

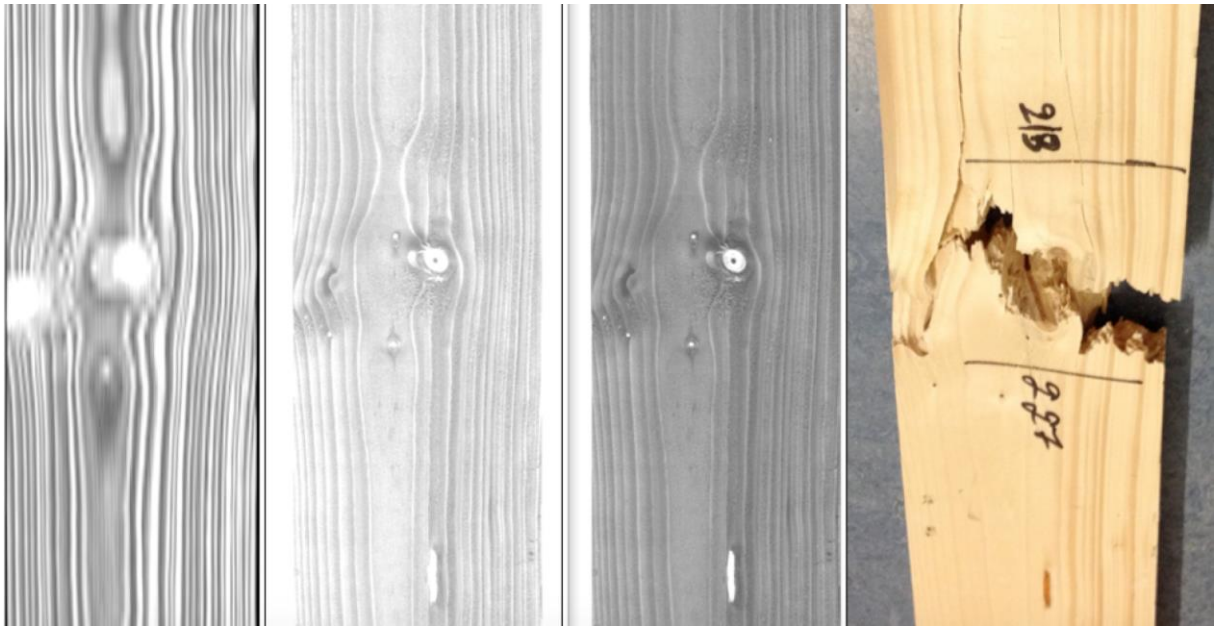


# Hållfasthetsbestämning av virke med en NIR-kamera

Gerhard Scheepers<sup>1</sup>, Jörgen Olsson<sup>1</sup>, Anders Lycken<sup>1</sup>, Thomas Grahn<sup>1</sup>,  
Sven-Olof Lundqvist<sup>1</sup> och Olle Hagman<sup>2</sup>



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



<sup>1</sup> RISE Bioekonomi

<sup>2</sup> Luleå Tekniska Universitet

## **Hållfasthetsbestämning av virke med en NIR-kamera**

# Sammanfattning

SP, Innventia och Luleås Tekniska Universitet har genomfört en förstudie där man undersökte om nära-infrarött (NIR) data kan bidra till säkrare hållfasthetsbestämning av virke. För att göra det behövdes förutom NIR-data, dels data som konventionellt används i sågverk för att göra hållfasthetsuppskattningar, dels referensdata från mekanisk provning.

Följande data samlades in från 100 granplankor med dimensionen 3600\*150\*45 mm<sup>3</sup>:

1. mått, vikt, och därmed densitet,
2. egenfrekvenser via dynamisk excitering,
3. högupplösta NIR-bilder på 2 flatsidor av varje plankor,
4. RGB och fibervinkeldata från flat- och kantsidorna,
5. röntgentomografibilder,
6. förstörande böjtestdata, med bestämning av lokal och global E-modul, och
7. kvalitativ inventering av brotttyp och kvistposition.

Databasen är i sig en värdefull resurs och en god grund för fortsatt forskning och utveckling mot kunskap och tillämpningar baserat på information som hittills inte utvärderats och nyttjats.

Virkesegenskaper som påverkar hållfasthet, såsom tjurved, kunde identifieras och visualiseras. Andra egenskaper som är viktiga hållfasthetsindikatorer, såsom egenfrekvens och densitet, kunde predikteras med multivariata modeller baserade på NIR-spektraldata. Inledande modellförsök visar att det går att prediktera global E-modul med multivariata modeller baserade på NIR-spektraldata med ungefärlig samma precision som industriell hållfasthetsbedömning med dynamisk excitering. De NIR-data som användes i modelleringen var dock bara medelvärden över hela plankan. Därför finns det god potential för bättre prediktion med mer riktade variabler, som speglar de spatiala variationerna i varje plankor, t.ex. runt kvistar, vilket blir ämnet för ett eventuellt fortsättningsprojekt.

Projektet finansierades av Norrskogs Forskningsstiftelse, Stiftelsen Åforsk, Träcentrum Norr, och Södra Skogsägarnas Stiftelse för Forskning, Utveckling och Utbildning. Individer som medverkade i projektet inkluderar Gerhard Scheepers, Jörgen Olsson, Anders Lycken, Sven-Olof Lundqvist och Thomas Grahn (RISE Bioekonomi); och Olle Hagman (LTU). RemaSawco och JGA i Linneryd hjälpte också med insamlingen av fibervinkeldata.

Nyckelord: Nära infrarött, mätteknik, visionteknik, trä, virke, fibervinkel, röntgen, densitet, egenfrekvens

## **Abstract:**

Title: Strength prediction of timber with a near infrared camera

The project goal was to determine whether near infrared (NIR) data from sawn timber surfaces could contribute to the prediction of the strength of the boards. To this end, in addition to NIR data, data that is conventionally used in sawmills to make strength estimates was collected, as well as reference data from mechanical testing. The data collected for each of hundred 3600\*150\*45 mm<sup>3</sup> spruce boards included the dimensions, weight, density, natural frequency, high definition NIR-scans of the 2 broad sides, RGB- and fiber angle scans of the 4 long sides, x-ray computed tomography scan of the whole volume, destructive 4-point strength testing with local and global elasticity moduli, and finally a qualitative evaluation of the fracture relative to knot positions.

The raw data represented approximately 1 Terabyte and the processed and integrated database about 50 TB. The database in itself is an important project result, a valuable resource, and strong basis for continued research and development based on information that has so far not been evaluated and utilized.

Wood features that impact strength, such as compression wood, were identifiable. Wood properties that are important strength indicators, such as natural frequency and density, could be predicted with multivariate models. Initial model testing also showed that a prediction of the global elasticity modulus with multivariate models based on NIR spectral data yields approximately the same accuracy as industrial strength estimation through dynamic excitation. However, the NIR data used in the modeling were only averages across the whole board. Consequently, there is good potential for better prediction with more complex variables that reflect the spatial variations in each board, e.g. around knots, which will be the subject of an eventual continuation project.

The project was funded by the Norrskogs Forskningsstiftelse, Stiftelsen ÅForsk, Träcentrum Norr and Södra Skogsägarnas Foundation for Research, Development and Education. Individuals who participated in the project include Gerhard Scheepers, Jörgen Olsson, Anders Lycken, Sven-Olof Lundqvist and Thomas Grahn (RISE Bioeconomy); and Olle Hagman (LTU). RemaSawco and the JGA sawmill in Linneryd also assisted with the collection of fiber angle data.

Key words: Near infrared, measurement technology, vision technology, wood, timber, lumber, strength, fibre angle, x-ray, density, natural frequency

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2017:08  
ISSN 0284-5172  
Växjö 2017

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>4</b>
1.1	Målsättning	5
1.2	Projektgrupp	5
<b>2</b>	<b>Material och metoder</b>	<b>5</b>
2.1	Provmaterial, urval och avgränsningar	6
2.2	Dynamisk excitering	6
2.3	NIR-bilder på 2 sidor av varje planka	7
2.4	RGB –bilder och fibervinkel på ytan	10
2.5	Röntgentomografi	11
2.6	Förstörande böjtest	12
2.7	Multivariat analys, screening och prediktionsmodeller	13
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>14</b>
3.1	Databasen	14
3.2	Identifiering av virkesegenskaper som påverkar hållfasthet	14
3.3	Prediktion av virkesegenskaper som påverkar hållfasthet	16
3.4	Prediktion av hållfasthet	17
<b>4</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Fortsatt arbete</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>19</b>

# 1 Inledning

Klassificering och sortering av träråvaror är viktigt för att träindustrin skall kunna maximera värdet på träråvarorna till en förädlad produkt. Även för byggindustrin är korrekt styrkeklassificering i förlängningen viktigt för att de skall kunna bygga säkert och med optimerad materialåtgång. Felaktig styrkeklassificering, särskilt underkännandet av dugligt virke, leder till en värdeförlust för virkesproducenten.

Vanligen används det statistiska sambandet mellan styvhet och styrka (mekanisk böjprovning), visuella bedömningar och dynamisk excitering (knackmetoden) för att bedöma virkets hållfasthet. Även röntgen förekommer för analys av strukturen avseende kvistar och densitet, vilket höjer kvalitén på predikteringen, men medför en ökad kostnad. Likaså finns scannerutrustning som läser träets årsringar, fibervinklar och kvistar samt övriga visuella defekter. Oftast kommer varje enskild sådan prediktionsmetod upp i  $r^2$ -värden på kring 0,6 jämfört med uppmätt styrka. Vid kombinerade metoder kommer man upp i  $r^2$  värden på kring 0,7. Den blygsamma korrelationsnivån och stora osäkerheten om den verkliga hållfastheten leder till att man av säkerhetsskäl håller stora marginaler vid klassningen av hållfastheten och därför underskattar värdet på virket. En överskattning av hållfastheten är mindre sannolikt, men är då en säkerhetsrisk.

NIR-spektroskopi är en teknik som på senare år vunnit tillämpningar inom en rad områden, i synnerhet vid analyser av ytor och dess kemiska innehåll. Tekniken går ut på att excitera ett objekt med elektromagnetiska vågor i det nära infraröda området (NIR - Near Infrared) d.v.s. kring 700-2500 nm, för att sedan observera det emitterade eller reflekterade spektret. Exciteringen ger svängningar i molekyler och atomer som i sin tur alstrar elektromagnetiska vågor med de frekvenser som de svänger kring. Genom att mäta intensiteten vid olika våglängdsintervall så erhålls information om vilka kemiska föreningar som strukturen består av och således vilka egenskaper som kan förväntas. Exempel på användning är analys av livsmedelskvalité i produktionsanläggningar.

En rad studier har visat att man kan använda tekniken för analys av vedens sammansättning (inkl. lignin, cellulosa och extraktivämnen) i olika träslag. Punktmätning är det traditionella sättet att mäta med NIR. Man erhåller då ett spektrum från en yta, stor eller liten, och detta spektrum kan då bära information om medelvärdet av egenskaperna över ytan.

För styrkeprediktering genomfördes mätningar på gran av Hoffmayer *et al.* (1995) där de påvisade en hög korrelation mellan rena träprover och dess tryckhållfasthet med  $r^2$  värden på upp till 0,97 då data från 14 våglängder inkluderades i intervallet (1200-2400 nm). Vid prover på hela konstruktionsvirkesbitar så sjönk prediktionsförmågan till  $r^2 = 0,29$ . Orsaker som nämns är att dessa mätdata som kom från punktmätning bara ger indirekt och mycket diffus information om fibervinklar, kvistar mm, om någon alls, och därför menar de att förmågan att uppskatta konstruktionsvirkets styrka minskar.

Värt att nämna är då att denna begränsning inte gäller på samma sätt idag. Den nya NIR-teknik som använts i det här projektet, med kameror som ger en 2-D bild av ytan, ger värdefulla indata för analys av även dessa parametrar, mer om det nedan.

Likaså gjorde Kelley *et al.* (2004a) mätningar på kvistfria prover av den amerikanska Loblollytallen. Deras multivariata prediktionsmodeller utifrån NIR-spektrumen gav korrelationskoefficienter för styrka och styvhet på över 0,85 och i vissa fall över 0,90. De visar också att det finns en förmåga att mäta mikrofibrillvinkel med NIR, där kalibreringsgruppen gav en korrelationskoefficient på 0,82 mot en röntgendifraktionsmätning mot referensgrupp, och 0,64 mot testgrupp. De påpekar dessutom att experimentella fel föreligger även då de mäter med referensmetoden, baserad på röntgendifraktion.

De har även genomfört en studie (Kelley *et al.* 2004b) med sex stycken barrträrsarter, fem tallarter och en Douglasgran, där NIR-spektra används för prediktering av styrka (MOR) och styvhet (MOE). I studien kunde man se en viss variation i prediktionskvalité mellan olika arter, och en korrelationskoefficient under 0,80. Värt att nämna är att proverna gjordes på små och relativt defektfria träbitar, d.v.s. inte plankor.

Nämnas kan också Sandak *et al.* (2013) som påvisar lovade resultat att mäta mekanisk spänning med NIR-spektra. Mätningarna görs i dragprovningssmaskin på mindre träbitar

Det är viktigt att poängtera att de ovannämnda studierna använde sig av en NIR-teknik som enbart gör punktmätningar. En eller flera punktmätningar relaterades då till en kvistfri och defektfri träbits hållfasthet. När en hållfasthetsbedömning ska göras på en plank med visuella metoder tar man alltid hänsyn till makroskopiska fenomen som kvistar, deras storlek och position. Med NIR-punktmätningar görs det inte, och det är förklaringen varför punktmätningar med NIR-teknik inte har använts vid hållfasthetsbedömningar av plank.

En intressant ny teknik som har börjat användas i industriella processer är NIR-kameror (hyperspektrala kameror). För varje pixel i bilderna som kameran genererar återges ett av objektet emitterat eller reflekterat NIR-spektrum. D.v.s. i en bild av ett objekt, som en plank, återges ett NIR-spektrum för många positioner i plankan. Dessutom kan makroskopiska fenomen som kvistar fortfarande kännas igen. Det gör att NIR-spektra av områdena i en plank som är viktiga för plankans hållfasthet, t.ex. runt kvistar, kan få en särskild stor vikt i bedömningen, beroende på kvistarnas utformning och position. På det viset kan algoritmerna för hållfasthetsbedömning förbättras. Potentialen finns för en avsevärd förbättring av dagens hållfasthetsbedömningsmetoder.

En ytterligare styrka med NIR-kameran är dess industriella potential. Mätmetoden är beröringsfri, icke förstörande, och snabb i det avseende att det är elektromagnetiska vågor som mäts. Snabb även i analyshänseende, då vi idag har tillgång till god datorkraft. Den här studien är inriktad mot användning av en NIR-kamera för hållfasthetsbedömning.

## 1.1 Målsättning

Projektets mål var att genom en förundersökning klarlägga om NIR-data från en kamera kan bidra till bedömningen av hållfastheten av granvirke.

## 1.2 Projektgrupp

RISE Bioekonomi och LTU medverkade i projektet. Från RISE deltog Gerhard Scheepers (projektledare), Jörgen Olsson, Anders Lycken, Sven-Olof Lundqvist och Thomas Grahn. Från LTU medverkade Olle Hagman. RemaSawco och JG Anderssons Söner sågverk i Linneryd medverkade i insamlingen av fibervinkelsdata.

## 2 Material och metoder

För att uppnå målet behövdes data som har en känd korrelation med hållfasthet samlas in för att kunna bedöma om NIR kan bidra till hållfasthetsbestämning. Följande data samlades in:

1. Bestämning av mått, vikt, och därmed densitet, (skalärer, SP)
2. Dynamisk excitering för egenfrekvensbestämning (knacktestet, skalär, SP)
3. NIR-bilder på 2 flatsidor av varje plank (2D-data + spektral dimension, Innventia)
4. RGB och fibervinkel på ytan (2\*2D-data, SP, RemaSawco, JGA)
5. Röntgentomografi (3D-data, LTU)
6. Förstörande böjtest (skalärer, SP, LTU)
7. Kvalitativ inventering av brotttyp och kvistposition (SP, LTU)

Datan användes för att skapa multivariata modeller baserade på NIR-datan för att prediktera, för hållfasthet viktiga, egenskaper.

## 2.1 Provmaterial, urval och avgränsningar

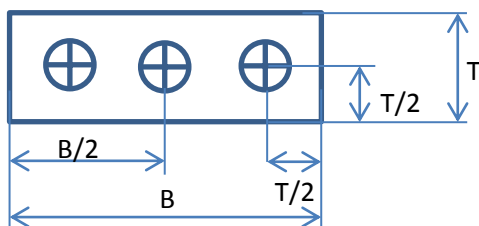
100 Granplankor torkade till 16-18 % fuktkvot, med dimension 3600\*150\*45 mm<sup>3</sup> och av visuellt bedömt varierande kvalitet hämtades på VIDA Vislanda sågverket hösten 2014. Femtio av de plankorna hyvlades. Plankorna ströades upp och förvarades i ett klimatstyrkt utrymme (10 % jämviktsfuktkvot) för att reducera och jämna ut fuktkvoten till ca 13 %. I slutet av februari 2015 bestämdes mått, vikt, och därmed densitet.

## 2.2 Dynamisk excitering

I samband med mått- och viktbestämningen gjordes knackmätningar med krafthammare och mikrofon genom excitation på kortsidan (Figur 1 och Figur 2). Medelresultatet av tre knackningar loggades. Utrustningen som användes i försöket anges i Tabell 1. Hål borrades i plankänderna för att bättre kunna hålla reda på plankornas spatiala orientering vid röntgentomografi.



Figur 1: Mätupställning. Plankorna placeras på mjuka sylomerer i mitten, på våg. Knackning sker med krafthammare i plankans längdriktning, på sida utan borrhål. Mikrofon hålls i anslutning till samma ände som knackning sker.

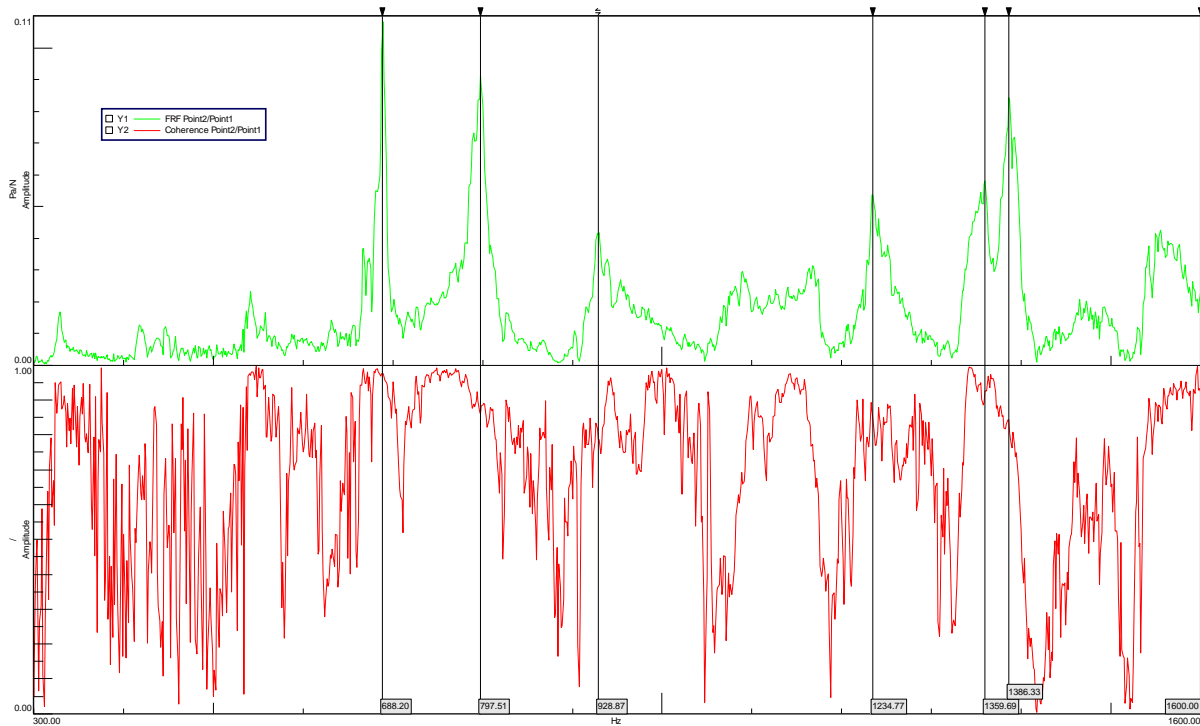


Figur 2: De tre slagpunkterna på kortändan. B = plankbredden, T = planktjockleken.

Tabell 1: Utrustningen som användes för dynamisk excitering

Instrument	Tillverkare	Modell	Serie nr
Mätsystem	LMS	SCM02	52120306
Krafthammare	Dytran	5800B4	577
Mikrofon	GRAS	26CA	74303

Figur 3 återger en typisk frekvensresponsfunktion (FRF) som resultat av knackningen av varje plank. Utifrån det kunde varje plankas egenfrekvens bestämmas.

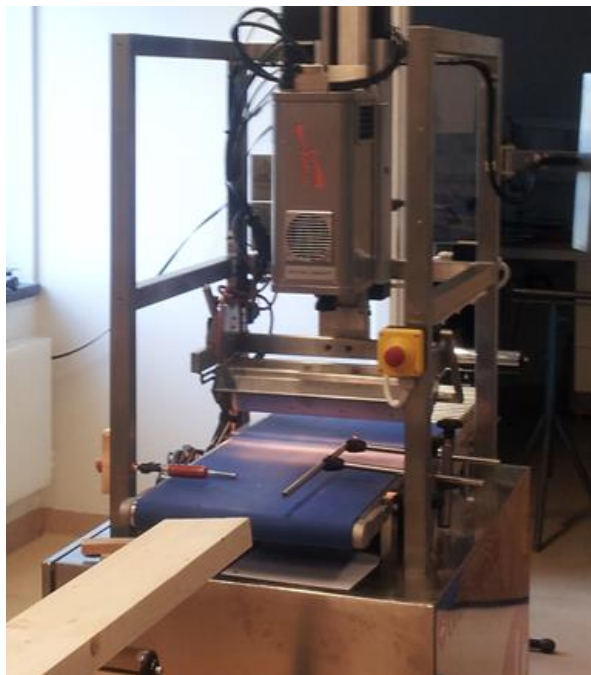


Figur 3: Ett typiskt FRF-diagram som visar viktiga frekvensområden i grön, och energiåtergivningen från exciteringen med krafthammaren över hela frekvensspannet.

### 2.3 NIR-bilder på 2 sidor av varje plank

För spektral information från plankytorna användes en ”short wave infrared” (SWIR) spektralkamera (Figur 4) enligt specifikation i

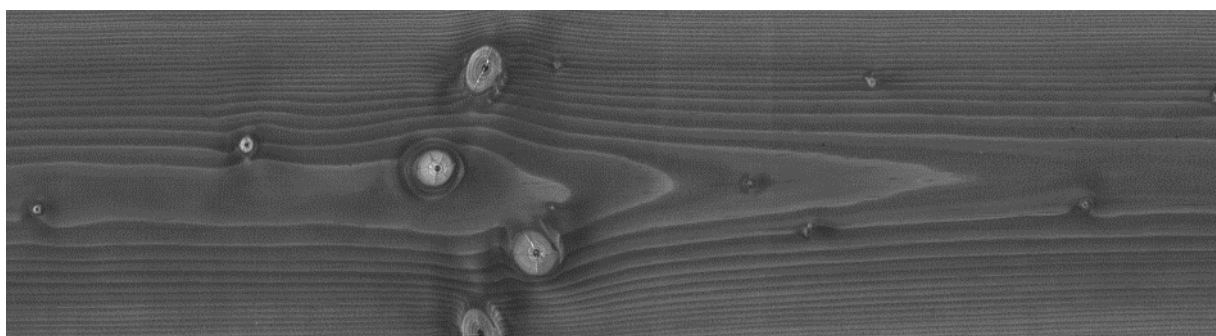
Tabell 2. Kameran ger ett spektra för varje pixel inom området 970-2500 nm och 320 pixlar. Detta blev över plankans bredd (140 mm för den hyvlade), ungefär 0,5 mm/pixel. I längsled är upplösningen ungefär 0,6 mm/pixel (Figur 5), styrt av plankans hastighet i förhållande till skanningsfrekvensen. Information kan visas som bilder, som t.ex. i Figur 6, där 25 utvalda bilder av de 256 spektrala bilderna visas. Mörka bilder innebär hög absorption vid den våglängden, och ljusa bilder det omvända. Enligt en jämförande undersökning med data (Figur 7) från en annan källa (Haddadi *et al.*, 2015) så är spektralkurvorna på medelvärdesnivå rätt lika förutom för de första 10-12 uppmätta spektrala värdena från SWIR-kameran använd i den här studien. Om man observerar dessa bilder så ser man att här finns nästan bara brus i det våglängdsområdet och ingen spatial information, vilket innebär att vi inte kan nyttja dessa spektra för analys.



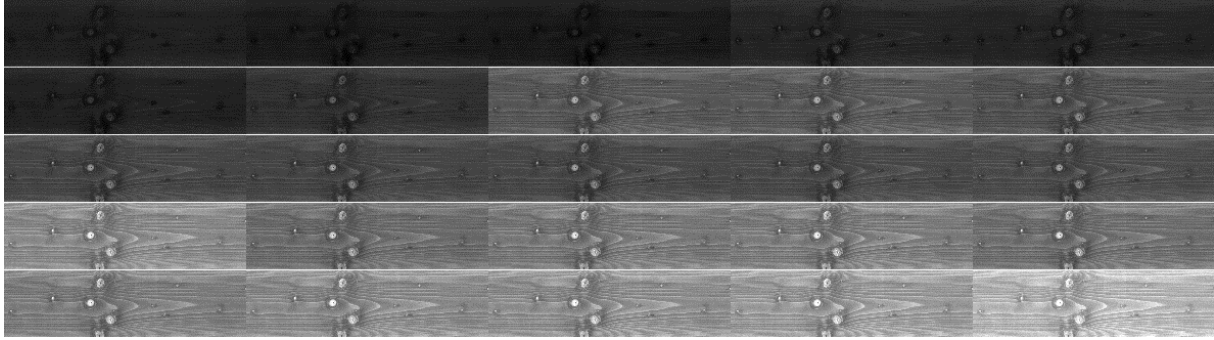
**Figur 4: NIR-kameran och matningsuppställningen.**

Tabell 2: NIR-kameraspecifikation

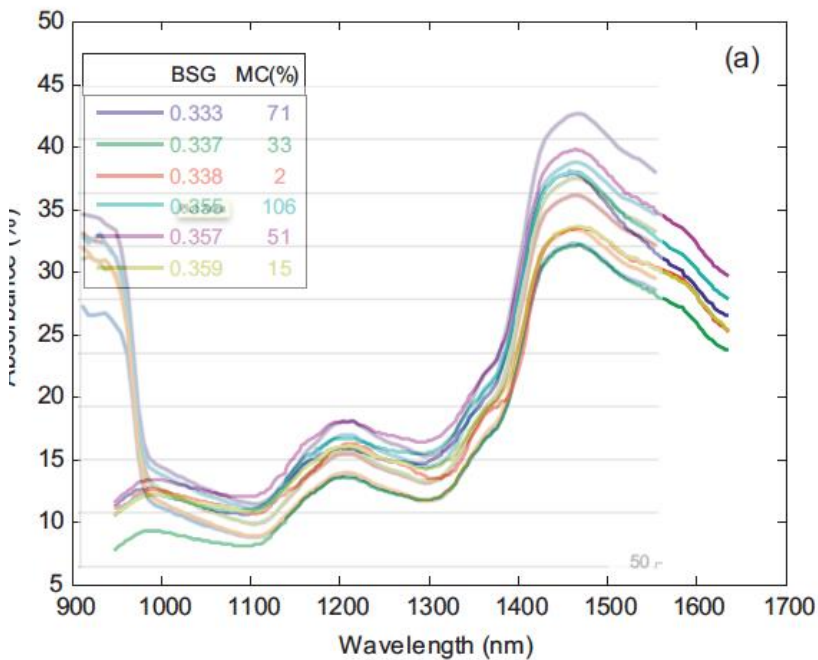
SPECTRAL CAMERA SWIR			
Optical characteristics			
Spectrograph	ImSpector N25E		
Spectral range	970 - 2500 nm $\pm$		
Spectral resolution	10 nm (30 $\mu$ m slit)		
Spectral sampling	6.3 nm		
Spatial resolution	rms spot radius < 15 $\mu$ m		
Aberrations	Insignificant astigmatism, smile or keystone < 5 $\mu$ m		
Numerical aperture	F/2.0		
Slit width options	30 $\mu$ m (50 or 80 $\mu$ m optional)		
Effective slit length	9.6mm		
Total efficiency (typical)	> 50%, independent of polarization		
Stray light	< 0.5% (halogen lamp, 1400 nm notch filter)		
Electrical characteristics			
Camera	MCT camera		
Pixels in full frame	320 (spatial) x 256 (spectral)		
Active pixels	320 (spatial) x 240 (spectral)		
Pixel size	30 x 30 $\mu$ m		
Cooling	4-stage Peltier for detector array, additional Peltier for active cooling of the detector package		
Camera output	14-bit LVDS		
Signal-to-noise ratio	800:1 (at max. signal level)		
Data cable	Length 5 meters		
Frame grabber	National Instruments PCL-1422		
Camera control	Serial port		
Frame rate	100 fps (maximum full frame)		
Exposure time range	0,1 - 20 ms		
Power consumption	< 200 W		
Input voltage	24 V		
Mechanical characteristics			
Size (L x W x H)	Sensor	Power supply	Control box
	392 x 170 x 151 mm	120 x 240 x 70 mm	260 x 260 x 95 mm
Weight	8.5 kg	1.9 kg	3.4 kg
Body	Anodized aluminium and painted steel with mounting screw holes		
Lens mount	Standard C-mount		
User adjustments	None		
Environmental characteristics			
Storage	- 20 ... +50 °C		
Operating	+ 5 ... +40 °C, non-condensing		



Figur 5: En bild som visar spatial upplösning på NIR datan (0,5 mm/pixel tvärs och 0,6 mm/pixel i längsled).



Figur 6: 25 av de 256 våglängdsbilder inom NIR området (1000-2500 nm) som bildar en samlad informationsmängd med en spektralfördelning för varje pixel (320\* ca 7000 stycken) på varje avbildad plankas bägge sidor. Mörka bilder innebär hög absorption vid den våglängden, och ljusa bilder det omvända.



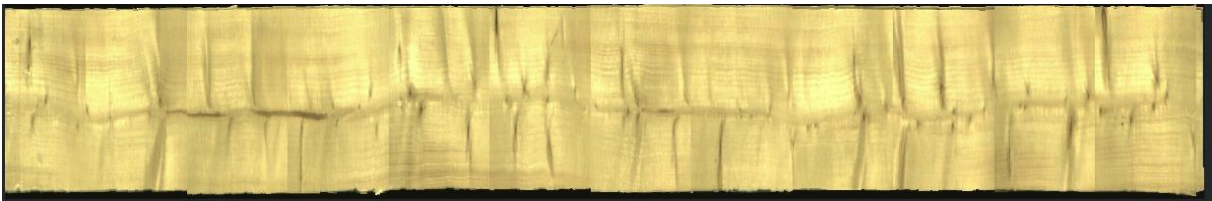
Figur 7: NIR-spektra (absorbans) från Haddadi *et al.* (2015).

## 2.4 RGB –bilder och fibervinkel på ytan

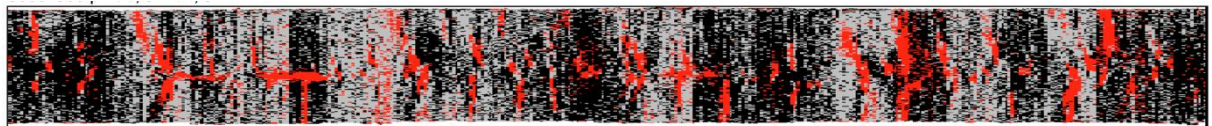
Fibervinkelskanningen genomfördes 2015-04-29 med hjälp av en RemaSawco Boardscanner hos JG Anderssons Söner AB i Linneryd (Figur 8). Fibervinkeln mättes i ca. 8 mm intervaller och RGB-bilder togs längsmed varje plankas 4 långsidor. Fibervinkelmättdensiteten tvärs över varje yta var mycket högre, och beroende på den tidsmässiga mätfrekvensen och matningshastigheten på tvärtransportören.



Figur 8: RemaSawcos tvärsmatade fibervinkel- och bildskanner.



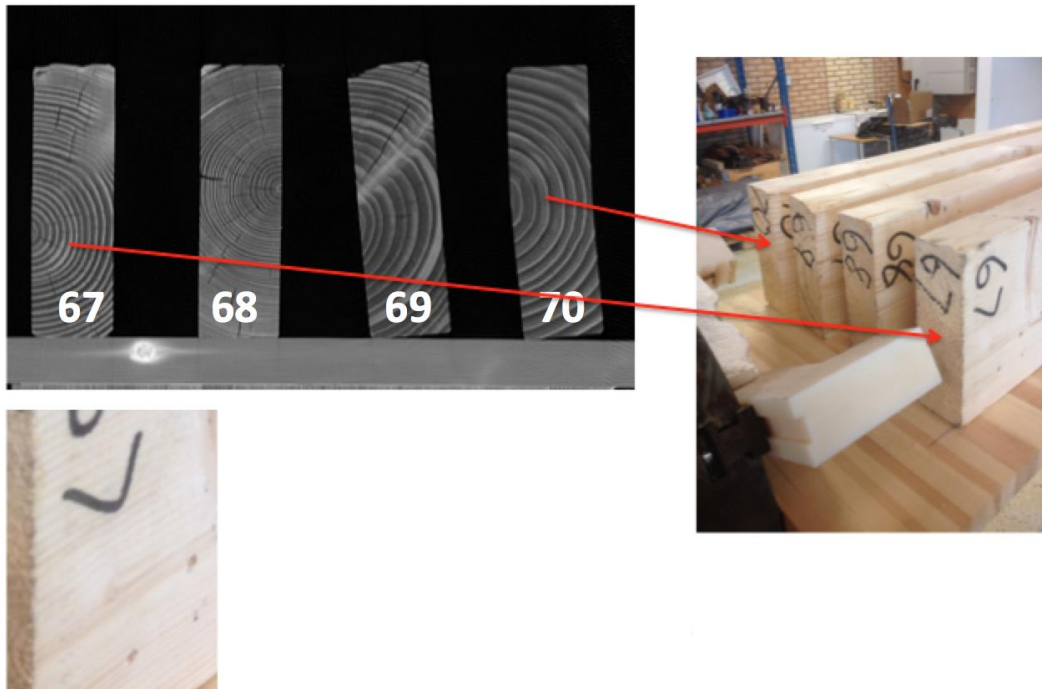
Figur 9: En RGB-bild från RemaSawcos tvärsmatade skanner.



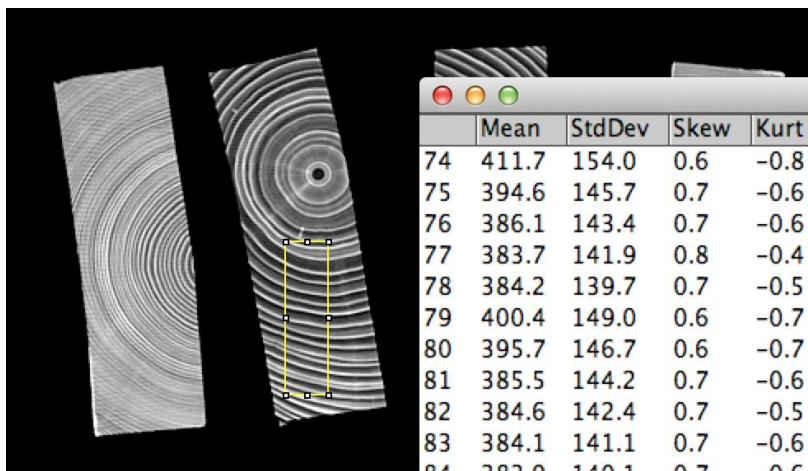
Figur 10: Fiberstörningsbild av plankan i Figur 9 från RemaSawcos tvärsmatade skanner där röd färg indikerar fiberstörning större än 3 grader.

## 2.5 Röntgentomografi

Samtliga plankor tomograferas med en upplösning i tvärsnittet på ca  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  och en bild varje centimeter i längsled. Bilderna som genereras har en storlek på  $512 \times 512$  pixlar med 16 bitars upplösning. Normalt sett så visas densiteten efter kalibrering som en gråskala där ljusa partier innebär en högre densitet. Bilderna sätts samman i en bildstack där man kan göra olika transformationer och snitt för att visa densitetsvariationen på olika sätt i olika delar i plankan. Uppställningen vid tomograferingen och beräkningssättet illustreras i Figur 11 och Figur 12.



Figur 11: Uppställningen vid röntgentomografering. Två hål borrades i en diagonal orientation till varje plankas kanter nära plankändan; det för att hålla reda på plankans orientering vid tomograferingen. Hållen borrades vid tillfället då knackningstestet genomfördes.



Figur 12: CT-stacktabellen visar på ett uppmätt densitetsmedelvärde för området inom den gula rektangeln i varje tvärsnitt i tomografibildstacken.

## 2.6 Förstörande böjtest

Testerna utfördes enligt SS-EN 408-2010 – 4-punktsböjtest utfört av auktoriserad personal på SP i Skellefteå (Figur 13). Datan som genererades vid böjtestet visas i Tabell 3 och Figur 14.

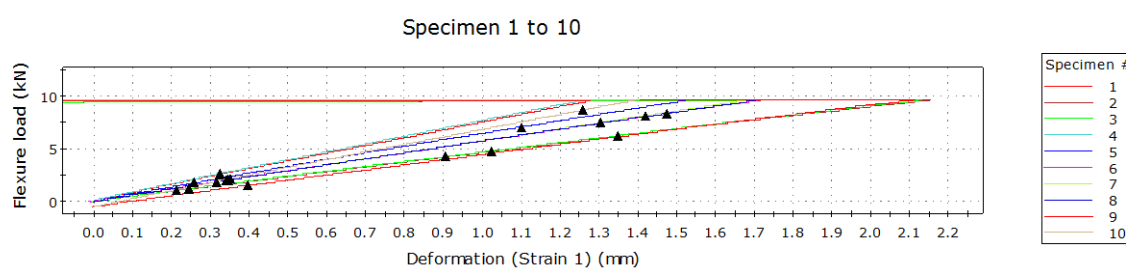
En del av testerna följdes och dokumenterades med filmning och värmekamera för att eventuellt kunna se om detta innehåller tillförande information och möjligtvis kan användas för prediktion av förväntat brottställe på plankan.



Figur 13: 4-punktsböjtest enligt standard SS-EN 408-2010 vid SP testlaboratoriet i Skellefteå.

Tabell 3: Datan som genererades i böjtestningen.

	Specimen label	Width (mm)	Thickness (mm)	Local Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Global Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Max Load (kN)	Bending strength (N/mm <sup>2</sup> )	Time Max Load (sec)
1	1	47.1	150.42	17310	14590	25.54	64.7	196
2	2	46.43	151.51	10740	8939	11.862	30	170
3	3	47.35	150.29	10880	8739	10.626	26.8	146
4	4	46.92	151.21	17380	14040	26.735	67.3	242



Figur 14: Belastning/töjningsdiagram från böjtesten.

## 2.7 Multivariat analys, screening och prediktionsmodeller

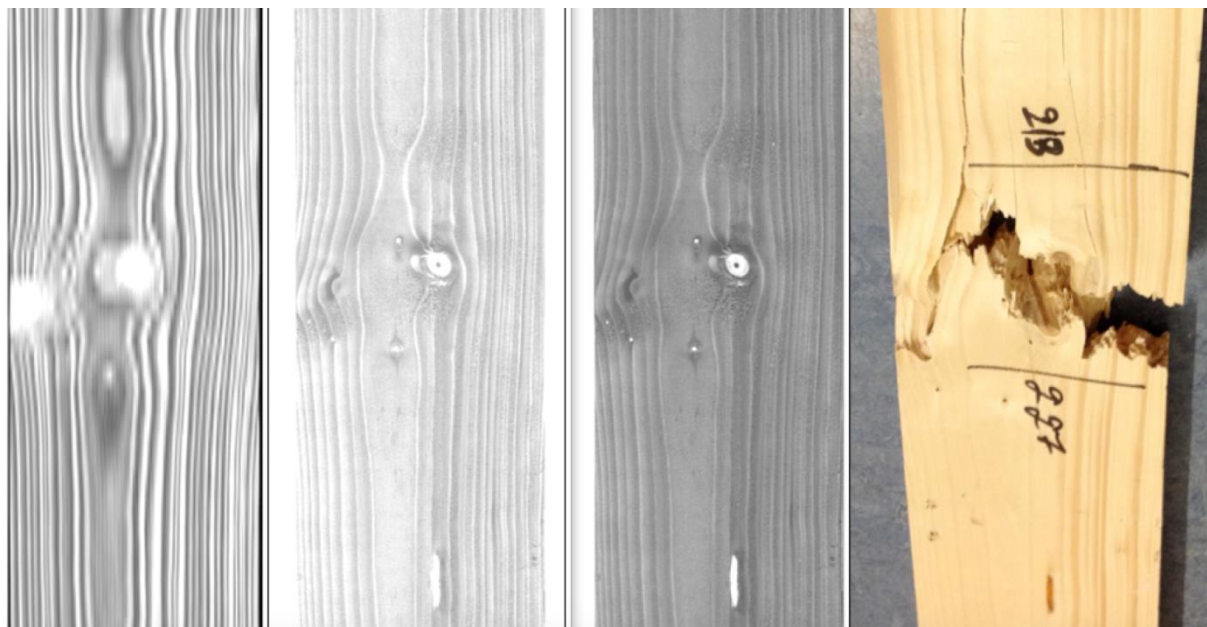
För att göra det möjligt att visa, förstå och förklara de samband som eventuellt kan ses i den insamlade datamängden användes multivariat modellering både som inledande screening med PCA (dvs. för att se om datan innehåller någon form av information) samt modellering av mekanismer och samband med PLS. Fördelen med dessa metoder är att de är mycket tåliga för brus och att de ger kraftiga indikationer på att sambanden man får fram inte är slumpartade eller överanpassade, att man kan hantera mycket stora

datamängder och variabelantal, att samvariation mellan variabler inte är kritiskt och modellerna man får fram tenderar att vara mycket robusta även gällande biologiska material med stor individuell variation som trä. Detta under förutsättning att den experimentella designen är bra.

## 3 Resultat

### 3.1 Databasen

Ett viktigt resultat av projektet är databasen på materialkaraktäristisk information från olika källor över 100 granplankor, vilken inkluderar dynamisk exciteringsdata, dimensioner, densitet, böjtestdata, och spatial information från NIR-kameran, röntgentomografi och fibervinkelmätningar. Den uppbyggda databasen utgör i sig en värdefull resurs och en god grund för fortsatt forskning och utveckling mot kunskap och tillämpningar baserat på information som hittills inte utvärderats och nyttjats. Som exempel kan den spatiala informationen användas (Figur 15) för att undersöka sambandet mellan brottområden, NIR-våglängder, densitets data från röntgentomografi, och fibervinkeldata.



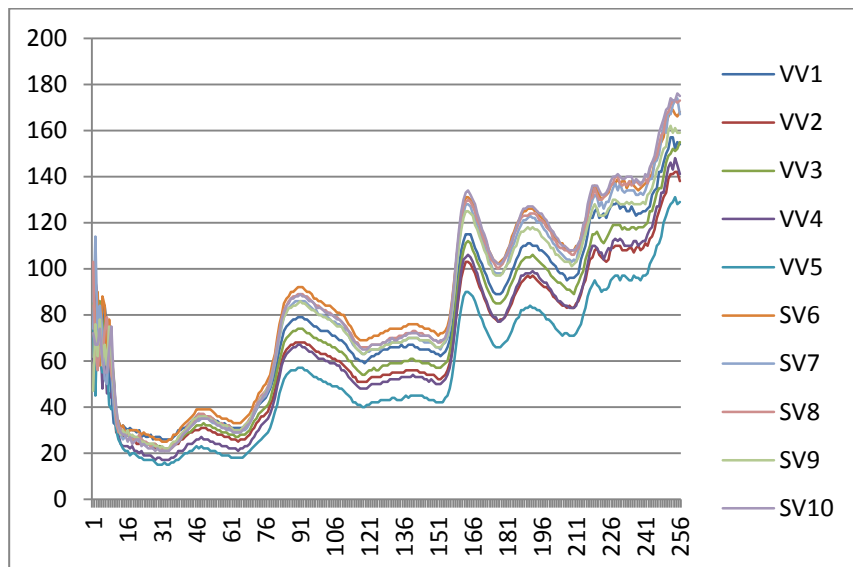
**Figur 15: Multimodal information kring ett brott.** Bilden visar från vänster densitet i ett horisontellt snitt (av ca 50 möjliga i plankans tvärsnitt) från tomografibilden, två spektrala (2200 respektive 1560 nm) bilder utav 256 st. samt en bild av brott på samma plankor. En fibervinkelbild över det området och RGB-bild före brott skulle också kunna läggas till den bildserien. Kådlåpan ses i NIR och RGB, men inte i tomografibilden.

Insamlingen av data har skett på olika platser med olika instrument och mjukvaror. Olika typer av sensorer och mjukvaror ger data med olika upplösning, struktur, kvalitet, mm, och sammantaget enormt stora datamängder. Transferering och integration av data för att skapa databasen, nu omfattande 50 terabyte, har varit ett krävande arbete. Det har tagit mycket tid eftersom det krävt nya strategier och beräkningsprocesser. En del av sensorerna som testas har gett svårigheter med kvalitet pga praktiska problem, som till exempel att labuppställningarna initialt inte var utformade för att skanna långa skeva plankor. Det gäller t.ex. NIR och CT-mätningarna där vissa svårigheter fick övervinnas för att nå tillfredsställande resultat. Vidare har problem med dataöverföring och stora datamängder krävt mycket arbete så att ännu inte alla plankor kunnat modelleras.

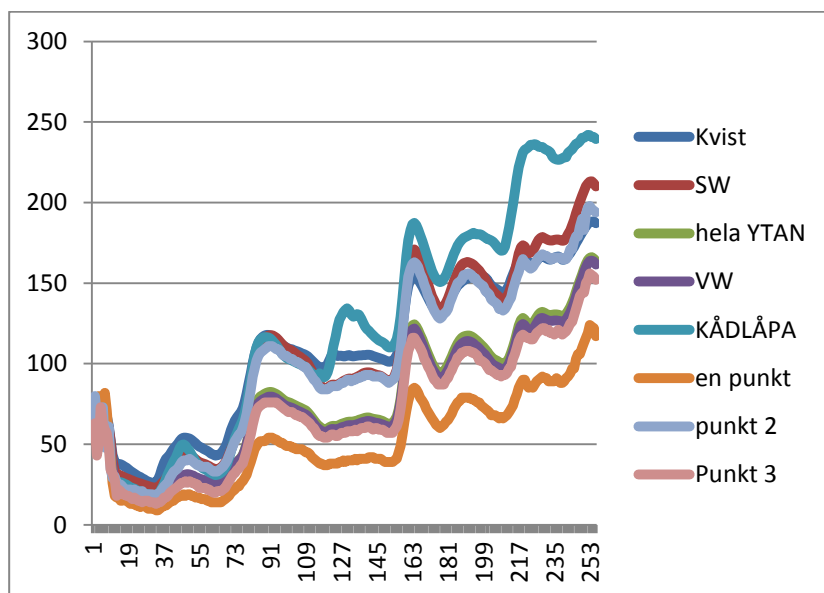
### 3.2 Identifiering av virkesegenskaper som påverkar hållfasthet

Samband mellan olika fenomen av betydelse för hållfasthet och NIR-reflektionen kan påvisas, vilket också indikerar att NIR kan bidra till hållfasthetsbedömning om man skulle ta hänsyn till den spatiala

förekomsten av dessa fenomen. Till exempel, i Figur 16 och Figur 17 visas spektra för enskilda pixlar i vår- och sommarved samt för olika artefakter med större yta. I några enskilda fall kan man ur kurvorna utläsa att det går att spektralt separera olika egenskaper. Kådlåpor är associerade med fickor mellan årsringar som kan vara svaga punkter i en bärande plank. En bra förbehandling av NIR data, som beskriven av till exempel Martens och Naess (1989), kan möjliggöra en ackurat artefaktidentifiering.

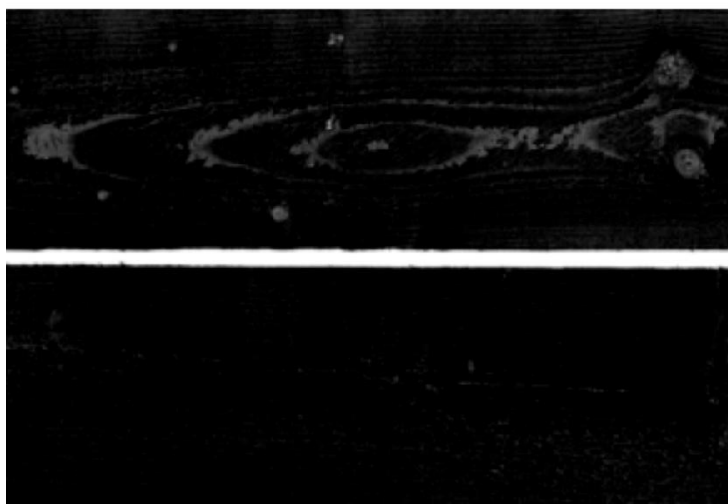


Figur 16: Sommar- och vårvedspektra för enskilda pixlar.



Figur 17: Spektra för olika egenskaper på en plank för enstaka ytelement.

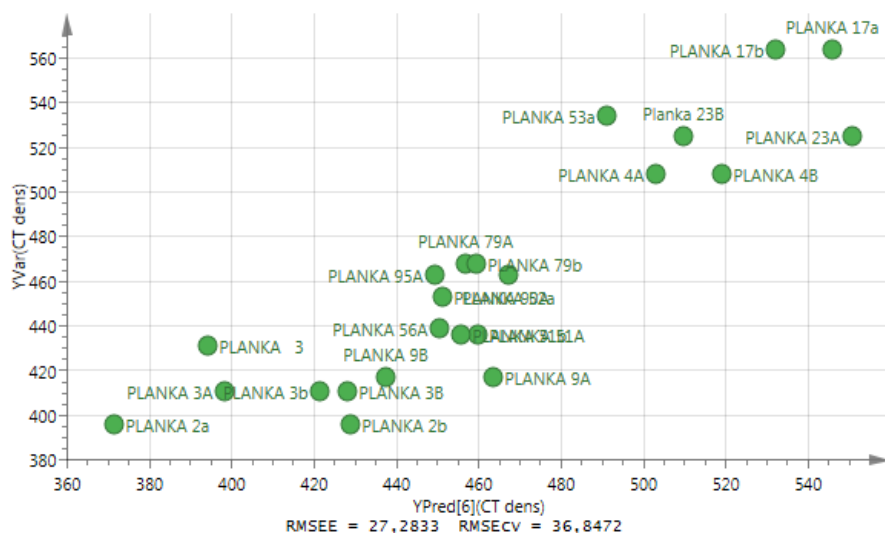
Ett fenomen som har stor betydelse för hållfasthet är tjurved (Dhubain *et al.* 1988). Tjurved utvecklas i stående träd pga. av ojämna kroniska belastningar i en viss riktning. Exempel på sådana belastningar kan vara att trädet lutar eller är exponerat för mycket vindbelastning från samma väderstreck. Tjurved i barrträ har en mikrofibrillorientering och högre lignin innehåll som gör att veden kan ta större tryckbelastningar i fiberriktningen. Däremot blir veden svagare under en dragbelastning. Med datan som samlades in i projektet kan man inte bara identifiera tjurved, utan också koppla den till en viss spatial förekomst (Figur 18), vilket är viktigt för hållfastheten.



Figur 18: På Planka 9 ovanför syns tjurved tydligt på den ena flatsidan i spektral bild no 91. På den andra flatsidan, den nedre bilden, förekommer fenomenet inte.

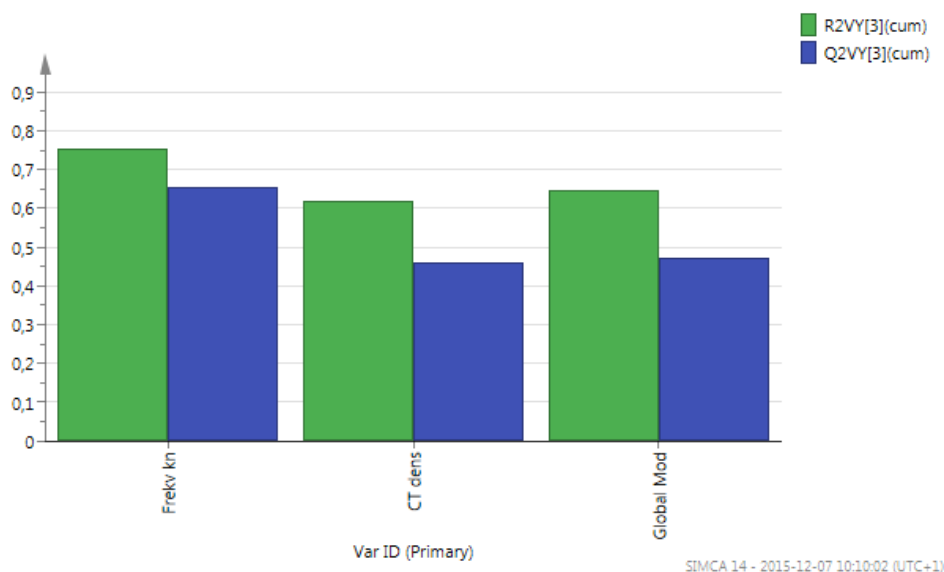
### 3.3 Prediktion av virkesegenskaper som påverkar hållfasthet

En god indikation att NIR-data kan användas för hållfasthetsprediktion skulle vara om de bakomliggande egenskaperna som påverkar hållfasthet kunde predikteras. Enbart plankor där datan kunde färdigställas i tid togs med i modellerna. NIR-datan var tagen från plankornas flatsidor. Densitet kunde predikteras med en Root Mean Square Error of Estimation (RMSEE) på 27,3 kg/m<sup>3</sup> (Figur 19). Även egenfrekvensen kunde predikteras med en RMSEE på 19,4 Hz (Figur 20).



Figur 19: Verklig densitet (y-axeln, kg/m<sup>3</sup>) från röntgentomografidatan kontra predikterat. En PLS-multivariatmodell baserad på NIR-data. Beteckning "a" och "b" hänvisar till flatsidorna, t.ex. plank 3a och 3b.





Figur 22: De tre redovisade prediktionsmodellernas (egenfrekvens, densitet och global E-modul) korrelationskoefficienter ( $R^2$ ) och prediktionskraft ( $Q^2$ ).

Det finns därmed stor potential för bättre prediktion med mer komplexa variabler som speglar de spatiala variationerna i varje planka. Brotthållfastheten är svårare att prediktera utan att använda kvistinformationen som finns i de bildbaserade dataseten, vilket är känt sedan tidigare. Till exempel har Olsson *et al.* (2013) med framgång utnyttjat spatial kvist- och fibervinkeldata för att prediktera hållfasthet.

## 4 Slutsatser

Inledande modellförsök visar att det går att prediktera egenfrekvens, densitet och E-modul med multivariata modeller baserade på NIR-spektraldata. Prestandan av prediktionsmodellen för E-modulen var i paritet med industriell dynamisk excitering. De NIR-data som användes i modelleringen var dock bara medelvärden över hela plankan. Därför finns det stor potential för bättre prediktion med variabler som speglar även de spatiala variationerna hos varje planka.

NIR-datan visade sig också kunna utnyttjas för att identifiera fenomen som påverkar hållfasthet, såsom tjurved. Det finns då god potential att inkludera sådana fenomen, och ta hänsyn till dess spatiala förekomst, i skapandet av mer akkurata modeller för prediktion av hållfasthet.

Projektet ledde även till skapandet av en unik och värdefull databas med skalär och spatial information av olika slag för 100 granplankor. Den unika kombinationen av information skapar många möjligheter för att karakterisera och prediktera virkesegenskaper, särskilt hållfasthet.

## 5 Fortsatt arbete

För varje planka finns bildbaserad information om kvistfördelning (NIR/RGB och tomografidata) samt hur och var brottet skett samt hur brottet ser ut. Vid eventuell fortsatt finansiering, kommer en kvalitativ bedömning av detta att genomföras, där brottet delas in i olika grupper enligt bedömd brottyp.

Mer arbete behövs för att färdigställa datamaterialet. För att kunna jämföra data från de olika mätsystemen, måste de i några fall skalas om till en gemensam spatial upplösning för bildgivande sensorer. I andra fall, som är betydligt mer komplicerade, skall spatialt upplösta data (t.ex. en tomografisk volym och yta från NIR-skannern) jämföras med skalär information (brotthållfasthet, E-modul, osv.)

kopplad till brottställe, brottyp och kviststruktur. Inför denna rapport hade inte alla dessa steg hunnit genomföras. Därför finns mycket ytterligare information att inhämta i fortsatt forskning.

Slutligen behöver mer riktade prediktionsvariabler baserad på spatial information, såsom kvistar och fibervinklar och dess position, tas fram för att förverkliga den maximala prediktionskraften hos den insamlade datan.

## 6 Referenser

- Dhubhain, A. N., Evertsen, J. A., & Gardiner, J. J. (1988). The influence of compression wood on the strength properties of Sitka spruce. *Forest products journal*.
- Haddadi, A., Leblon, B., Burger, J., Pirouz, Z., Groves, K., & Nader, J. (2015). Using near-infrared hyperspectral images on subalpine fir board. Part 2: Density and basic specific gravity estimation. *Wood Material Science & Engineering*, 10(1), 41-56.
- Hoffmeyer, P., & Pedersen, J. G. (1995). Evaluation of density and strength of Norway spruce wood by near infrared reflectance spectroscopy. *Holz als Roh-und werkstoff*, 53(3), 165-170.
- Olsson, A., Oscarsson, J., Serrano, E., Källsner, B., Johansson, M., & Enquist, B. (2013). Prediction of timber bending strength and in-member cross-sectional stiffness variation on the basis of local wood fibre orientation. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(3), 319-333.
- Kelley, S. S., Rials, T. G., Snell, R., Groom, L. H., & Sluiter, A. (2004a). Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. *Wood Science and Technology*, 38(4), 257-276.
- Kelley, S. S., Rials, T. G., Groom, L. R., & So, C. L. (2004b). Use of near infrared spectroscopy to predict the mechanical properties of six softwoods. *Holzforschung*, 58(3), 252-260.
- Martens, H. & Naess, T. (1989). *Multivariate Calibration*. Wiley, New York.
- Sandak, J., Sandak, A., Pauliny, D., Krasnoshlyk, V., & Hagman, O. (2013). Near infrared spectroscopy as a tool for estimation of mechanical stresses in wood. In *Advanced Materials Research* (Vol. 778, pp. 448-453).

## **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

SP-koncernens vision är att vara en internationellt ledande innovationspartner. Våra 1 400 medarbetare, varav över hälften akademiker och cirka 380 med forskarutbildning, utgör en betydande kunskapsresurs. Vi utför årligen uppdrag åt fler än 10 000 kunder för att öka deras konkurrenskraft och bidra till hållbar utveckling. Uppdragen omfattar såväl tvärvetenskapliga forsknings- och innovationsprojekt som marknadsnära insatser inom provning och certifiering. Våra sex affärsområden (IKT, Risk och Säkerhet, Energi, Transport, Samhällsbyggnad och Life Science) svarar mot samhällets och näringslivets behov och knyter samman koncernens tekniska enheter och dotterbolag. SP-koncernen omsätter ca 1,5 miljarder kronor och ägs av svenska staten via RISE Research Institutes of Sweden AB.

## **SP Technical Research Institute of Sweden**

Our work is concentrated on innovation and the development of value-adding technology. Using Sweden's most extensive and advanced resources for technical evaluation, measurement technology, research and development, we make an important contribution to the competitiveness and sustainable development of industry. Research is carried out in close conjunction with universities and institutes of technology, to the benefit of a customer base of about 10000 organisations, ranging from start-up companies developing new technologies or new ideas to international groups.



### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

RISE Bioekonomi  
SP Rapport 2017:08  
ISSN 0284-5172

PART OF **RISE**