



Anvendelse af ikke-destruktive måleteknikker i træindustrien

Nielsen, Peter

Publication date:
1991

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Nielsen, P. (1991). *Anvendelse af ikke-destruktive måleteknikker i træindustrien*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

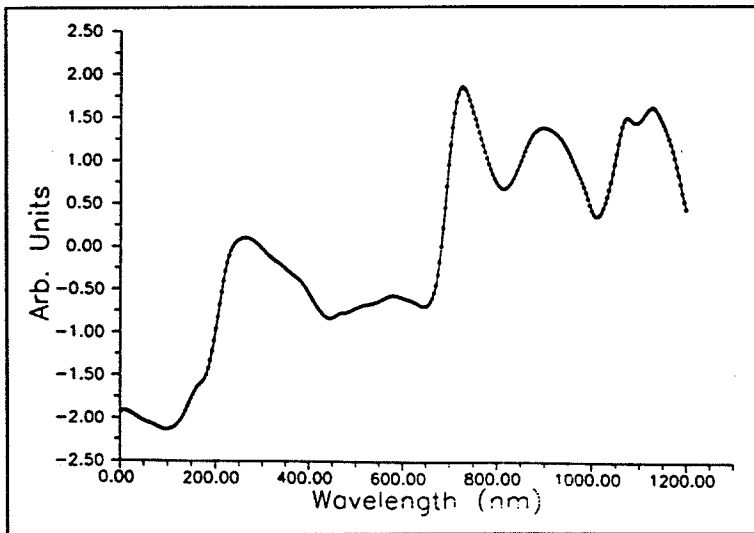
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

TEKNISK RAPPORT 252/91

PETER NIELSEN

ANVENDELSE AF IKKE-DESTRUKTIVE MÅLETEKNIKKER I TRÆINDUSTRIEN




THE TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BUILDING MATERIALS LABORATORY

**Danmarke tekniske Højskole
Laboratoriet for Bygningsmaterialer**

TEKNISK RAPPORT 252/91

**ANVENDELSE AF IKKE-DESTRUKTIVE
MÅLETEKNIKKER I TRÆINDUSTRIEN**

Lyngby den 9. december 1991



Peter Nielsen C-841197

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	3
FORMÅL	4
1 INDLEDNING	5
1.1 NIR teknologi fysik	5
1.2 NIR teknologi kemi	5
1.3 NIR resultater	7
2 MATERIALER	9
2.1 Træmaterialer	9
2.2 NIR målingsinstrumentet	9
2.3 Trykstyrkeprøvnings materiel	10
3 METODER	11
3.1 NIR-måling	11
3.2 Fugt og densitetbestemmelse	11
3.3 Trykprøvning	11
4 RESULTATER OG DISKUSSION	13
4.1 Ubehandlet træ (serie B)	13
4.2 Behandlet træ (serie A)	19
KONKLUSION	26
LITTERATURLISTE	27

FORORD

Denne rapport er udarbejdet på kursus 6126 - Bygningsmateriallære kursusarbejde efter aftale. Rapporten er udført ved Laboratoriet for Bygningsmaterialer som et samarbejdsprojekt med Bioteknologisk Institut i Kolding.

Rapporten er opdelt i en hovedrapport, hvor de grundlæggende principper bag Nær-infrarød teknikken (i det følgende forkortet NIR) kort præsenteres sammen med resultaterne fra forsøget, samt en bilagsrapport, hvor de mere detaljerede forsøgsresultater, forsøgsskemaer og dataudskrifter findes.

Vejleder for opgaven er docent Preben Hoffmeyer.

FORMÅL

I træindustrien og ved handel med træ er der et stort behov for en ikke-destruktiv måleteknik til bestemmelse af bl.a. styrke og råd.

Nær-infrarød teknikken er en spektrofotometrisk analysemetode, der med succes anvendes i levnedsmiddelindustrien til bl.a. at bestemme næringsindhold i planter og animalske produkter. NIR-signalerne indeholder bl.a. information om fysiske forhold, molekylestruktur og materialeforhold som f.eks densitet. NIR teknikken har aldrig været anvendt på træ, men med baggrund i ovenstående er det sandsynligt, at NIR teknikken kan anvendes til forudsigelse af densitet/styrke af træ.

Formålet med rapporten er således indledningsvis at få afklaret, om NIR teknikken kan anvendes på træ, og dernæst om NIR målings resultater giver et billede af træs styrke/stivhed.

1 INDLEDNING

NIR teknologi er en spektrofotometrisk analysemetode og består af en mængde emner: NIR refleksion, instrumentering, prøve præparering, laboratorie analyser og databearbejdning.

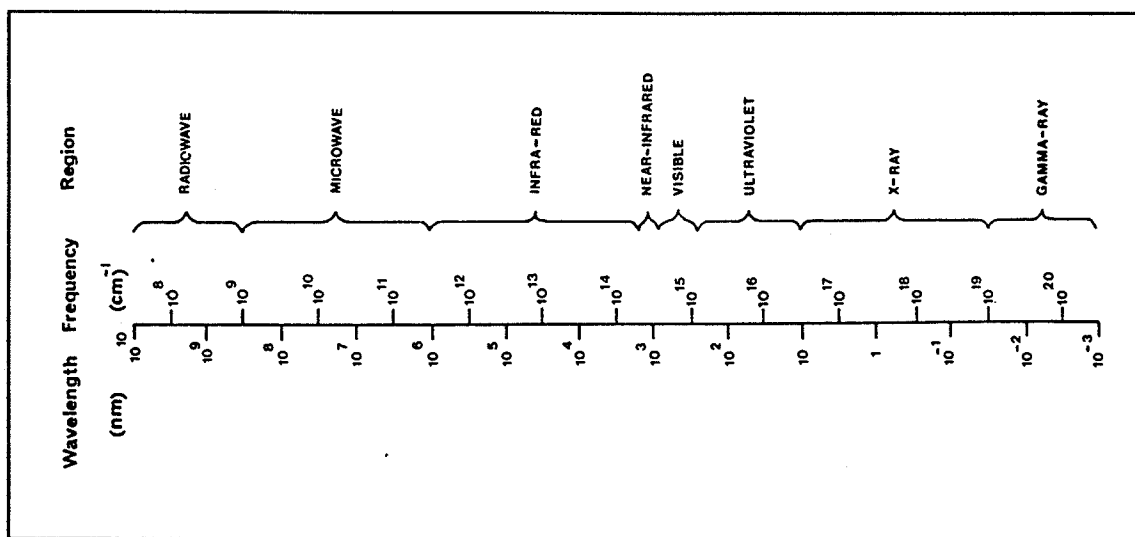
Formålet med dette første afsnit af rapporten er, kort at redegøre for den grundlæggende fysik og de kemiske principper bag NIR teknologien, samt lidt om de resultater NIR teknologien producerer.

1.1 NIR teknologi fysik

Fysikken bag NIR-teknologien bygger hovedsagelig på almindelig bølgefysik. Når lys passerer gennem et materiale, vil det blive selektivt absorberet. Materialet absorberer kun lys med samme bølgelængde som det selv udsender, de øvrige bølgelængder vil reflekteres. Det er denne absorption, man ønsker at måle. Rent praktisk gøres dette dog ved at man måler refleksionen (Birth & Hecht 1987).

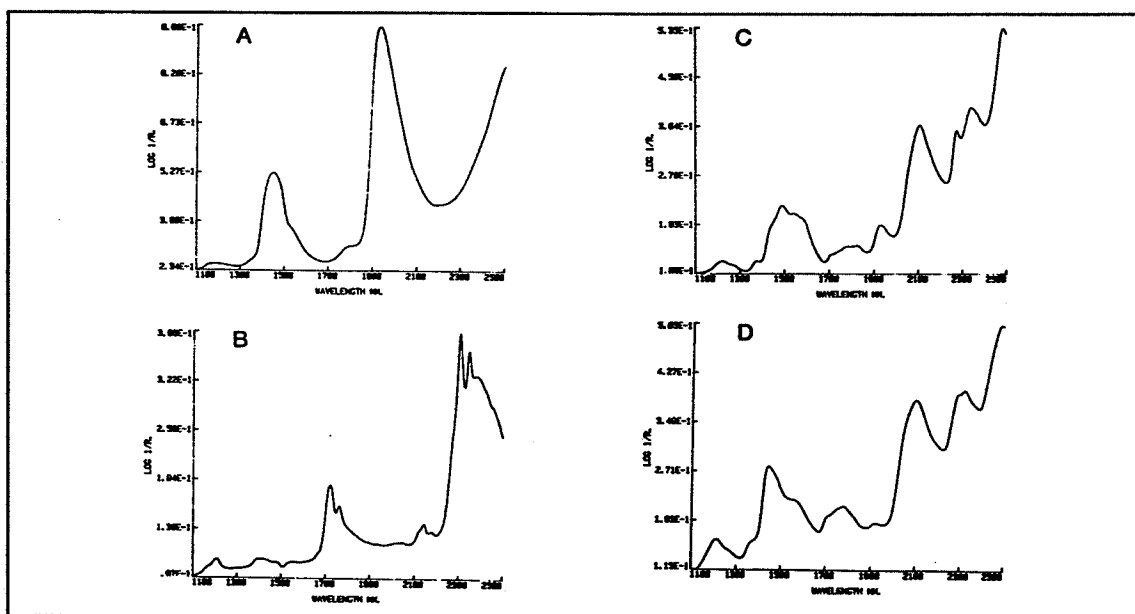
1.2 NIR teknologi kemi

Sammensætning og opførsel af alle planter og animalske produkter er en direkte konsekvens af deres kemiske opbygning. Hovedbestandelen af alle naturprodukter er proteiner, ikke-fibrøse kulhydrater (bl.a. stivelse og sukker), fedt, fibrøse kulhydrater (bl.a. cellulose) vand, mineraler og vitaminer. Alle disse består igen af atomer, hovedsaglig kulstof, ilt, brint, nitrogen, phosphor og svovl. Disse atomer kombineret med kovalente og elektrovalente bindinger danner molekyler. På grund af bindingernes natur og de elektrostatiske ændringer på atomerne og molekylerne, er molekylerne konstant i bevægelse. Molekylerne vibrerer med en frekvens, der korresponderer med bølgelængder i det infrarøde, herunder det nær-infrarøde, område af det elektromagnetiske spektrum. Det elektromagnetiske spektrum er vist på figur 1. Det synlige område ligger mellem 300 og 750 nm, det nær-infrarøde område ligger mellem 750 og 2600 nm og det infrarøde område ligger mellem 2600 og 25000 nm (Murray og Williams 1987).



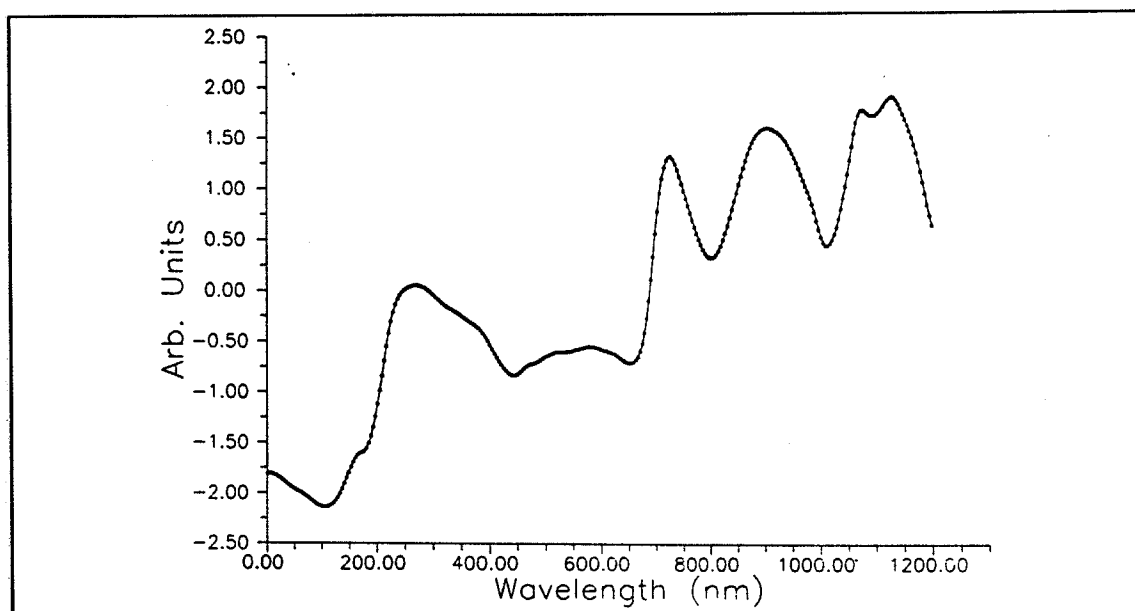
Figur 1
 Det elektromagnetiske spektrum (Murray og Williams 1987).

Som nævnt består planter og animalske produkter af grupper af atomer, bl.a. CH-, OH- NH-grupper, der absorberer lys i det nær-infrarøde område. På figur 2 er spektre for planters- og animalske products hovedkomponenter vand, fedt, stivelse og cellulose vist.



Figur 2
 NIR reflektions spektrum (log 1/R) for a) vand, b) fedt, c) stivelse, d) cellulose (Murray og Williams 1987).

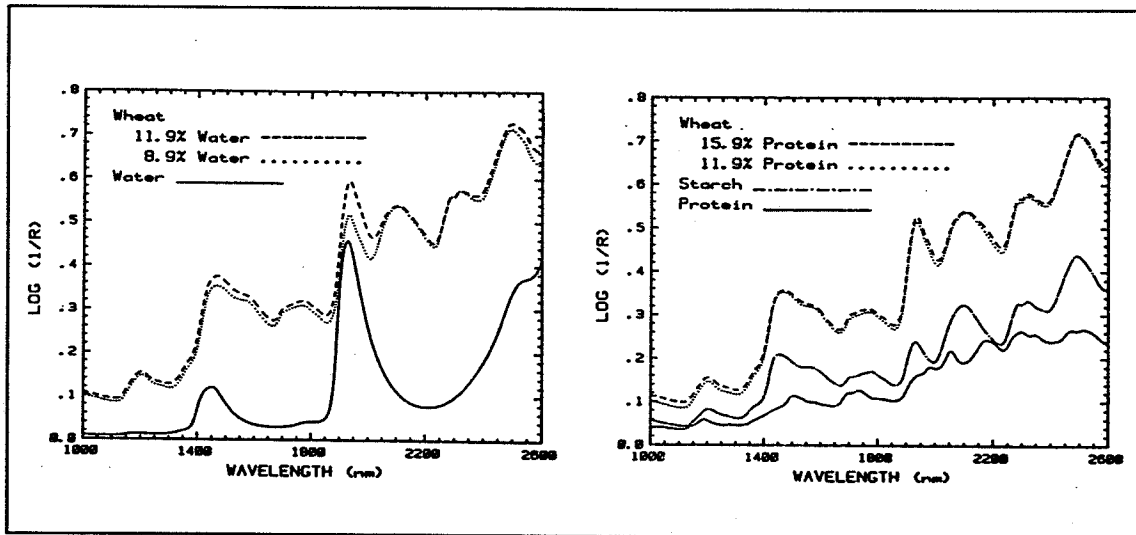
På figur 3 er vist træ's spektrum. Ved at sammenligne figur 2 og figur 3 er det muligt at identificere de enkelte absorptionstoppe for træ, ud fra kendskab til ved hvilke bølgelængder de enkelte bestanddele af træ absorberer nær-infrarødt lys. Vand absorberer således ved 1445 nm og 1940 nm, stivelse ved 2100 nm, sukker og lignin ved 2270 nm og cellulose ved 1300 nm, 1445 nm og ved 2348 nm.



Figur 3
NIR refleksions spektrum for træ.

1.3 NIR resultater

På figur 4 er vist 2 typiske NIR refleksions spektre. Det Near-Infrarøde område er stråling med bølgelængder mellem 700 - 3000 nm, hvor bølgelængder i området 1000 - 2600 nm er de mest anvendte. Den vertikale akse enhed, $\log(1/\text{refleksionen})$ - forkortet $\log(1/R)$, $\log = \log_{10}$ - er relateret til absorptionen: en højere $\log(1/R)$ værdi betyder at mere stråling er blevet absorberet (mindre reflekteret) af prøven ved den givne bølgelængde. Denne enhed bruges i stedet for procentvis refleksion, fordi der næsten er lineær sammenhæng mellem koncentrationen af en absorberende komponent og dens bidrag til $\log(1/R)$ værdien ved den absorberede bølgelængde (Hruschka 1987).



Figur 4
To typiske NIR spektre for 1) vand og hvede ved forskellige fugtindhold og 2) stivelse, protein og hvede ved to forskellige protein indhold (Hruschka 1987).

2 MATERIALER

2.1 Træmaterialer

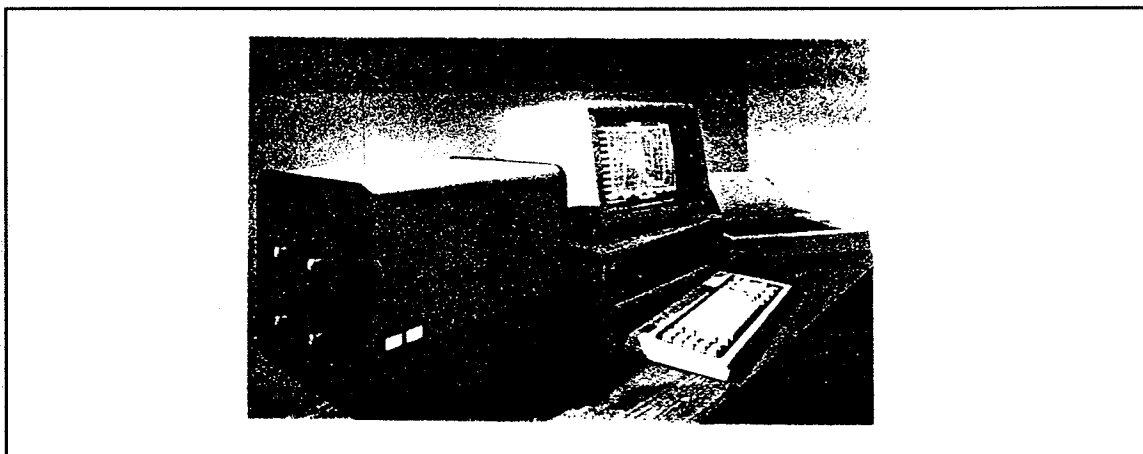
Ialt 83 rødgran klodser indgik i forsøget. Klodsernes dimension er 20 x 20 x 60 mm. Klodserne deltes i to serier A og B med 30 klodser i serie A og 52 klodser i serie B. Klodserne i serie A blev udskåret af samme bjælke, for i videst mulige omfang at få ensartet densitet. Der valgtes en bjælke med årringsbredde < 2 mm. Klodserne i serie B blev udskåret af 13 bjælker, hvor der blev udskåret 4 klodser af 12 bjælker og 5 af den sidste. Der valgtes bjælker med årringsbredder i intervallet 0,5 mm < årringsbredde < 10 mm. Klodserne i serie A nummereredes fortløbende i overensstemmelse med opskæringsrækkefølgen med numrene A1 - A30. Klodserne i serie B nummereredes i overensstemmelse med nummeret på den bjælke (1 - 13) hvoraf de var udskåret, med numrene B1.1, B1.2,....., B1.5, B2.1, B2.2,....., B2.4,....., B13.1....., B13.4.

Efter udskæring konditioneredes prøverne ved alm. indedørs luftfugtighed for årstiden.

Herefter sendtes klodserne til Bioteknologisk Institut i Kolding, hvor de NIR-måles.

2.2 NIR målingsinstrumentet

Til det eksperimentelle arbejde med bestemmelse af klodserne i de to seriers absorption anvendtes et monochromator af mærket LT Quantum 1200 fremstillet af LT Industries (se figur 5).

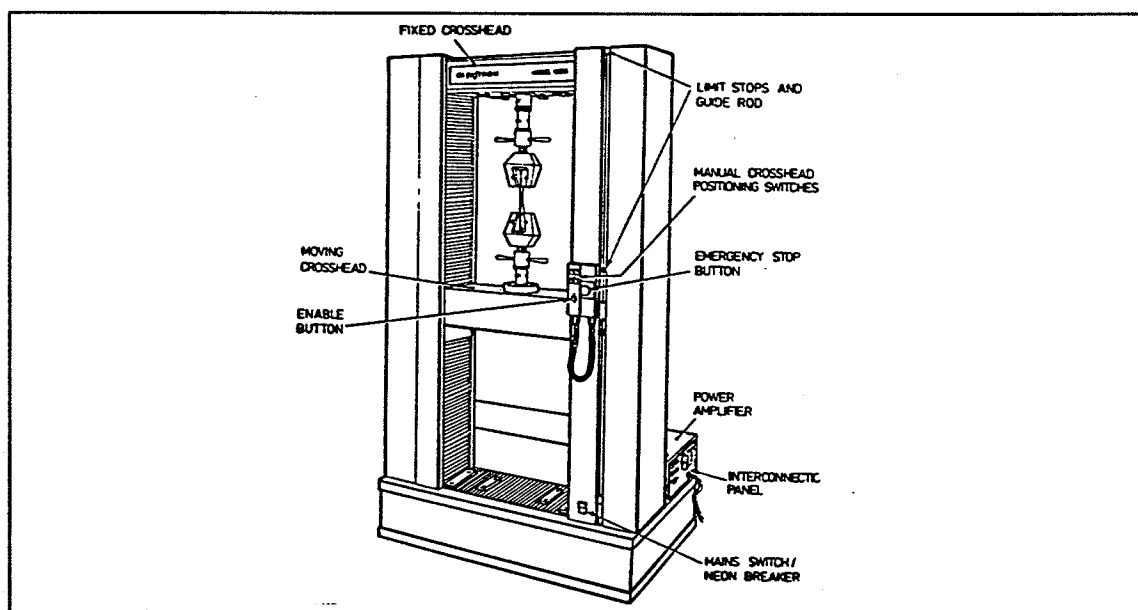


Figur 5
LT Quantum 1200 (Williams 1987).

En monochromator fungerer ved at fordele eller sprede lysstrålen efter bølgelængde. Prismer eller gitre er de mest almindelige spredningselementer brugt i monochromatore. Når prismet eller gitret bevæges, belyses prøven efter tur med lys fra hver enkel bølgelængde. Til hver enkel bølgelængde måles refleksionen fra prøvelegemet, v.h.a. sensorer ophængt inde i monochromatoren.

2.3 Trykstyrkeprøvnings materiel

Til det eksperimentelle arbejde med bestemmelse af trykstyrken af klodserne i de to serier anvendtes en materiale-prøvningsmaskine fremstillet af Instron Limited type nr. 6025 (se figur 6).



Figur 6
Instron model 6025 (Instron limited 1985).

Med til forsøgsapparatet hører desuden en kontrolpult, en printer, samt en PC'er til opsamling af data. Indstillingen af Instronen er givet ved følgende:

- load frame : 100 KN
- test area : below crosshead
- testtype : compression
- load cell : 100 KN
- range : 100 KN
- test speed : 15 mm/min
- return speed : 1000 mm/min
- end detector : peak

3 METODER

For alle klodserne ønskes absorption, fugtindhold, densitet og trykstyrke bestemt. Inden forsøgene går igang slibes klodsernes endeflader planparallelle.

3.1 NIR-måling

Inden NIR-målingen blev de 30 klodser i serie A sat over en skål med flourbrinte, med en flourbrinte mængde på 0 - 29% af klodsernes vægt (en af klodserne forblev ubehandlet, for at fungerer som kontrol klods). Efter et døgn flourbrinte behandling udtørres klodserne ved 103°C i et døgn. Hvorefter NIR-målingerne foretages.

Ved ankomst til DtH konditioneredes prøverne i serie B ved alm. indedørs luftfugtighed for årstiden, og prøverne i serie A opbevaredes i lufttætte beholdere.

3.2 Fugt og densitetbestemmelse

Umiddelbart inden trykprøvning vejedes og opmålt alle klodserne og deres volumen bestemmes. Densiteten til det givne fugtindhold af serie B klodserne blev fundet af følgende formel:

$$\text{Densiteten } \rho = m/V$$

hvor m = massen af klodsen (kg) og V = volumen af klodsen (m^3).

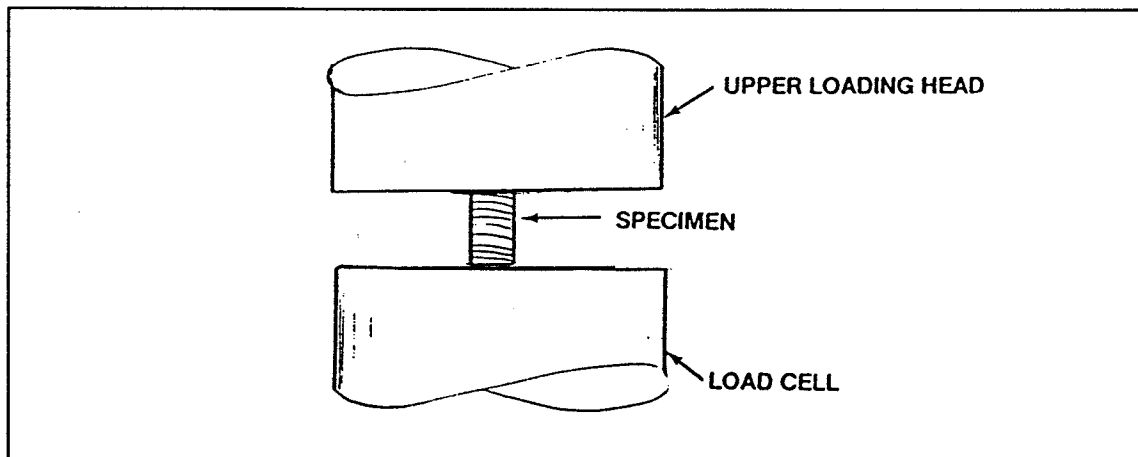
Efter trykprøvning placeredes alle klodserne i varmeskab ved 103°C i 48 timer, og herefter vejedes igen. Klodsernes fugtindhold kunne herefter bestemmes af følgende formel:

$$\text{Fugtindholdet } \omega = (m_{\text{våd}} - m_{\text{tør}}) / m_{\text{tør}} \times 100\%$$

hvor $m_{\text{våd}}$ = vådvægten af klodsen (kg) og $m_{\text{tør}}$ = tørvægten af klodsen (kg).

3.3 Trykprøvning

Klodserne påføres en jævnt voksende last indtil brud (se figur 7). Arbejdskurven for klodserne optegnes.



Figur 7
Forsøgsopstilling for trykprøvning.

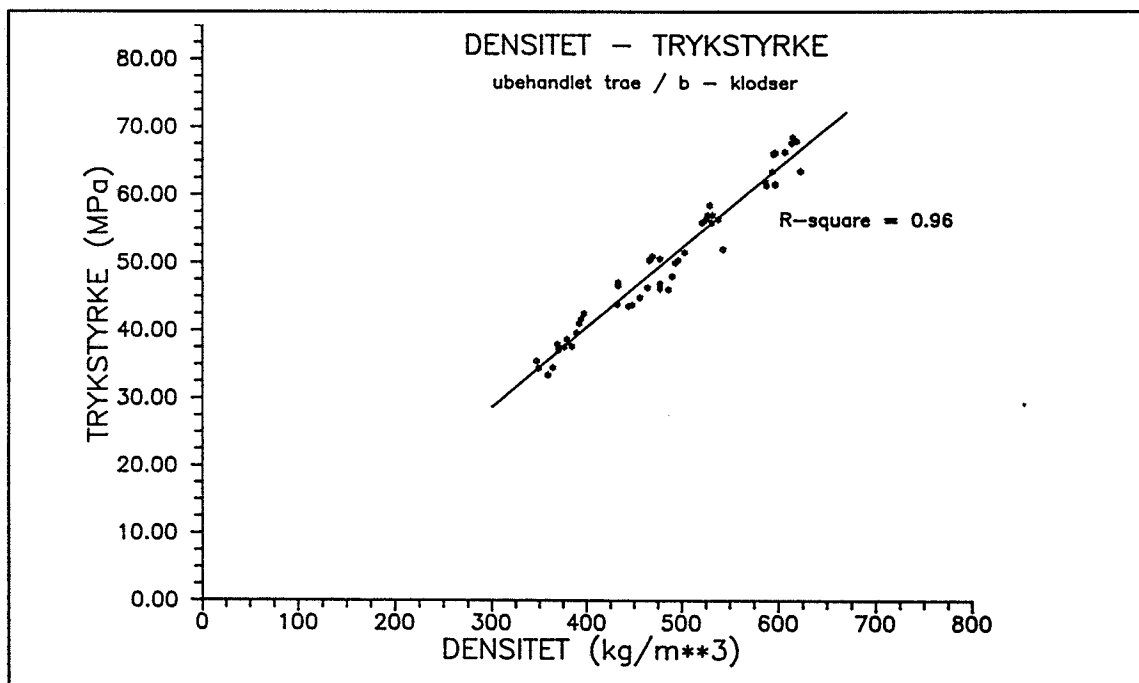
4 RESULTATER OG DISKUSSION

Alle afbildede resultater, vist i dette kapitel, findes i fuld størrelse i bilagsrapporten sammen med data udskrifter og forsøgsskemaer.

4.1 Ubehandlet træ (serie B)

For bedst muligt at kunne bestemme NIR-målingernes effektivitet, blev klodserne i serie B udvalgt fra træ med både høj og lav densitet. Således var spredningen på densiteten $s_x = 83.8 \text{ kg/m}^3$, middelværdien $\rho = 485 \text{ kg/m}^3$, største værdien = 623 kg/m^3 og mindsteværdien = 347 kg/m^3 .

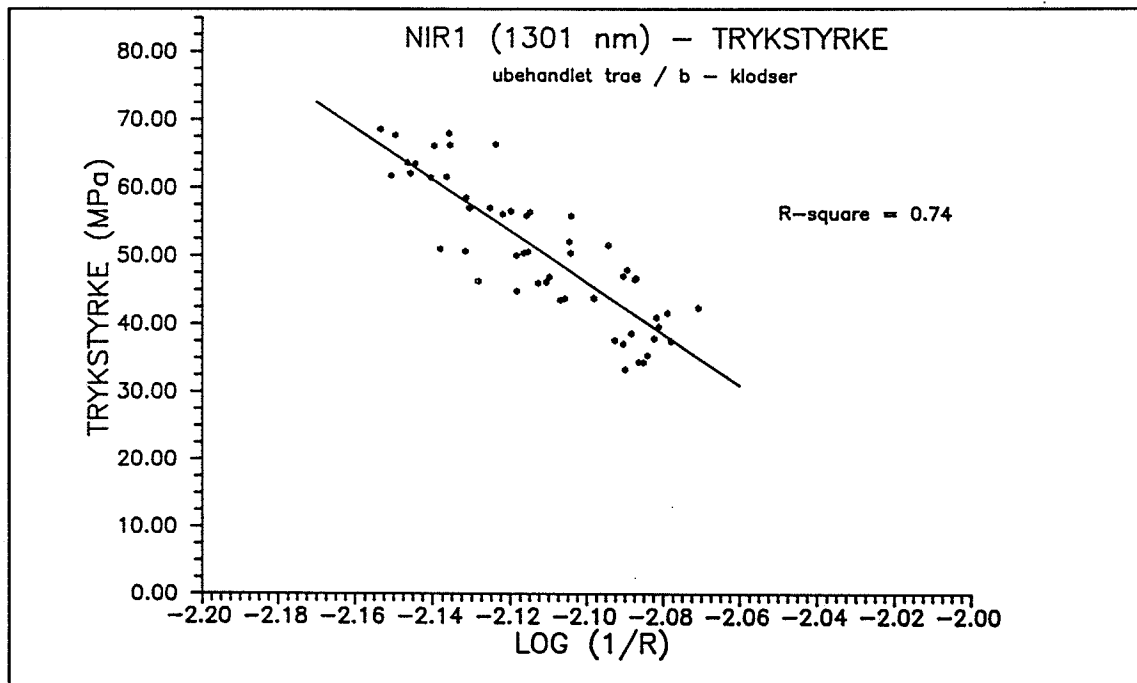
Resultaterne fra densitetsforsøget er afbildet på figur 8.



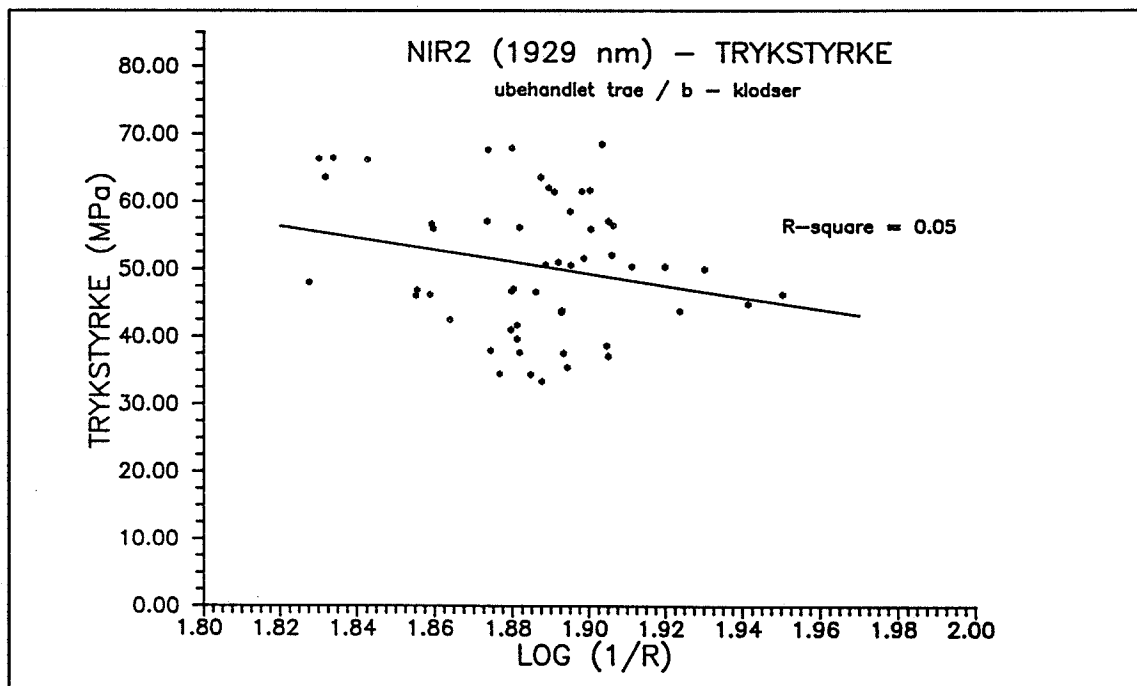
Figur 8

Sammenhæng mellem trykstyrke og densitet.

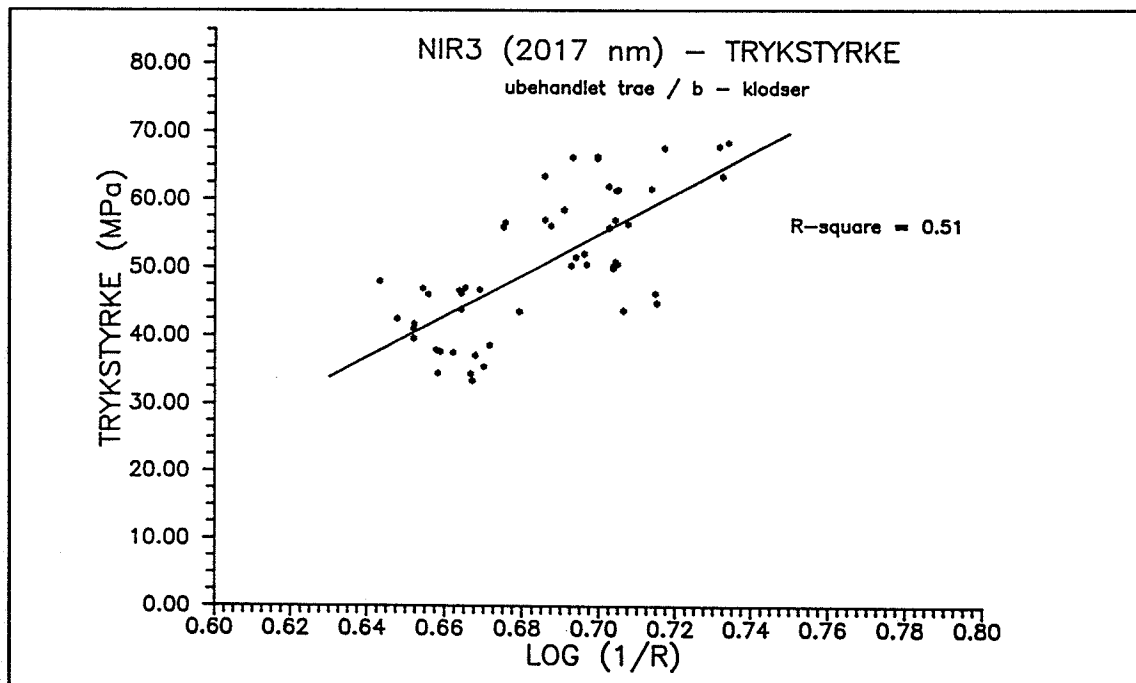
Som det ses af ovenstående figur, er der en meget god sammenhæng mellem trykstyrken og densiteten, korrelationen er $R^2 = 0.96$. Denne korrelation er højere end korrelationer man finder i lærebøger og artikler m.v. f.eks Dinwoodie (1981), hvor $R^2 = 0.90$. På figur 9 - 13 er sammenhængen mellem NIR-måling ved 5 forskellige bølgelængder og trykstyrke afbildet. På figur 14 - 18 er de tilhørende densiteter afbildet som funktion af NIR-målinger ved de samme 5 bølgelængder.



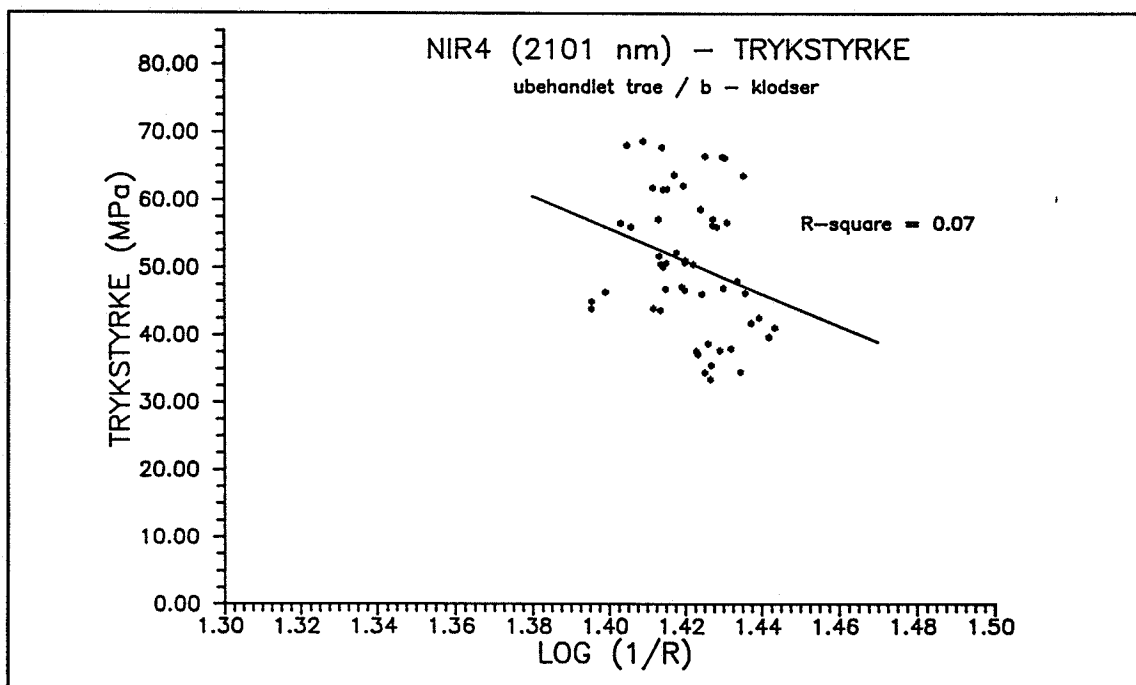
Figur 9
Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 1301 nm.



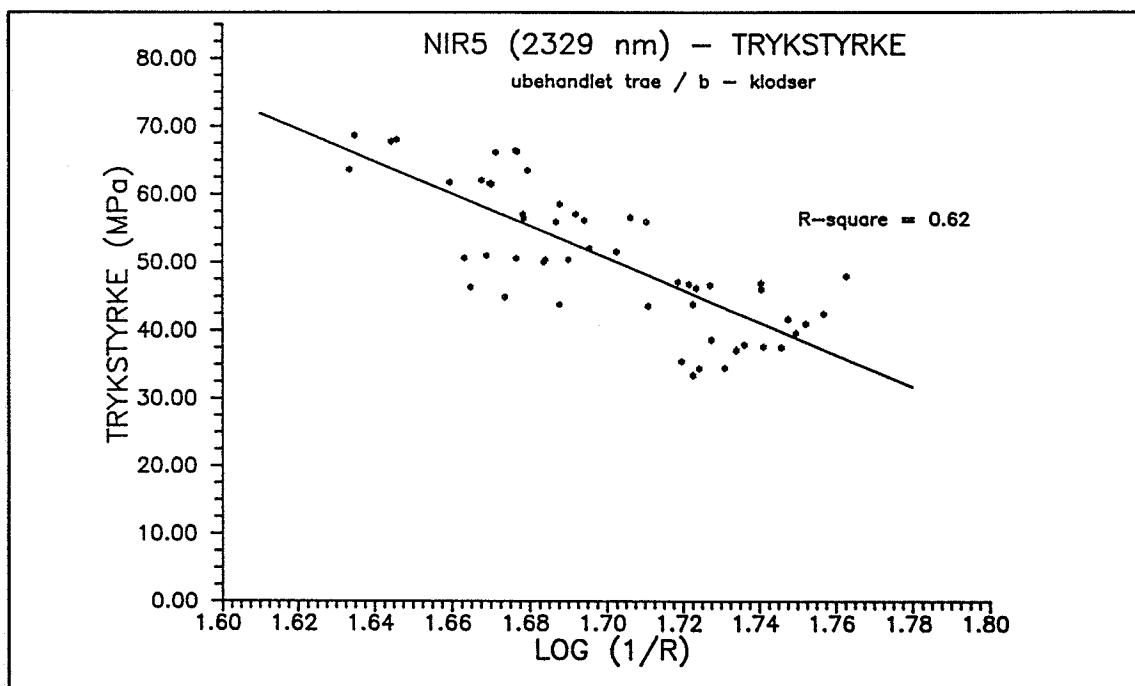
Figur 10
Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 1929 nm.



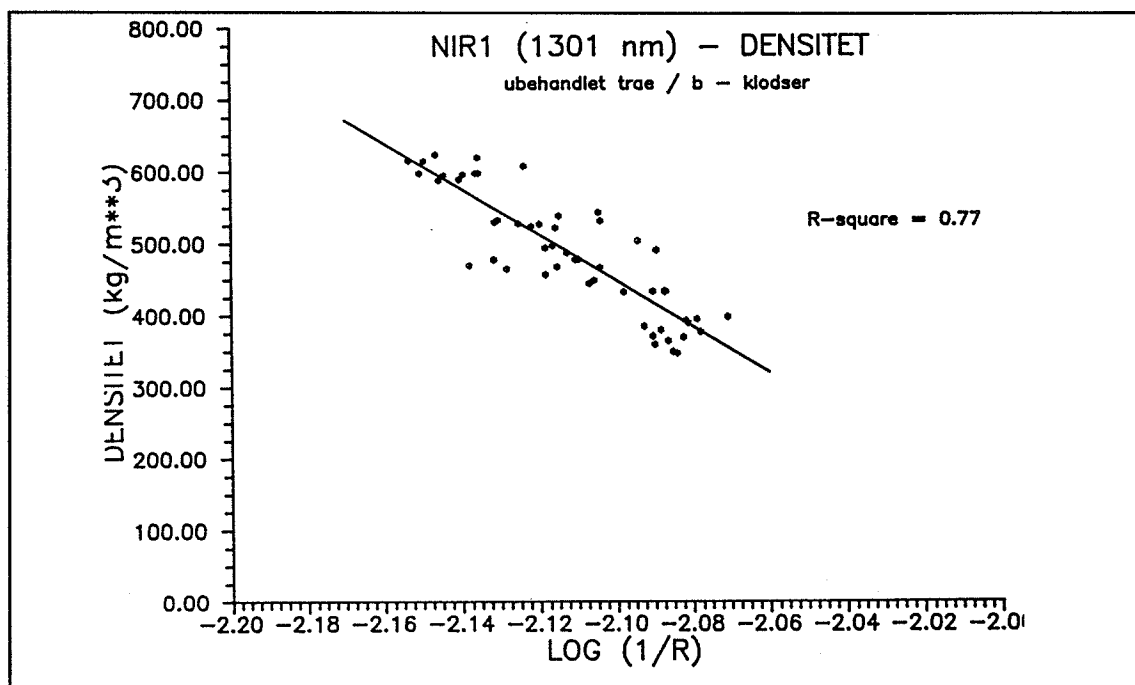
Figur 11
 Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 2017 nm.



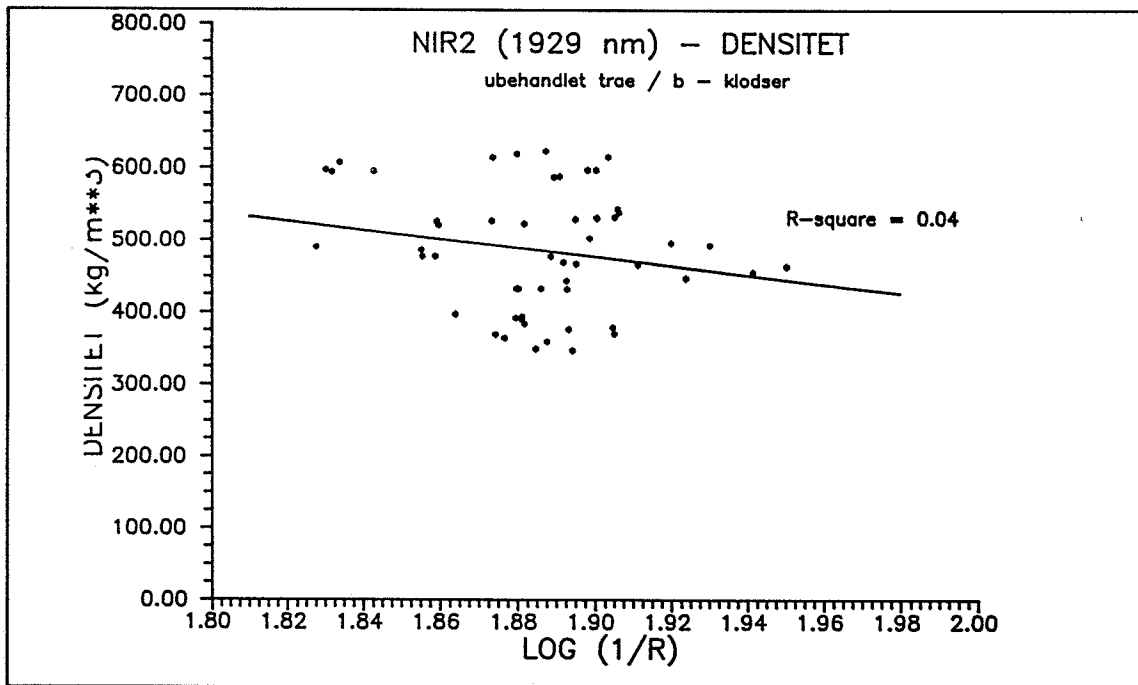
Figur 12
 Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 2101 nm.



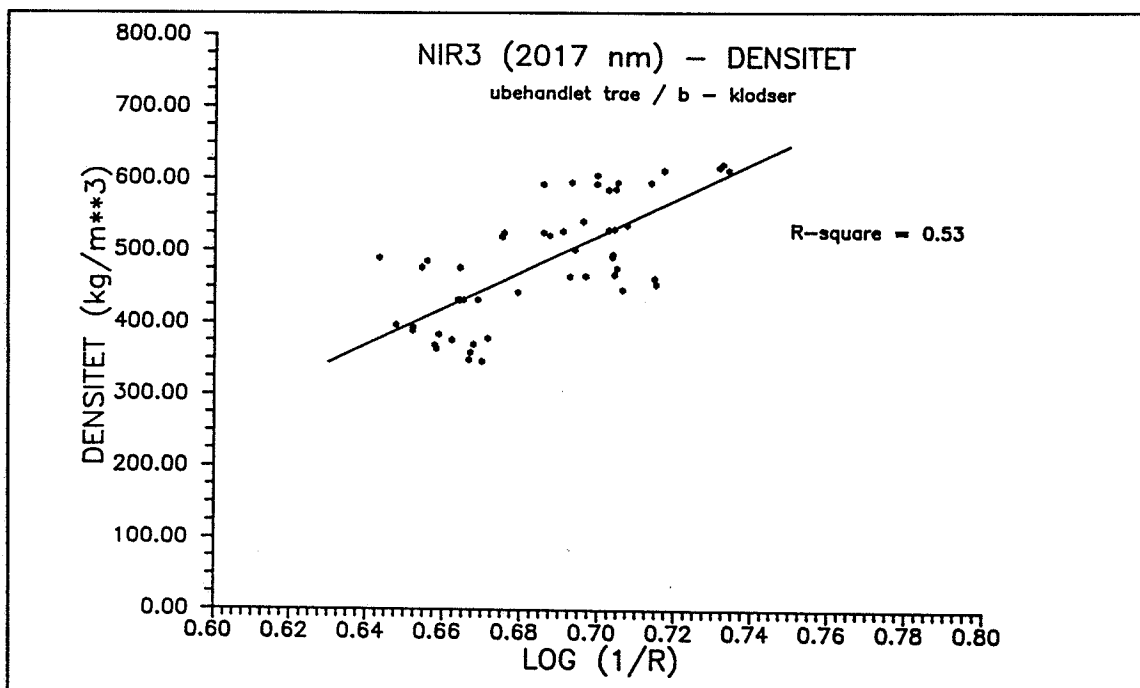
Figur 13
Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 2329 nm.



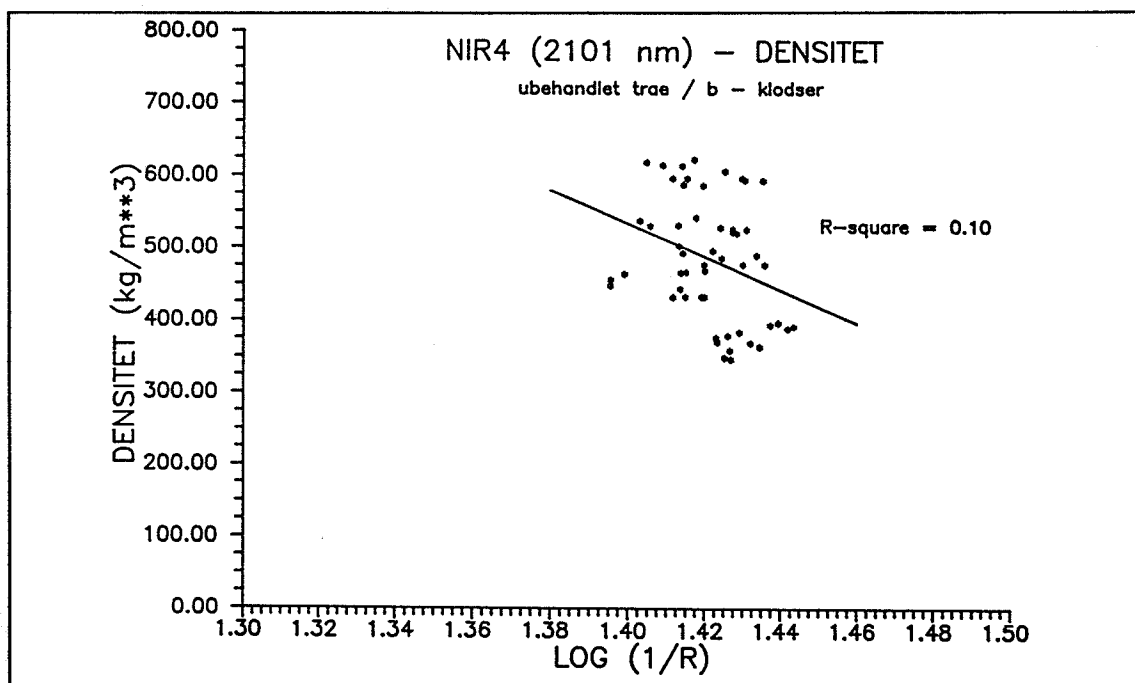
Figur 14
Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 1301 nm.



Figur 15
 Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 1929 nm.

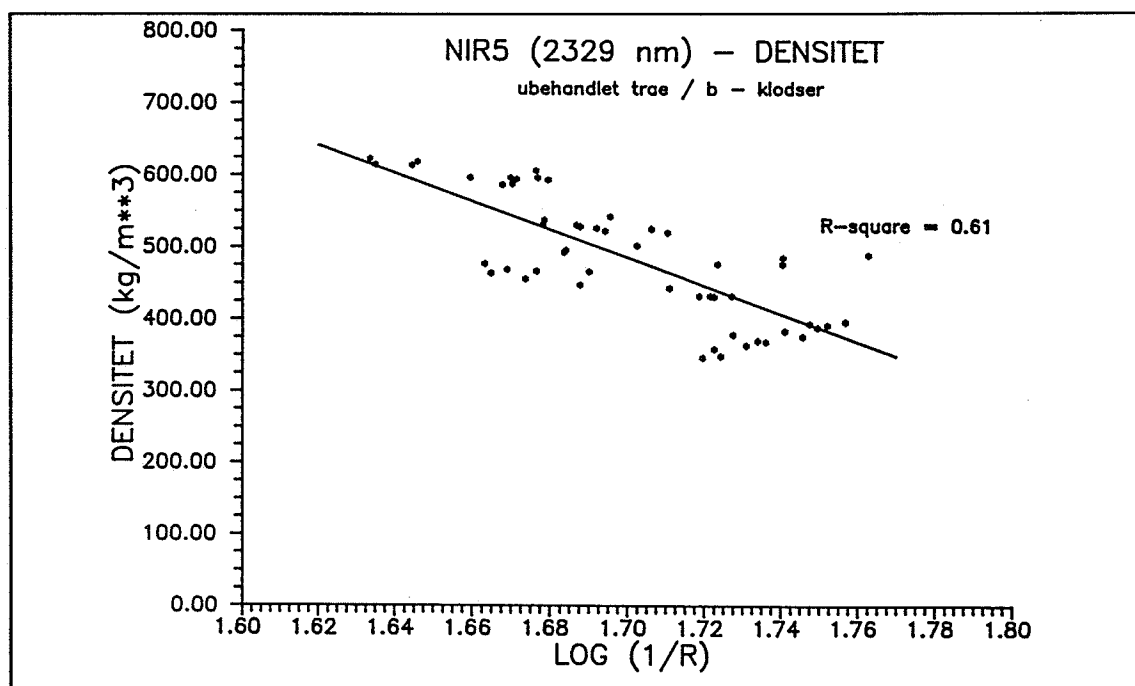


Figur 16
 Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 2017 nm.



Figur 17

Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 2101 nm.



Figur 18

Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 2329 nm.

Det bemærkes, at korrelationerne for sammenhængen mellem trykstyrke og NIR-måling næsten er identiske med korrelationerne for sammenhængen mellem densitet og NIR-måling. Dette skyldes, at densiteten er den mest styrkebestemmende parameter af alle, hvilket også fremgår af figur 8.

Som det ses af figur 9 - 13 er der god sammenhæng mellem NIR-målingerne ved bølgelængderne 1301 nm, 2017 nm og 2329 nm og trykstyrken, korrelationerne er henholdsvis $R^2 = 0.74$, $R^2 = 0.51$ og $R^2 = 0.62$, hvilket netop er de bølgelængder cellulose og hemicellulose absorberer stråling ved. Og da cellulosen befinder sig i cellevæggen, hvis tykkelse er bestemmende for træets densitet og dermed styrke, er det ikke overraskende, at det netop er ved disse bølgelængder, den gode sammenhæng er lokaliseret.

Der er ikke nogen sammenhæng mellem NIR-målingerne og trykstyrken ved 1929 nm og 2101 nm hvilket er de bølgelængder hvor bl.a. vand og stivelse absorberer stråling. Korrelationerne er henholdsvis $R^2 = 0.05$ og $R^2 = 0.07$. Dette er ganske logisk da forsøget blev udført med ensartet vandindhold ca 60 RF ~ 12% fugtindhold.

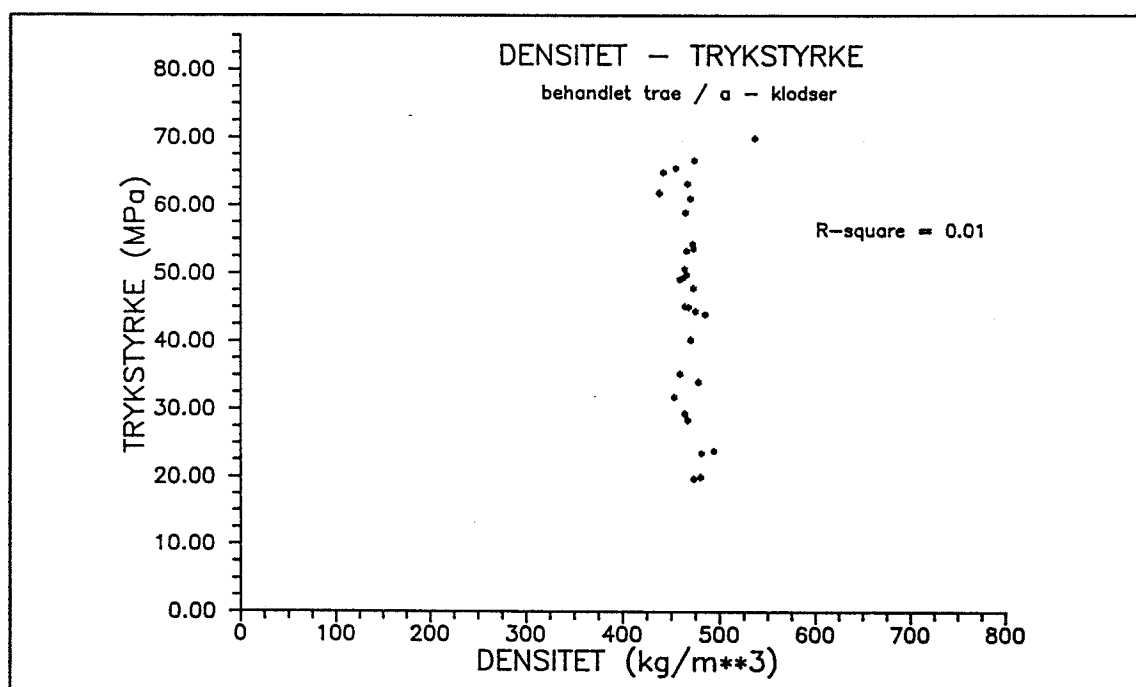
Ved udførsel af en multipel regressions analyse fås for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger en korrelation $R^2 = 0.87$, og for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger samt densiteten en korrelation $R^2 = 0.97$. Hvilket igen bekræftiger den gode sammenhæng mellem densitet, trykstyrke og NIR-målinger (i bilagsrapporten findes den fuldstændige regressions analyse).

4.2 Behandlet træ (serie A)

Da klodserne i serie A er udskåret fra samme bjælke, var der før klodserne blev udsat for flourbrinte behandlingen meget lille spredning på trykstyrken. Men da flourbrinte "spiser" (opløser) bindingerne mellem cellulose molekylerne i cellevæggen, ændres trykstyrken kraftigt i takt med stigende flourbrinte behandling (se figur 19).

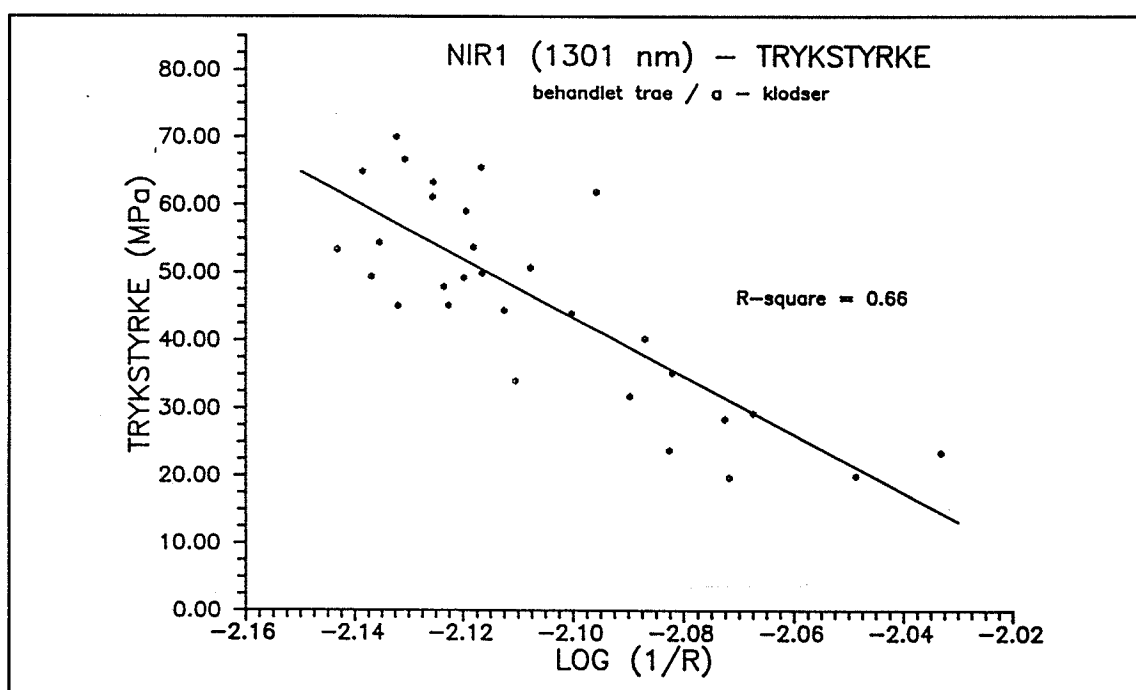
På figur 19 er sammenhængen mellem densitet og trykstyrke afbildet. Som det ses af nedenstående figur er der i modsætning til serie B ingen sammenhæng mellem densitet og trykstyrke, korrelationskoefficienten $R^2 = 0.01$. Dette skyldes, at klodserne i serie er fra samme bjælke og følgelig er der ingen sammenhæng mellem densitet og trykstyrke.

På figur 20 - 24 er sammenhængen mellem NIR-måling ved 5 forskellige bølgelængder og trykstyrke afbildet. På figur 25 - 27 er de tilhørende densiteter afbildet som funktion af NIR-målinger ved de samme 5 bølgelængder.



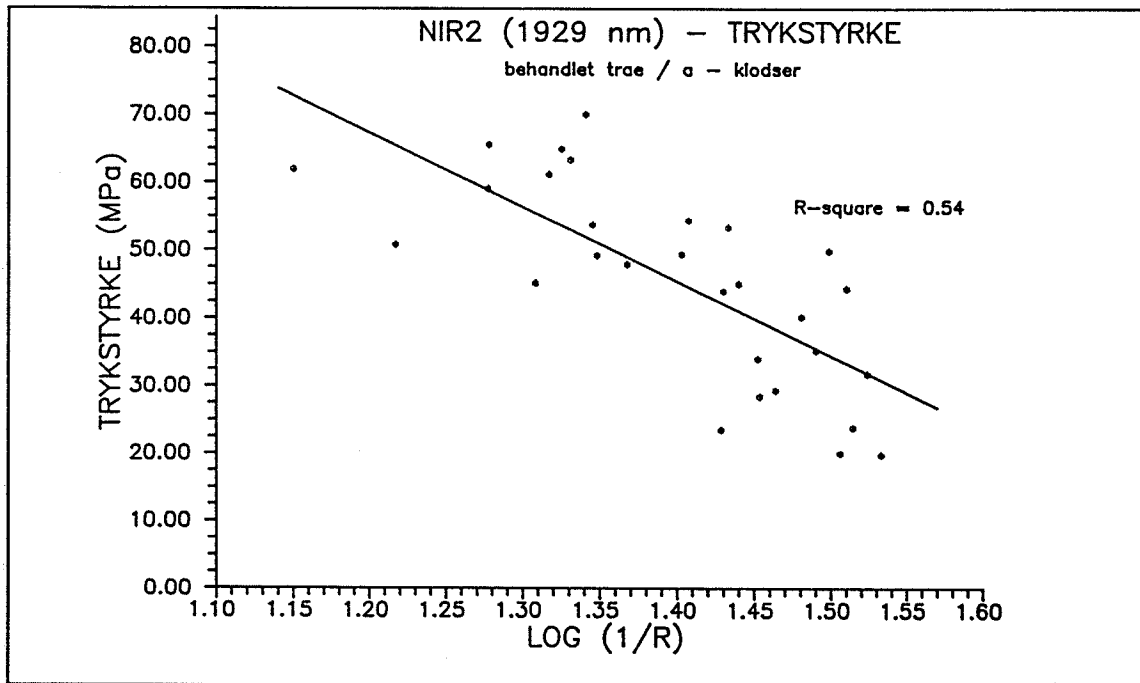
Figur 19

Sammenhæng mellem trykstyrke og densitet.



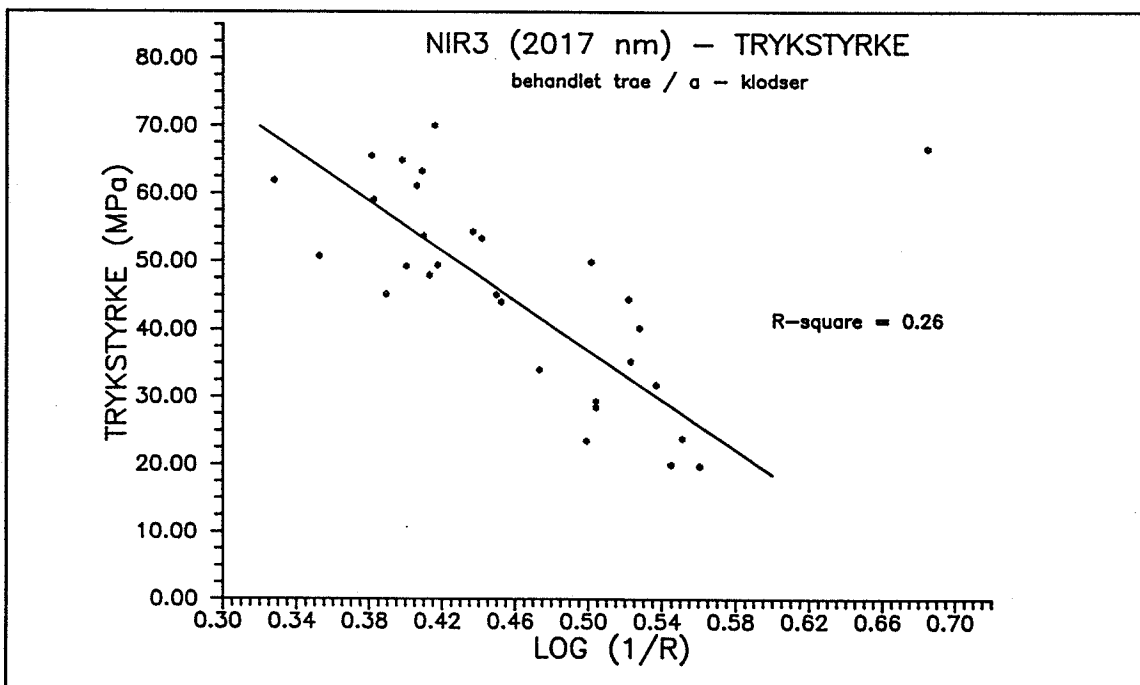
Figur 20

Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 1301 nm.



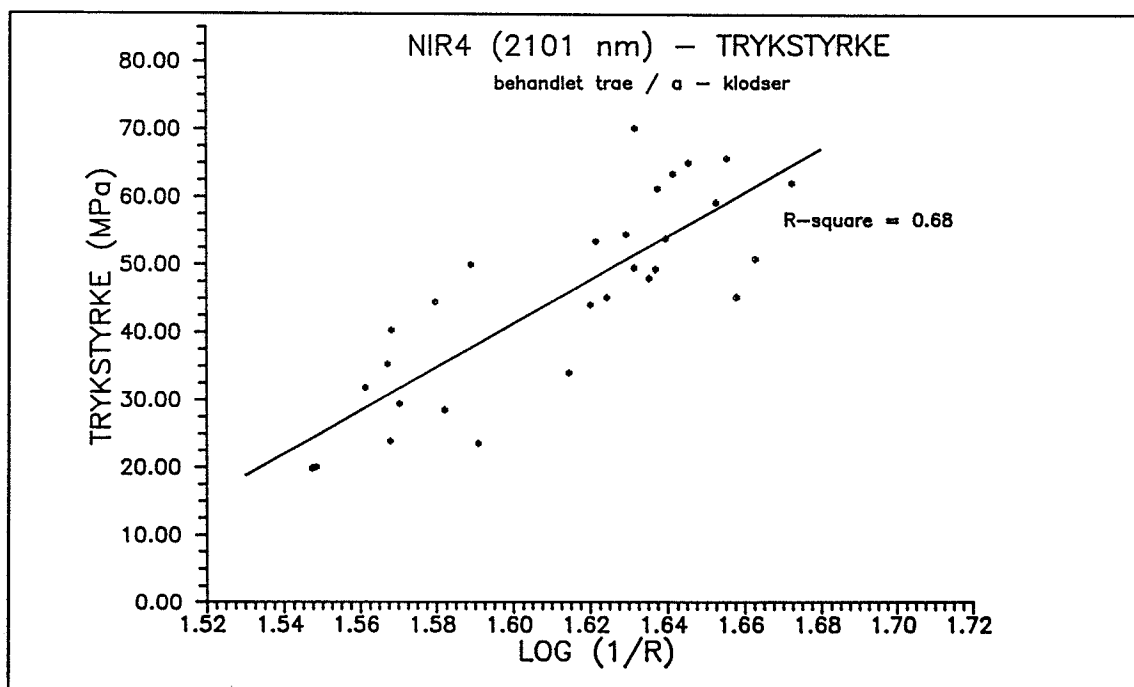
Figur 21

Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 1929 nm.



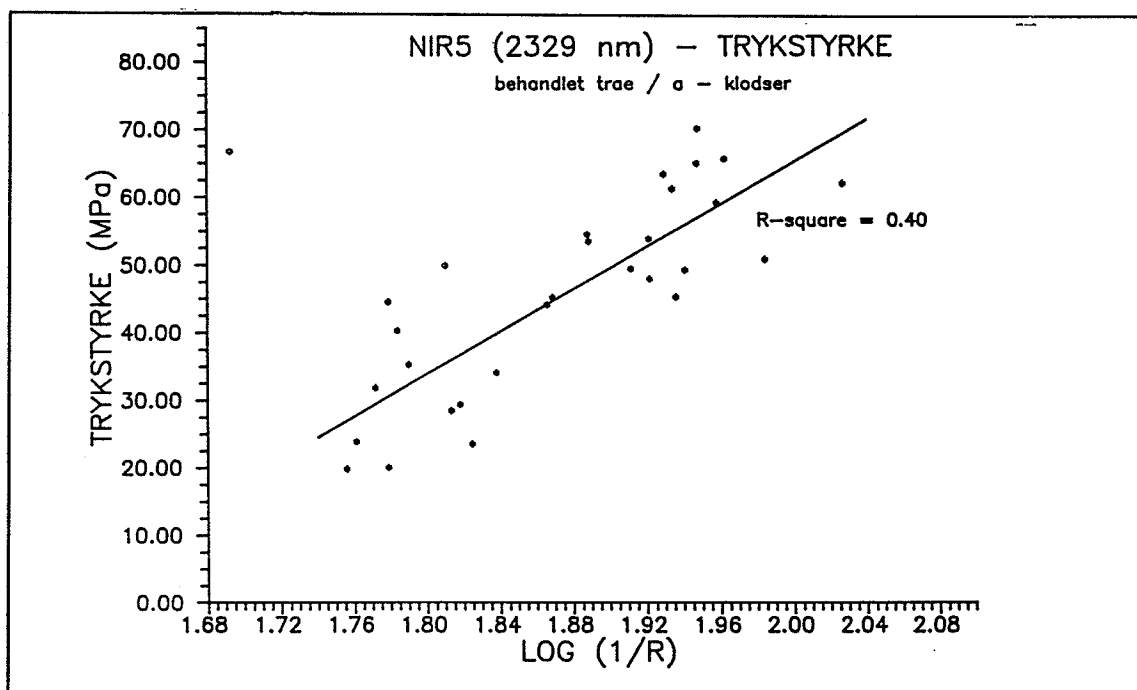
Figur 22

Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 2017 nm.



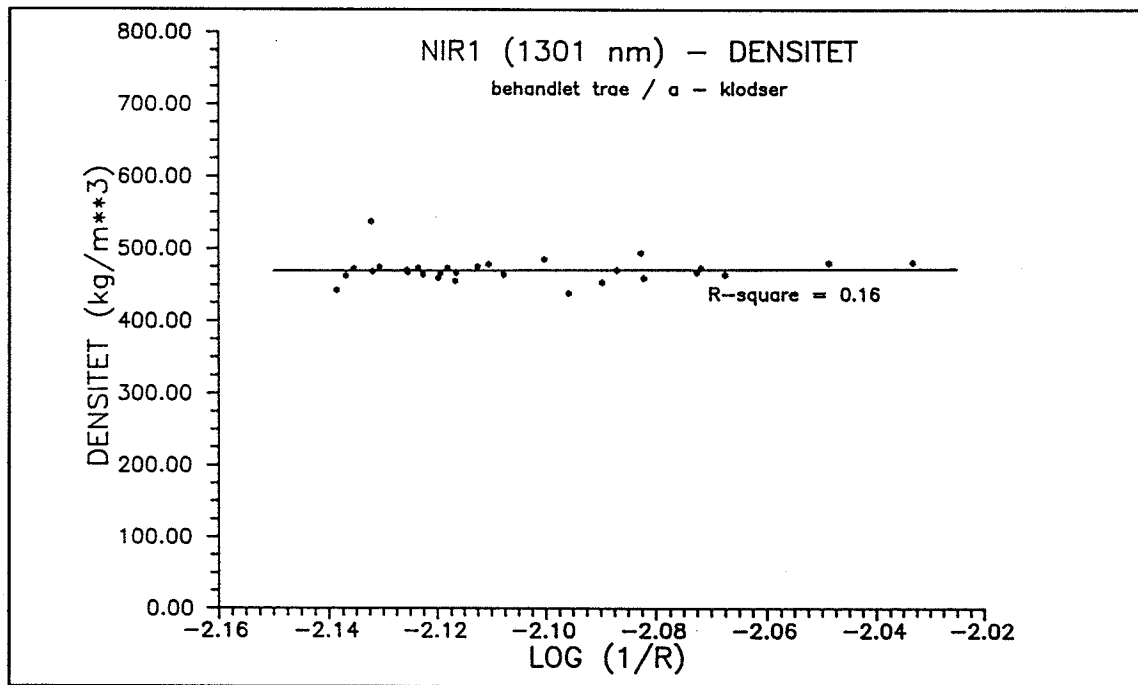
Figur 23

Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 2101 nm.



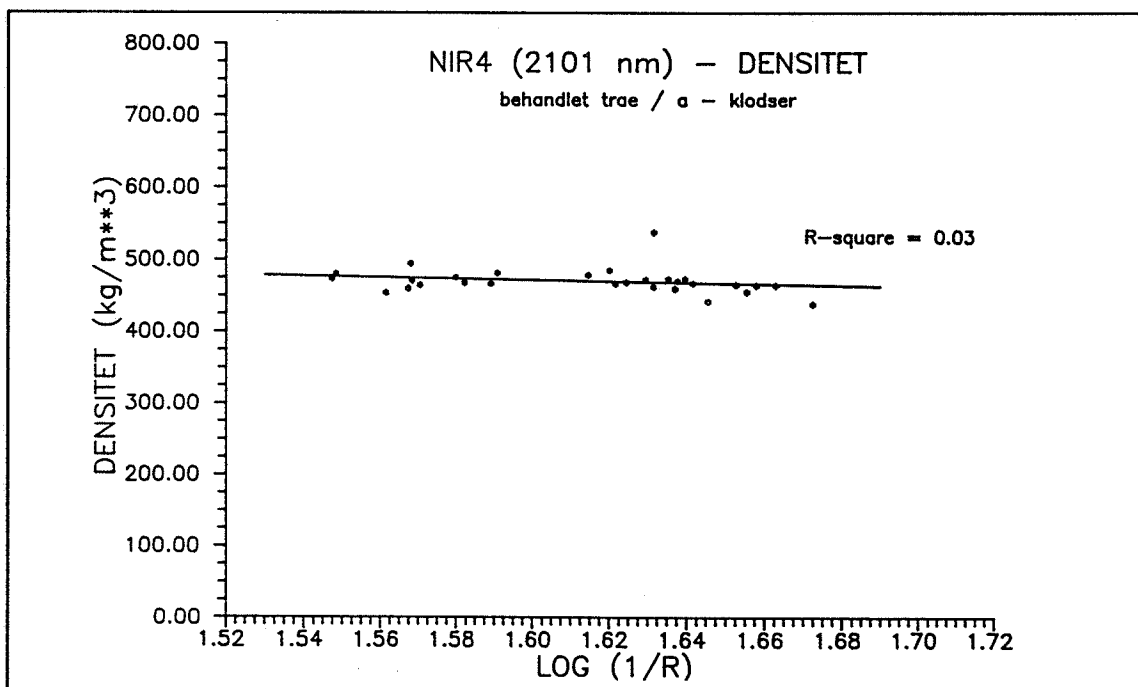
Figur 24

Sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling ved bølgelængden 2329 nm.



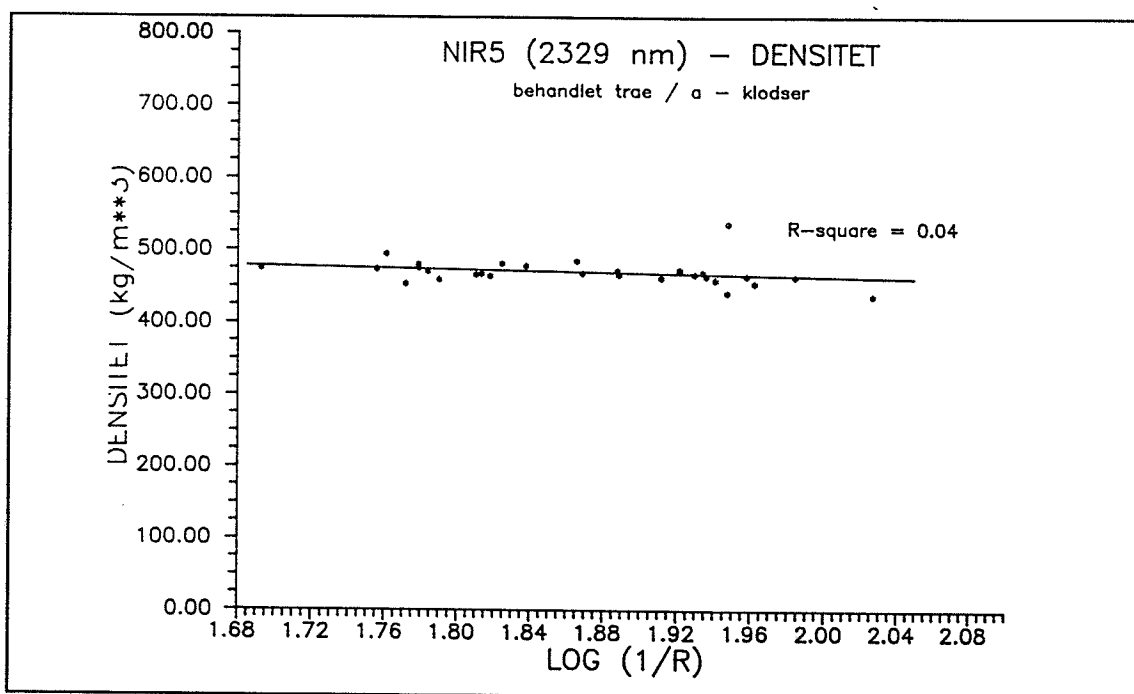
Figur 25

Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 1301 nm.



Figur 16

Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 2101 nm.



Figur 17

Sammenhæng mellem densitet og NIR-måling ved bølgelængden 2329 nm.

Det bemærkes, at korrelationerne for sammenhængen mellem trykstyrke og NIR-måling ikke mere som ved serie B er identiske med korrelationerne for sammenhængen mellem densitet og NIR-måling. Dette skyldes som før nævnt, at alle klodserne er taget fra samme bjælke, og dermed eksisterer der ingen sammenhæng mellem densitet og trykstyrke. Det ses endvidere, at det er ved andre bølgelængder, at den bedste sammenhæng mellem trykstyrke og NIR-måling skal findes.

Som det ses af figur 20 - 24 er der god sammenhæng mellem NIR-målingerne ved 1301 nm, 1929 nm og 2101 nm og trykstyrken, korrelationerne er henholdsvis $R^2 = 0.66$, $R^2 = 0.54$ og $R^2 = 0.68$. Dette er de bølgelængder bl.a. vand, stivelse og lignin absorberer stråling ved. Dette kan hænge sammen med det faktum, at fugtindholdet for klodserne ikke var ensartet efter flourbrinte behandlingen. Dette skyldes, at ikke alle de lufttætte beholdere var tætte, samt at ikke alt flourbrinten var fordampet fra klodserne. Korrelationen for sammenhængen mellem trykstyrke og fugtindhold (ikke optegnet) $R^2 = 0.16$.

Der er ikke nogen god sammenhæng mellem NIR-målingerne ved 2017 nm og 2329 nm og trykstyrken, korrelationerne er henholdsvis $R^2 = 0.26$ og $R^2 = 0.40$. Hvilket er de bølgelængder hvor hovedsagelig cellulose absorberer stråling ved, og store dele af cellulosen i klodserne er som før nævnt omdannet.

Ved udførelse af en multipel regressions analyse fås for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger en korrelation $R^2 = 0.85$, og for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger samt densiteten en korrelation $R^2 = 0.86$. Hvilket igen bekræfter, at der ikke eksisterende sammenhæng mellem densiteten og trykstyrke (i bilagsrapporten findes den fuldstændige regressions analyse).

KONKLUSION

Ubehandlet træ

- Der var ved forsøget meget stor sammenhæng mellem densitet og trykstyrke; korrelationen var $R^2 = 0.96$.
- Der var ved forsøget god sammenhæng mellem NIR-måling ved bølgelængderne 1301 nm, 2017 nm og 2329 nm og trykstyrken; korrelationerne var henholdsvis $R^2 = 0.74$, $R^2 = 0.51$ og $R^2 = 0.62$.
- Der er ikke nogen sammenhæng mellem NIR-målingerne ved bølgelængderne 1929 nm og 2101 nm og trykstyrken; korrelationerne er henholdsvis $R^2 = 0.05$ og $R^2 = 0.07$.
- Ved udførsel af en multipel regressions analyse fås for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger en korrelation $R^2 = 0.87$, og for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger samt densiteten en korrelation $R^2 = 0.97$.

Behandlet træ

- Der var ved forsøget ingen sammenhæng mellem densitet og trykstyrke; korrelationen var $R^2 = 0.01$.
- Der var ved forsøget god sammenhæng mellem NIR-måling ved bølgelængderne 1301 nm, 1929 nm og 2101 nm og trykstyrken; korrelationerne var henholdsvis $R^2 = 0.74$, $R^2 = 0.66$, $R^2 = 0.54$ og $R^2 = 0.68$.
- Der er ikke nogen overbevisende sammenhæng mellem NIR-målingerne ved bølgelængderne 2017 nm og 2239 nm og trykstyrken; korrelationerne var henholdsvis $R^2 = 0.26$ og $R^2 = 0.40$.
- Ved udførsel af en multipel regressions analyse fås for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger en korrelation $R^2 = 0.85$, og for sammenhængen mellem trykstyrken og de fem NIR-målinger samt densiteten en korrelation $R^2 = 0.86$.

Hovedkonklusionen på rapporten er således, at NIR-måling har vist nogle meget lovende resultater med hensyn til bestemmelse af densitet og trykstyrke af ubehandlet og behandlet træ. Men for endeligt at kunne vurdere brugen af NIR-måling som ikke-destruktiv prøvningsmetode af træ, er det nødvendigt med yderligere forsøg med andre træarter, flere prøvelegemer, ved forskellige fugtindhold samt prøvelegemer med råd og svamp.

LITTERATURLISTE

Birth, Gerald S. & Harry G. Hecht 1987. The Physics of Near-Infrared Reflectance. Near-Infrared Technology. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

Dinwoodie, J. M., 1981. Timber - It's nature and behaviour. Princes Risborough Laboratory. England.

Hruschka, William R., 1987. Data Analysis: Wavelength Selection Methods. Near-Infrared Technology. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

Murray, I. & P. C. Williams, 1987. Chemical Principles of Near-Infrared Technology. Near-Infrared Technology. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

