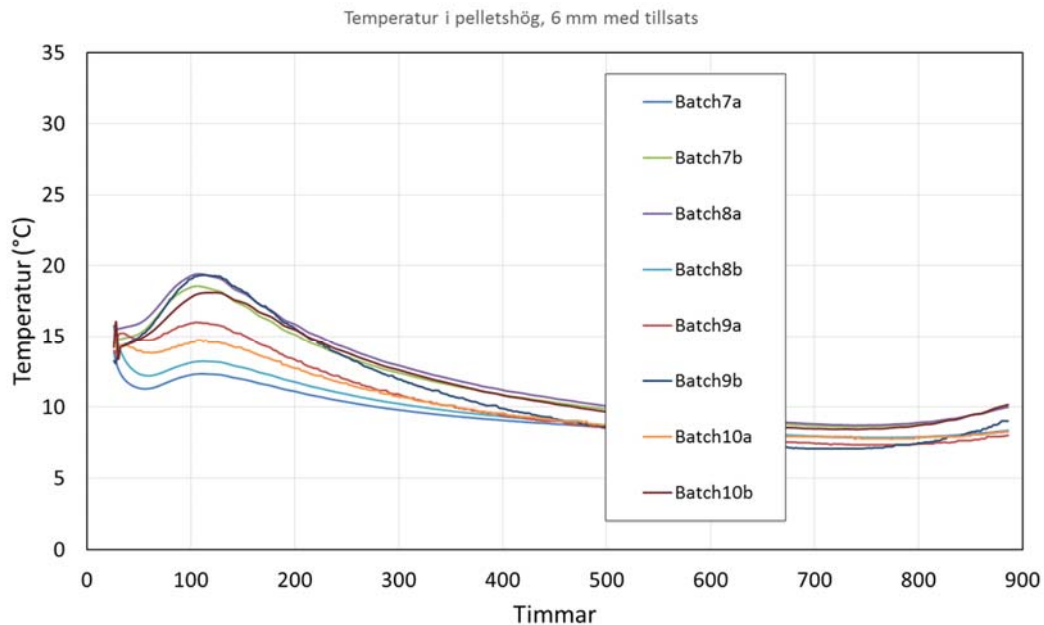
Figur 15. Omgivande lufttemperatur under lagringsförsöket, data från två olika mätpunkter.



Figur 16. Temperaturförändring i högar med 8 mm pellets tillverkade utan tillsats.



Figur 17. Temperaturförändring i högar med 8 mm pellets tillverkade med tillsats av stärkelse.



Figur 18. Temperaturförändring i högar med 6 mm pellets tillverkade med tillsats av stärkelse.

Figur 16 visar temperaturförändringen i högarna med 8 mm pellets tillverkade utan tillsats, figur 17 visar temperaturförändringen i högarna med 8 mm pellets tillverkade med tillsats av stärkelse och figur 18 visar temperaturförändringen i högarna med 6 mm pellets tillverkade med tillsats av stärkelse.

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

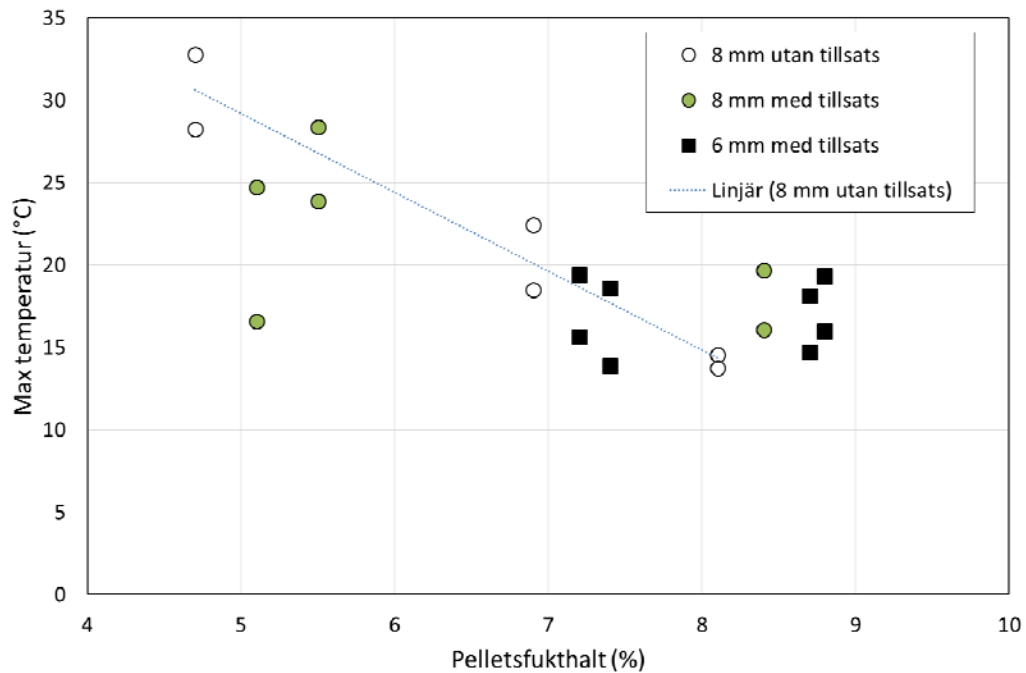
Tabell 5. Uppmätta maxtemperaturer i högar för mätare a och b.

Prov- beteckning	Pellet- Diameter (mm)	Uppnådd Pelletsfukthalt (%)	Maxtemp Mätare a (°C)	Maxtemp Mätare b (°C)
Batch 1	8	5.5	23.9	28.4
Batch 2	8	4.7	32.8	28.2
Batch 3	8	5.1	24.7	16.6
Batch 4	8	6.9	22.5	18.5
Batch 5	8	8.4	16.1	19.7
Batch 6	8	8.1	13.7	14.6
Batch 7	6	7.4	13.9	18.6
Batch 8	6	7.2	19.4	15.7
Batch 9	6	8.8	16.0	19.4
Batch 10	6	8.7	14.7	18.1

Uppmätta maxtemperaturer för mätare a och b finns listade i tabell 5. Det är oklart vilken av mätarna som var högre upp i högen. Troligtvis var den temperaturgivare som visade ett högre värde högre upp i högen eftersom vi antar att temperaturen ökar ju högre upp i högen man gör mätningen.

En del temperaturgivare hade också hamnat direkt mot golvet under pelletshögen då pinnen den var fäst i hade brutits av på grund av tyngden från pelletshögen. Exakt höjd över golvet var temperaturgivarna var placerade är därför svårt att ange. En temperaturgivare (Batch 6b) registrerade inte all data, antagligen beroende på att kabeln hade blivit skadad. Temperaturdata för denna sond visas därför inte i figur 16 men maxvärdet har tagits med i tabell 5 och figur 19.

Figur 19 visar korrelationen mellan pelletsfukthalt och maximal uppmätt temperatur i pelletshögarna. Det verkar finnas ett samband mellan pelletsfukthalten och temperaturen i högarna. Låg pelletsfukthalt ger en högre temperatur vid lagring. Tillverkas pelletarna med tillräckligt hög fukthalt, i detta fall > 7,5 % så verkar risken för självuppvärmning vara betydligt lägre. Ingen skillnad mellan 6 mm och 8 mm pellets eller pellets tillverkade med eller utan tillsats är möjlig att detektera med avseende på temperatur i pellethögarna.



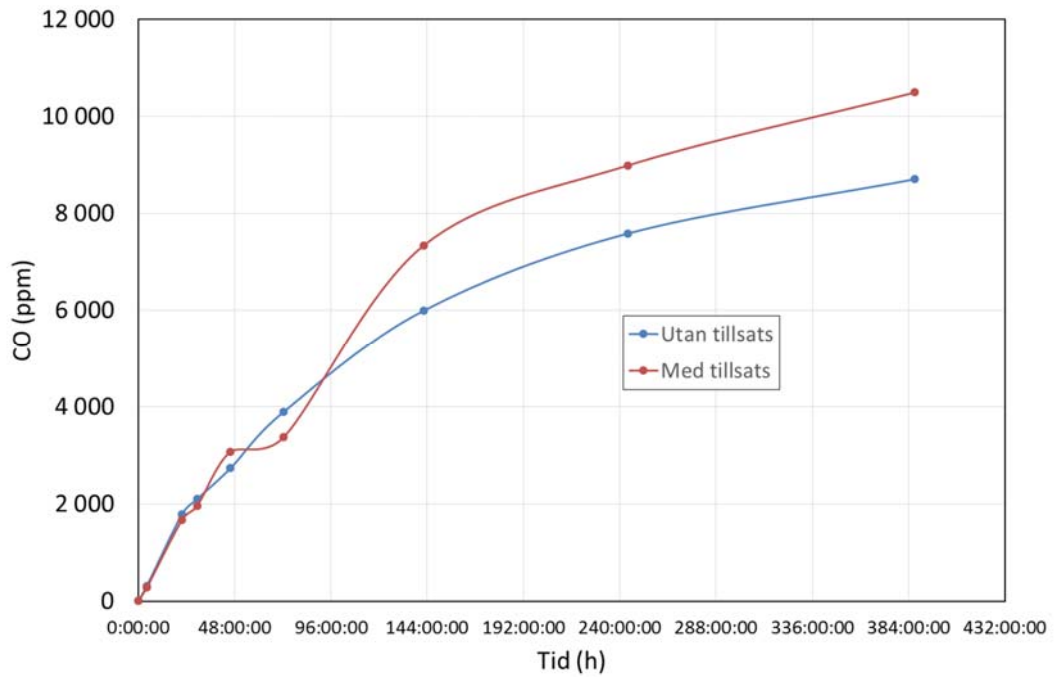
Figur 19. Korrelation mellan pelletsfukthalt och uppmätt maxtemperatur inne i pelletshögarna.

Emissionsmätningar

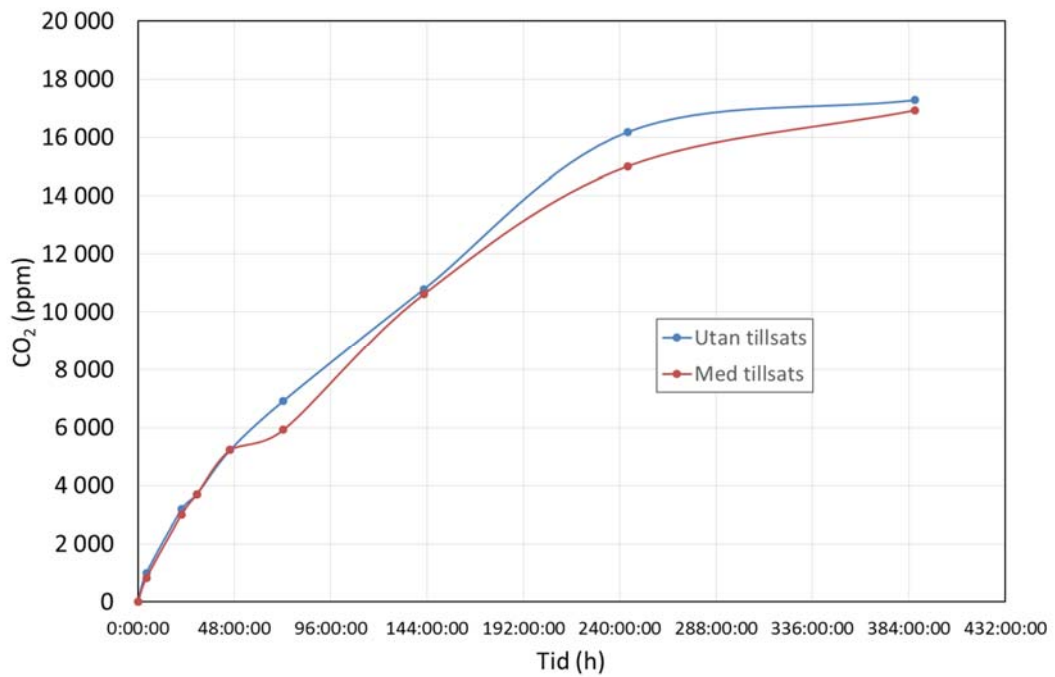
För att studera om det är någon skillnad i emissioner av CO, CO₂ och CH₄ mellan pellets tillverkade med tillsats av stärkelse och utan tillsats av stärkelse mättes emissionerna av dessa gaser i 19 L behållare. Provtagning av gassammansättningen i behållarna gjordes regelbundet under ca 2 veckor. Mätningarna gjordes enbart på 8 mm pellets.

Figur 20 visar att halten av CO ökar på liknande sätt för pellets med och utan tillsats. En viss skillnad kan detekteras efter ca 100 h lagring men detta beror antagligen på andra faktorer.

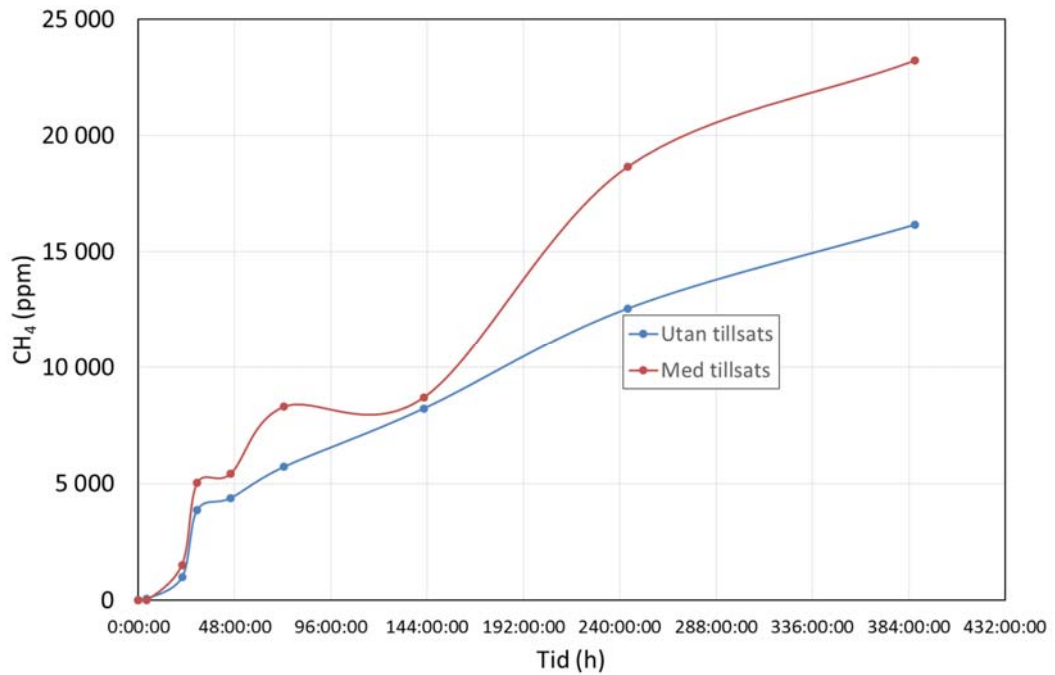
I figur 21 och figur 22 visas emissionerna av CO₂ och CH₄. Emissionerna av dessa gaser uppvisar samma mönster som för koldioxidemissionerna. Det är troligtvis ingen skillnad mellan pellets tillverkade med additiv och pellets tillverkade utan additiv med avseende på emissioner av kolmonoxid, koldioxid och metan.



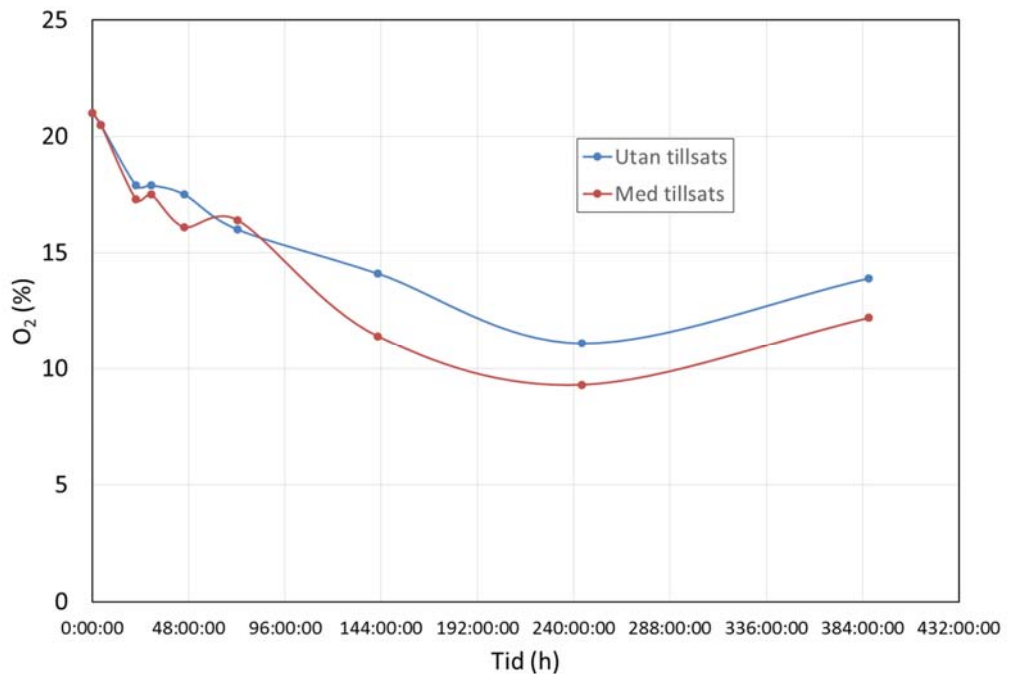
Figur 20. Kolmonoxidhaltens förändring över tid. Pelletslagring i 19 L gastäta behållare.



Figur 21. Koldioxidhaltens förändring över tid. Pelletslagring i 19 L gastäta behållare.



Figur 22. Metangashaltens förändring över tid. Pelletslagring i 19 L gastäta behållare.



Figur 23. Syrgashaltens förändring över tid. Pelletslagring i 19 L gastäta behållare.

I figur 23 visas hur syrgashalten förändras i behållarna vid lagring av pellets. Både pellets tillverkade med tillsats och pellets tillverkade utan tillsats förbrukar syrgas på liknande sätt. Detta tyder på att autooxidation sker men det

är inte någon skillnad mellan pellets tillverkade med additiv och utan additiv med avseende på denna egenskap.

Utifrån resultaten finns det inga tecken på att det skulle vara skillnad pellets tillverkade med tillsats eller utan tillsats med avseende på emissioner av CO, CO₂, CH₄ och förändring i syrgashalten. Man kan därför dra slutsatsen att bildningen av kolmonoxid, koldioxid och metan beror på andra råvaru- eller processparametrar.

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.
- Fukthaltsstyrning – det är svårt för operatörerna att 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. I detta fall märktes detta tydligt för 6 mm pellets där fukthaltsvariationen mellan de olika satserna var mycket liten.
- Provtagning – svårt att ta ut representativa prover på 10 kg från en hög på 10 ton pellets. Fem prover togs från varje hög före respektive efter lagring.
- Temperaturmätning i pelletshögarna – nu mättes temperaturen bara i botten på högarna, ca 10-20 ovanför golvytan. Troligtvis hade vi uppmätt högre temperaturer om en mätare hade placerats i toppen på högarna. Högarna hade en höjd på ca 1,5 m. Figur 24 visar pelletshögarna vid lagringsförsöket med pinnar där temperaturgivarna var fästa.



Figur 24. Pelletshögarna vid lagringsförsöket hos Agoenergi Neova Pellets AB i Malmbäck.

Slutsatser

Huvudsyftet med detta försök var att undersöka hur pelletskvaliteten förändras vid lagring samt hur självuppvärmningsbenägenheten påverkas av olika fukthalt, användning av stärkelseadditiv samt dimensioner (8 mm och 6 mm) på de producerade pelletarna. Dessutom mättes emission av CO, CO₂, CH₄ i laboratorieskala på 8 mm pellets med och utan additiv.

Försöket visade att lagringen påverkade pelletskvaliteten genom att ge en något högre hållfasthet på pelletarna. Detta gällde för både 6 mm pellets och 8 mm pellets. En liten höjning av fukthalten på pelletarna skedde också under lagringen. Förändringen i andra egenskaper var försumbar.

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.

Självuppvärmningsbenägenheten var tydligt kopplad till fukthalten på de producerade pelletarna. En låg fukthalt gav betydligt högre temperatur i pelletshögarna. Maximal temperatur uppnåddes efter ca 3 dagars lagring vilket tyder på att autooxidation startar direkt efter tillverkning.

Vi kunde inte detektera någon skillnad i emission av CO, CO₂, CH₄ mellan pellets tillverkade med eller utan stärkelseadditiv. Resultatet tyder på att det är andra råvaru- eller processparametrar styr emissionsbildningen.

Emissionerna av CO-, CO₂-, CH₄- och O₂-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.