



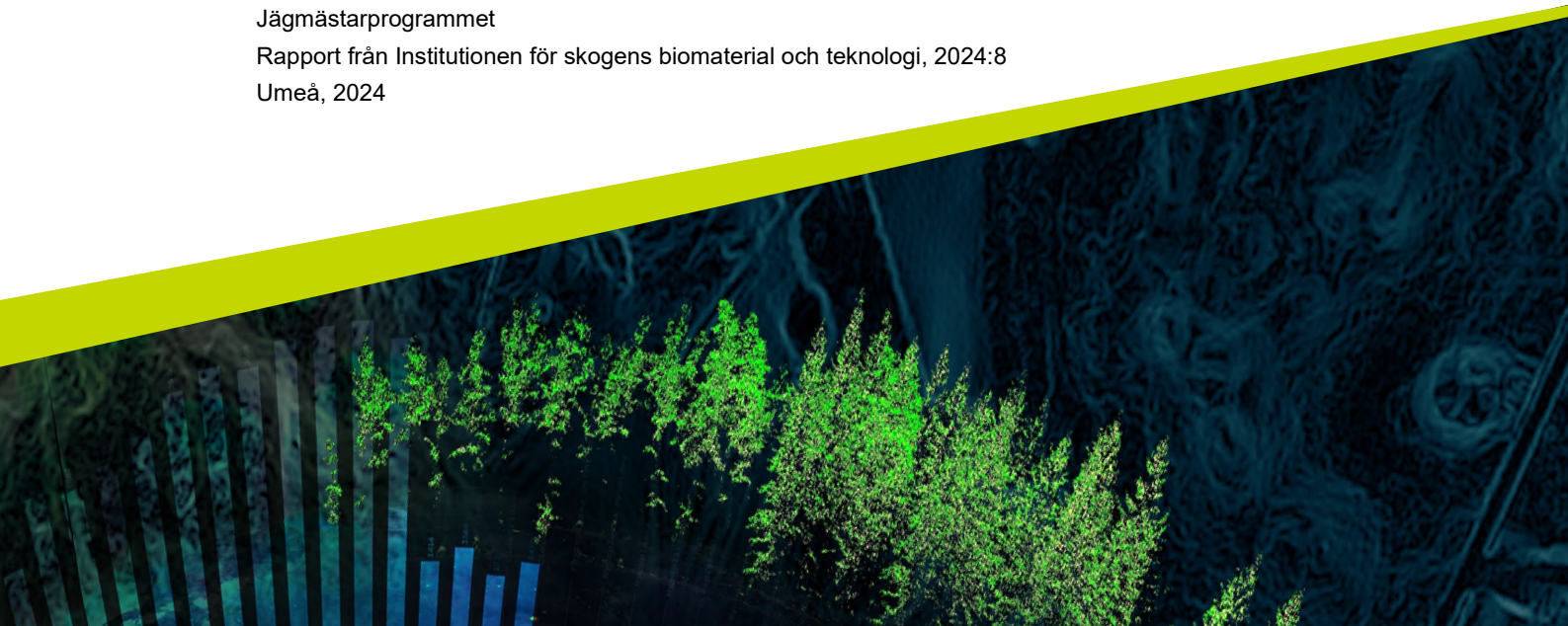
# Spektroskopiska metoder för att bedöma andelen splint- och kärnved i sågspån från gran och tall

---

Spectroscopic methods to assess the proportion of sapwood and heartwood in sawdust from spruce and pine

Isak Bäckman

Examensarbete 30 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
Jägmästarprogrammet  
Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2024:8  
Umeå, 2024



# Spektroskopiska metoder för att bedöma andelen splint- och kärnved i sågspån från gran och tall

*Spectroscopic methods to assess the proportion of sapwood and heartwood in sawdust from spruce and pine.*

Isak Bäckman

**Handledare:** Universitetslektor Michael Finell, SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Examinator:** Forskare Erik Anerud, SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** A2E

**Kurstitel:** Master thesis in forest science, A2E – Forest biomaterials and technology

**Kurskod:** EX0955

**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Utgivningsort:** Umeå

**Utgivningsår:** 2024

**Serietitel:** Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Delnummer i serien:** 2024:8

**Nyckelord:**

Nära infraröd spektroskopi, NIR, multivariat analys, splintved, kärnved, sågspån, pellets.

## Arkivering och publicering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Metadata och fulltext blir då synliga och sökbara på internet. I samband med att dokumentet laddas upp arkiveras det även digitalt.

JA, jag ger härmed min tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.  
<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>

NEJ, jag ger inte min tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och abstract blir synliga och sökbara.

## Sammanfattning

I dagsläget används splint- och kärnved från gran och tall i olika blandningar vid pelletstillverkning i Sverige. Inom sågverksindustrin används ofta CT-röntgen för detektering av bland annat splint- och kärnved då skillnaderna mellan dessa i stor utsträckning påverkar de sågade produkternas egenskaper. Biprodukten sågspån sorteras i nuläget inte i splint- och kärnved. Försök i laboratorieskala har visat att det är signifikanta skillnader i kvalitet, till exempel hållfasthet, även på pellets producerade av splint- respektive kärnved. Detta arbete har därför fokuserat på metoder för att bedöma andelen splint- och kärnved i sågspån. Med nära-infraröd spektroskopi och multivariat analys har modeller som kan prediktera andelen splint- och kärnved i torrt sågspån tagits fram. Mätningar med NIR gjordes med två olika instrument; Perten och ASD. Resultatet visar att andelen splint- och kärnved kan predikteras med en förklaringsgrad ( $R^2$ ) på 80–98%, beroende på mätinstrument och träslag. Den bästa prediktering gavs av modeller utifrån mätinstrumentet Perten för tallsågspån. Även skillnader i värmevärdet av tallsågspån mellan splint- och kärnveden identifierades, där kärnveden uppvisar 3% högre värmevärde. Skillnaden var däremot inte signifikant. Ett försök att separera sågspån i rena fraktioner av splint- och kärnved gjordes men utan lyckat resultat. Spånet uppvisar skillnader i flytförmågan vilket kan härledas till skillnaden i densitet, men en tillräcklig separation av spånfraktionerna uppnåddes inte.

*Nyckelord:* Nära infraröd spektroskopi, NIR, multivariat analys, splintved, kärnved, sågspån, pellets.

## Abstract

Currently, a mix of sapwood and heartwood from spruce and pine is used in pellet production in Sweden. In the sawmill industry, CT scanning is often used to detect, among other things, sapwood and heartwood, as the differences between these significantly affect the properties of the sawn products. The by-product, sawdust, is currently not sorted into sapwood and heartwood. Laboratory-scale experiments have shown that there are significant differences in quality, such as strength, even in pellets produced from sapwood versus heartwood. Therefore, this work has focused on methods for assessing the proportion of sapwood and heartwood in sawdust. Using near-infrared spectroscopy and multivariate analysis, models have been developed that can predict the proportion of sapwood and heartwood in dry sawdust. Measurements with NIR were performed using two different instruments: Perten and ASD. The results show that the proportion of sapwood and heartwood can be predicted with an explanation degree ( $R^2$ ) of 80-98%, depending on the measurement instrument and tree species. The best prediction was given by models based on the Perten measurement instrument for pine sawdust. Differences in the heating value of pine sawdust between sapwood and heartwood were also identified, with heartwood showing a 3% higher heating value. However, the difference was not significant. An attempt was made to separate sawdust into pure fractions of sapwood and heartwood, but without success. The sawdust exhibits differences in flowability, which can be attributed to differences in density, but sufficient separation of the sawdust fractions was not achieved.

*Keywords:* Near infrared spectroscopy, NIR, Multivariate analysis, heartwood, sapwood, sawdust, pellets.

# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning .....</b>	<b>7</b>
<b>Figurförteckning .....</b>	<b>8</b>
<b>Förkortningar .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Inledning .....</b>	<b>11</b>
1.1. Pellets .....	11
1.1.1. Pelletsprocessen .....	11
1.2. Splint- och kärnved .....	13
1.3. Pelletering av splint- och kärnved .....	15
1.4. Metoder för att identifiera splint- och kärnved .....	15
1.5. Teori .....	16
1.5.1. NIR-spektroskopi .....	16
1.5.2. Multivariat analys .....	16
1.6. Problembeskrivning .....	17
1.7. Syfte och frågeställningar .....	18
<b>2. Material och metod .....</b>	<b>19</b>
2.1. Råvaran .....	20
2.1.1. Sågning .....	20
2.1.2. Malning .....	21
2.1.3. Sällning och torkning .....	21
2.2. NIR-Spektroskopi .....	21
2.3. Multivariat analys .....	23
2.4. Vattentest .....	23
2.5. Värmevärde .....	24
<b>3. Resultat .....</b>	<b>25</b>
3.1. Malning och torkning .....	25
3.2. Analys av skillnader mellan splint- och kärnved .....	26
3.2.1. Analys av spektroskopidata med PCA .....	27
3.2.2. Klassificering av splint och kärnved med OPLS-DA .....	30
3.2.3. Validering av prediktionsmodell .....	32

3.3.	Separation av splint- och kärnved .....	34
3.3.1.	Analys av vattenseparation.....	34
3.4.	Analys av värmevärde .....	35
<b>4.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>36</b>
4.1.	Resultatdiskussion.....	36
4.1.1.	Sågning, malning och torkning .....	36
4.1.2.	NIR-analys och modellering.....	37
4.1.3.	Separationsförsök .....	38
4.2.	Effekt för industrin.....	38
4.3.	Fortsatta studier .....	39
<b>5.</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>40</b>
	<b>Referenser.....</b>	<b>41</b>
	<b>Tack .....</b>	<b>43</b>

# Tabellförteckning

Tabell 1. Koncentrationer i blandningar av granspån använda för kalibrering.	22
Tabell 2. Koncentrationer i blandningar av tallspån använda för kalibrering.	22
Tabell 3. Koncentrationer i blandningar av granspån använda för validering av modell.	23
Tabell 4. Koncentrationer i blandningar av tallspån använda för validering av modell.	23
Tabell 5. Fukthalter före och efter torkning för splint- och kärnved av gran och tall.	26
Tabell 6. Modeller som gjorts i SIMCA för mätningar med ASD.	26
Tabell 7. Modeller som gjorts i SIMCA för mätningar med Perten.	26

## Figurförteckning

Figur 1. Övergripande steg i pelleteringsprocessen. ....	12
Figur 2. Tvärsnitt av en trädstam med splint- och kärnveden uttridad. ....	14
Figur 3. Utsågade brädor av gran (till vänster) och tall (till höger). ....	19
Figur 4. Visuell skillnad på splint- och kärnved av gran på grund av angripande patogen. ....	20
Figur 5. Utsågad bit av ren splintved från gran. ....	20
Figur 6. Skillnad på spån av splintved (t.h.) och kärnved (t.v.) från gran. ....	25
Figur 7. PCA-scores för alla tallobserveringar mätta med Perten, färglagda beroende på andelen splintved. ....	27
Figur 8. PCA-scores för alla tallobserveringar mätta med ASD, färglagda beroende på andelen splintved. ....	28
Figur 9. PCA-scores för alla granobserveringar mätta med ASD, färglagda beroende på andelen splintved. ....	28
Figur 10. PCA-scores för alla granobserveringar utom en "outlier" mätta med ASD, färglagda beroende på andelen splintved. ....	29
Figur 11. PCA-scores för alla granobserveringar mätta med Perten, färglagda beroende på andelen splintved. ....	29
Figur 12. Scores för OPLS-DA för alla tallobserveringar mätta med Perten. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%. ....	30
Figur 13. Scores för OPLS-DA för alla tallobserveringar mätta med ASD. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%. ....	30
Figur 14. Scores för OPLS-DA för alla granobserveringar mätta med ASD. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%. ....	31
Figur 15. Scores för OPLS-DA för alla granobserveringar mätta med Perten. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%. ....	31
Figur 16. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för tallobserveringar mätta med ASD. R2 för valideringsset 0,91. 32	



Figur 17. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för granobservationer mätta med ASD. R2 för valideringsset 0,80. .....	33
Figur 18. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för granobservationer mätta med Perten. R2 för valideringsset 0,97. .....	33
Figur 19. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för tallobservationer mätta med Perten. R2 för valideringsset 0,98. .....	34
Figur 20. Specifikt värmevärde för splint- och kärnved för gran och tall (MJ/kg torrsustans). .....	35

## Förkortningar

ASD	Analytical spectral devices
CT	Computer tomografi
NIR	Near InfraRed
OPLS-DA	Orthogonal Partial Least Squares Discriminant
PCA	Principal component analysis
PLS	Partial least squares

# 1. Inledning

## 1.1. Pellets

Biobränslet pellets är en förädlad produkt från olika typer av biomassa. Det finns fördelar och nackdelar med olika biobränslen som till exempel lågt nettokolutsläpp och låg energidensitet. Pellets har däremot högre energidensitet än flera andra biobränslen och är därför ett alternativ till många andra kolbaserade bränslen (Obernberger & Thek 2010) samt kan användas som bränsle i kraftvärmeverk eller som uppvärmning i privata bostäder eller liknande (Pelletsförbundet 2024).

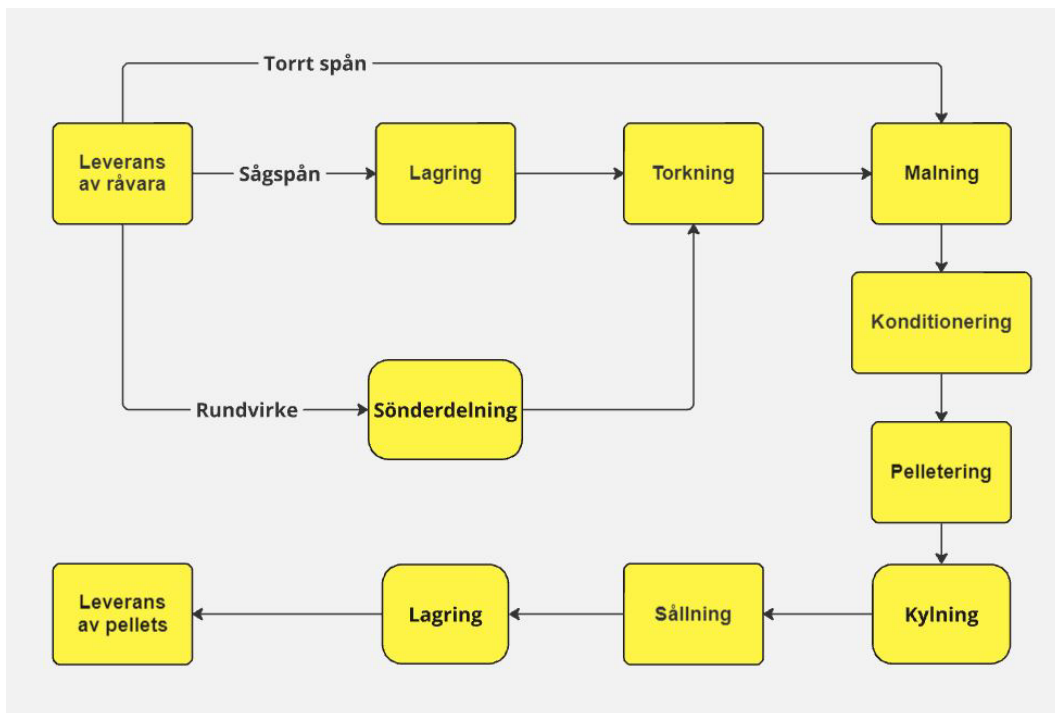
I dagsläget tillverkas pellets vid cirka 50 anläggningar i Sverige och den potentiella årliga pelletsproduktionen uppgår till cirka 8TWh. Total användning av biobränsle i Sverige är cirka 140TWh om året där pellets endast är en liten del. Råvaran som används är vanligen restprodukter från bland annat sågverksindustrin i form av sågspån av olika slag men även andra träråvaror ändvänds som till exempel rundvirke, flis, med flera (Pelletsförbundet 2024).

### 1.1.1. Pelletsprocessen

Pellets kan framställas av en mängd olika material och när det gäller pelletering av träråvara kommer den största delen från skogsindustrins restprodukter, i Sverige huvudsakligen sågspån från tall och gran. Beroende på vilken form råvaran har i början av pelleteringsprocessen kan processen se något olika ut. Dessa skillnader är oftast relativt små och påverkar inte den övergripande förståelsen av pelleteringsprocessen, även om de är viktiga vid tillverkningen.

Förädlingsprocessen till pellets illustreras i figur 1 och kan övergripande förklaras av följande steg. Leverans av råvara, eventuell bearbetning som malning eller flisning, lagring, torkning, eventuell additivtillsats, konditionering, pressning, kylning och sållning. Därefter lagring och paketering/distribution av produkten till konsument (Biomass pellet machine 2024).

Det första steget i pelleteringsprocessen efter leveransen av råvaran är oftast sönderdelning, i de fall det är nödvändigt. Detta kan göras på olika sätt men målet är oftast ett homogent material med en målstorlek för mald råvara på upp till 4 mm. För rundvirke används oftast någon variant av flisningsanläggning och därpå följande malning. Sågspån och flis lagras och torkas alltid innan malning och i malningen är det vanligt att en hammarkvarn används. Principen i en hammarkvarn är att materialet bearbetas av flera slagor, ”hammare”, mot ett motstånd i en cirkulär rörelse vilket vanligen resulterar i ett väldigt homogent material efter malningen (Obernberger & Thek 2010).



Figur 1. Övergripande steg i pelleteringsprocessen.

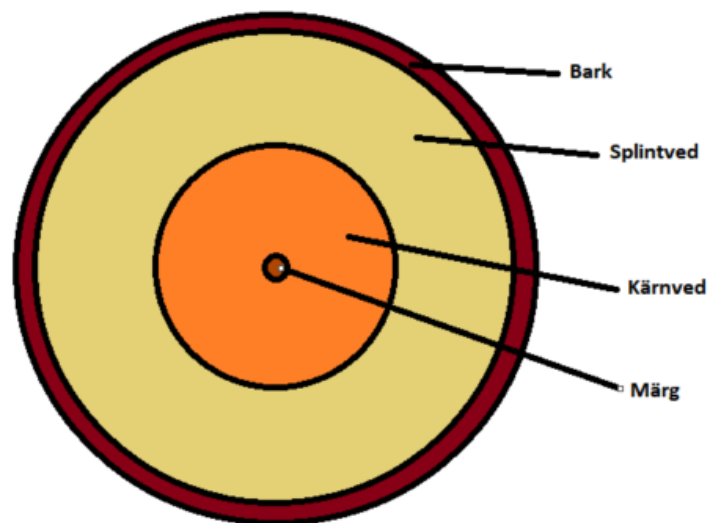
Konditionering utförs sedan på det finfördelade spånet för att uppnå rätt fukthalt och temperatur inför pelleteringen. Detta innebär att vatten eller ånga tillsätts till spånet. Vanligt är också att andra ämnen tillsätts för att förbättra pelletskvalitén och underlätta processen. Exempel på ett tillsatsämne är stärkelse (Obernberger & Thek 2010).

När spånet är konditionerat påbörjas pelleteringen. Detta sker genom att spånet pressas genom en cirkulär matris. Matrisens håldiameter och hållängd måste anpassas efter materialet som ska pelleteras samt temperatur och materialets fukttinnehåll. Efter pelleteringen kyls den färdiga pelletsen ner och sällas (Obernberger & Thek 2010).

Kvalitén på den färdiga pelletsen beror på flera faktorer. Fukthalten på materialet har stor inverkan på bland annat hållfastheten. Andra parametrar som påverkar är presstryck, temperatur samt lagring med flera (Bergström 2005). Det har visats att lagring av pellets påverkar pelletsens hållfasthet positivt (Siwale 2024). Fukthalten har även stor betydelse i självuppvärmningen av färdig pellets vid lagring då fukthalten påverkar den biologiska nedbrytningen. Biologisk nedbrytning är en orsak till självuppvärmning i pellets (Andersson 2019). Vidare har motsägande resultat påvisats där låg fukthalt i pelletsen gav mest självuppvärmning (Siwale 2024). Den vanligaste orsaken till självuppvärmning är dock oxidation, men även fysikaliska processer kan leda till självuppvärmning (Andersson 2019). Självuppvärmning i pellets vid lagring upplevs av en betydande del av den svenska pelletsindustrin som ett problem (Eriksson 2020).

## 1.2. Splint- och kärnved

I alla träd finns det olika typer av fibrer med olika karaktärer som skiljer dem åt. En av dessa karaktärer är splintved och kärnved och återfinns i nästan alla träslag. Kärnveden bildas längst in i trädet, närmast mörken, därav namnet och består av döda celler. Splintveden återfinns i det yttre lagret av trädet utanför kärnveden och består av levande celler (Bamber 1987). I figur 2 visas splint- och kärnveden i ett tvärsnitt av en stam. Tillväxten av vedceller i ett träd sker i kambiet mellan floemet och vedcellerna. Alla vedceller som skapas är splintvedsceller och först när de dör omvandlas de till kärnved. Andelen kärnved i ett träd beror på flera saker. Några av dessa är tillväxthastighet, omgivning, samt ålder. Snabbväxande träd har lägre andel kärnved eftersom bildandet av kärnved inte påverkas markant av tillväxthastigheten. Därav har ett snabbvuxet träd mer splintved än ett långsamtväxande träd och därmed högre splintvedsandel. Även omgivning har en indirekt påverkan på splintvedsandelen då den påverkar tillväxthastigheten. Det finns även indikationer på att vattentillgången gynnar bildandet av kärnved. Åldern är den mest påverkande faktorn då mer kärnved bildas desto äldre ett träd blir (Bamber 1987).



Figur 2. Tvärsnitt av en trädstam med splint- och kärnveden utritad.

En av skillnaderna mellan splint- och kärnved är att kärnveden är motståndskraftigare mot insekts- och svampangrepp. I vissa trädslag är även färgen på splint- och kärnveden annorlunda. Ytterligare en skillnad är funktionen som splint- och kärnveden fyller i trädet. Splintveden har som uppgift att transportera vatten och näringsämnen i trakeiderna i barrträd och agerar även som förvaring och lagrar socker och stärkelse. Kärnveden består av döda celler och kan därför inte transportera vatten eller näringsämnen. Kärnvedens huvudsyfte i trädet är därför stadga och stabilitet. På grund av att splintveden består av levande celler som transporterar vatten, till skillnad från kärnveden som är död, innehåller splintveden mer vatten och har därför högre rådensitet (Bamber 1987). Enligt Milller (2012) är även torrdensiteten högre för splintved än för kärnved hos tall. Detta motsägs i en äldre studie där kärnveden för tall har högre uppmätt torrdensitet än splintveden (Metsä-Kortelainen *et al.* 2006).

Andelen splint- och kärnved i levande träd beror på trädets ålder och kärnvedsandelen ökar desto äldre trädet är. Eftersom kärnved har lägre fuktinnehåll och därmed lägre rådensitet har äldre träd en lägre rådensitet jämfört med yngre träd eftersom kärnvedsandelen är högre i äldre träd (Millers 2013). Den mest relevanta aspekt för denna studie är skillnaden i extraktivämnehalten där kärnveden innehåller mer extraktivämnen än splintveden (Martínez-Gómez *et al.* 2022).

Splint- och kärnved har olika egenskaper som gör dem mer eller mindre lämpade för olika användningsområden och i vissa användningsområden finns det stora

fördelar med att dels separera splint- från kärnved, dels att kunna identifiera vilken kategori materialet faller under. Bland annat finns det fördelar för impregnering samt användning och framtagning av konstruktionsvirke (Sandberg 2002). Till exempel har kärnveden naturligt bättre beständighet och blir inte angripen av biologiskt nedbrytande organismer på samma sätt som splintveden (Taylor *et al.* 2002). Däremot kan kärnveden ibland innehålla ungdomsved vilket försämrar kvalitén på konstruktionsvirke (Nylinder & Fryk 2011).

### 1.3. Pelletering av splint- och kärnved

Det finns flera skillnader i pellets och i pelleteringsprocessen av ren splint- eller kärnved varav några är gasemissioner vid lagring av pellets, friktion i pelletsmatrisen, samt hållfasthet. I tidigare studier har skillnader i hållfasthet påvisats, där hållfastheten skiljer sig mellan splint- och kärnved och pellets av kärnved har högre hållfasthet. Även skillnader i bulkdensitet och gasemissioner vid lagring av pellets påvisades i denna studie (Siwale *et al.* 2023). Alla dessa parametrar är viktiga att ha kännedom om för att kunna pelletera ett material. Kännedom av skillnaderna mellan splint- och kärnved med avseende på dessa parametrar i kombination med andelen splint- och kärnved i det material som ska pelleteras medför en möjlighet att optimera pelleteringsprocessen. Därav kan det vara av fördel att inför pelleteringen känna till andelen splint- och kärnved i sågspånet (Wallsten 2020; Siwale *et al.* 2023). I dagsläget identifieras eller separeras inte splint- och kärnved i pelletsprocessen trots att det finns fördelar med att ha kunskap om andelen splint- och kärnved i det ingående materialet inför pelleteringen.

### 1.4. Metoder för att identifiera splint- och kärnved

Det finns idag ett flertal metoder för att identifiera splint- och kärnved. Några av dessa är konduktivitet, mikrovågsteknik, infraröd spektroskopi, radiografi samt datatomografi, även benämnt computer tomography (CT) eller skiktröntgen (Longuetaud *et al.* 2007). En vanlig metod för att identifiera och bedöma andelen splint- och kärnved i en stock inom sågverksindustrin är just CT. CT-teknologin mäter densiteten i stocken och kan identifiera skillnader i densitet inuti stocken. Eftersom färsk splintved har högre densitet än kärnved kan därför andelen uppskattas. Skillnaden i densitet på färsk ved beror till stor del på fukthalten som nästan alltid är högre i splintveden än i kärnveden (Longuetaud *et al.* 2007; Sandberg 2002). I en annan studie har det även visats att det med Near InfraRed spektroskopi (NIR) är möjligt att identifiera splint- eller kärnved vid mätning på

virkesytan (Sandberg & Sterley 2009) samt att med NIR prediktera splint- eller kärnved på träflis på grund av extraktivämnehalt (Lestander *et al.* 2012). Ingen av dessa metoder har dokumenterats vid mätning på torrt sågspån.

Det finns fördelar och nackdelar med alla dessa mättekniker. Det är endast NIR som kan detektera extraktivämnen då de andra mätteknikerna indirekt mäter fukthalt eller densitet. Därav är NIR den enda metod som fungerar på torr ved. Det finns däremot kunskapsluckor när det kommer till mätningar på torrt sågspån. Eftersom NIR kan detektera skillnader på splint- och kärnved på virkesytan på hela stockar samt på träflis bör det därför vara möjligt att detektera skillnaden på splint- och kärnved i torrt sågspån på grund av skillnaden i extraktivämnehalt.

## 1.5. Teori

### 1.5.1. NIR-spektroskopi

Metoden spektroskopi innebär mätning av ljus eller partikelstrålning. Det finns flera tillämpningsområden och används oftast för att identifiera egenskaper hos olika material genom att mäta reflektansen. NIR är en benämning på ett spektrum och omfattas vanligen av våglängder mellan 780nm och 2500nm som är utanför det visuella spektrat (Bergström 2013). Materialet som undersöks absorberar eller reflekterar vissa våglängder olika mycket och utrustningen registrerar då reflektansen som kan jämföras med andra mätningar. Vid mätningar med NIR ges ett dataset med reflektans för varje våglängd. Beroende på instrument kan antalet våglängder variera, vanligtvis ligger antalet våglängder och variabler på 1000 – 2000 våglängder (Thyrel 2022).

Ett vanligt användningsområde för NIR-spektroskopi är, inom skogsindustrin, bestämning av fukthalt i trä. NIR kan även användas för att detektera extraktivämnen och i vissa fall identifiera specifika molekyler (Lestander *et al.* 2012; Rosenqvist & Karlsson 1999; Bergström 2013).

### 1.5.2. Multivariat analys

Multivariat analys används när väldigt många variabler behöver hanteras. Vid användning av Multivariat analys och NIR-spektroskopi kombinerat används ett dataset där varje våglängd är en variabel vars värde är den, av instrumentet, uppmätta reflektansen för varje våglängd. PCA och PLS är varianter av multivariat analys. Båda dessa metoder används för att reducera dimensionen i dataset och hitta



de mest relevanta variablerna, men de har olika tillvägagångssätt och används i olika sammanhang. PCA används för att reducera antalet variabler i ett dataset genom att identifiera de huvudsakliga komponenterna som förklarar mest variation i data. Dessa kallas principalkomponenter. PLS används för att skapa en modell som förklarar sambandet mellan variabler genom att maximera kovariationen mellan dem. PLS används främst för att göra prediktiva modeller och lösa regressionsproblem. OPLS-DA är en variant av PLS fast OPLS-DA används främst för att kunna prediktera klasstillhörighet till exempel träslag eller ett intervall av andelen splintved (Thyrel 2022).

## 1.6. Problembeskrivning

I dagsläget används ingen kontroll av råvara i pelletstillverkningen trots potentialen som visats i kontroll på råvaran och anpassning efter den. Det finns fördelar med att känna till andelen splint- och kärnved i sågspån före pelletering då hållängd, presstryck och temperatur kan justeras efter andelen splint- och kärnved. Däremot finns det kunskapsluckor när det gäller detektering av splint- och kärnved samt koncentrationsbestämning av dessa i ett material. Det finns flera olika tekniker för att identifiera splint- och kärnved på vedytan samt på träflis men det finns kunskapsluckor kring detektering på sågspån. Det har även visats möjligt att med NIR detektera andelen extraktivämne i trä. Därav finns det en potential att kunna detektera andelen splint- och kärnved i torrt sågspån, vilket skulle kunna leda till bättre kontroll av råvaran innan pelletering och möjlighet att anpassa pelleteringsprocessen efter råvaran. Det är med denna bakgrund som syfte och frågeställningar tagits fram.

## 1.7. Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att utvärdera metoder för att mäta andelen splintved och kärnved i sågspån från tall och gran. Utifrån detta syfte har följande frågeställningar formulerats.

1. Är det möjligt att med NIR-spektroskopi och multivariat analys skapa en modell som kan prediktera andelen splint- och kärnved i torrt sågspån?
2. Hur noggrann är en sådan modell?
3. Är det möjligt att separera splintved från kärnved i sågspån med hjälp av deras densitet i form av en vattenseparation?
4. Är det skillnad på värmevärde hos ren splintved och kärnved av tall och gran?

## 2. Material och metod

Metoden bestod i korthet av att ta fram prover av splint- och kärnved från gran och tall i form av sågspån där en del torkades och en del behölls färsk.

De torra proverna blandades i 14 olika koncentrationer splint- och kärnved för att möjliggöra mätningar med NIR och framtagandet av en NIR-modell som kan identifiera andelen splint- och kärnved i sågspån. Mätningar gjordes med hjälp av två olika NIR instrument, Perten och ASD (analytical spectral devices).

De färska proverna användes i ett separationsförsök för att identifiera en metod för att kunna separera kärn- och splintved i sågspån.

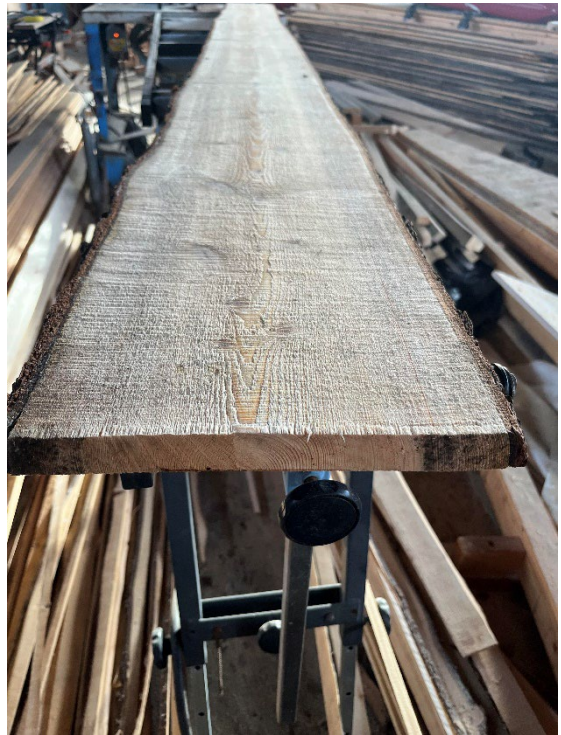
Analys av värmevärdet för splint- och kärnved av tall och gran gjordes på torkade spånprover.



*Figur 3. Utsågade bräddor av gran (till vänster) och tall (till höger).*

## 2.1. Råvaran

Råvaran som användes var stockar av tall (*Pinus sylvestris*) samt gran (*Picea abies*) från vilka sågspån har utvunnits. Stockarna som användes var andra från stubben räknat, det vill säga att de färdiga proverna är en blandning av spån från ca 4 meter från roten till ca 8 meter från roten på både gran och tall. Avverkningstidpunkt för dessa träd var i september 2023. Stockarna lagrades sedan utomhus fram till sågning och malning vilket skedde i oktober 2023.



### 2.1.1. Sågning

För att utvinna sågspån av ren kärn- och splintved ur stockarna sågades de i omgångar. Först har stockarna sågats till brädor enligt figur 3. Därefter valdes brädorna 3, 4, 5, och 6 för gran räknat uppifrån enligt figur 3, samt brädorna 2, 3 och 4 för tall räknat uppifrån enligt figur 3. Brädorna klyvdes för att isolera ren splintved samt ren kärnved. På tallen kunde enkelt visuell bedömning avgöra vad som var kärnved och vad som var splintved på grund av de naturliga färgskillnaderna på dessa (figur 4). En väl tilltagen marginal på ca 2–3 cm användes för att minimera kontaminering av proverna. På granen var det vid första tillfället svårt att visuellt avgöra skillnaden på splint- och kärnveden varav beslutet att avvakta ca 14 dagar med sågning gjordes. Vid andra tillfället hade splintveden angripits av en okänd patogen, se figur 4, vilket möjliggjorde visuell bedömning av var sågningen skulle ske. Resultatet av sågningen syns i figur 5.

Figur 4. Visuell skillnad på splint- och kärnved av gran på grund av angripande patogen.



Figur 5. Utsågad bit av ren splintved från gran.

### 2.1.2. Malning

Efter sågning användes en kvarn av märket Klingmill för att mala de utsågade brädorna av splint- och kärnved. Kvarnen är utvecklad för att kunna producera ett finmalt pulver av färsk ved.

### 2.1.3. Sällning och torkning

För att göra proverna homogena har det färdiga spånet sällats med 1,6 mm såll. Detta innebär att spånet som används var väldigt homogent med partikelstorlek på mindre än 1,6 mm. Därefter har en del av varje prov torkats och en del av varje prov bevarats färskt. Spånet som skulle gå till NIR-analys torkades i låg temperatur under 40°C i 72h. Den låga temperaturen valdes så att inga komponenter i materialet skulle förångas eller förändras på grund av värmen. Fukthalten i både de färska proverna och de lågtemperaturtorkade analyserades genom torkning vid 105 °C till konstant vikt.

## 2.2. NIR-Spektroskopi

För att kunna identifiera andelen splint- och kärnved i ett sågspånsprov har två olika NIR-instrument använts. Det första instrumentet var ett Perten DA7250 (Perten) som mäter våglängder i intervallet 950–1750 nm och det andra instrumentet var ett Analytical spectral devices LabSpec4 (ASD) som mäter våglängder i intervallet 350–2500 nm. För att utföra mätningarna har prover bestående av torkat spån blandats med koncentrationer enligt tabell 1 och 2. Därefter har mätningar utförts på de olika blandningarna. Mätningarna med Perten har skett med tre replikat av varje blandning, där 11 prover använts för kalibrering av modellen och 5 prover för validering av modellen. Koncentrationer för blandningar för validering syns i tabell 3 och 4. Mätningarna med ASD-instrumentet har gjorts på samma prover men med 5 replikat av varje blandning.

Dataseten som skapas av mätningen med de olika instrumenten ser lite olika ut. Båda instrumenten mäter reflektans för en mängd olika våglängder inom spannet för vad som klassas som NIR. För Perten resulterar detta i ett dataset med 700 variabler (våglängder 950–1650 nm) och för ASD innehåller datasetet 2150 variabler (våglängder 350–2500 nm).

Skillnaderna mellan dessa instrument är stora i avseende på hur den spektroskopiska mätningen utförs. För Perten placeras ca 50-100g spån på en tallrik varpå denna placeras under en stationär infraröd lampa. Mätningen utförs samtidigt som tallriken roterar vilket innebär att mätningen sker på majoriteten av tallrikens yta. ASD har ingen stationär lampa utan lampan sitter på en sond som förs ner i

provet. Denna prob har en mätyta som är betydligt mindre än den för Perten. Mängden spån som behövs för att utföra mätningen med ASD är väldigt liten men däremot klarar den väldigt stora mängder spån. Med andra ord har det inte någon större betydelse hur stor mängd spån som används, ASD är flexibel och kan mäta prover av olika storlekar. Däremot krävs det för ASD, precis som för Perten, ett homogent spån för att uppnå säkra mätresultat. I större prover är det dock svårare att uppnå homogenitet än i små prover. Vidare är det betydligt enklare att utföra mätningar med ASD än med Perten och går snabbare men ger vanligen inte lika bra resultat på grund av skillnaden i mätyta.

*Tabell 1. Koncentrationer i blandningar av granspån använda för kalibrering.*

Andel splint	Andel kärn	Vikt splint (g)	Vikt kärn(g)
0.0%	100.0%	0.00	203.30
8.7%	91.3%	17.04	178.34
17.9%	82.1%	34.73	159.44
29.7%	70.3%	54.98	129.76
39.5%	60.5%	65.91	100.82
49.4%	50.6%	64.75	66.29
60.0%	40.0%	82.63	54.99
69.9%	30.1%	91.05	39.38
79.9%	20.1%	103.42	25.97
90.0%	10.0%	95.45	10.54
100.0%	0.0%	114.81	0.00

*Tabell 2. Koncentrationer i blandningar av tallspån använda för kalibrering.*

Andel splint	Andel kärn	Vikt splint (g)	Vikt kärn(g)
0.0%	100.0%	0	189.44
9.9%	90.1%	17.52	159.24
20.6%	79.4%	35.91	138.35
29.7%	70.3%	49.01	115.78
40.5%	59.5%	64.56	94.75
52.0%	48.0%	81.9	75.53
60.0%	40.0%	90.37	60.24
69.0%	31.0%	94.47	42.47
80.0%	20.0%	108.43	27.03
89.8%	10.2%	114.85	13.07
100.0%	0.0%	135.65	0.00



Tabell 3. Koncentrationer i blandningar av granspån använda för validering av modell.

Andel splint	Andel Kärn	Vikt splint (g)	Vikt kärn(g)
25%	75%	48.84	145.06
45%	55%	65.45	79.54
75%	25%	95.37	32.06

Tabell 4. Koncentrationer i blandningar av tallspån använda för validering av modell.

Andel splint	Andel Kärn	Vikt splint (g)	Vikt kärn(g)
25%	75%	40.4	118.9
45%	55%	77.38	94.68
75%	25%	104.74	34.76

## 2.3. Multivariat analys

Efter mätningarna utfördes multivariat analys i programmet SIMCA. I SIMCA gjordes olika modeller för att visualisera resultatet. Dessa modeller var av typen principal component analysis (PCA), partial least squares (PLS), samt orthogonal partial least squares discriminant (OPLS-DA).

SIMCA är en mjukvara som utvecklats av företaget Umetrics för multivariat dataanalys och kemometri. Mjukvaran används inom många vetenskapliga och industriella områden för att analysera komplexa datasätt så som spektran, identifiera mönster och samband, och skapa prediktiva modeller (Ericksson *et al.* 2001).

## 2.4. Vattentest

För att separera material av olika densitet kan vattenbad användas för att separera två material från varandra eller ett material från vatten (Chu *et al.* 2015). Därför var det andra momentet i studien att försöka utveckla en separationsmetod som bygger på splint- och kärnvedens skillnad i densitet (Bamber 1987). Eftersom större bitar av kärnved sjunker och splintved flyter har en experimentell metod tagits fram för att kunna separera spån i splintved och kärnved. Metoden innebär att färskt sågspån av splint- och kärnved av gran och tall placeras i ett vattenbad för att kunna identifiera skillnader och för att separeras.

Förutsättningen för den föreslagna separationsmetoden är att spån av kärnved sjunker och spån av splintved flyter. Hypotesen är att genom att använda rätt mängd spån, av rätt fukthalt, i förhållande till vatten kan rena fraktioner av splint- och kärnved separeras fram i vatten.

## 2.5. Värmevärde

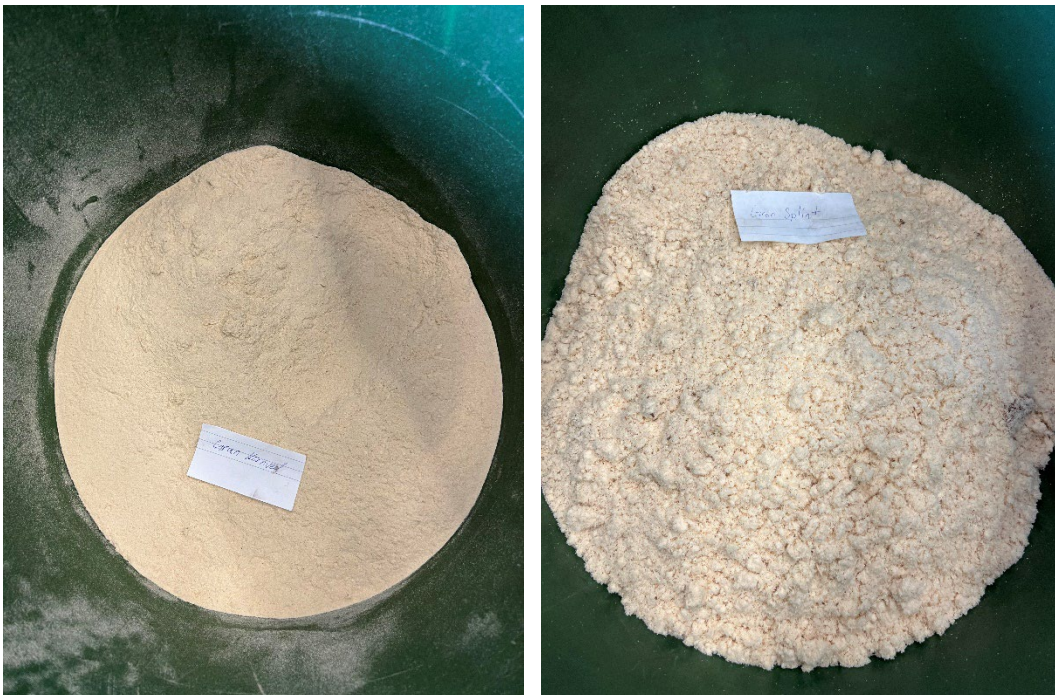
Prover från rena fraktioner splint- och kärnved av gran och tall togs ut för att utvärdera och identifiera skillnader i värmevärde. Dessa prover är förberedda på samma sätt som proverna för NIR-mätningar. Rena fraktioner av splint och kärnved valdes sedan för att användas för mätning av värmevärde medan resterande prover blandades till NIR-mätningar. Kalorimetriskt värmevärde uppmättes genom total förbränning i en kalorimeter (Parr 6400). Varje prov förbrändes två gånger. Analyserna gjordes vid SLU, institutionen för skogens biomaterial och teknologiska analyslaboratorium i Umeå.



## 3. Resultat

### 3.1. Malning och torkning

Efter malning identifierades skillnader på splint- och kärnved av de olika trädslagen, vilka visas i figur 6. Dessa skillnader var att kärnveden upplevdes slät och tung och konsistensen skulle kunna liknas vid sand då partiklarna gick att urskilja. Splintveden var betydligt ojämnare med kluster av spån som kändes luftigare.



*Figur 6. Skillnad på spån av splintved (t.h.) och kärnved (t.v.) från gran.*

I tabell 5 visas fukthalterna för spånets som användes vid NIR-mätningar. För både gran och tall var det stor variation i fukthalt mellan splint- och kärnveden före torkning. Efter torkning var skillnaderna mindre.

Tabell 5. Fukthalter före och efter torkning för splint- och kärnved av gran och tall.

	Fukthalt rå	Fukthalt torr
Splintved tall	45%	1.40%
Kärnved tall	14%	1.31%
Splintved gran	56%	1.53%
Kärnved gran	14%	1.39%

### 3.2. Analys av skillnader mellan splint- och kärnved

För att identifiera och karaktärisera eventuella skillnader mellan splint- och kärnved analyserades alla resultat från NIR-mätningar med multivariat analys med programmet SIMCA. Resultaten från dessa analyser presenteras nedan i form av PCA, PLS, samt OPLS-DA. Beskrivning av de olika modellerna för ASD och Perten syns i tabell 6 och 7, respektive.

Tabell 6. Modeller som gjorts i SIMCA för mätningar med ASD.

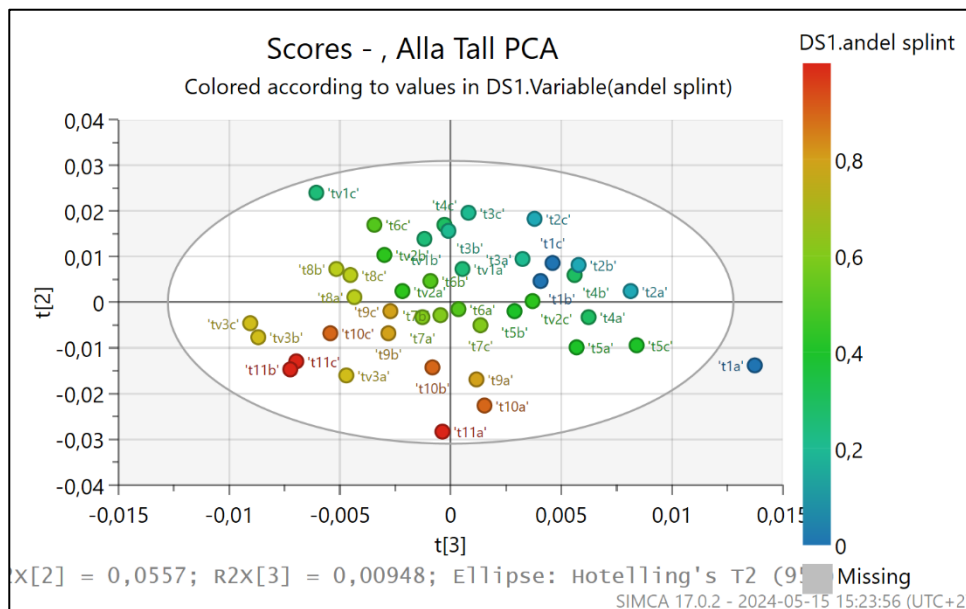
Modell Nr	Typ	Antal principal - komponenter	Antal observationer	R2X(cum)	R2Y(cum)	Q2(cum)	Modellnamn
M1	PCA-X	4	70	0,991		0,989	Alla Tall PCA
M2	PCA-X	4	70	0,983		0,981	Alla Gran PCA
M3	PLS	3	55	0,982	0,914	0,900	Tall Kalibrering PLS
M4	PLS	5	54	0,983	0,948	0,882	Gran Kalibrering PLS
M5	OPLS-DA	1+1+0	55	0,945	0,806	0,784	Alla Tall OPLS-da
M6	OPLS-DA	1+1+0	59	0,939	0,772	0,758	Alla Gran OPLS-DA
M7	PCA-X	4	69	0,977		0,972	Alla Gran PCA minus Outlier

Tabell 7. Modeller som gjorts i SIMCA för mätningar med Perten.

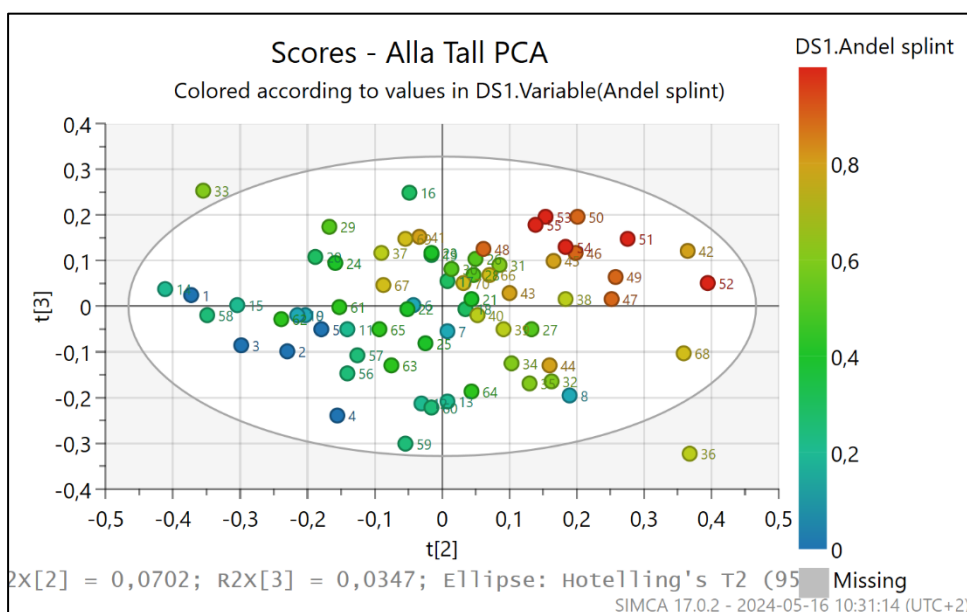
Modell Nr	Typ	Antal principal - komponenter	Antal observationer	R2X(cum)	R2Y(cum)	Q2(cum)	Modellnamn
M1	PCA-X	3	44	0,997		0,997	Alla Gran PCA
M2	PCA-X	3	42	0,997		0,996	Alla Tall PCA
M3	PLS	3	35	0,997	0,986	0,982	Gran kalibrering PLS
M4	PLS	3	33	0,999	0,997	0,996	Tall kalibrering PLS
M5	OPLS-DA	1+2+0	38	0,997	0,881	0,863	Alla Gran OPLS-da
M6	OPLS-DA	1+2+0	33	0,998	0,894	0,875	Alla Tall OPLS-DA

### 3.2.1. Analys av spektroskopidata med PCA

PCA användes för att tolka spridningen av mätningarna. Enligt figurerna 7–11 nedan som är färgade gradvis beroende på andelen splintved i proverna kan visuell tolkning av spridningen visa att det finns viss skillnad mellan splint och kärnved. För tall förklaras spridningen bäst av andra och tredje komponenten i modellen medan för gran förklaras spridningen bäst av första och andra komponenten. Med resultatet att det finns spridning mellan observationerna som kan förklaras av modellen är det tydligt att det är möjligt för en modell att prediktera och/eller förklara andelen splint- och kärnved i proverna.

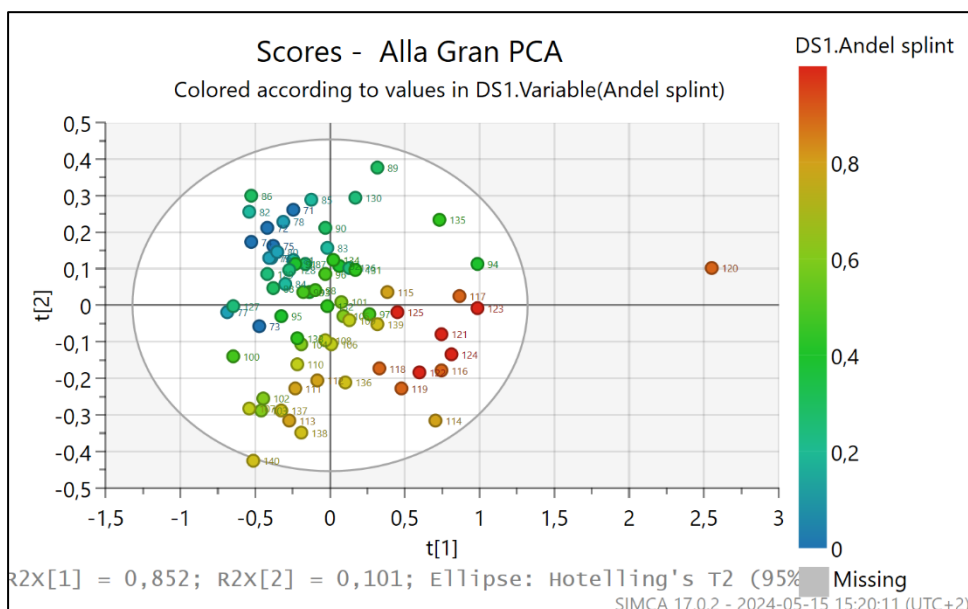


Figur 7. PCA-scores för alla tallobservationer mätta med Perten, färglagda beroende på andelen splintved.

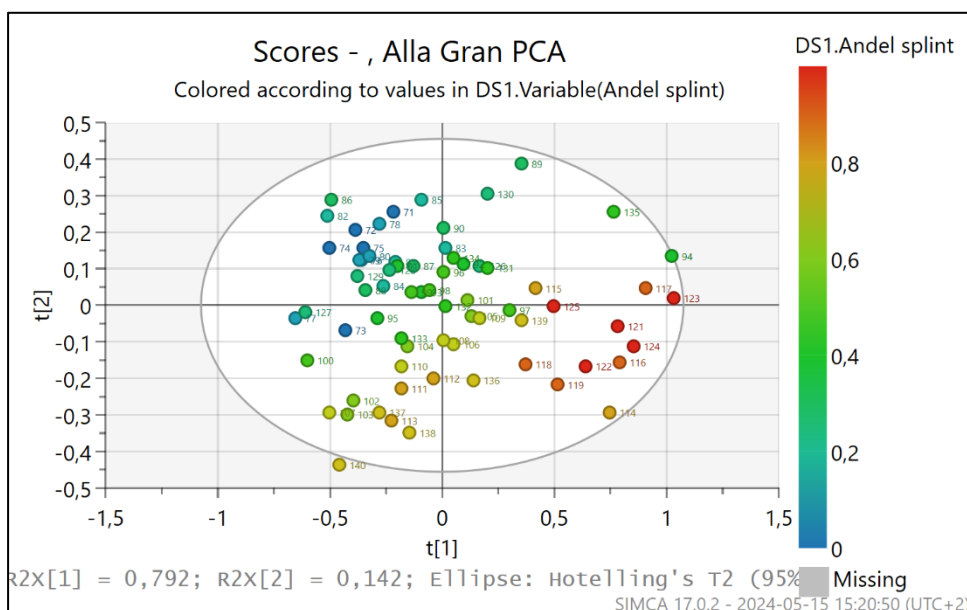


Figur 8. PCA-scores för alla tallobserveringar mätta med ASD, färglagda beroende på andelen splintved.

För mätningarna med ASD identifierades en mätning som skiljde sig onormalt mycket från resterande. Denna observation exkluderades därför ur prediktionsmodellen för att uppnå högre noggrannhet. Skillnader med och utan utstickande observation syns i figur 9 och figur 10.

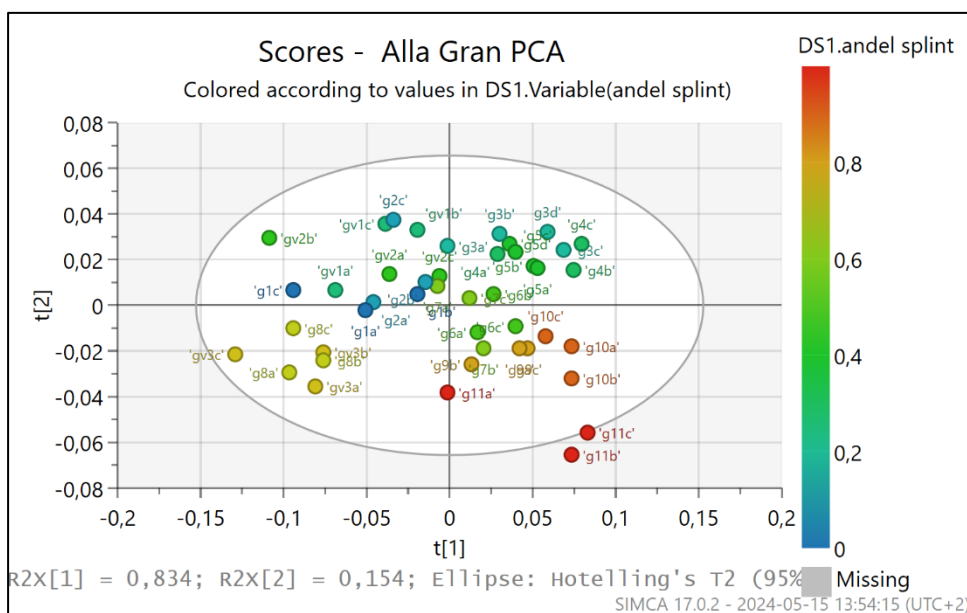


Figur 9. PCA-scores för alla granobservationer mätta med ASD, färglagda beroende på andelen splintved.



Figur 10. PCA-scores för alla granobservationer utom en "outlier" mätta med ASD, färglagda beroende på andelen splintved.

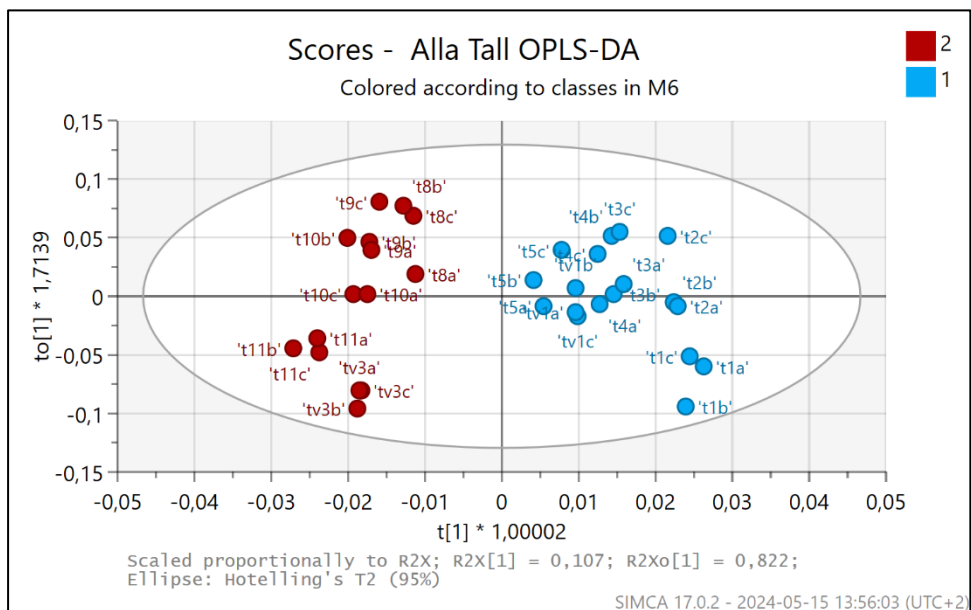
Den observation som syns som så kallad "outlier" i figur 8 är borttagen ur alla andra modeller för ökad noggrannhet i modellerna.



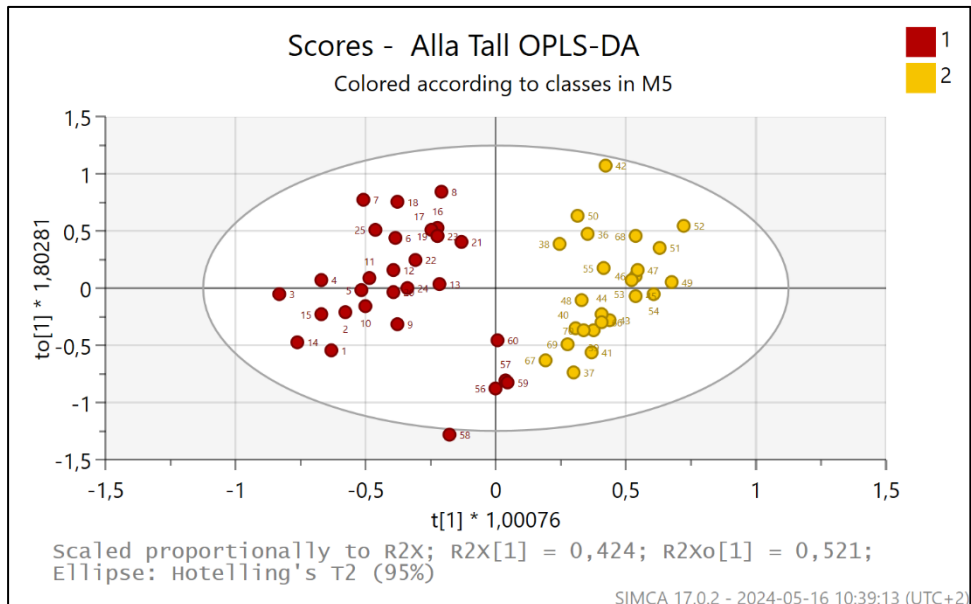
Figur 11. PCA-scores för alla granobservationer mätta med Perten, färglagda beroende på andelen splintved.

### 3.2.2. Klassificering av splint och kärnved med OPLS-DA

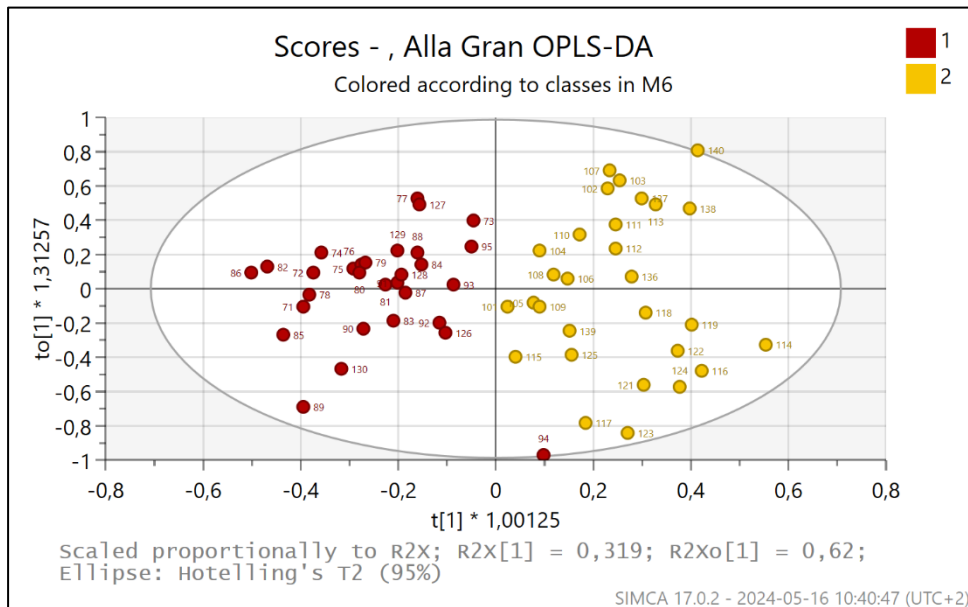
För att testa en modell vars syfte är att prediktera ett provs splintvedsandel i klasser i stället för exakt koncentration gjordes en OPLS-DA analys. Klasserna har i dessa modeller satts till att prover med splintvedsandel mellan 0% och 40% tillhör klass 1 och prover med splintvedsandel mellan 60% och 100% tillhör klass 2 (figur 12 - 15).



Figur 12. Scores för OPLS-DA för alla tallobserveringar mätta med Perten. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%.

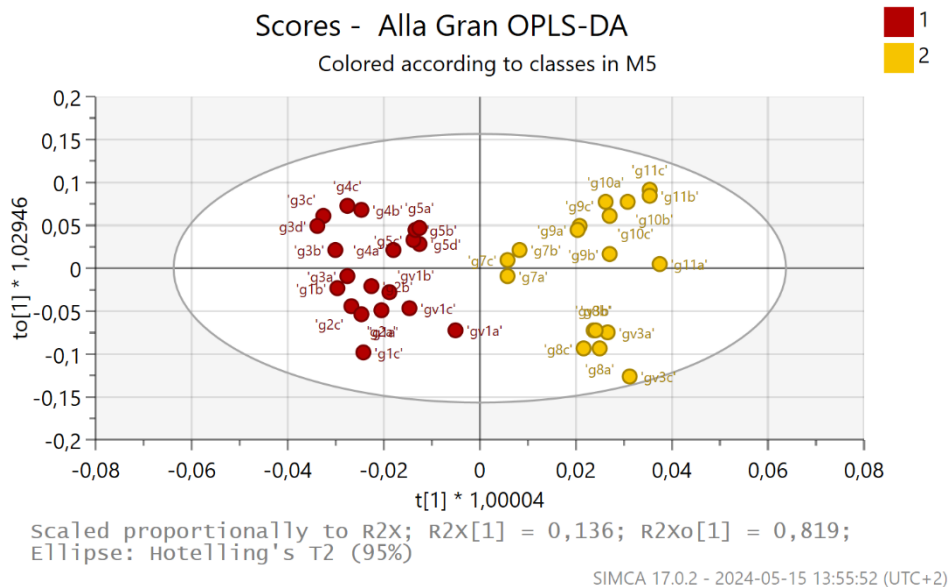


Figur 13. Scores för OPLS-DA för alla tallobserveringar mätta med ASD. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%.



Figur 14. Scores för OPLS-DA för alla granobservationer mätta med ASD. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%.

Observationerna i figur 12–15 är färgade i klasserna 1 och 2. Resultaten av dessa analyser visar att utifrån modellerna som bygger på mätningarna med Perten är det en tydlig skillnad mellan klass 1 och 2. Modellerna som bygger på mätningar med ASD visar på mindre skillnad jämfört med Perten och ibland ses en överlappning mellan klasserna.

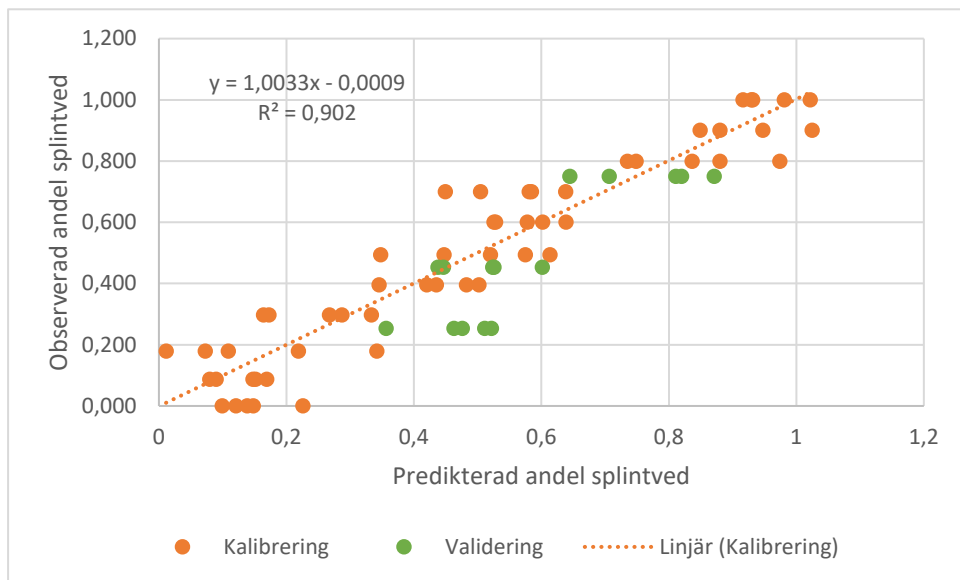


Figur 15. Scores för OPLS-DA för alla granobservationer mätta med Perten. Färgade efter klasser. Klass 1 = splintvedsandel mindre än 40%. Klass 2 = splintvedsandel mer än 60%.

### 3.2.3. Validering av prediktionsmodell

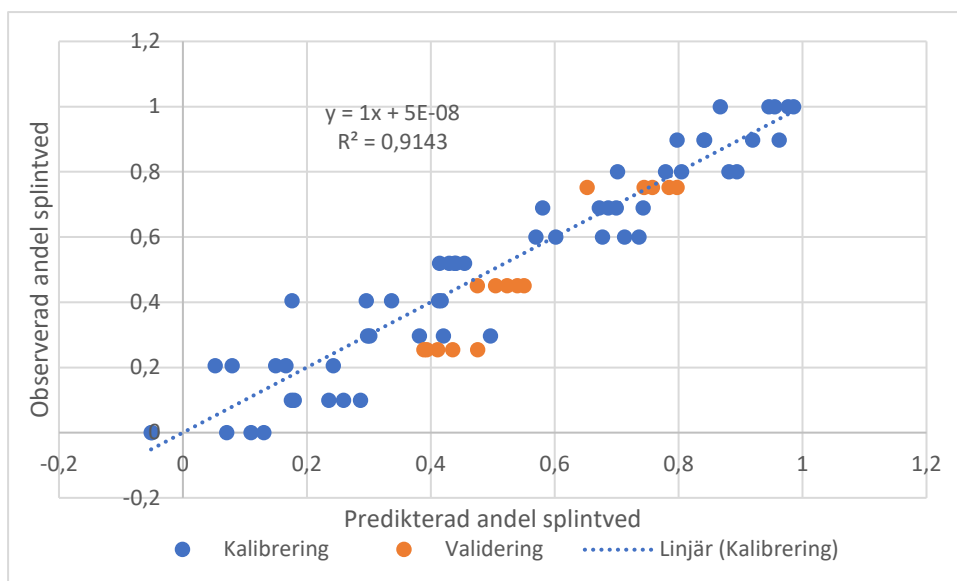
För att validera gjorda prediktioner jämfördes de predikterade värdena av proven med värden från valideringsproverna. De PLS-modeller som gjordes användes för att prediktera andelen splintved i proverna i valideringssetet. Dessa modeller visas i figur 16–19. Linjen för modellen bygger bara på observationerna från kalibreringssetet.

Analys av modellerna visar att modellerna förklarar spridningen olika bra beroende på vilket mätinstrument som används. Modellerna för mätningar gjorda med Perten ger en hög förklaringsgrad, det vill säga ett  $R^2$ -värde nära 1. Modeller utifrån mätningar gjorda med Perten ger ett  $R^2$  på 0,986 för gran och 0,997 för tall (figur 18, 19) att jämföra med 0,914 och 0,902 utifrån mätningar gjorda med ASD (figur 16, 17).

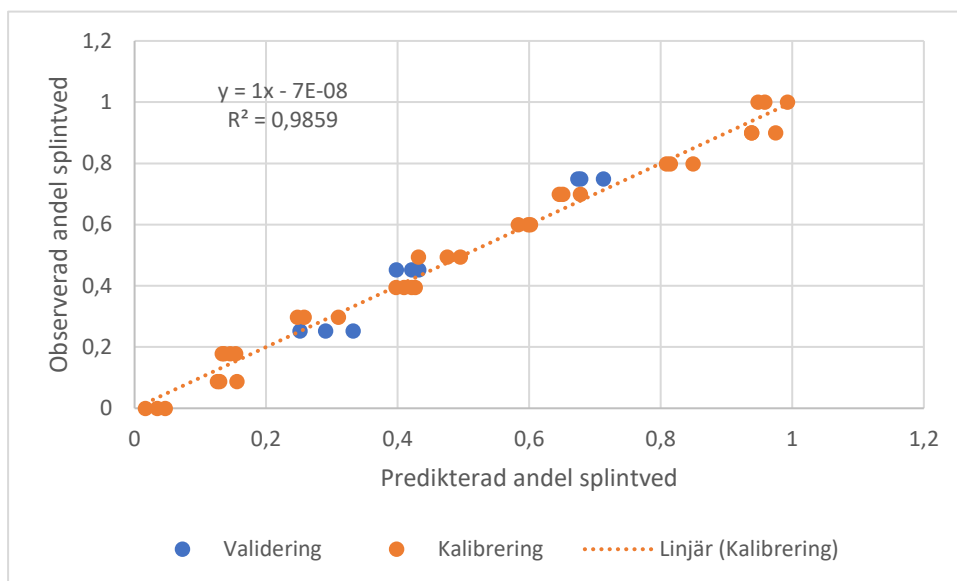


Figur 16. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för tallobservationer mätta med ASD.  $R^2$  för valideringsset 0,91.

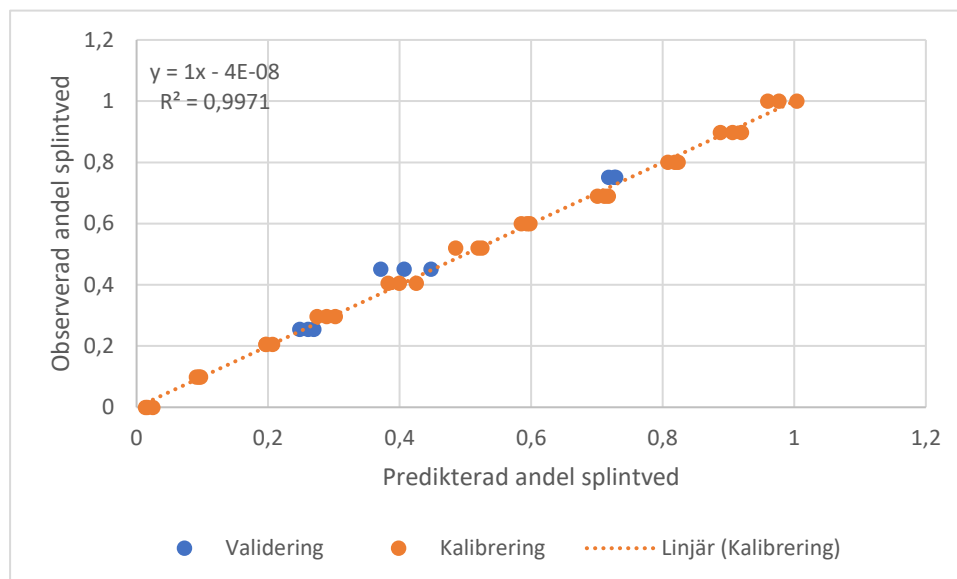




Figur 17. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för granobservationer mätta med ASD. R2 för valideringsset 0,80.



Figur 18. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för granobservationer mätta med Perten. R2 för valideringsset 0,97.



Figur 19. Observerade vs. predikterade värden för kalibrerings- och valideringsset för tallobservationer mätta med Perten.  $R^2$  för valideringsset 0,98.

### 3.3. Separation av splint- och kärnved

I ett försök att separera splint- och kärnved gjordes en vattenseparation. Det vattentest som gjordes uppvisade resultat i likhet med hypotesen, att kärnved flyter och splintved sjunker. Ett försök att separera sågspån av färsk splint- och kärnved med en vattenseparation lyckades initialt inte men det var möjligt att identifiera skillnader mellan de olika fraktionerna av splint- och kärnved.

Färsk splintved av både gran och tall sjönk omedelbart vid kontakt med vattenytan. Detta beror på fukthalten och densiteten på färsk splintved.

Färsk kärnved av både gran och tall flöt initialt vid kontakt med vattenytan men efter cirka 20 sekunder började även detta sågspån att sjunka till botten. Det var tydligt att mindre partiklar sjönk först och att större partiklar sjönk sist eller aldrig. Tiden för kärnveden att sjunka var 3–20 minuter beroende på mängden kärnved.

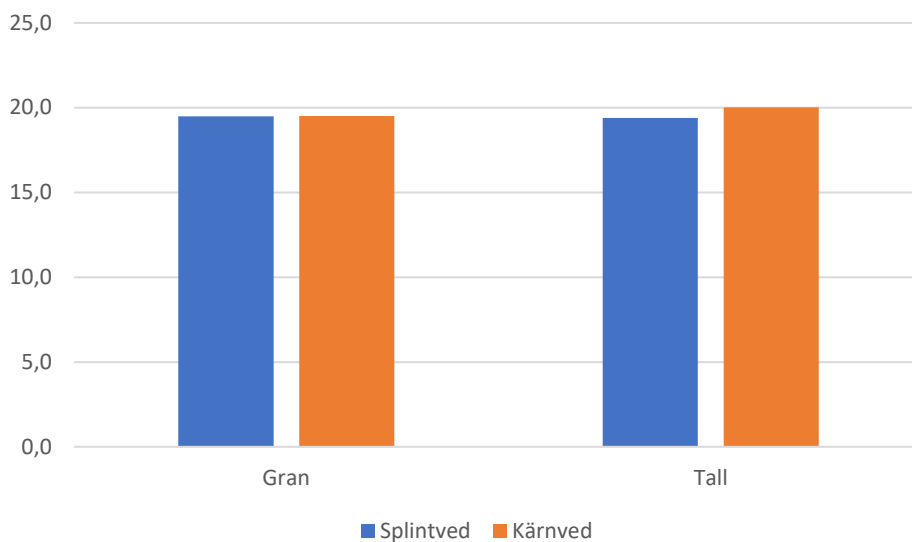
#### 3.3.1. Analys av vattenseparation

Försöket att genom skillnader i densitet mellan splint- och kärnved kunna separera sågspån i rena fraktioner av splint- och kärnved misslyckades. Blandningar av olika koncentrationer testades och koncentrationen hade enbart inverkan på tiden det tog för sågspånet att sjunka men det blev ingen tydlig separation. Detta kan bero på partikelstorleken och på grund av att i det finmalda sågspånet bildades jämnvikt i fukthalten i blandningen väldigt fort. Detta innebar att materialet sjönk snabbare

eller långsammare beroende på koncentrationen av splint- och kärnved men ingen separation kunde påvisas.

### 3.4. Analys av värmevärde

För att påvisa och kvantifiera eventuell skillnad i värmevärde mellan splint- och kärnved genomfördes en förbränning av de olika fraktionerna i en kalorimeter. Det uppmätta värmevärdet skiljde sig inte mellan splint- och kärnved för gran. För tall var det en skillnad i värmevärde mellan splint- och kärnveden. Kärnveden för tall visade sig ha ett specifikt värmevärde på 20,0 MJ/kg torrs substans vilket är 3% högre än det specifika värmevärdet för splintveden i tall som var 19,4 MJ/kg torrs substans. För gran var det specifika värmevärdet 19,5 MJ/kg torrs substans för både splint- och kärnved. Detta illustreras i figur 20. Mätningarna gjordes med två replikat, signifikans för skillnaden har ej testats.



Figur 20. Specifikt värmevärde för splint- och kärnved för gran och tall (MJ/kg torrs substans).

## 4. Diskussion

### 4.1. Resultatdiskussion

#### 4.1.1. Sågning, malning och torkning

Sågningen och malningen av materialet gav spån av tall och gran vilket hela studien bygger på. Därav har metoderna för detta stor inverkan på resultatet. Utifrån sågningen som utfördes bedömdes gränsen mellan splint- och kärnved visuellt. Skillnaden var väldigt tydlig. Det är däremot möjligt att kontaminering skett, det vill säga att splintved förekommer i kärnveden och vice versa. Det skulle även kunna ske kontaminering mellan trädslagen och granspån skulle kunna hamna i tallspån. Detta försökte dock undvikas i största möjliga mån. Om detta skett skulle det påverka NIR-modelleringen.

Det spån som togs fram var väldigt homogent och väldigt finfördelat. Det finfördelade materialet kan ha haft påverkan på försöken som gjordes, framför allt separationsförsöket av färskt spån. Det skulle gå att ta fram spån av större partikelstorlek vilket troligen hade gett annorlunda resultat i separationsförsöket. Detta hade dock gett upphov till andra svårigheter och ett mindre homogent spån. Även i malningen skulle kontaminering kunna ske vilket skulle ge stor påverkan på NIR-modelleringen.

Torkningen av spån gjordes framför allt för att kunna utföra NIR-mätningar och eftersom NIR kan detektera fukt krävdes samma fukthalt i alla prover för att eliminera fukt som en variabel i NIR-modellerna. Eftersom splint- och kärnved har stor skillnad i fukthalt i färskt tillstånd gjordes valet att använda helt torrt spån. Både splint- och kärnveden torkades under samma förhållanden och på grund av skillnaden i initialt fukttinnehåll skulle detta kunna ge upphov till olika fukthalter även i det torkade spån. Detta var dock inte fallet då både splint- och kärnveden av gran och tall hade väldigt lik fukthalt efter torkning. Proverna av spån kommer även från två torkomgångar där den torra fukthalten skiljde sig. Detta kan ha gett

upphov till fel i prediktionsmodellerna. Skillnaden i fukthalt bedömdes dock vara mindre än förändringen i fukthalten som sker vid hantering av proverna då helt torrt sågspån absorberar fukt från luften. Fukthalten kan däremot ha påverkats av lagringen mellan avverkning och sågning. Någon analys kring detta har ej utförts.

Studien påvisade även att värmevärdet skiljde sig mellan splint- och kärnved för tall. Detta motstrider en annan studie där splint- och kärnved behandlats med brandskyddsmedel. I studien med brandskyddsbehandling hade splintveden högre specifikt värmevärde än kärnveden efter behandling med brandskyddsmedel (Urbanik 1972). I denna studie som gjorts hade splintveden för tall lägre specifikt värmevärde än kärnveden. Någon statistisk analys om signifikans på skillnaden i värmevärde gjordes ej. Anledningen till detta var att tillgången på material för mätningen av värmevärde inte var tillräckligt stor för att skapa flera replikat.

#### 4.1.2. NIR-analys och modellering

Denna studie påvisar att skillnader mellan splint- och kärnved går att detektera med NIR. Orsaken till att NIR kan detektera skillnader mellan splint och kärnved kan bero på skillnaden i extraktivämnen för splint- och kärnved vilket NIR kan detektera (Rosenqvist & Karlsson 1999).

Den multivariata modellen som genererades visade sig ha en väldigt hög noggrannhet i prediktion av andelen splint- och kärnved i torrt sågspån. Modellerna som genererades baserat på mätningarna med Perten hade en högre noggrannhet för prediktering än modellerna som baserades på mätningarna gjorda med ASD. En trolig anledning till att noggrannheten skilde sig i modellerna för de olika mätinstrumenten kan vara vilka våglängder som de olika instrumenten mäter. Skillnader av splint- och kärnved kan vara lättast att detektera i specifika våglängder. Eftersom ASD mäter fler våglängder än Perten kan detta vara ett tecken på att våglängderna som bäst mäter skillnaden mellan splint- och kärnved ligger i intervallet 950 – 1750 nm. ASD mäter dessa våglängder men även fler våglängder med både högre och lägre våglängd. Dessa våglängder kan då bidra till ett brus som inte förklarar skillnaden mellan splint- och kärnved men som ändå tas med i modellen. Någon analys kring vilka våglängder som korresponderar med andelen splint- och kärnved har dock inte utförts. En annan trolig anledning är att Perten mäter reflektansen på större yta än vad ASD gör. Mätning på en mindre yta i kombination med heterogenitet i proverna medför då större spridning i resultatet. Förklaringsgraden ( $R^2$ ) för modellerna utifrån Perten var 97% för gran och 98% för tall. Detta innebär att mätning av torrt spån av ren gran eller tall med Perten kan prediktera andelen splint- och kärnved i spånet med 97% och 98% förklaringsgrad

respektive. För modellerna utifrån ASD-mätningarna var förklaringsgraden ( $R^2$ ) 80% för gran och 91% för tall vilket är sämre än modellerna för Perten.

Faktorer som kan ha påverkat NIR-mätningarna är bland andra yttre ljuskällor samt felkalibrering. Yttre ljuskällor kan ge reflektants i mätningen och ge missvisande resultat i mätningen. Troligen är observation 120 med ASD (outlier i figur 9) en sådan mätning eftersom den skiljer sig markant från övriga mätningar. Genom användning av replikat minskas risken för att felmätningar uppstår samt reducerar magnituden av ett fel om det skulle uppstå. Observation 120 skulle även kunna bero på en felaktig kalibrering av instrumentet vilket gjordes var femte minut. Däremot bör en felaktig kalibrering ge fler än en avvikande observation. En eller flera felaktiga kalibreringar skulle däremot kunna vara en anledning till att modellerna för ASD-mätningarna inte är lika noggranna som modellerna för mätningar med Perten. Även fuktupptag från omgivningen kan påverka mätningarna då spånets tros ha blivit fuktigare för varje hantering och därmed troligt att spånproven inte hade exakt samma fukthalt vid första som vid sista mätningen.

#### 4.1.3. Separationsförsök

Vattenförsöket som utfördes baserades på hypotesen att kärnveden skulle flyta och splintveden skulle sjunka på grund av skillnaderna i densitet (Longuetaud *et al.* 2007; Bamber 1987). Försöket misslyckades och separation uppnåddes aldrig. Detta berodde mest troligt på den fina partikelstorleken på sågspånet. Kärnveden flöt till en början men på grund av den fina partikelstorleken absorberades vatten oerhört snabbt och sågspånet började sjunka. Detta var även fallet i blandningarna mellan splint- och kärnved. Det finfördelade sågspånet av kärnved absorberade snabbt vatten från splintveden och båda fraktionerna av splint- och kärnveden sjönk lika snabbt. Det uppstod en jämvikt i blandningen oerhört snabbt vilket avspeglades i tiden det tog för blandningen att sjunka. Blandningar med större mängd kärnved tog längre tid på sig att sjunka även om flytförmågan aldrig var så stor som för ren kärnved. Om större partikelstorlek hade använts är det troligt att ett annat resultat hade kunnat uppnås samt lyckad separation mellan fraktionerna. Anledningen till detta är att större partiklar inte absorberar vatten i samma hastighet som finfördelade partiklar.

## 4.2. Effekt för industrin

Potentiell effekt för industrin vid implementering av NIR-mätning på sågspån är ökad kontroll på splintvedsandelen i sågspånet före pelletering. Det finns skillnader mellan splint- och kärnved som beror på andelen extraktivämnen (Wallsten 2020). Med NIR-mätning före pelletering skulle det då vara möjligt att anpassa

pelleteringsprocessen utefter andelen splint- och kärnved. Detta kräver dock ett system med hög kontroll på sågspånet vilket ofta inte är fallet i dagsläget. Hos flera pelletstillverkare är inte trädslaget på sågspånet känt och än mindre splint- och kärnvedsandelarna. NIR-modellerna i denna studie är gjorda för helt torrt spån vilket inte används vid pelletering i industrin. Däremot är spånet generellt väldigt homogent i pelleteringsprocessen med avseende på fukthalten. Detta innebär att det är möjligt att generera en liknande prediktionsmodell för en annan fukthalt, fördelaktigt den fukthalt som vanligen används på spånet i pelleteringen på en specifik anläggning där modellen är tänkt att användas. Med andra ord är det möjligt att applicera en NIR-kamera i spånmatningen som tillsammans med en prediktionsmodell kan avgöra andelen splint och kärnved i sågspånet före pelletering och då även anpassa pelleteringen utefter spånet för att erhålla högre kvalitet på pelleten. Ett annat alternativ är att även göra stickprov i leveranser eller batcher för att bestämma andelen splint- och kärnved i spånet och sedan anpassa pelleteringsprocessen efter detta.

Modellen som gjorts i detta arbete går även att använda med samma instrument men kräver helt torrt spån för att prediktera korrekt. Detta innebär att vid applicering behöver spånet torkas helt för att mätas och sedan återfuktas innan pelletering. Detta skulle innebära ett ytterligare steg i pelleteringsprocessen som kräver extra hantering och tar längre tid.

Även andra industrier som använder sågspån som råvara som till exempel för tillverkning av spånskivor och pyrolysolja eller för direkt förbränning hos värmeverk eller framtida bioraffinaderier skulle kunna dra nytta av att ha kännedom av andelen splint- och kärnved i sin råvara.

### 4.3. Fortsatta studier

Förslag på fortsatta studier är att göra modeller för NIR-mätningar som kan förklara både fukthalt och splintvedsandel i samma modell. Med en sådan modell elimineras risken för ojämnheter i fukthalt på kalibreringsprover.

Ytterligare förslag på fortsatta studier är vattentest på sågspån eller flis med större partikelstorlek likt det som gjordes i denna studie. Med en sådan studie är det möjligt att uppnå separation av färsk splint- och kärnved. Ett annat förslag på fortsatta studier som fyller samma funktion är att utforska möjligheten att sortera sågspån av splint- och kärnved direkt på sågverket. Detta skulle ge samma effekt som föregående förslag.

Ett sista förslag på fortsatta studier är att med röntgenteknik bedöma hur mycket splint- och kärnved som hamnar i sågspånet vid sågning på sågverken.

## 5. Slutsatser

- Det är med NIR möjligt att bestämma andelen splint- och kärnved för torra prover av sågspån för tall och gran.
- Prediktionsmodellen (PLS) utvecklad från NIR-mätningar med Perteniinstrument har en hög noggrannhet i prediktion av andelen splint- och kärnved i torrt sågspån av gran och tall och har en korrelationskoefficient,  $R^2$ , på 99%
- Försöket att separera finfördelat sågspån i rena fraktioner av splint- och kärnved med hjälp av vattenbad misslyckades.



## Referenser

- Andersson, V. (2019). Orsaker till självuppvärmning av furuspån och hur furuspånet förändras under lagring.
- Bamber, R.K. (1987). Sapwood and heartwood.
- Bergström, D. (2005). *Pelletering av tallspån: grundläggande studier*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Bergström, J. (2013). Identifiering av aktiva substanser: Med NIR och hyperspektralbildanalys med kemometri.
- Bio pellet machine (2024) *Make paper mill residue into fuel pellet*.  
<https://www.biopelletmachine.com/biopellet-making-guidance/make-paper-mill-residue-into-fuel-pellet.html>
- Chu, Z., Feng, Y. & Seeger, S. (2015). Oil/water separation with selective superantitetting/superwetting surface materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(8), 2328-2338.
- Ericksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N. & Wold, S. (2001). Multi-and Megavariate Data Analysis: Principles and Applications. *Umetrics Academ, Umea*.
- Eriksson, D. (2020). Kartläggning av varmgång i produktlager hos svenska pelletsproducenter.
- Lestander, T.A., Geladi, P., Larsson, S.H. & Thyrel, M. (2012). Near infrared image analysis for online identification and separation of wood chips with elevated levels of extractives. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 20(5), 591-599.
- Longuetaud, F., Mothe, F. & Leban, J.-M. (2007). Automatic detection of the heartwood/sapwood boundary within Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) logs by means of CT images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58(2), 100-111.
- Martínez-Gómez, O., Pintor-Ibarra, L.F., Rutiaga-Quiñones, J.G. & Corona-Terán, J. (2022). Chemical Composition and Energy Evaluation of *Abies* spp. and *Pinus* spp. Sawdust Collected as a Byproduct of the Primary Wood Sawing. *South-east European forestry: SEEFOR*, 13(2), 89-96.
- Metsä-Kortelainen, S., Antikainen, T. & Viitaniemi, P. (2006). The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170 C, 190 C, 210 C and 230 C. *Holz Roh Werkst*, 64(3), 192-197.
- Millers, M. (2013). The proportion of heartwood in conifer (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies* [L.] H. Karst.) trunks and its influence on trunk wood moisture. *Journal of forest Science*, 59(8), 295-300.
- Millers, M. & Magaznieks, J. (2012). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stem wood and bark moisture and density influencing factors.

- Nylinder, M. & Fryk, H. (2011). Timmer. Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för Skogens Produkter.
- Obernberger, I. & Thek, G. (2010). *The pellet handbook: the production and thermal utilisation of pellets*. Routledge.
- Rosenqvist, M. & Karlsson, M. (1999). *Nära infraröd spektroskopi för analys av extraktivämnen i furu*.
- Sandberg, K. (2002). Influences of growth site on different wood properties in Spruce sap-/heartwood using CT-scanner measurements. I: *Proceedings of the fourth workshop connection between forest resources and wood quality: modelling approaches and simulation software, organized by IUFRO Workingparty S. 01-04*.
- Sandberg, K. & Sterley, M. (2009). Separating Norway spruce heartwood and sapwood in dried condition with near-infrared spectroscopy and multivariate data analysis. *European journal of forest research*, 128(5), 475-481.
- Siwale, W. (2024). Mitigating Off-Gassing and Self-Heating in Fuel Wood Pellets Storage: A Raw Materials Selection and Pre-Treatment Centred Approach. Karlstads universitet.
- Siwale, W., Frodeson, S., Finell, M., Arshadi, M., Henriksson, G. & Berghel, J. (2024). Influence of Sapwood/Heartwood and Drying Temperature on Off-Gassing of Scots Pine Wood Pellets. *BioEnergy Research*, 17, 479-490.
- Taylor, A.M., Gartner, B.L. & Morrell, J.J. (2002). Heartwood formation and natural durability-a review. *Wood and Fiber Science*, 34(4), 587-611.
- Thyrel, M. Universitetslektor, SLU, Föreläsning NIR och Multivariat dataanalys 2022-10-05.
- Urbanik, E. (1972). Effect of some fire retardants on the calorific value of Scots Pine wood.
- Wallsten, E. (2020). Förbehandling och pelletering av kärnved och splintved från *Pinus Sylvestris*.

# Tack

Jag vill rikta ett stort tack till alla inblandade som hjälpt mig under arbetets gång. Först vill jag tacka min handledare Michael Finell som har hjälpt mig att planera och fullfölja arbetet samt stöttat mig under arbetets gång. Jag vill även tacka Markus Segerström som har hjälpt mig att utföra många praktiska delar av arbetet på BTC. Tack till Paul Geladi som hjälpt mig med upplägg och utförande av multivariata analysen. Tack till Carina Jonsson för analys av värmevärden och till sist extra stort tack till Mikael Thyrel som agerat support för SIMCA samt hjälpt mig utföra och tolka den multivariata analysen.