



STUDENTUPPSATSER nr 80 • 2005
STUDENTS' REPORTS
Skogsteknologi
Forest Technology

Pelletering av tallspån - grundläggande studier

Pelletsizing of pine sawdust - a basic study

Dan Bergström



Examensarbete
i ämnet skogshushållning

Handledare: Rolf Gref
Examinator: Iwan Wästerlund

Pelletering av tallspån – grundläggande studier

(Pelletsizing of pine sawdust – a basic study)

Dan Bergström

Högskoleingenjörsexamen i Energiteknik vid Umeå Universitet

Förord

Detta arbete ligger till grund vid examinationen av min utbildning som högskoleingenjör i energiteknik med inriktning mot bioenergi. Arbetet utgör en viktig del av studierna samt representerar mig mot en arbetsmarknad. Ämnesområdet i detta arbete ligger till stor del utanför studerade ämnen under grundutbildningen. Det jag har lärt mig och kan stå för med detta arbete, har jag framförallt min handledare Rolf Gref att tacka för. Hans engagemang och kunnande har inspirerat mig att utföra uppgiften på ett bra sätt. Jag vill även tacka resterande, berörda personer vid SLU, vilka har hjälpt mig inom ämnesområdet, samt energiteknikern Gunnar Henriksson för givande diskussioner.

Utifrån arbetsinsatsen tycker jag att omfattningen av arbetet blev något större än jag tänkt mig och med facit i hand kan grundläggande studier av pelleteringsprocessen både vara både svårare och mer tidskrävande än vad man kan tro. Trots detta tycker jag att resultaten har påvisat trender som får mig att förstå delar av processens komplexitet. Därmed har det lagts en grund för efterföljande studier inom området.

Umeå, våren 2005.

Dan Bergström

Sammanfattning

Träpellets är en förädlad restprodukt från sågverk-, trä- och massa industrin. Förädlingen sker genom pressning av den initialt finfördelade och torkade råvaran till små cylindriska enheter med en högre densitet än den ursprungliga råvaran. Den färdiga produktens egenskaper har många fördelar gentemot råvaran: energivärde per volymsenhet, transport- och lagringsegenskaper och homogenitet.

I produktionsledet är det många parametrar som samverkar vilket medför att förädlingssteget är relativt komplicerat. Trä/ved är ett komplext material som både till kemisk och strukturell sammansättning varierar med träddel, ståndort och lagringsförfaranden. Den industriella produktionslinjen har begränsningar gällande noggrann kontroll av vissa processparametrar, vilket innebär problem vid styrning av processen.

Syftet med detta arbete var att utifrån en given råvara producera pellets i laboratorieskala under kontrollerade betingelser, för att sedan kunna analysera dessa och se hur de använda parametrarna som fukthalt, spåntyp, presstryck och temperatur samverkar och bidrar till slutproduktens egenskaper.

Pelleterna testades sedan med avseende på densitet, tryckhållfasthet/hårdhet och fuktabsorption för att samband/trender mellan ingående parametrar och färdig pellets kunde utvärderas.

Resultaten visade att råvarans fukthalt är den parameter som till största del styr processen vid pelletering, samt att trender ur försöken överensstämde väl med resultat från liknande parameterstudier vid densifiering av biomassa. Under arbetets gång uppstod nya frågeställningar, t.ex. hur kan en produktutveckling, med avseende på fraktionssammansättning på råvaran, se ut för pellets?

Abstract

Wood pellets are an upgraded product of residuals from several wood processing industries, for example saw mills and pulp industries. The pellets are produced by pressing the milled and dried sawdust to cylindrical units with a higher density than the initial raw material. Pellets have great benefits compared to the raw material: high energy per volume, good transport and storage properties and homogeneity.

Several parameters collaborate in the whole process, which makes it complex. Wood is a heterogeneous material, chemically and structurally dependent on wood parts, habitat and storage procedures. The industrial production of pellets is restricted by accurate control of certain parameters that lead to difficulties when optimising the process.

The purpose of this study was to produce pellets from a selected raw material (pine sawdust) using well known and documented conditions. The characteristics of the pellets were then evaluated from the chosen parameters; type of sawdust, moisture content, compaction pressure and temperature.

During a limited variation of process and raw material parameters pellets were produced in a laboratory scaled press. Density, compression strength and absorption of moisture were evaluated.

Absorption of moisture was shown to be the most important parameter in the process, and many of the results are in agreement with earlier studies on densification of biomass. During the study several questions occurred like, how can pellets as a product be developed, if the composition of wood particles in the raw material is taken into account?

Innehållsförteckning

INLEDNING	6
Syfte	6
Teori om pelleteringsprocessen.....	7
Industriell tillverkning.....	7
Pellets egenskaper	8
Träkemi/fysik	9
Makrostrukturer i veden	9
Mikrostrukturer i veden.....	10
Bindningsmekanismer	12
MATERIAL OCH METODER	14
Serie 1.....	14
Serie 2.....	15
Pelletering.....	16
Analys/tester.....	17
RESULTAT	19
Observationer	19
Densitet.....	21
Hållfasthet	23
Fuktabsorption.....	26
DISKUSSION	29
FRAMTIDA STUDIER	30
REFERENSER.....	31

INLEDNING

Träpellets är en förädlad restprodukt från sågverk-, trä- och massa industrin. Förädlingen sker genom pressning av den initialt finfördelade och torkade råvaran till små cylindriska enheter med en högre densitet än den ursprungliga råvaran. Storlek och råvarusammansättning på bränslepellets styrs framförallt av ändamålet. Detta medför stora variationer på produkten, vilken efter karaktäristik klassas enligt Svensk Standard SS 18 71 20 [1]. I Sverige finns det ett tjugotal stora producenter som tillsammans producerar ca 1 Mton pellets per år [2].

I produktionsledet är det många parametrar som samverkar vilket medför att förädlingssteget är relativt komplicerat. Trä/ved är ett komplext material som både till kemisk och strukturell sammansättning varierar med träddel, ståndort och lagringsförfaranden [3]. Tall- och granspån är de vanligaste råvarorna vid tillverkning av bränslepellets i Sverige. De processtekniska parametrarna i produktionen av pellets består framförallt av:

- ✓ *tid och temperatur vid torkning av råvaran*
- ✓ *metod vid fraktionering/sönderdelning av råvaran*
- ✓ *metod för uppmjukning av fibrerna*
- ✓ *tid, temperatur, tryck och matrisutseende vid kompaktering*
- ✓ *metod, tid och temperatur vid kylning av pellets*
- ✓ *lagringsförfaranden av färdig pellets*

Den färdiga produktens egenskaper har fördelar gentemot råvaran gällande energivärde per volymenhet, transport- och lagringsegenskaper och homogenitet. Dessa egenskaper kan under påverkan av produktionsprocessen, lagringsförfaranden/hantering och transporter mer eller mindre förändras. Detta kan i sin tur resultera i en förändrad, eller rent av, försämrad produkt.

Den industriella produktionslinjen har begränsningar gällande noggrann kontroll över vissa av processparametrarna, vilket innebär problem vid optimering av hela processen. Framförallt är pressningen ett svårt steg, där tryck, temperatur, fukthalt och materialflöden varierar över tiden. Pellets producerade under samma "körning" kan därmed variera mycket i karaktäristik och kvalitet.

Syfte

För att säkerställa produktion under råvaru- och processvariationer krävs det studier på grundläggande nivå, där det ges möjlighet att utröna de mest fundamentala sambanden mellan de ingående parametrarna. I detta arbete har tallspån använts som råvara.

Syftet med arbetet är att utifrån en given råvara producera pellets under kontrollerade betingelser för att sedan kunna analysera dessa och se hur de valda parametrarna påverkar resultatet.

Följande frågor avses att besvaras,

- *Hur påverkar råvarans fukt- och extraktivämnehalt, presstryck och presstemperatur slutproduktens densitet, tryckhållfasthet och fuktabsorptionsförmåga?*
- *Har råvarans partikelfördelning/sammansättning någon inverkan på tryckhållfastheten för pellets?*
- *Återfinnes liknande resultat/trender i tidigare studier?*

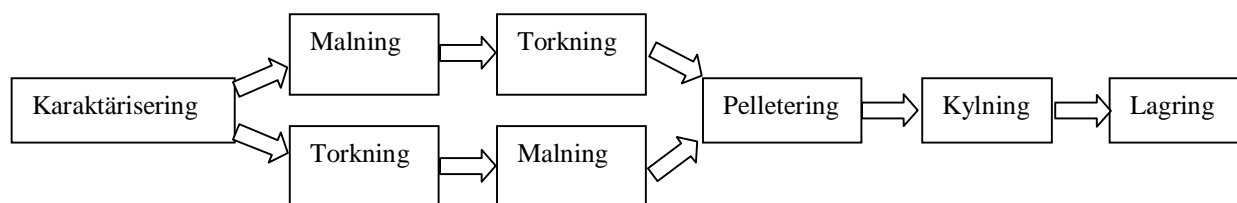
Detta arbete är en fördjupning inom ett viktigt område vid framställning av bränslepellets i industriskala, vilket betyder att de resultat som framkommer kan utgöra ett grundläggande material för vidare studier inom området, men även som ett stöd för pelletsindustrin.

Teori om pelleteringsprocessen

Industriell tillverkning

Den huvudsakliga råvaran är restprodukter från sågverk-, massa- och träindustrin där framförallt andelen barrträd dominerar i produktionen. Beroende på ursprung varierar råvarans karaktäristik där faktorer som träslag, träddel, ståndort, lagringsförfaranden och grad av bearbetning spelar in. Karaktärisering av råvaran vid produktionen är viktigt när man skall anpassa efterföljande processteg. T.ex. styrs torksteget av fukthalten, malningssteget/fraktioneringen av partikelsammansättningen osv.

Förädlingsprocessen av råvaran kan ”grovt” indelas i sex (i kronologisk följd) huvudsakliga steg: karaktärisering, torkning, malning (eller malning, torkning) och pressning av råvaran, sedan kylning och lagring av pellets (Figur 1).



Figur 1. Processtegen för pelletstillverkning.

Figure 1. The step in the process for pelletizing.

Vid torkningen av råvaran användes, beroende på industriellt val av system, olika processer där ång-, rökgas- och varmluftstorkning är de vanligaste. Torktemperaturerna kan variera mellan 100-450 °C beroende på processval och önskad produktionskapacitet [4,5].

Fraktionering av råvaran sker i huvudsak med en hammarkvarn eller en kulkvarn. Hammarkvarnen ”slår” sönder partiklarna och kulkvarnen krossar desamma. Val av metod påverkar strukturerna på vedpartiklarna som lämnar processen. Önskvärd partikelstorlek varierar mellan olika processer, men generellt kan man säga att huvudandelen partiklar skall understiga 2 mm [4].

Den utrustning som användes vid pressningen består av en ringmatris och två eller tre pressrullar. Beroende på teknikval kan antingen matrisen eller rullarna vara rörliga, eller så roterar båda enheterna. Råvaran tillförs matrisen och pressas genom matrisens dysor där själva densifieringen sker, innan de i vissa fall skärs av med ett skärande verktyg (Figur 2, ett exempel på en ringmatris). Dessa dysor kan ha varierande geometriskt utseende vilket framförallt påverkar presstrycket, bildad friktionsvärme och pelletens karaktäristik. Men även förhållandet mellan pressrullar och ringmatrisen, råvaruflöde, temperatur på pressutrustning påverkar produktionen [4].

Pelleten som lämnar matrisen är varm (100-120 °C) och måste innan lagring kylas ned. Detta sker med tillförsel av kall luft under transport i antingen vertikal eller horisontell riktning, till en temperatur som överensstämmer med lagringsutrymmets [4,5].



Figur 2. Ringmatris för pelletstillverkning.

Figure 2. Equipment for production of pellets.

För att den färdiga produkten skall hålla kvaliteten är lagringsförhållandet av största vikt och det är framförallt pelletens relativt låga fukthalt som bestämmer lagringsförfarandet. Detta sker lämpligen i rätt utformade högar under tak, eller i tätslutna bränslesilos.

Pellets kan distribueras på olika sätt. Stora volymer transporteras vanligen med last-/bulkbil, båt eller tåg. Beroende på system kan pellets lastas/avlastas på olika sätt. Mindre volymer kan paketeras i säck av varierande volym. Vid alla typer av hantering utsätts pelleten för yttre krafter vilket medför att, beroende på kvalitet, en viss andel av densamma ”nöts” bort.

Pellets egenskaper

Pellets kan produceras med en stor variation på kvalitet, där faktorer som t.ex. askhalt, värmevärde, fukthalt, fraktionssammansättning, densitet och hållfasthet bestämmer dess karaktäristik. Beroende på kund, där energiproduktionssystem och hanteringskrav är primära, vill man ha pellets som är anpassade för respektive system. Generellt kan man säga att ju mindre förbränningsanläggning man har, desto högre kvalitet önskas på pelleten.

I Sverige finns en klassificeringsstandard, Svensk Standard (SS 18 71 20), där pellets indelas i tre olika kvalitetsklasser (Tabell 1). Standarden innehåller en rad individuella parametrar som beskriver pelletens karaktäristik. Denna standard utgör en sorts varudeklaration och skall underlätta samarbetet mellan olika marknadsaktörer.

Tabell1. Svensk Standard SS 18 71 20 för bränslepellets [1]
 Table 1. The Swedish Standard SS 18 71 20 for fuel-pellets [1]

Egenskap	Enhet	Grupp 1	Grupp 2	Grupp 3	Metod
Dimensioner: diameter längd (i prod. lager)	mm	Anges max 4 ggr av diametern	Anges max 5 ggr diametern	Anges max 5 ggr diametern	
Effektivt värmevärde (i levererat tillstånd)	MJ/kg	≥ 16,9	≥ 16,9	≥ 15,1	SS ISO 1928
Skrymdensitet	kWh/kg	≥ 4,7	≥ 4,7	≥ 4,2	
Hållfasthet (i prod. lager)	kg/m ³	≥ 600	≥ 500	≥ 500	SS 18 71 78
Fukt (i levererat tillstånd)	Finandel vikt-% <3 mm	≤ 0,8	≤ 1,5	> 1,5	SS 18 71 80
Askhalt	Vikt-%	≤ 10	≤ 10	≤ 12	SS 18 71 70
Svavel	Vikt-% av TS	≤ 0,7	≤ 1,5	> 1,5	SS 18 71 71
Klor	Vikt-% av TS	≤ 0,08	≤ 0,08	anges	SS 18 77 77
Asksmältförlopp	Vikt-% av TS	≤ 0,03	≤ 0,03	anges	SS 18 71 85
	°C	anges			SS – ISO 540

Hållbarheten för pellets kan definieras av två skilda parametrar: hårdhet som beskriver den nödvändiga kraften för att krossa pelleten, och hållfasthet som beskriver mängden finfraktioner som bildas vid mekanisk påverkan (t.ex. tumlingstest) [6]. Hädanefter i texten är tryckhållfasthet och/eller hållfasthet synonyma för hårdheten.

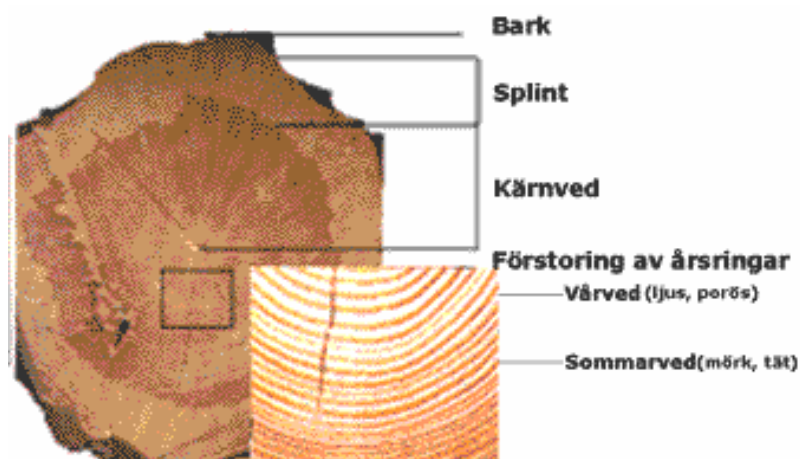
Träkemi/fysik

Trä/ved är ett komplext material både kemiskt och fysiologiskt, som även varierar mellan trädslag, trädålder, ståndort, ålder och lagringsförfaranden. Dessa variationer medför att det ej går att fastställa absoluta värden på sammansättningen för en viss trädslag. Om man bortser från de trädslag som vid avverkning bortgår (stubb och rot) består en tall av 7-15 % grenar, 3-8 % barr, 3-8 % bark och 65-80 % stam [3]. Huvudkomponenterna i trä är cellulosa, hemicellulosa, lignin, extraktivämnen och mineralämnen (askämnen), där en stamvedsfördelning mellan dessa är vid 70 års ålder är 41, 27, 28, 3 respektive 1 % [3]. Cirka 99 % av trämaterialens huvudkomponenter består av grundämnena kol (51,4%), syre (41,6%) och väte (6,1%) och resterande del består av kväve och askämnen (huvudsakligen Ca och K) [3].

Makrostrukturer i veden

Ved/trä är uppbyggd av långsträckta fibrer där de flesta är orienterade i stammens riktning och förgrenas sinsemellan med öppningar (porer). Tillväxten sker i radiell riktning genom celledelning i kambiet, längdled i ändan av stammen och i grenar och toppar. Tillväxten sker under sommarperioden och är som mest intensiv under försommaren [7].

Vattentransporten i barrträd sker via trakeidceller i splintvedsdelen av stammen (Figur 3). Transporten av den vid fotosyntesen bildade glukosen sker i innerbarken. Glukos behövs vid biosyntesen av cellulosa, hemicellulosa, lignin och extraktivämnen [7].



Figur 3. Radiell genomskärning av tallstam.
Figure 3. Radial section of pine trunk.

Tallveden består till 90-95 % av trakeider (fibrer) som ger trädet dess mekaniska styrka. Trakeiderna är 1-5 mm långa och har en bredd av 10 μm i sommarved och 20-40 μm i försommarved. Veden består även av 5-10% parenkymceller som till storlek är 10-16 μm långa och 2-50 μm breda. De finns som strålceller för vatten- och näringstransport i radiellriktning och i hartskanalerna. I splintvedsdelen är de till största del levande celler. Hartskanalerna utgörs av ett sammanhängande system av öppna kanaler fyllda med kåda. Kådan avsöndras som skydd vid skada [7].

Kärnveden bildas när livsfunktionerna i parenkymcellerna upphör, och detta sker i ved som är ca 20-30 år, vilket innebär att andelen kärnved ökar med stigande ålder. De döende parenkymcellerna kan utsöndra organiska ämnen (hartssyror och fenoliska ämnen) med fungicid verkan. Ringporerna mellan trakeiderna blockeras under detta stadium vilket medför att en penetrering av vatten till kärnveden förhindras [7].

Vedfibrernas cellväggar består av cellulosa, hemicellulosor, lignin, proteiner och pektiner. Väggarna mellan två trakeider består av flera skikt vilka har olika proportioner mellan cellulosa, hemicellulosa och lignin [7].

Strukturen av nybildade vedceller påverkas även av mekaniska krafter utifrån. Dessa krafter kan uppkomma genom vind och/eller av tryck från grenar. Veden som bildas i dessa zoner kallas för tryckved när det gäller barrträd. Typiskt för tryckveden är förändringar i skikten mellan cellerna och högre halter av lignin och galaktaner [7].

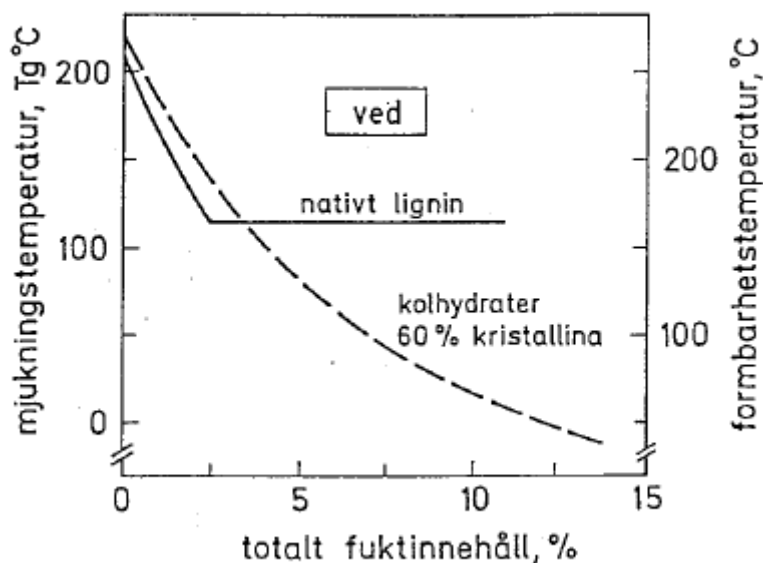
Mikrostrukturer i veden

Det centrala strukturelementet i vedcellen är cellulosa. Cellulosan bildas i området några cellradier innanför kambiet samt utanför i barken. Den är uppbyggd till en lineär polymer bestående av olika glukosderivat. Celluloskedjan saknar förgreningar vilket medför olika kemiska egenskaper i ändpunkter och i kedjan. Speciellt en ändgrupp är reaktionsbenägen och

Tallens kärnved innehåller normalt 2-4 % kåda, men i stammens nedre del och i ”stubben” kan halter upp mot 40 % förekomma. När parenkymceller dör, sker en enzymatisk hydrolys (ombildning) av glycerider, varpå fettsyror frigörs. Endast spår av fettsyror finns i levande splintved, men de är en desto mer betydande grupp av ämnen i kärnved [7].

Bindningsmekanismer

Egenskaperna hos partikel- och fiberprodukter påverkas framförallt av träfibrernas egenskaper där de enskilda fibrernas längd, styrka, ytstruktur och ytornas kemiska karaktär påverkar bindningsstyrkan. Fibrernas deformbarhet (flexibilitet) påverkar kontaktytans omfattning mellan fibrer [7]. En bindning mellan två ytor kräver en så nära kontakt att kemiska bindningar kan bildas, vilket innebär att ändarna hos polymerer och molekyler från respektive ytskikt kan diffundera in i varandra. För att uppnå denna närkontakt krävs det normalt en applicering av yttre tryck och att kontaktytorna hålls samman under nödvändig reaktionstid, medan materialet deformeras. Om materialet är plastiskt ökar graden av deformation och kontaktyta, vilket medför att en mindre andel spänningar vid ytan uppstår när trycket avlägsnas. Vedpolymerer mjukgörs av vatten, speciellt vid högre temperaturer. Detta gäller ej för kristallin cellulosa som har en smältpunkt på 425 °C. Torr, amorf cellulosa och hemicellulosa plasticeras vid den så kallade glasomvandlingstemperaturen vid 220 °C respektive 170 °C. Vid tillförelse av vatten sänks denna temperatur kontinuerligt. Torrt, nativt lignin har en glasomvandlingstemperatur vid ca 200 °C och kan sänkas vid tillförelse av vatten till lägst 125 °C. En god formbarhet kräver en temperatur på ca 50 °C över glasomvandlingen [8].



Figur 4. Termisk uppmjukning hos vedpolymerer som funktion av vedens fukttinnehåll [8].
Figure 4. Thermal softening of wood components as a function of moisture content [8].

I Figur 4 visas att torr kristallin cellulosa och lignin under 125 °C är styva vedkomponenter. För tillfredsställande bindning mellan vedtytor krävs det en mjukgöring med värme och fukt, samt en hög grad av finfördelning på partiklarna [8].

En utredning av den termiska uppmjukningen av en sammansatt struktur (ved), uppvisar ej samma likheter som för den termiska uppmjukningen av individuella strukturer (cellulosa, hemicellulosa och lignin). Ved uppvisar en termisk uppmjukning vid mycket högre

temperaturer. Detta visar att interaktioner mellan olika vedkomponenter är betydelsefulla [17].

Cellulosa, hemicellulosa och lignin kan bindas till varandra medelst vätebindning och kovalent bindning. Vätebindningar bryts vid överskott av vatten, men däremot är de kovalenta bindningarna mer resistenta under dessa betingelser. Cellulosa och hemicellulosa ytor har stor mängd av vätebindningsbara hydroxylgrupper. Ytor av nativt lignin har relativt få hydroxylgrupper, men istället en stor andel opolära grupper vilka kan bidra till svaga Van der Walska bindningar. De Van der Walska bindningarna är även karaktäristiska för bindning i oleofila vedmaterial (vaxer, fett- och hartser). Opolära grupper på bindningsytor bidrar därför till svaga bindningar [8].

Omfördelningen av hartskomponenter i vedmaterial påskyndas vid värmebehandling. Om materialet initialt är bundet med väte- och/eller kovalenta bindningar, verkar denna omfördelning positivt på materialets (pelletens) fuktresistens. De fria ytorna hydrofoberas därmed, vilket bidrar till att hastigheten för fukt- och vatteninträning och svällning reduceras [8].

En nyskuren vedyta är lätt att "limma", men vid lagring sker en inaktivering där hastigheten och grad av inaktivering varierar med träslag och ökar med temperaturen. Anrikning av oleofila, lågmolekylära substanser i vedytan bidrar till inaktivering. Dessa substanser är harts- och fettsyror. Flertalet av substanserna har ett relativt lågt ångtryck vid rumstemperatur vilket innebär att de kan diffundera ut i gasform. De kan även i flytande form anrikas till ett skikt på materialets yta. Denna effekt medför att ytan blir hydrofob. Hartsfilmer på vedytor bildas ofta vid lagring [8].

Hydrofila, lågmolekylära substanser i vatten kan vid torkning diffundera ut med vattnet till ytan och anrikas där. Dessa substanser kan vara kolhydrater, enkla- och polyfenoler (garvämmen). De kan bidra till vätebindningar, men genom dess korta kedjelängd är de inte förankrade i vedmaterialet, vilket medför svaga bindningslänkar [8].

Studier visar att oleofila lager är mer utbredda på ytor från nyligen skördade träd i jämförelse med träd som lagrats en tid. Detta beror på att dessa oleofila ämnen är mindre benägna att lagerlägga sig på en nyligen skuren yta efter en tid av lagring [18].

Vid torkning och åldring av träytor bildas det mikrosprickor vilket bidrar till att vätningsprocessen försvåras [8].

En vedyta som utsätts för höga temperaturer, t.ex under torkning, inaktiveras gradvis beroende på träsort, fukthalt, temperatur och tiden för exponering av en viss temperatur. Studier visar att torktemperaturer över 160 °C medför en inaktivering av vedytorna [19].

Aktiverad bindning kan ses som en uppkomst av kovalenta bindningar mellan kedjor av vedpolymerer inom och/eller mellan fibrer- eller vedpartiklar respektive vedytor. Aktiveringen kan ske genom tillförsel av värme under närvaro av luftsyre. Denna oxidativa aktivering verkar i ved, vanligtvis selektivt på lignin, men även på opolära filmer av harts. I luft oxideras vedpolymerer med låg hastighet vid rumstemperaturer, men med avsevärt högre hastighet över 100 °C. Temperaturer över 160 °C är väl lämpade för autooxidativa processer i vedmaterial. Aktiverad bindning kan bidra till en förbättrad fuktresistens eller stabilitet hos trämaterial [8].

MATERIAL OCH METODER

För att begränsa omfattningen på arbetet hölls vissa parametrar konstanta. I Serie 1 var materialmängd, pressutrymmets geometri och presstid vid komprimering konstanta. I Serie 2 var alla parametrar förutom fraktionssammansättningen konstanta.

Serie 1

Hur påverkar råvarans fukt- och extraktivämnehalt, presstryck och presstemperatur slutproduktens densitet, tryckhållfasthet och fuktabsorptionsförmåga?

De parametrar som testades var råvarans fukthalt och kemisk sammansättning (lagringstid), presstryck och presstemperatur. För att se hur extraktivämnena påverkar bindningsmekanismerna utfördes en extrahering av dessa för att efterlikna lagrat spån. Utifrån de värden på processparametrar som industrin (muntliga uppgifter från industrin) och tidigare studier [6] indikerat utformades denna studie så att dessa variationer utgjordes av två värden, ett högt och ett lågt. De producerade pelletarna analyserades med avseende på densitet, tryckhållfasthet och vattenabsorption. För utförande av dessa tester upprepades varje pellets åtta gånger och sammanlagt pressades 128 pellets.

Materialet utgjordes av färsk, mald stamvedspån från Bioenergi i Luleå ABs produktionslinje för pelletstillverkning. Materialets fraktionsfördelning bestämdes genom siktning och invägning av de olika fraktionerna (utfört vid SLU, Röbbäcksdalen) (Tabell 3). Fukthalten på materialet bestämdes till 9 vikts-% genom invägning (på en elektronisk våg av märket Sartorius 1212 MP) av ca 10 g färskt material. Provet torkades under 48 h i 50 °C och invägdes torrt för beräkning av fukthalt. Materialets andel av extraktivämnen och lättlösliga kolhydrater bestämdes genom Soxhlet-extraktionmetoden. För Soxhlet-extraktionen invägdes ca 8 g spån och som extraktionsmedel användes aceton (pa^{*}). Extraktionen pågick under 12 timmar och sex tömningar/min. Efter slutförd extraktion, indunstades lösningsmedlet med en rotationsevaporator. Proven torkades med kvävgas varefter kolven vägdes. Extraktivämnehalten bestämdes till 4,0 vikt-% av torrt spån.

Tabell 3. Fraktionsfördelning på tallspån vid Serie 1
Table 3. Fraction distribution of pine sawdust of Serie 1

Fraktion (mm)	Vikt-% av torrt prov
< 0,25	13,79
0,25-0,5	20,07
0,5-1,0	50,20
1,0-1,4	12,55
1,4-2,0	3,25
2,0-2,8	0,14
2,8-3,15	0,00
>3,15	0,00

Extrahering gjordes med en blandning av ca en liter av 9:1, aceton metanol som tillsattes tallspånet (ca 500 gram) i en tätsluten, två liters glasbehållare för utlösning av extraktivämnena. Provet placerades på ett skakbord med skakfrekvensen 60 skakningar/min under två dygn. Sedan filterades lösningsmedlet ifrån vedmaterialet. Det filterade materialet

* Pro analys; renhetsgrad

fick stå under ett dygn i dragskåp för avdunstning av acetonet. Därefter torkades materialet i ugn enligt tidigare beskriven metod.

De olika materialblandningarna (extraherat och vanligt spån) delades upp i vardera två burkar och justerades till fukthalter av 6 och 12 vikt-%. Det torkade materialet vägdes in och andel (vikt-%) vatten beräknades för applicering till rätt fukthalt. Det tätslutet paketerade och uppmärkta materialet placerades i en kyl för fuktutjämning under (minst) 48 timmar.

Serie 2

Har råvarans partikelfördelning/sammansättning någon inverkan på tryckhållfastheten för pellets?

En kompletterande studie utfördes där fraktionssammansättningen på råvaran varierades och testades mot hållfasthet. Fraktionssammansättningen varierades i fem olika "mixar" och tre upprep av varje mix, d.v.s. det pressades sammanlagt 15 pellets.

Materialet bestod av färsk, mald stamvedspån från Skellefteå Kraft's produktionslinje för pelletstillverkning. Materialets fraktionsfördelning bestämdes genom siktning och invägning av de olika fraktionerna (Tabell 4). Fukthalten på materialet bestämdes till 6,5 vikts-% genom invägning av ca 10 g fuktigt material, torkning av provet under 48 h i 50 °C och slutligen invägning av torrt material för beräkning av fukthalten.

Tabell 4. Fraktionssammansättningen på tallspån i Serie 2

Table 4. Fractional composition of sawdust in Serie 2

Fraktion (mm)	Vikt-% av torrt prov
< 0,25	11,4
0,25-0,5	21,8
0,5-1,0	52,3
1,0-1,4	11,7
1,4-2,0	2,7
2,0-2,8	0,1
2,8-3,15	0,0
>3,15	0,0

Industriellt pelleterar man helst med en maximal fraktionsstorlek på råvaran av 2,0 mm. Även de finaste fraktionerna (< 0,25) är till viss del ej önskvärda då de lätt kan pyrolyseras under torkning [4], samt att de kan fastna i transportkanaler p.g.a. statisk elektricitet. I denna studie användes ej fraktioner < 0,25 mm och fraktioner >2,0 mm. Fyra av de sju fraktionerna på spånet torkades enligt tidigare beskriven metod och uppfuktades till 9 vikt-% fukthalt då tidigare försök visat att denna fukthalt är "idealisk". Av dessa fyra fraktionssammansättningar preparerades fem olika sammansättningar (mixar) för pelletering (Tabell 5). Mix F5 representerar en ungefärlig sammansättning på industriellt mald spån och kan ses som en referens vid analysen.

Tabell 5. Fraktionssammansättningen på Serie 2
 Table 5. Fractional composition of Serie 2

Mix och dess pellets	Fraktionssammansättning av de enskilda fraktionerna (vikt-%)			
	1,4-2,0 (mm)	1,0-1,4 (mm)	0,5-1,0 (mm)	0,25-0,5 (mm)
F1 (1-3)	100	0	0	0
F2 (4-6)	0	100	0	0
F3 (7-9)	0	0	100	0
F4 (10-12)	0	0	0	100
F5 (13-15)	25	25	40	10

Pelletering

Matristemperaturer på ca 100 °C är vanligt förekommande vid industriell pelletering, men temperaturen är ej uppmätt i själva pressutrymmet (i dysan), vilket innebär att pressmaterialets temperatur kan vara avsevärt högre [4, samt muntliga uppgifter från industrin]. I försöksserierna valdes temperaturerna 100 och 180 °C. Variationerna på presstrycket påstås kunna fluktuera i matrisens dysor mellan ca 70- 150 MPa (muntliga uppgifter från industrin) och därför valdes presstrycken i försöken till ytterligheterna. Presstiden är också en parameter som kan variera, men i denna studie hölls den konstant vid 10 s [9].

Pelleteringsutrustningen bestod av en hydraulisk kolvpress i laboratorieskala (Figur 5). Till kolven anslöts en pistong på 12 mm i diameter. Pistongen trycktes därefter ner i en cylinder med innerdiameter av 12 mm, vilket medförde en tätsluten pressning. Cylindern (pressutrymmet) temperaturreglerades med två st värmeelement och två st. termoelement via en PID-regulator. Styrning av presstrycket skedde genom manuell styrning av varvtalet på motorn till kompressionen av hydraulvätskan. Presstrycket avlästes i MPa på en mekanisk tryckgivare ansluten till hydraulvätskan.



Figur 5a. Pressutrustningen till försöken och b. spån, pellet och behållare vid försöken.
 Figure 5a. Compaction equipment used and b. sawdust, pellet and container.

Cirka 2,00 (+/- 0,05) gram råvara i rumstemperatur tillfördes den uppvärmda cylindern. Därefter pressades materialet i 10 s. Pelletarna överfördes sedan till en tätsluten och uppmärkt plastbehållare (Figur 6) för avsvälning och lagring i rumstemperatur under minst 48 timmar

innan några tester utfördes för en fuktutjämning i pelletarna. Pelletarna i Serie 1 och dess processparametrar visas i tabell 6. Pressning av pellets i Serie 2 utfördes under konstanta presstryck 100 MPa, cylindertemperatur 140 °C och presstid 10 s.

Tabell 6. Pellets i Serie 1
Table 6. Pellets of Serie 2

Serie och dess pellets	Råvaruparametrar		Pressparametrar	
	Fukthalt (vikt-%)	”Spåntyp”	Tryck (MPa)	Temperatur (°C)
P1 (A1-A8)	6	Oextraherat	70	100
P2 (A9-A16)	6	-	150	100
P3 (A17-A24)	6	-	70	180
P4 (A25-A32)	6	-	150	180
P5 (B1-B8)	12	-	70	100
P6 (B9-B16)	12	-	150	100
P7 (B17-B24)	12	-	70	180
P8 (B25-B32)	12	-	150	180
P9 (C1-C8)	6	Extraherat	70	100
P10 (C9-C16)	6	-	150	100
P11 (C17-C24)	6	-	70	180
P12 (C25-C32)	6	-	150	180
P13 (D1-D8)	12	-	70	100
P14 (D9-D16)	12	-	150	100
P15 (D17-D24)	12	-	70	180
P16 (D25-D32)	12	-	150	180

Analys/tester

För att bestämma densiteten invägdes och volymbestämdes pelletarna. Mätning av volym utfördes med ett skjutmått med manuell avläsning. Densiteten bestämdes, som ett medelvärde med dess standardavvikelse, av åtta pellets.

Tryckhållfastheten testades m.h.a. en press (dragtestare av märket Houndsfield) där kraften, sträckan och tiden loggades med 1000 avläsningar/min. Pelleten placerades mellan två horisontella plattor vilka långsamt förflyttades mot varandra med en hastighet av 0,4 mm/min. Kraften mättes i Newton (N), tiden i s och sträckan i mm. Registrerat data överfördes sedan till en PC. Tre st. pellets från varje serie testades och gav ett medelvärde [9].



Figur 6. Pellets efter tryckhållfasthetstest.

Figure 6. Appearance of pellets after the compression test.

En fuktabsorberingstest utfördes vid SCA Packaging Research, Sundsvall. Pelletarna (Serie 2) placerades i varsin aluminiumform med perforerad botten för att fukten även ska kunna tas upp underifrån. Formarna märktes med respektive pelletsnummer. Dessa placerades i en klimatkammare med ca 30 % relativ luftfuktighet (RH) och en lufttemperatur på 23°C. Där konditionerades de under 48 timmar för att nå en stabil startvikt. Därefter överfördes de till en kammare med 85 % RH och en lufttemperatur på 23 °C. Under 48 timmar kontrollvägdes sedan pelletarna. Två pellets från varje serie testades.

RESULTAT

Observationer

Exakta tryck under hela presstiden (10 s) var svårt att uppnå p.g.a. den manuella regleringen och en tryckvariation på ca. +/- 10 MPa över tiden noterades. Regleringen av cylinder temperaturen var desto bättre, med en variation av max. +/- 2 °C under pressningen. Vid tillförseln av råvarorna med 12 % fukthalt och cylindertemperatur på 180 °C noterades fuktavgång (ånga) innan och under pressningen. Detta noterades i mindre grad vid pressningen av Serie 2. Pelletsserie P5, P6, P13 och P14 utgick för vidare tester då pressningen inte resulterade i några pellets. Pellet B29 i serie P8 blev lite ”avbrutna”. Pellets pressade vid 180 °C såg ut att vara mera ”glaserade” än de som pressades vid 100 °C. Pellets av extraherat spån fick en ljusare brun färg ton än de av oextraherat spån. Vid pressning av pellets i Serie 1 var det svårt att relativt snabbt applicera spån av mixar F1 och F2 till presscylindern eftersom dessa fraktioner var volymiösa och fyllde därav pressutrymmet i högre grad än de andra mixarna. Pellets producerade med 12 % fukthalt och vid 180 °C hade synbara sprickor på ytan. När man tog i det extraherade spånet upplevdes det som ”fettfritt”, d.v.s. torrt och strävt.

Vid efterföljande resultatpresentation där olika parametrar sätts i relation åskådliggörs ej standardavvikelsen för alla beräknade medelvärden. Om någon avvikelse har en betydande inverkan för analysen tas detta upp i texten. Fullständig redovisning av resultatvärden och dess ev. standardavvikelser redovisas i tabell 7.

Vid beräkningen av pelletens fukthalt gav resultatet för pellet P3 ett negativt värde som visar att den metod som använts vid torkning av råvaran, ej resulterar i ett värde av 0 vikt-% fukthalt. Detta beror av att det fysikaliskt bundna vattnet i vedpartiklarna ej avgår vid torkning vid 50 °C under 48 h. Med andra ord så har alla råvaror uppfuktats till en högre fukthalt än angivet värde och resulterande pellets har något högre fukthalt än de värden som redovisats.

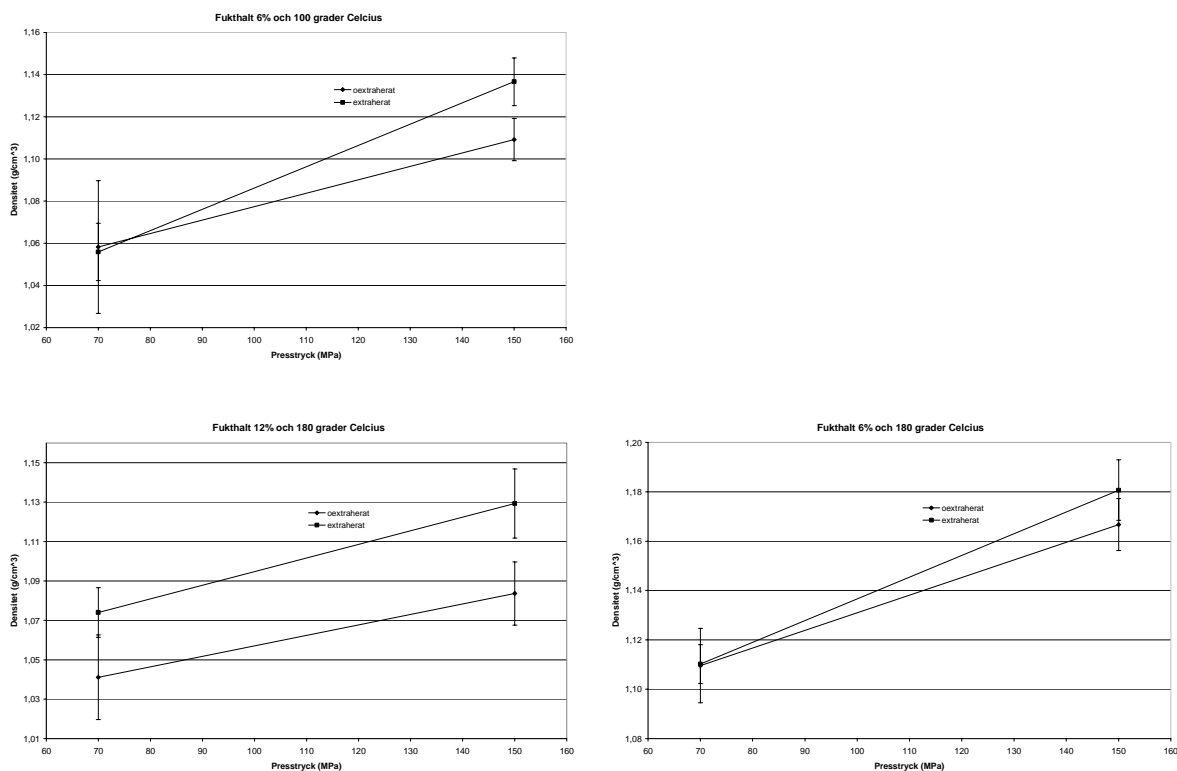
Tabell 7. Medelvärden för inmätta värden för Serie 1

Table 7. Mean values for Serie 1 pellets

Pellets	Råvara	Fukthalt	Temp.	Tryck	Densitet	Densitet (SD)	Hållfasthet	Hållfasthet (SD)	Vikt efter pressning	Fukthalt pellets	Fuktavgång	RH 30% Ökning vid 48 h		RH 85% Ökning (vikt-%)	
		(vikt-%)	(°C)	(MPa)	(g/cm ³)	(N)	(g)	(vikt-%)	(vikt-%)	(g)	(vikt-%)	(g)	(vikt-%)	7,5 h	24 h
P1	oextraherat	6	100	70	1,06	0,03	540	54	2,02	6,0	0	2,89	42,9	49,7	53,2
P3	oextraherat	6	180	70	1,11	0,02	633	40	1,87	-0,7	6,7	2,79	49,5	57,5	62,4
P4	oextraherat	6	180	150	1,17	0,01	770	27	1,91	1,3	4,8	2,80	47,0	53,8	59,0
P5	oextraherat	12	100	70											
P6	oextraherat	12	100	150											
P7	oextraherat	12	180	70	1,04	0,02	395	14	1,80	1,9	10,3	2,70	50,5	58,0	62,3
P8	oextraherat	12	180	150	1,08	0,02	406	22	1,79	1,4	10,8	2,68	50,3	57,2	61,8
P9	extraherat	6	100	70	1,06	0,01	544	3	1,98	4,9	1,1	2,83	42,9	50,1	53,6
P10	extraherat	6	100	150	1,14	0,01	631	26	1,99	5,6	0,4	2,85	43,0	49,7	53,6
P11	extraherat	6	180	70	1,11	0,01	612	16	1,89	0,6	5,4	2,83	49,5	57,3	62,1
P12	extraherat	6	180	150	1,18	0,01	753	13	1,90	1,2	4,9	2,81	47,5	54,1	59,2
P13	extraherat	12	100	70											
P14	extraherat	12	100	150											
P15	extraherat	12	180	70	1,07	0,01	451	31	1,79	1,7	10,4	2,68	49,6	57,5	61,4
P16	extraherat	12	180	150	1,13	0,02	432	23	1,78	1,1	11,0	2,67	49,8	56,8	61,2

Densitet

Densiteten som funktion av presstrycket presenteras i figur 7 för respektive pelletsserie. Resultaten visar att med ökat presstryck ökar densiteten. Att trenden är linjär kan ej styrkas, men ett linjärt samband kan antagas vara rimligt inom presstrycksintervallet.

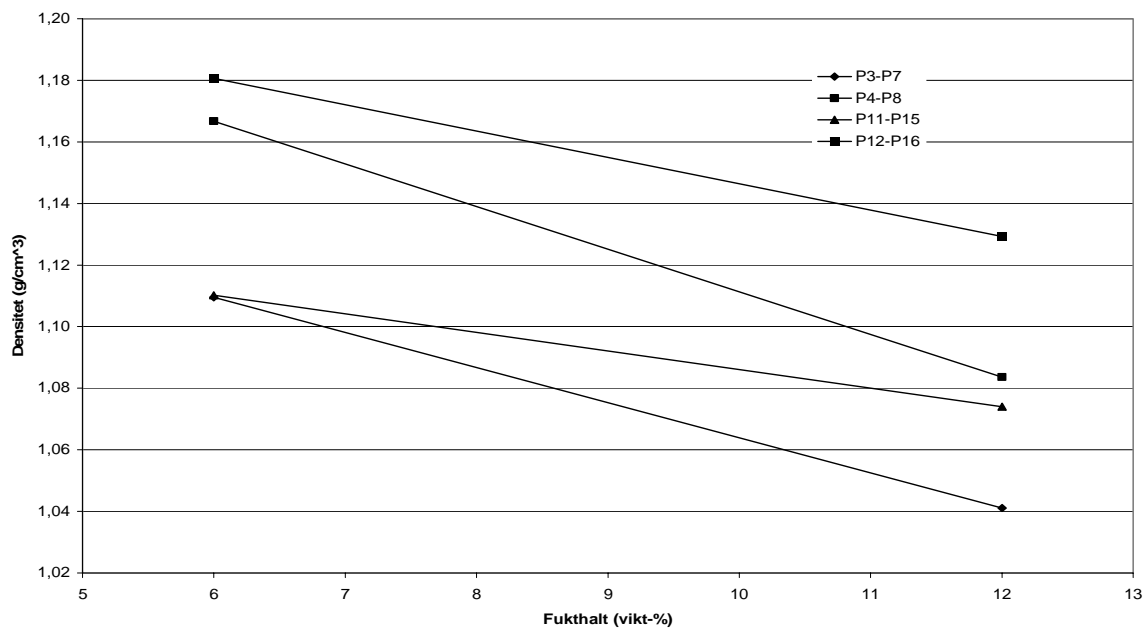


Figur 7. Sambandet mellan densiteten och presstrycket för olika pelletsseries. De vertikala linjerna i diagrambilden visar standardavvikelsen för respektive serie. För åskådlighet antaget linjärt samband.

Figure 7. Relationship of density and compaction pressure for different series. The vertical lines indicate the standard deviation. A linear relationship is assumed.

Tidigare studier visade liknande resultat, men noterbart är att de resultaten antyder att densiteten som funktion av presstrycket ej är linjär, d.v.s. densiteten når en plattå, vid ca 150 MPa, där en fortsatt ökning av presstrycket ej påverkar densiteten [13].

Densiteten som funktion av fukthalten i råvaran presenteras i figur 8 och resultaten visar att med ökad fukthalt minskar densiteten.



Figur 8. Sambandet mellan densiteten och råvarufukthalten.

Figure 8. Relationship between density and sawdust moisture content.

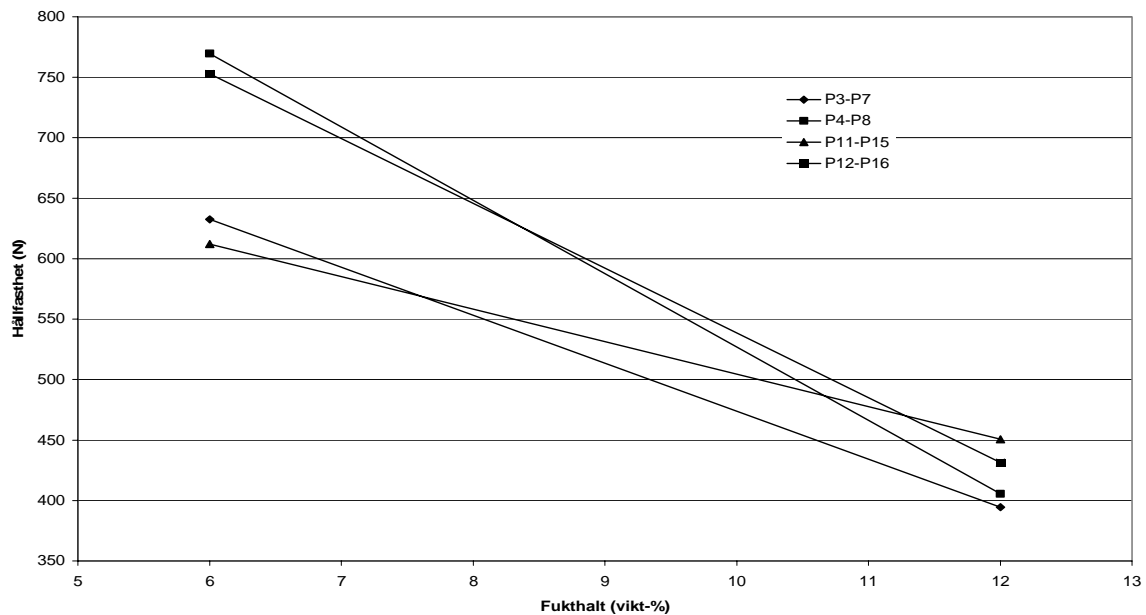
Vatten kan ses som inkompressibelt, vilket betyder att med ökad fukthalt minskar möjligheten till komprimering. Fuktagången under pressning och efterföljande kylning bidrar till en porösare pellet, vilket styrks av att densiteten följer samma trend [10].

Tabell 7 visar att densiteten ökar med ökad presstemperatur. Detta gäller för alla serier. Sannolikt beror detta på att vid en högre temperatur avgår mer vatten/ånga före och under komprimeringen, vilket i sin tur bidrar till en ökad densitet. En högre temperatur påskyndar också plasticeringen och bidrar därmed till ökad bindning mellan vedpartiklarna.

Tabell 7 visar att densiteten är densamma för pellets producerade ur oextraherat och extraherat spån. En marginell ökning kan ses på pellets producerade vid 180 °C och 12 vikt-% fukthalt, där densiteten för pellets från extraherat spån är något högre. Detta kan härledas till att det extraherade spånet avgivit något mera vatten vid pressningen och att ämnen vilka bidrar till en inaktivering av bindningsytor är avlägsnade.

Hållfasthet

Figur 9 visar att med ökande fukthalt i råvaran minskar hållfastheten på producerad pellets.

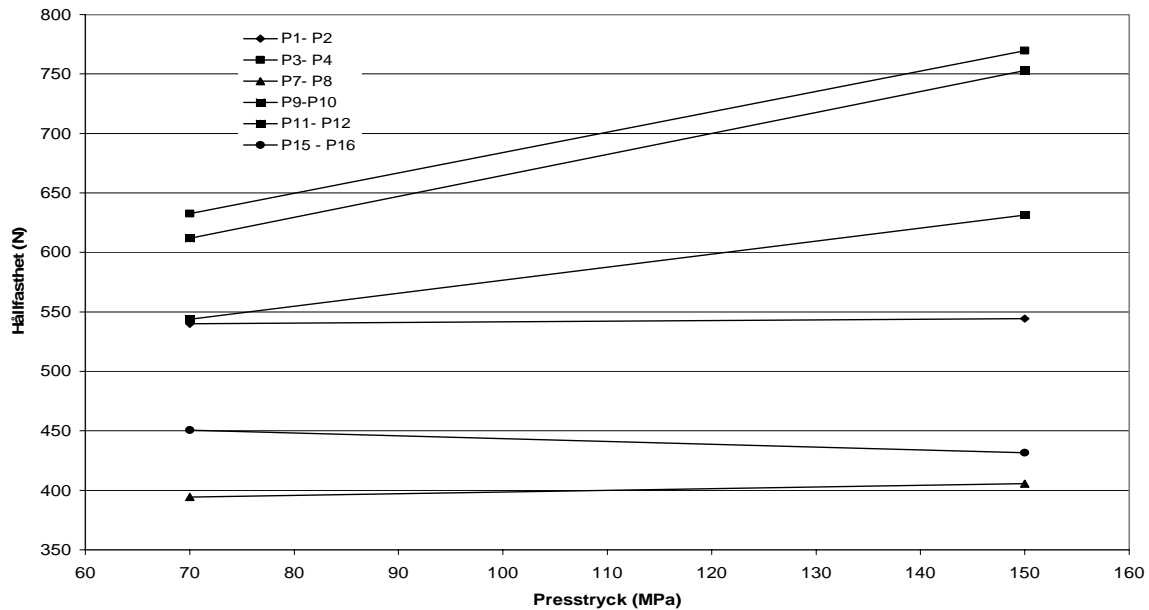


Figur 9. Sambandet mellan hållfastheten och råvarufukthalten.

Figure 9. Relationship between compression strength and sawdust moisture content.

Att hållfastheten blir lägre med ökad fukthalt är sannolikt en följd av densitetsminskningen som även den relateras till fukthalten. Detta påstående styrks av studier som visar att vätebindningar och andra sekundära bindningar dominerar vid partikel till partikel bindningar och dess styrka reduceras betydligt med ökad fukthalt i bindningsområdet [10].

Figur 10 visar att hållfastheten ökade med ökat presstryck, utom för serier P15 till P16. Inom det använda pressintervallet antas linjära samband mellan studerade parametrar. Standardavvikelsen för P1 (54 N) är betydligt högre än för P2 (10 N), vilket innebär att trenden blir osäker. Detta har ej åskådliggjorts i figur 10.

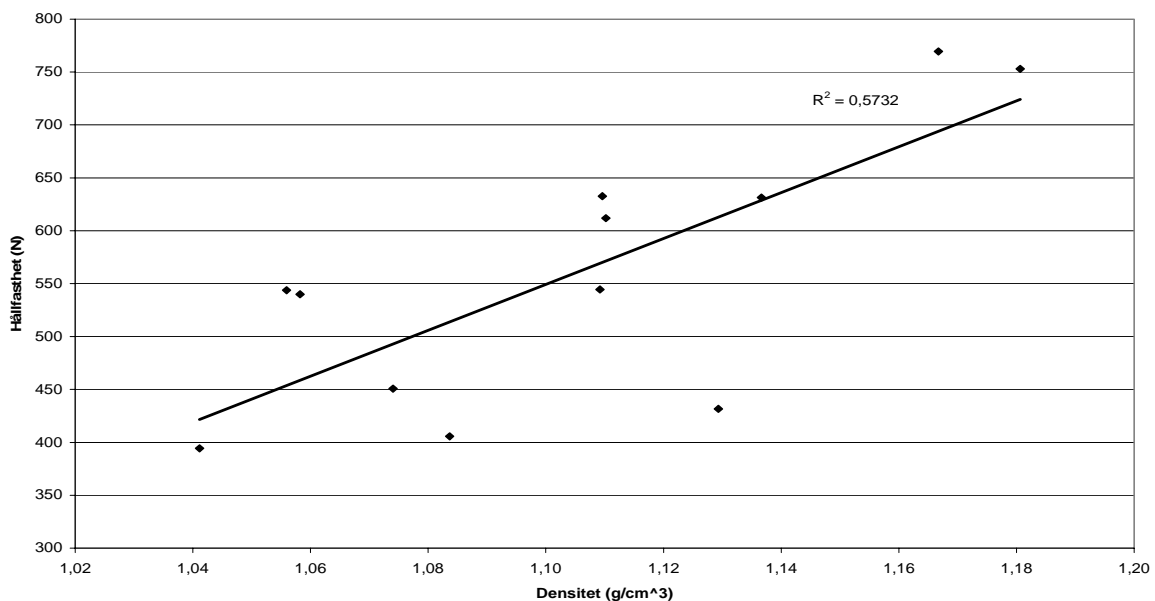


Figur 10. Hållfasthet som funktion av presstryck.

Figure 10. Relationship between compaction strength and compression pressure.

Presstrycket påverkade framförallt bindningsförhållandena mellan vedpartiklarna vilket betyder att ökat presstryck bidrog till ökad andel bindningar och ökad hållfasthet. För serier P15-P16 blev det en marginell minskning i hållfasthet, och ev. kan bindningen mellan vedpartiklarna ha försämrats vid tryckökningen eller är det ej ett linjärt samband vid vissa tryck. Detta kan resultera i minskad hållfasthet.

Som figur 11 visar tycks det, oberoende av processparametrar som tryck, temperatur, spåntyp och fukthalt, finnas ett samband mellan densiteten och hållfastheten. Resultaten antyder att densiteten kan användas som ett mått på hållfastheten.



Figur 11. Hållfastheten som funktion av densiteten.

Figure 11. Relationship between compression strength and density.

Tabell 7 visar att hållfastheten ökade med ökad presstemperatur. Detta kan härledas till att fuktavgången stiger med ökad temperatur, vilket i sin tur medför högre densitet och hållfasthet. Presstemperaturen påverkar plasticeringen vilket betyder att med ökad temperatur gynnas densamma och resulterar i större andelar bindningar. Dessa resultat styrks av studier som visar att temperaturen vid pressningen är en av de viktigaste parametrarna. Detta påverkar såväl pressningsprocessen som karaktäristiken på pellets. Litteraturuppgifter visar vidare att vid ett givet presstryck ökar hållfastheten med stigande presstemperatur och att den därvid erhållna lägre hållfastheten kommer av den termiskt minskade uppmjukningen av vedkomponenter (hemicellulosor och lignin) [11].

Pellets från extraherat spån (P9-P16) smulade lätt sönder under/efter utförd test. Pellets från serier P1-P8 höll ihop bättre. Tabell 7 visar att pellets av extraherat spån fick en högre hållfasthet. Detta beror nog på att de ämnen som bidrar till en inaktivering av vedtytor är extraherade, vilket medför en ökad möjlighet till kovalenta bindningar. Studier utförda i en ringmatrispress (laboratorieskala), visar att pellets producerade ur lagrat spån uppvisar en bättre hållfasthet (utförda i en Lignotech- apparat) [12].

De olika pelletarnas densitet överensstämde med varandra vid denna analys. I tabell 8 visas att pellets producerade av spån med fraktionssammansättning 0,25-0,5 mm uppvisade den högsta hållfastheten. Det observerades en stor variation på partikelstorlek för de grövre fraktionerna (2,0-1,4 och 1,4-1,0 mm), samt att F3 och F4 lätt smulade sönder under/efter utförd test. Pellets F1, F2, F5 höll ihop bättre.

Tabell 8. Hållfasthet och densitet för respektive fraktionssammansättning
Table 8. Durability and density of pellets from different sawdust fractions

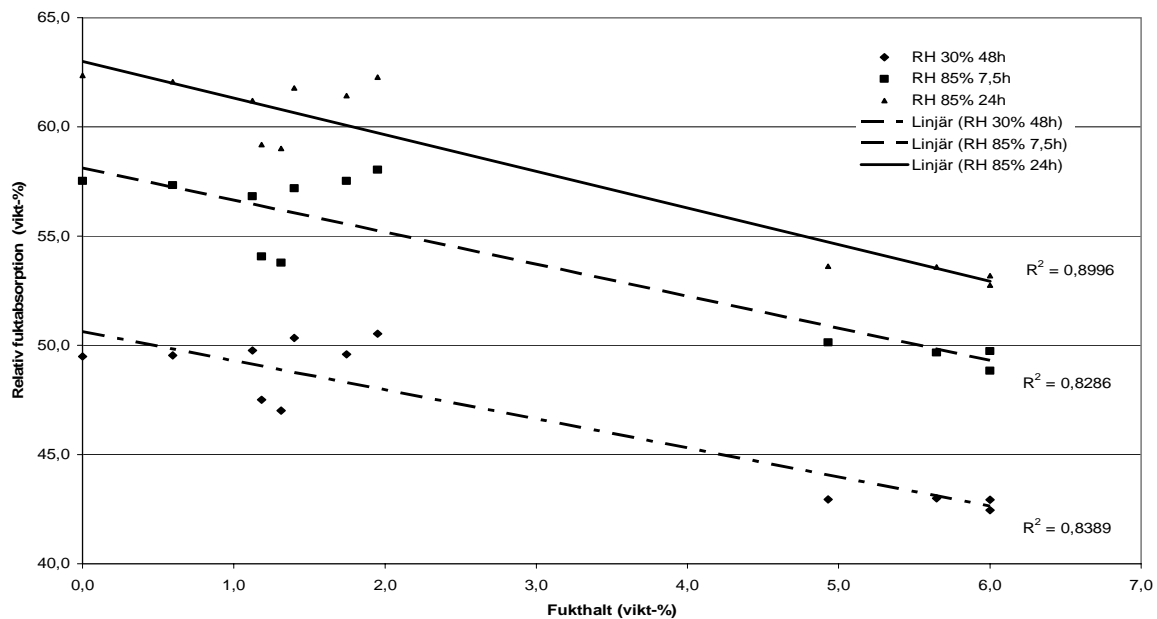
Mix	Sammansättning	Hållfasthet (N)	SD (N)	Densitet (g/cm ³)	SD (g/cm ³)
F4	0,25-0,5 mm	684	36	1,10	0,01
F5	0,25-2,0 mm	638	74	1,11	0,01
F1	1,4-2,0 mm	603	31	1,11	0,01
F2	1,0-1,4 mm	584	12	1,10	0,01
F3	1,5-1,0 mm	504	9	1,10	0,01

Detta beror sannolikt på att relativt små partiklar har större andel bindningsbara ytor, vilket i sin tur kan bidra till en ökad hållfasthet. Att sedan hållfastheten ej följer trenden vid större andel fina partiklar kan bero på partiklarnas variationer gällande ytstruktur, fuktfordelning, fuktavgång under pressning, deformerbarhet och grad av inaktivering av bindningsbara ytor. Med andra ord kan pellets ur fraktion F1 med relativt stora partiklar uppvisa en högre hållfasthet, än pellets från fraktion F3 med relativt små partiklar. Referensfraktionen F5 visar att en blandning av olika fraktioner kan vara bra för hållfastheten. Tidigare studier visar att ju finare partiklar desto lättare att kompaktera, eftersom små partiklar har större andel bindningsbara ytor [11]. Studier vid kompositillverkning visar att träpartiklarnas geometri är en av de viktigaste parametrarna för att säkerställa en god hållfasthet och vattenresistens [15]. Vidare att partiklar med låg densitet är mer deformerbara vilket i sin tur medför att de under pressning får större andel bindningsytor [15].

Fuktabsorption

Vid sammanställningen av resultaten visade det sig att fukthalten på pellets och råvara varierade olika mycket beroende på processparametrar. Tabell 7 visar resultaten på pellets fukthalt, vilken tas upp som en viktig parameter. Jämförelsen kunde endast utföras för pellets pressade vid 180 °C, eftersom resterande jämförbara serier föll bort. I tabell 7 visas att pellets förmåga att absorbera vatten är oförändrad trots ökad fukthalt i råvaran. Detta beror sannolikt på att fuktavgången vid pressningen utjämnade fuktförhållandet mellan färdig pellets av varierad råvarufukthalt, vilket betyder att råvarans och pelletarnas fukthalt är i stort blev densamma.

Av figur 12 framgår tydligt att fuktabsorptionen i pellets är beroende av fukthalten hos den färdiga pelleten.



Figur 12. Fuktabsorptionen som funktion av fukthalten i pellets.

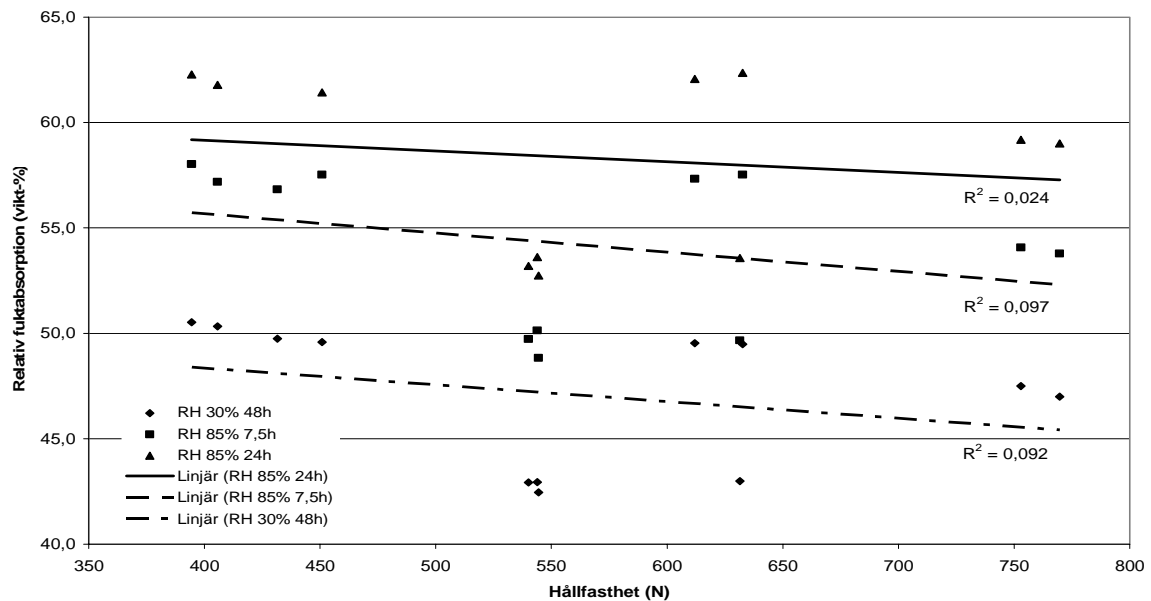
Figure 12. Relationship between moisture uptake and original moisture content of pellets.

Oberoende av processparametrar verkar fukthalten i pellets vid pressningen vara den mest avgörande faktorn för fuktabsorption, densitet och hållfasthet påverkar ej fuktabsorptionen i någon större grad.

Pellets producerade från såväl ej extraherat som icke extraherat spån uppvisade liknande beteenden gällande fuktabsorption. Detta styrks av att pelletens fukthalt är mer avgörande för fuktabsorptionen än råvarans karaktär. Studier visar att pellets producerade av färskt spån uppvisar en lägre hållbarhet efter lagring och en mindre tendens till fuktabsorption vid jämfört med pellets producerat från lagrat spån [16]. Vid lagring av pellets bör det också tas hänsyn till vad som händer när pelleten eftersträvar jämvikt med omgivningens fukthalt [16]. Extraktivämnenas betydelse för pellets hållbarhet under lagring har befunnits vara försumbart [13].

Figur 13 visar att pellets under fuktabsorptionstestens olika stadier ej uppvisade någon tydligt samband mellan tryckhållfastheten och fuktabsorption. Under testet ökade alla pellets i volym

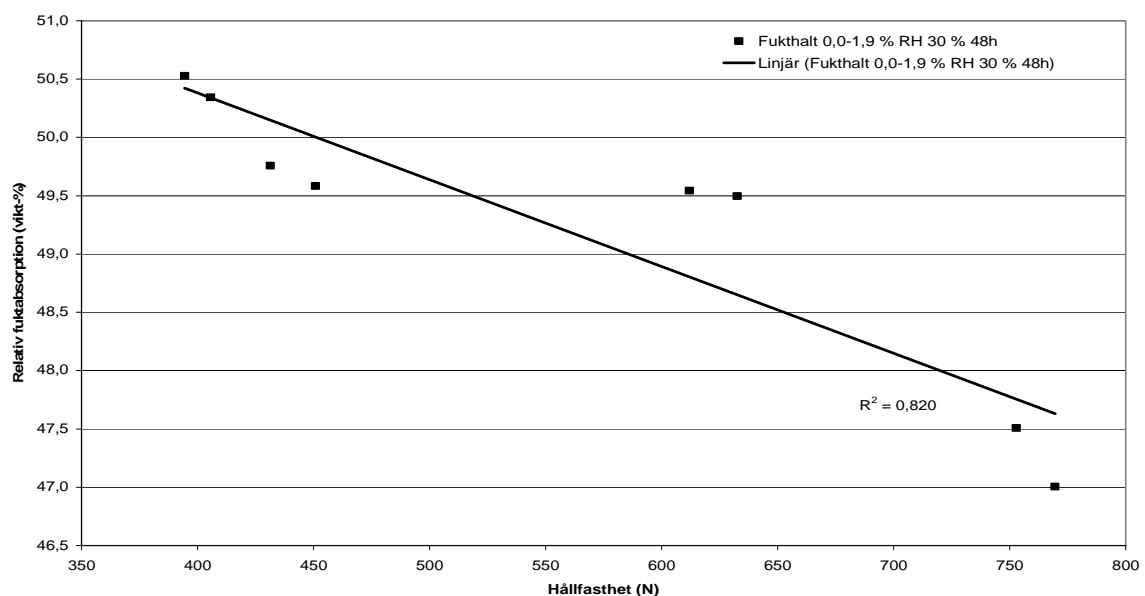
och pelletarna B26, B31, C26, C31, D26 och D31 var de som såg ut att hålla bäst, de föll inte sönder lika mycket som resten av proverna. Den som såg ut att hålla allra bäst var D26.



Figur 13. Fuktabsorption vid olika stadier som funktion av hållfasthet.

Figure 13. Relationship between moisture uptake and compression strength.

Detta fenomen kan åter härledas till fukthaltens (i pellets) betydelse för fuktabsorptionen. Sambandet återges i figur 14, som visar att fuktabsorptionen minskar kraftigt med ökad hållfasthet för pellets med liknande fukthalt.



Figur 14. Fuktabsorptionen som funktion av hållfastheten för pellets med liknande fukthalt.

Figure 14. Relationship between moisture uptake and compression strength of pellets with similar moisture content.

I detta arbete relaterades fuktabsorptionen på pelleten till framförallt dess fukthalt. Därmed frånses pelletens tryckhållfasthet, vilken i sin tur kan relateras till densiteten. Tidigare studier [6] visar att även densiteten och fuktabsorptionen kan relateras, men för att denna ”korrelation” skall ses i dessa studier måste pelletens fukthalt vara lika/liknande. Detta påstående styrks återigen av sambanden ur figur 14, vilka visar att pellets med liknande fukthalt visar ett samband mellan hållfasthet och fuktabsorption.

Pellets producerade vid en högre temperatur absorberade större andel fukt (Tabell 7). Detta beror sannolikt på att de pellets som är producerade vid 180 °C har en lägre fukthalt p.g.a. fuktavgång vid pressningen. Tidigare studier visar att hemicellulosans roll för partikelbindningar vid temperaturer över 100 °C kan ha större betydelse än ligninet. Vidare visas att ligninet kan bidra till en ökad resistens mot vattenupptag hos pellets [14].

I denna undersökning (Tabell 7) visas att presstryckets inverkan på fuktabsorptionen är obetydlig.

DISKUSSION

För att knyta samman försöksresultaten, litteraturstudier samt egna tankar och värderingar, utgår jag från de frågeställningar som ansattes:

- *Hur påverkar råvarans fukt- och extraktivämnehalt, presstryck och presstemperatur slutproduktens densitet, tryckhållfasthet och fuktabsorptionsförmåga?*

Råvarans fukthalt tycks vara en överordnad parameter som styr de övriga råvaru- och processparametrarna. Vedpartiklarnas kemiska sammansättning påverkade inte processen i någon större grad i denna studie, men kan ses som en ”friliggande” parameter som troligen påverkar slutproduktens karaktäristik gällande framförallt lagring av pellets.

Presstrycket är en parameter som påverkar densiteten och hållfastheten och dess nivå styrs framförallt av råvarufukthalten och presstemperaturen.

Presstemperaturen är den parameter, tillsammans med fukthalten, som styr aktiveringen av bindningsbara ytor och mjukgörningen av vedpartiklarna.

Densiteten påverkas av råvarans fukthalt, presstryck och presstemperatur. För en given densitet så bestämmer råvarufukthalten och presstemperaturen presstryckets nivå, d.v.s. en hög grad av plasticering av vedpartiklarna (en hög temp.) och en relativt låg råvarufukthalt, medför att presstrycket kan hållas relativt lågt för en given densitet på pelleten. För att pelletera/densifiera vedpartiklar till en sammanhängande enhet är det framförallt råvarufukthalten och presstemperaturen som måste samverka. Presstrycket kommer som en underordnad parameter som ej har någon verkan om inte råvarufukthalt och presstemperatur skapar en god miljö för pelletering/densifiering.

För att utvärdera pelletarnas hållfasthet utfördes en tryckhållfasthetstest/hårdhetstest. Denna test kan ses som en simulering av yttre påverkan vid de olika hanteringsstegen av pellets, samt ge information om typen av bindningar mellan vedpartiklarna[13].

Tryckhållfastheten/hårdheten kan direkt sättas i relation till densiteten men påverkas även av spåntyp, där ett lagrat extraherat (lagrat) spån kan bidra till en högre hållfasthet på pelleten. En lagrad råvara med relativt låg fukthalt ger med högt presstryck och presstemperatur en pellet med hög densitet/hållfasthet. Tidigare studier visar att densiteten på en enskild pellet är en grundläggande egenskap vilket kan relateras till tryckhållfastheten och fuktupptag [6]. Resultaten från denna studie visar ej någon relation mellan densiteten och fuktupptaget.

Den utförda testen för fuktabsorption simulerar beteendet på pellets under lagring i miljöer med varierande luftfuktighet [6]. Pelletens förmåga att absorbera fukt påverkades framförallt av dess fukthalt. Den färdiga pelletens fukthalt är den parameter som man framförallt skall beakta vid fuktabsorption; en nyproducerad pellet med relativt låg fukthalt blir känsligare för fuktabsorption.

- *Har råvarans partikelfördelning/sammansättning någon inverkan på tryckhållfastheten för pellets?*

Tryckhållfastheten/hårdheten har visat sig vara korrelerad till densiteten på pellets. Denna studie visar dock att pellets med lika/liknande densitet och varierande partikelsammansättning kan uppvisa skillnader i hållfasthet. Detta pekar på att de enskilda vedpartiklars karaktäristik är mycket betydande för pelletens hållfasthet.

- *Återfinnes liknande resultat/trender i tidigare studier?*

Liknande resultat beskrivs i många av de i denna studie inkluderade referenserna. I tidigare studier som utförts tycks påvisa att oberoende av råvara vid densifiering av biomassa, uppvisas liknande trender för de olika råvarorna. I grund och botten är de flesta råvarornas kemiska sammansättning likartade, men fiber och partikelstrukturer kan variera.

FRAMTIDA STUDIER

Denna studie har inte bara gett svar på inledningsvis ställda frågeställningar utan också genererat en hel del funderingar som t.ex.:

- Hur karaktäriserar man de enskilda vedpartiklarna i en given spånfraktion?
- Hur påverkar de enskilda vedpartiklarnas karaktäristik pelleteringsprocessen?
- Hur kan en produktutveckling, med avseende på fraktionssammansättning på råvaran, se ut för pellets?
 - Små partiklar; optimalt för hög densitet och leverans till pulvereldning?
 - Stora partiklar; optimalt för ”dammfria” krav och leverans till ”villabrännare”?

Eftersom dessa studier skall resultera i en utveckling av den industriella processen borde försök göras i en liknande process under god kontroll av processparametrar. Om man utgår från att det skall produceras en pellet i taget under god kontroll av materialflöde/mängd, presstemperatur, presstryck och presstid bör man kunna uppnå detta genom att pressa pellets i en press (laboratorieskala) av likartad utformning som en traditionell brikettpress. Typiskt för denna typ av press är att de intressanta parametrarna kan kontrolleras under en pressning som efterliknar den industriella pressningen av pellets.

REFERENSER

- [1] Anon. <http://www.pellets2002.com/SS%20187120.pdf>. 2005-05-31
- [2] Anon. <http://www.pelletsindustrin.org>. 2005-05-31
- [3] Lehtikangas P. 1998. Lagringshandbok för trädränslen. Inst. fr skogshushållning, SLU Uppsala.
- [4] Lehtikangas P. 1999. Quality properties of fuel pellets from forest biomass. Licenciate thesis. Rapport Nr. 4. Inst. fr skogshushållning, SLU Uppsala.
- [5] Anon. Bioenergi i Luleå AB. 2004. Informationsblad; Processen – från spån till pellets.
- [6] Lehtikangas P. 2001. Quality properties of pelletized sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 20: 351-360.
- [7] Ekman R och Holmbom B. 1996. Trä- och fiberkemi. Åbo Akademi.
- [8] Back E och Gellerstedt G. 1983. Aktiverad bindning av träytor. Svenska Träforskningsinstitutet. STFI. Med. Serie D. Nr 184.
- [9] Rhen C, Gref R, Sjöström M och Wästerlund I. 2005. Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets. Fuel Processing Technology. (i tryck)
- [10] Back E.L. 1987. The bonding mechanism in hardboard manufacture. Holzforschung 41: 247-258.
- [11] Bhattacharya S.C, Sett S och Shrestha R.M. 1989. State of the art for biomass densification. Energy Sources, Vol. 11, 161-182.
- [12] Anon. Bioenergi/Kretslopp. 2004. Bioenergi villa pelletsbrännarspecial Nr: 4-02; Energiåtgång vid pelletering i laboratorieskala.
- [13] Köser H, Schmalstieg G och Siemers W. 1982. Densification of water hyacinth – basic data. Fuel 61: 791-798.
- [14] Ögland N.J. 1955. Hemicellulosans och ligninets roll vid framställning av hårda träfiberskivor. Svensk papperstidning, årgång 58: 50-51.
- [15] Bodig J och Jayne B. 1993. Mechanics of wood and wood composites. Krieger publishing company, Florida. ISBN 0-89464-777-6
- [16] Lehtikangas P. 2000. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 19: 287-293.
- [17] Hon D.N.-S och Shiraishi N. 1990. Wood and cellulosic chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York. ISBN 0-8248-8304-2

- [18] Back E.L. 1991. Oxidativ activation of wood surfaces for glue bonding. Forest Products Journal. Sidor 30-36.
- [19] Glasser W.G, Kamke F.A och Sernek M. 2004. Comparative analysis of inactivated wood surface. Holzforschung, Vol. 58: 22-31.

För den som är intresserad att ta del av utgivna publikationer i serien "Studentrapporter" (1997-) från avd. för skogsteknologi, inst. för skogsskötsel, i Umeå kan en publikationsförteckning rekvireras med hjälp av nedanstående talong.

For those interested in publications in the series "Students' Reports" (1997-) from the section of Forest Technology, Department of Silviculture in Umeå, there is a list of publications available, which can be ordered using the form below.



Härmed rekvireras ett exemplar av teknikavdelningens publikationsförteckning "Studentrapporter".

Please, send me a copy of the list of publications "Students' Reports" from the section of Forest Technology

Namn:.....

Name:

Adress:.....

Address:

Sänds till: Inga-Lis Johansson

Mail to: SLU

Avd f skogsteknologi

SE-901 83 UMEÅ

Sweden

Distribution:

SLU
Avd f skogsteknologi
901 83 UMEÅ

*Swedish University of Agricultural Sciences
Section of Forest Technology
SE-901 83 UMEÅ, Sweden*
